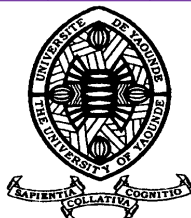


UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*



FACULTE 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*

**Bio-écologie des formes de résistance des protozoaires et des helminthes intestinaux dans les milieux aquatiques des zones rurales de la région du Centre (Cameroun) et influence des facteurs environnementaux**

**THÈSE**

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

Option : **Hydrobiologie et Environnement**

Par :

**NGAKOMO ANANGA Rose Pulcherie**

**Matricule : 05V479**

Devant le jury composé ainsi qu'il suit :

<b>Président :</b>	-FOMENA Abraham, Professeur	Université de Yaoundé I
<b>Rapporteurs :</b>	-AJEAGAH Gidéon AGHAINDUM Professeur	Université de Yaoundé I
	-NGASSAM Pierre, Professeur	Université de Yaoundé I
<b>Membres :</b>	-NGUETSOP Victor François, Professeur	Université de Dschang
	-ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, Professeur	Université de Yaoundé I
	-TOMBI Jeannette, Maître de Conférences	Université de Yaoundé I

*Année 2021*



REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

BP : 812 Yaoundé

Tél : (237) 242239584

Fax : (237) 242234496



REPUBLIC OF CAMEROON

*Peace – Work – Fatherland*

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCES

PO. Box : 812 Yaoundé

Tél : (237) 242239584

Fax : (237) 242234496

**DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**

*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

**ATTESTATION DE CORRECTION DE LA THESE**

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 **NGAKOMO ANANGA Rose Pulcherie**, matricule **05V479**, soutenance autorisée par la correspondance N°21162/UWI/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SPD du Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du 09 Juin 2021 sur le sujet : « **Bio-écologie des formes de résistance des Protozoaires et Helminthes intestinaux dans les milieux aquatiques des zones rurales de la région du Centre (Cameroun) et influence des facteurs environnementaux** », attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation, qui a eu lieu le 01<sup>er</sup> Juillet 2021, ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

Fait à Yaoundé le **12 1 OCT 2021**


L'Examineur

Le Président du jury

Le Chef de Département



*Charles Félix  
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</b>	<b>LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF</b>	

**ANNÉE ACADEMIQUE 2020/2021**  
 (Par Département et par Grade)  
**DATE D'ACTUALISATION 12 MARS 2021**

**ADMINISTRATION**

**DOYEN** : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maitre de Conférences*  
**VICE-DOYEN / DPSAA** : ATCHADE Alex de Théodore, *Maitre de Conférences*  
**VICE-DOYEN / DSSE** : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*  
**VICE-DOYEN / DRC** : ABOSSOLO Monique, *Maitre de Conférences*  
**Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Marie C. F., *Maitre de Conférences*  
**Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche DAASR** : MBAZE MEVA'A Luc Léonard, *Professeur*

**1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)**

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSKI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE 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 EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
24	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
25	DJUJKWO 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 NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste

36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (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/UIYI</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	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
18	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
21	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
22	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste

23	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
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 Guy 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 Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
36	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
37	NGOATEU 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 ARFAO 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	CE / MINRESI
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
16	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
17	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste

18	DJEUANI Astride Carole	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	NGOOU 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) (34)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</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</i>
7	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
8	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
9	NENWA Justin	Professeur	En poste
10	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UDs</i>

11	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
12	DJOUFAC WOUFMO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
13	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
14	KAMGANG YOUNBI Georges	Maître de Conférences	En poste
15	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
16	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
17	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
18	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
19	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste

20	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
21	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
22	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU DAOUA	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
28	NEBA nee NDO SIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
30	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
31	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
32	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
33	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
34	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

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

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvere 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	Vice-Doyen / DPSAA
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	Chef Service/MINESUP
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
20	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
21	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
24	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste

25	AMBASSA Pantaléon	Chargé de Cours	En poste
26	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
27	MVOT AKAK CARINE	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	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
32	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
33	ZONDENDEGOUMBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste

34	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	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	<i>Chef de Département</i>
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	MONTHÉ DJIADEU Valéry 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) (30)

1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>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	<i>Chef service des programmes &amp; Diplômes</i>
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda

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

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

1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
---	-------------------------	------------	----------------------------



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 PHYSIQUE(PHY) (40)

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	EKOBENA FOUA 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 FOUA 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 épouse 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	MELI'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	GHOOGOMU 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	<i>Chef service Maintenance &amp; du Matériel</i>
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	LAMILLEN 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 Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAKOUNTE J. épse 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)	9 (02)	12 (02)	03 (0)	<b>34 (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)	05 (02)	<b>30 (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>99 (28)</b>	<b>130 (33)</b>	<b>45 (10)</b>	<b>343 (75)</b>

Soit un total de **344 (75)** dont :

- Professeurs **68 (4)**
- Maîtres de Conférences **99 (28)**
- Chargés de Cours **130 (33)**
- Assistants **46 (10)**

( ) = Nombre de Femmes **75**

## **DÉDICACE**

À mes parents pour tous les sacrifices consentis à mon éducation. J'aurais voulu que Papa soit là en ce moment, mais Dieu en a décidé autrement, que son âme repose en paix.

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu tout puissant, le très miséricordieux qui m'a guidée et m'a donnée les ressources spirituelle, morale et physique pour mener à bien ce travail.

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés d'une part, au sein du Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I et, d'autre part, au sein du Laboratoire de Parasitologie à l'Université de Mansoura en Egypte.

À l'issue de ce travail, je tiens très sincèrement à exprimer ma gratitude aux nombreuses personnes qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à son aboutissement.

J'adresse ma profonde gratitude au Professeur **AJEAGAH Gideon AGHAINDUM**. Son dévouement au travail, sa rigueur scientifique et sa simplicité ont été pour moi des éléments catalyseurs pour effectuer un travail consciencieux et rigoureux, notamment dans l'identification et la caractérisation des protozoaires et des helminthes. Merci Professeur pour l'intérêt et la confiance que vous m'avez témoignés durant toutes ces années. J'éprouve à votre égard, un sentiment de profonde estime et d'infinie gratitude.

Je suis infiniment reconnaissante envers le Professeur **NGASSAM Pierre** qui, malgré ses multiples occupations, a accepté de superviser ce travail. Ses conseils, ses enseignements, sa rigueur méthodique et ses critiques constructives ont permis d'améliorer significativement la qualité de ce manuscrit.

Qu'il me soit permis de remercier par anticipation tous les éminents membres du jury qui me font le grand honneur de juger ce travail, et qui ont accepté d'y consacrer une part non négligeable de leur précieux temps pour apporter leurs observations.

J'exprime toute ma gratitude à l'endroit de tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I pour la formation reçue, les encouragements et les conseils prodigués lors de l'accomplissement de ce travail. Particulièrement, je dis un immense merci aux Professeurs **BILONG BILONG Charles Félix, FOMENA Abraham, DJIETO LORDON Champlain, DIMO Théophile, KAMTCHOUING Pierre, TAN Paul VERNYUY, DJAMEN Dieudonné, NOLA Moïse, TCHUEM TCHUENTE Louis Albert, NJIOKOU Flobert, ESSOMBA NTSAMA Claudine, DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré, KAMGANG René, MEGNEKOU Rosette, MONY Ruth, TOMBI Jeannette, FOTO MENBOHAN Samuel, KEKEUNOU Sévilor, ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert**. Dont

les enseignements, les conseils scientifiques, le dynamisme, la simplicité et l'humour permanents ont été pour moi, des sources d'inspiration et d'encouragement.

Je voudrais adresser mon infinie reconnaissance au Professeur **ZEINAB ABOU Elnaga** du laboratoire de Parasitologie de l'Université de Mansoura en Egypte, qui m'a accompagné dans la mise au point de l'élaboration du protocole d'observation des échantillons en microscopie électronique. J'ai réellement apprécié de travailler à ses côtés, dans une ambiance me permettant de cultiver l'interprétation scientifique et de confirmer mon goût pour la recherche. Je la remercie, pour tout le matériel et toutes les commodités mis à ma disposition lors de mon séjour en Egypte. Cette thèse a reçu le soutien financier et matériel d'Exceed Swidom qui a financé mon stage et mon séjour en Egypte,

Mes sorties sur le terrain m'ont permis de prendre conscience de la difficulté d'obtenir des données. Il s'agit nécessairement d'un travail d'équipe qui n'aurait pas été faisable sans la collaboration du Docteur **NOAH Olive Vivien**, du Docteur **KAPSO TCHOUANKEP Mireille**, du Docteur **ENAH Dickson**, de messieurs **MBOUOMBOUO MAMA, TSOMENI Pierre, FOTSEU Arnold** à qui je tiens à témoigner tout particulièrement ma sympathie et ma reconnaissance. Je remercie nos différents moto-taximen qui ont bravé vents et marées pour nous faire accéder à tous les points de prélèvement chaque fois que nous les avons sollicités.

Je ne peux omettre de remercier mes camarades au Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, pour l'enthousiasme et les nombreuses discussions enrichissantes que nous avons eues lors des débats scientifiques et les séminaires, précisément : **NGOKO KONGUEP Ellenita, ASSI TUGUE Arthur, TALOM Serge Narcisse, MBOHOU Zacharie, POUNTOUGNIGNI Oumarou Farikou** et **MOUSSIMA YAKA Diane Armelle...**

C'est avec beaucoup d'émotion et une immense affection que je remercie très sincèrement mon conjoint **MOURI BIWONG Paul Florent** ; mes enfants **MAFOUM Olivier Shalom** et **MOURI Charly** et mes sœur **OYANA Rosalie** et **MFONO ANANGA Christelle** d'avoir été là à chaque fois que j'en avais besoin et de m'avoir soutenue et encouragée pendant les moments de doute et de lassitude.

À toutes ces nombreuses personnes qui, de près ou de loin, ont contribué de quelque façon que ce soit à l'aboutissement de ce travail et que je n'ai pas pu citer, j'adresse mes sincères remerciements ; qu'ils soient bénis.

## SOMMAIRE

<b>DEDICACE</b> .....	x
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	xi
<b>SOMMAIRE</b> .....	xiii
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	xv
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	xx
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	xxi
<b>RESUME</b> .....	xxiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xxv
<b>INTRODUCTION</b> .....	0
<b>CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	3
I.1. Généralités sur les milieux aquatiques.....	3
I.1.1. Eaux courantes ou lotiques.....	3
I.1.2. Eaux souterraines .....	3
I.2. Pollution des milieux aquatiques .....	4
I.2.1. Pollution physique.....	4
I.2.2. Pollution chimique .....	4
I.2.3. Pollution biologique .....	4
I.3. Paramètres d'évaluation de la qualité des eaux .....	6
I.3.1. Paramètres hydrologiques .....	6
I.3.2. Paramètres physico-chimiques.....	7
I.3.3. Caractérisations biologiques .....	11
I.4. Généralités sur les Protozoaires .....	11
I.4.1. Systématique des Protozoaires .....	15
I.4.2. Protozoaires intestinaux.....	12
I.5. Généralité sur les Helminthes .....	29
I.5.1. Némathelminthes.....	29
I.5.2. Plathelminthes .....	35
I.6. Influence des facteurs environnementaux et intérêt de l'étude.....	43
I.6.1. Facteurs intervenant dans la dissémination des Protozoaires et Helminthes .....	43
I.6.2. Intérêt de l'étude.....	44
I.7. Identification des protozoaires et des helminthes .....	44
I.7.1. Microscopie électronique (ME).....	44
I.7.2. Épreuve d'immunofluorescence.....	45
I.7.3. Méthodes moléculaires.....	45

I.8. Eau risques et santé.....	46
<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>47</b>
II.1. Matériel.....	47
II.1.1. Zones d'étude.....	47
II.1.2. Choix et description des stations d'échantillonnage.....	50
II.2. Méthodes .....	63
II.2.1. Mesure des paramètres morpho-métriques et hydrologiques .....	63
II.2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques .....	63
II.2.3. Variables biologiques.....	66
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>72</b>
III.1. Résultats .....	70
III.1.1. Caractérisation des points d'eau étudiés.....	72
III.1.2. Caractérisation des formes de résistance des protozoaires et Helminthes.....	99
III.1.3. Densité des formes de résistance des protozoaires et d'helminthes entériques..	109
III.1.4. Caractérisation statistique des variables physico-chimique et biologiques.....	119
III.2. Discussion .....	126
<b>CONCLUSION RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>132</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>134</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>152</b>
<b>PUBLICATIONS .....</b>	<b>195</b>



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Photographies illustrant l'insalubrité dans les localités étudiées .....	5
<b>Figure 2</b> : Organisation cellulaire d'un cilié.....	13
<b>Figure 3</b> : Structure d'un flagellé.....	14
<b>Figure 4</b> : Structure du complexe apical.....	15
<b>Figure 5</b> : Cycle de vie de <i>Giardia intestinalis</i> .....	18
<b>Figure 6</b> : Cycle de développement d' <i>Entamoeba histolytica</i> . ....	20
<b>Figure 7</b> : Cycle de développement de <i>Cryptosporidium parvum</i> . ....	23
<b>Figure 8</b> : Cycle de vie de <i>Cyclospora cayetanensis</i> . ....	25
<b>Figure 9</b> : Cycle de vie de <i>Isospora belli</i> .....	27
<b>Figure 10</b> : Cycle parasitaire d' <i>Ascaris lumbricoïdes</i> .....	30
<b>Figure 11</b> : Cycle parasitaire d' <i>Ankylostoma duodenale</i> . ....	32
<b>Figure 12</b> : Cycle parasitaire d' <i>Enterobius vermicularis</i> .....	33
<b>Figure 13</b> : Cycle parasitaire de <i>Strongyloides stercoralis</i> . ....	35
<b>Figure 14</b> : Cycle de vie de <i>Diphyllobothrium latrum</i> .....	37
<b>Figure 15</b> : Cycle de développement d' <i>Hymenolepis nana</i> .....	39
<b>Figure 16</b> : Cycle de vie de <i>Fasciola hepatica</i> .....	41
<b>Figure 17</b> : Carte présentant le site d'étude et les points d'échantillonnage à Ngoumou.....	51
<b>Figure 18</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage du cours d'eau Ebongo.....	52
<b>Figure 19</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) NS1 et (B) NS2.....	53
<b>Figure 20</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) NP1 et (B) NP2.....	53
<b>Figure 21</b> : Carte présentant le site d'étude et les points d'échantillonnage à Akono.....	54
<b>Figure 22</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage sur le cours d'eau Akono.....	55
<b>Figure 23</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) AS1 et (B) AS2.....	55
<b>Figure 24</b> : Vue des stations d'échantillonnage : (A) puits AP2 et (B) puits AP1 .....	55
<b>Figure 25</b> : Carte présentant le site d'étude et les points d'échantillonnage à Obala .....	56
<b>Figure 26</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage du cours d'eau d'Obala .....	57
<b>Figure 27</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) OS1 et (B) OS2.....	57
<b>Figure 28</b> : Vue des stations d'échantillonnage : (A) puits OP1 et (B) puits OP2 .....	58
<b>Figure 29</b> : Carte présentant le site d'étude et les points d'échantillonnage à Monatélé.....	58
<b>Figure 30</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage sur la Sanaga .....	59
<b>Figure 31</b> : Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) MS1 et (B) MS2 .....	59
<b>Figure 32</b> : Vue des stations d'échantillonnage : (A) puits MP1 et (B) puits MP2.....	60
<b>Figure 33</b> : Variations spatio-temporelles de l'épaisseur de la colonne d'eau (A) dans les puits et lessources et (B) dans les cours d'eau étudiés.....	73

<b>Figure 34 :</b> Variations spatiales des valeurs moyennes de température, MES, turbidité et couleur dans les sources, les puits et les cours d'eau des quatre localités.....	75
<b>Figure 35 :</b> Variations spatiales des valeurs moyennes (A) de pH, (B) de CO <sub>2</sub> , (C) Conductivité électrique et (D) Solides Totaux Dissous dans les sources, les puits et les cours d'eau des quatre localités.....	76
<b>Figure 36 :</b> Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.....	78
<b>Figure 37 :</b> Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono.....	79
<b>Figure 38 :</b> Variations spatio-temporelles de la température (A), des MES (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.....	80
<b>Figure 39 :</b> Variations spatio-temporelles de la température (A), des MES (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatélé.....	81
<b>Figure 40 :</b> Variation spatio-temporelle du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de Ngoumou.....	82
<b>Figure 41 :</b> Variation spatio-temporelle de la conductivité (A), des Solides Totaux Dissous (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.....	83
<b>Figure 42 :</b> Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (C) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.....	84
<b>Figure 43 :</b> Variation spatio-temporelle des des Nitrites (A), Nitrates (B), de l'Azote ammoniacal (C) et des Orthophosphates (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.....	85
<b>Figure 44 :</b> Variations spatio-temporelles du pH (B) et du dioxyde de carbone (C) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité d'Akono.....	86
<b>Figure 45 :</b> Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des Solide Totaux Dissous (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono.....	88
<b>Figure 46 :</b> Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits cours et du d'eau de la localité d'Akono.....	89
<b>Figure 47 :</b> Variations spatio-temporelles des Nitrates (A), des Nitrites (B), de	

l'Azote ammoniacal (C) et de la Résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono.....	90
<b>Figure 48 :</b> Variations spatio-temporelles du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité d'Obala.....	91
<b>Figure 49 :</b> Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des STD (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.....	92
<b>Figure 50 :</b> Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.....	93
<b>Figure 51 :</b> Variations spatio-temporelles des Nitrites (A), des Nitrates (B), de l'Azote ammoniacal (C) et des Orthophosphates (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.....	94
<b>Figure 52 :</b> Variations spatio-temporelles du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité de Monatéle.....	95
<b>Figure 53 :</b> Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des STD (B), de la salinité (C) et de la résistivité (E) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatéle.....	96
<b>Figure 54 :</b> Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits et de la Sanaga de la localité de Monatéle.....	97
<b>Figure 55 :</b> Variations spatio-temporelles des Nitrates (A), des Nitrites (B), de l'Azote ammoniacal (C) et de la Résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatéle.....	98
<b>Figure 56 :</b> Kystes immatures (A) et kystes matures (B) de <i>Giardia intestinalis</i> : (A') et (B') dessins annotés respectifs.....	99
<b>Figure 57 :</b> Kystes immatures (A) et (B), kyste mature (C) d' <i>Entamoeba histolytica</i> , : (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs .....	100
<b>Figure 58 :</b> Kyste à 1 noyau : (A), kyste à 2 noyaux (B) et kyste à 8 noyaux (C) d' <i>Entamoeba coli</i> , (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs.....	101
<b>Figure 59 :</b> Oocystes de <i>Cryptosporidium</i> spp. (A et B), (A') et (B') dessins annotés .....	101
<b>Figure 60 :</b> Oocyste immature avec des globules (A), oocyste en cours de sporulation	

avec un grand globule (B), oocyste avec deux sporocystes (C) de <i>Cyclospora cayetanensis</i> , (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs.....	102
<b>Figure 61</b> : Oocyste immature avec un sporoblaste (A), oocyste avec deux sporocystes (B) d' <i>Isospora belli</i> , (A') et (B') dessins annotés respectifs.....	103
<b>Figure 62</b> : Morphologie caractéristiques des œufs d' <i>Ascaris</i> spp. ....	104
<b>Figure 63</b> : Morphologie des œufs d' <i>Ankylostome</i> spp. (A), dessin annoté (A') .....	104
<b>Figure 64</b> : Morphologie des œufs d' <i>Enterobius</i> spp. (A), dessin annoté (A') .....	105
<b>Figure 65</b> : Morphologie caractéristiques des larves de <i>Strongyloides stercoralis</i> (A) et dessin annoté (A').....	105
<b>Figure 66</b> : Morphologie des œufs de <i>Diphyllobotrium</i> spp. (A) dessin annoté (A').....	106
<b>Figure 67</b> : Morphologie des œufs d' <i>Hymenolepis</i> spp. (A) dessin annoté (A').....	106
<b>Figure 68</b> : Morphologie caractéristique des œufs de <i>Fasciola</i> spp. ....	107
<b>Figure 69</b> : Image d'un oocyste de <i>Cryptosporidium</i> spp au microscope électronique à balayage (MEB).....	107
<b>Figure 70</b> : Modèle à 4 couches de la structure de la paroi de l'oocyste .....	108
<b>Figure 71</b> : Image de l'œuf d' <i>Ascaris lumbricoïdes</i> au microscope électronique .....	108
<b>Figure 72</b> : Répartition saisonnière des densités des formes environnementales des protozoaires entériques dans les cours d'eau (A) et dans les sources et les puits (B) des différentes localités.....	109
<b>Figure 73</b> : Répartitions spatio-temporelles des densités moyennes des formes résistances d'helminthes entériques (A) dans les cours d'eau et (B) dans les puits et les sources des différentes localités étudiés.....	111
<b>Figure 74</b> : Variations spatiales des densités des formes de résistance des protozoaires entériques dans les eaux de surface de Ngoumou et d'Akono....	112
<b>Figure 75</b> : Variations spatiales des densités des formes de résistance des protozoaires entériques observées dans les eaux de surface d'Obala et de Monatéélé.....	113
<b>Figure 76</b> : Variations spatiales des densités de protozoaires dans les puits (A) et les sources (B) étudiés.....	114
<b>Figure 77</b> : Variations spatiales des densités des formes de résistance des helminthes entériques dans les eaux de surface de Ngoumou et d'Akono .....	115
<b>Figure 78</b> : Variations spatiales des densités des œufs et des larves d'helminthes observées dans les eaux de surface d'Obala et de Monatéélé .....	116

<b>Figure 79</b> : Variations spatiales des densités des formes de résistance d'helminthes entériques observées dans les puits (A) et les sources (B) étudiés.....	117
<b>Figure 80</b> : Variations des densités des formes de résistance des protozoaires (A) et des helminthes entériques (B) identifiés pendant l'étude.....	118
<b>Figure 81</b> : Classification hiérarchique des stations d'échantillonnages à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées (A) dans les eaux de puits et (B) de sources pendant la période d'étude.....	121
<b>Figure 82</b> : Classification hiérarchique des stations d'échantillonnages à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées dans les eaux de surfaces pendant la période d'étude.....	122
<b>Figure 83</b> : Résultat de l'analyse en Composante Principale (ACP) .....	123
<b>Figure 84</b> : Représentation de la dispersion des stations d'échantillonnage en fonction des variables abiotiques et biotiques dans les milieux aquatiques.....	125

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I</b> : Caractéristiques de quelques protozoaires intestinaux.....	28
<b>Tableau II</b> : Caractéristiques de quelques œufs d’helminthes.....	42
<b>Tableau III</b> : Coordonnées géographiques, caractéristiques principales et sources de pollution des milieux aquatiques étudiés (sources, puits, cours d’eau).....	60
<b>Tableau IV</b> : Caractéristiques morphométriques des puits étudiés .....	72
<b>Tableau V</b> : Caractéristiques morphométriques des sources étudiées.....	72
<b>Tableau VI</b> : Corrélation de Spearman entre les variables biologiques et les moyennes des variables physicochimiques mesurés .....	120

## LISTE DES ANNEXES

<b>ANNEXE 1 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité de Ngoumou .....	152
<b>ANNEXE 2 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité d'Akono .....	155
<b>ANNEXE 3:</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité d'Obala .....	158
<b>ANNEXE 4:</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité de Monatélé .....	161
<b>ANNEXE 5:</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans les cours d'eau étudiés.....	164
<b>ANNEXE 6 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans les puits et les sources étudiés. ....	167
<b>ANNEXE 7:</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des helminthes entériques dénombrés dans les cours d'eau étudiés. ....	173
<b>ANNEXE 8 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des helminthes entériques dénombrés dans les puits et les sources étudiés.....	176
<b>ANNEXE 9 :</b> Densités moyennes spatiales des protozoaires entériques .....	181
<b>ANNEXE 10 :</b> Densités moyennes spatiales des helminthes entériques .....	182
<b>ANNEXE 11 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité de Ngoumou.....	183
<b>ANNEXE 12 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité d'Akono.	186
<b>ANNEXE 13 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité d'Obala.....	189
<b>ANNEXE 14 :</b> Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité de Monatélé.....	192

## LISTES DES ABREVIATIONS

<b>AE</b>	Agence de l'eau
<b>ADN</b>	Acide desoxyribonucleique
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>CDC</b>	Central Diseases Control
<b>FTU</b>	Formazine Turbidity Units
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSS</b>	Grande Saison Sèche
<b>INC</b>	Institut national de cartographie
<b>MEB</b>	Microscope électronique à balayage
<b>MES</b>	Matières en suspension
<b>MIF</b>	Méthiolate-Iode-Formol
<b>NP</b>	Puits situé à Ngoumou
<b>NS</b>	Source de Ngoumou
<b>NC</b>	Cours d'eau de Ngoumou
<b>OC</b>	Cours d'eau d'Obala
<b>OS</b>	Source d'Obala
<b>OP</b>	Puits d'Obala
<b>PCD</b>	Plan Communal de Développement
<b>PSP</b>	Petite Saison de Pluie
<b>PCR</b>	Réaction en chaine de polymérase
<b>PSS</b>	Petite Saison Sèche
<b>STD</b>	Solides totaux dissous
<b>SPSS</b>	Statistical Packages for Social Sciences
<b>USP</b>	Unité de salinité pratique



## RESUME

Les protozoaires et les helminthes intestinaux font partis des contaminants des eaux, car ils sont responsables des maladies d'origine hydrique les plus courantes chez l'Homme. Une étude visant à évaluer la dynamique des formes de résistance des protozoaires et des helminthes entériques dans les milieux aquatiques des Communes rurales de Ngoumou, d'Akono, d'Obala et de Monatélé (Région du Centre, Cameroun) a été menée. Plus spécifiquement, il s'est agi d'évaluer les paramètres hydrologiques, morpho-métriques et physico-chimiques de quelques plans d'eau dans ces différentes localités ; d'identifier et dénombrer les formes de résistance des protozoaires et d'helminthes entériques présentes dans les échantillons d'eau ; de caractériser les espèces identifiées et de déterminer les facteurs abiotiques influençant leur dynamique dans l'environnement.

Dans l'ensemble des localités, 24 stations ont été retenues, réparties-en 16 stations pour les eaux souterraines (puits et sources) et 08 stations de prélèvement pour les eaux de surface (l'Ebongo à Ngoumou, l'Akono à Akono, l'Afamba à Obala et la Sanaga à Monatélé). Les échantillonnages suivis des analyses physico-chimiques et biologiques ont été effectués d'avril 2017 à avril 2018. L'analyse biologique des échantillons a été faite au microscope optique par la technique de coloration de Ziehl-Neelsen, la méthode diphasique de Ritchie et la technique de concentration au formol-éther. Pour l'analyse des échantillons au microscope électronique à balayage (MEB) la fixation chimique visant à stabiliser la structure macromoléculaire mobile du spécimen par réticulation chimique des protéines avec des aldéhydes tels que le glutéraldéhyde et l'acide osmique a été réalisée en collaboration avec le laboratoire de parasitologie de l'Université de Mansoura en Egypte.

Concernant la physico-chimie, la température de l'eau a varié de 20 à 30°C d'une station à l'autre, les températures les plus élevées ont été enregistrées pendant la PSP dans l'ensemble. Ces variations restent néanmoins favorables au développement des espèces identifiées. Les valeurs des matières en suspension et de la turbidité, varient respectivement entre 5 et 24 mg/L et entre 6 et 33 FTU. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la localité d'Obala. Dans les localités de Ngoumou et d'Akono, les valeurs moyennes de pH <7 révèlent une légère tendance de l'eau à l'acidité. Pour ce qui est de la conductivité, elle varie entre 26 et 747  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle est plus faible à Ngoumou et à Akono. Ces eaux sont dans l'ensemble faiblement minéralisées et pauvres en matières organiques ( $1,86 \pm 0,8$  mg/L), ce qui indique une faible pollution organique.

Les analyses en microscopie optique des échantillons d'eau ont révélé la présence d'oocystes de *Cryptosporidium* spp. (109 cell/L), des kystes d'*Entamoeba coli* (62 cell/L) d'oocystes de *Cyclospora cayetanensis* (47 cell/L), d'*Isospora belli* (28 cell/L), des kystes

d'*Entamoeba histolytica* (31 cell/L) et de *Giardia intestinalis* (19 cell/L). Le genre *Cryptosporidium* est dépourvu de sporocyste et contient 04 sporozoïtes directement en contact avec le cytoplasme, alors que *Cyclospora cayetanensis*, *Isospora belli*, *Entamoeba histolytica* et *Giardia intestinalis* sont caractérisés par une forme intermédiaire (prékystique) et une forme mature infestante. Différents œufs et larves d'helminthes ont également été observés représentés par *Strongyloides stercoralis* qui se présente sous forme de larves (61 cell/L) ; *Ascaris* spp. (10 cell/L) et *Hymenolepis* spp. (3 cell/L) se présente sous forme d'œufs caractérisés par une forme ovoïde ; la forme ellipsoïdale est caractéristique des œufs d'*Ankylostome* spp. (5 cell/L) et *Enterobius* spp. (1 cell/L) se distingue par un côté aplati et un côté bombé ; *Fasciola* spp. (4 cell/L) est très grand de taille et de forme elliptique ; *Diphyllobothrium* spp. (2 cell/L) est caractérisé par une forme ovoïde et trapue.

Pour ce qui est des examens en microscopie électronique à balayage, l'image de l'oocyste du genre *Cryptosporidium* enregistrées montre un amas au centre qui correspond aux 4 sporozoïtes, on observe également un pli dans la paroi de l'oocyste qui correspond à la zone de la paroi qui céderait lors du dékystement. Cette observation nous a également permis d'élaborer un modèle à 4 couches de la structure de la paroi de l'oocyste et des spécialisations de chaque couche de la paroi. L'image de l'œuf d'*Ascaris* en microscopie électronique présente 3 couches : une couche externe mamelonnée, ce mamelonnage pourrait résulter de l'érosion dans le milieu extérieur. Cette surface granuleuse présente une organisation régulière de fibres protéiques dont l'arrangement confère sa rigidité à l'œuf d'*Ascaris*.

Les densités des éléments parasitaires identifiés ont été négativement corrélées ( $p < 0,05$ ) à la conductivité électrique de l'eau, et positivement corrélées ( $p > 0,05$ ) aux Matières en suspension, à la couleur et à la turbidité. La caractérisation des stations d'échantillonnages en fonction des variables biologiques et abiotiques nous montre une forte contamination des eaux de surfaces contrairement aux milieux souterrains ; ici on note une faible contamination des eaux de puits qui présentent plutôt une minéralisation élevée.

Les résultats obtenus dans ce travail seront utiles dans l'élaboration des stratégies de gestion durable des écosystèmes aquatiques dans les villes de Ngoumou, d'Akono, d'Obala et de Monatélé et dans une certaine mesure dans la lutte préventive contre les maladies liées à l'eau.

**Mots clés** : Physico-chimie, protozoaires, helminthes, eaux de surface, eaux souterraines, communes rurales.

## ABSTRACT

Protozoa and intestinal helminths are among water contaminants since they are responsible for the most common waterborne diseases in humans. Due to the scarcity of potable water, some of the relatively protected aquatic environments are sometimes the only sources of water supply to populations in rural areas. This study that is aimed at evaluating the dynamics of resistance forms of protozoa and intestinal helminths in the aquatic mediums of Ngoumou, Akono, Obala and Monatélé municipalities (Central Region, Cameroon). More specifically, it involved evaluating the hydrological, morphometric and physicochemical parameters of some water bodies in these different localities; identify and enumerate resistance forms of protozoa and enteric helminths present the water samples; characterize the identified species and determine the abiotic factors influencing their dynamics in this environment.

In all the localities 24 sampling stations were selected and 16 of these sampling stations were underground water (wells and sources) and 08 sampling stations for surface water (River Ebongo in Ngoumou, River Akono in Akono, l 'Afamba in Obala and the Sanaga River in Monatélé). Samples for physico-chemical and biological analyzes were carried out from April 2017 to April 2018 following standard methods. Biological analysis of the samples was done under an optical microscope and an electron microscope. Regarding the optical microscopic observations, the Ziehl-Neelsen staining technique was used for the isolation of oocysts, the Ritchie two-phase method for the isolation of cysts, and the formalin-ether concentration technique for isolation of helminth eggs and larvae. As for the electron microscopy analysis, the technique for isolating the resistance forms of protozoa and enteric helminths was carried out in collaboration with the parasitology laboratory of the University of Mansoura in Egypt.

Regarding physicochemical analysis, the water temperature varied from 20 to 30 ° C from one station to another and was lower during the rainy season. These variations do not show a significant difference spatially for both groundwater and surface water ( $p > 0.05$ ). The values of suspended solids and turbidity for underground water vary between 5 and 23 mg / L and between 6 and 24 FTU respectively. The highest values were recorded in the localities of Akono and Obala. On the other hand, in surface water, they vary between 18 and 24 mg / L for suspended matter and between 21 and 33 FTU for turbidity. The lowest values were observed in Ngoumou. The waters of Ngoumou and Akono are the most acidic with pH values  $< 7$ . As for conductivity, it was lower in Ngoumou and Akono. For underground water, it varies between 81 and 747  $\mu\text{S} / \text{cm}$  and was significant in the Obala and Monatélé wells. On the other hand, in surface water, conductivity remained very low (26 and 70  $\mu\text{S} / \text{cm}$ ).

These waters are generally poorly mineralized and poor in organic matter ( $1.86 \pm 0.8$  mg / L), which indicates low organic pollution.

The optical microscopic analyzes of the water samples revealed the presence of oocysts of *Cryptosporidium* spp. (109 cell / L), *Entamoeba coli* cysts (62 cell / L), *Cyclospora cayetanensis* oocysts (47 cell / L), *Isospora belli* (28 cell / L), *Entamoeba histolytica* cysts (31 cell / L) and *Giardia intestinalis* (19 cell / L). The genus *Cryptosporidium* is sporocyst-free and contains 04 sporozoites directly in contact with the cytoplasm. While *Cyclospora cayetanensis*, *Isospora belli*, *Entamoeba histolytica* and *Giardia intestinalis* are characterized by an intermediate (pre-cystic) form and a mature infesting form. Different eggs and larvae of helminth were observed and represented by *Strongyloides stercoralis* which occurs as a larva (61 cells / L); *Ascaris* spp. (10 cells / L) and *Hymenolepis* spp. (3 cells / L) in the form of eggs. This egg is characterized by an ovoid shape. The ellipsoidal shape is a characteristic of *Ankylostoma* spp. (5 cells / L) and *Enterobius* spp. (1 cell / L) is distinguished by a flattened side and a domed side. *Fasciola* spp. (4 cell / L) is very large in size and elliptical in shape; *Diphyllobothrium* spp. (2 cell / L) is characterized by an ovoid and squat shape.

About electron microscopy, images corresponding to oocysts of the genus *Cryptosporidium* were recorded. The image shows a cluster in the center which corresponds to the 4 sporozoites, there is also a fold in the wall of the oocyst which corresponds to the area of the wall which would give way during the excystation. This observation also allowed us to develop a 4-layer model of the wall structure of the oocyst. The image of *Ascaris* egg in the electronic microscope shows 3 layers: a nipple outer layer, this nipple could result from erosion by the external environment. The granular surface, under electronic microscope shows a regular organization of protein fibers, the arrangement of which gives the *Ascaris* egg its rigidity, thin intermediate layer and an inner layer.

The results obtained in this work will be useful in the development of policies for the sustainable management of aquatic ecosystems in the towns of Ngoumou, Akono, Obala and Monatélé and to a certain extent in the preventive control of diseases linked to the water.

**Key words:** physico-chemistry, protozoa, helminths, surface water, groundwater, rural communities.



# **INTRODUCTION**

L'eau est une ressource naturelle indispensable à toutes formes de vie sur la planète. C'est une denrée vitale, elle constitue également l'habitat d'une partie de la faune et de la flore (Fatmé *et al.*, 2019). L'eau a donc de ce fait été placée au centre de toutes les préoccupations et a été consacrée ressource limitée, vulnérable et essentielle à la vie (Zébazé Togouet *et al.*, 2011). Pour les êtres humains, l'avoir en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé.

A l'échelle mondiale, 84 % de la population humaine ne disposant pas d'un approvisionnement en eau améliorée vivent dans les zones rurales, c'est-à-dire environ 1,1 milliard de personnes soit 1 Hbt/7 et 2,4 milliards n'ont pas accès à un système d'assainissement adéquat. Plus de 2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de cinq ans des pays en développement où les mesures d'hygiène et d'assainissement sont insuffisantes, meurent chaque année de maladies diarrhéiques d'origine hydrique (WWAP, 2018).

Au Cameroun, les maladies hydriques font partie des maladies parasitaires les plus chroniques (Tchuem Tchuenté *et al.*, 2001 ; Ajeegah *et al.*, 2016) et la production d'eau potable reste insuffisante malgré la présence d'eau en quantité. Dans les petites métropoles, le déficit d'approvisionnement en eau est plus marqué. Les enquêtes auprès des ménages ont révélé qu'au Cameroun, environ 86% des populations rurales n'ont pas accès à l'eau potable (Dorine *et al.*, 2019). En plus, les constructions et les activités agricoles anarchiques, la vétusté et l'inadaptation des installations sanitaires, la relative protection des sources et des puits en milieu rural, sont autant d'indicateurs qui dénotent de l'urgence dans la mise en œuvre des mesures correctives pour une meilleure protection des milieux aquatiques, voir une adéquation entre l'offre et la demande (Bucrep, 2011).

Les Communes rurales d'Obala, de Monatélé, de Ngoumou et d'Akono, comme plusieurs autres agglomérations, ne sont pas épargnées par les problèmes liés à l'approvisionnement en eau potable. Cette situation contraint les populations locales à recourir aux eaux de sources, de puits, et des cours d'eau qu'elles consomment sans se préoccuper de leur qualité, ce qui les expose ainsi à des risques sanitaires à court, moyen et long terme. En effet, avec l'absence ou la dominance des installations sanitaires de type traditionnel, les rejets provenant de l'intestin des animaux et de l'homme sont évacués dans le sol ou déversés directement dans les cours d'eau et peuvent provoquer une pollution microbiologique (Wéthé *et al.*, 2003).

Parmi ces micro-organismes, les protozoaires et les helminthes intestinaux font partie des contaminants des eaux, car ils sont responsables d'infections et des maladies d'origine hydrique les plus courantes chez l'homme et l'animal. L'homme se contamine donc le plus

souvent après ingestion d'eau ou d'aliments souillés. De plus, ces parasites intestinaux passent une partie de leurs cycles dans l'environnement pour acquérir leur pouvoir infestant et ont la capacité de former des kystes et des œufs en grande quantité et extrêmement résistants aux stress environnementaux, ce qui favorise leur dissémination et renforce leurs pouvoirs pathogènes.

Malgré ces difficultés, la plupart des données disponibles sur la diversité des parasites intestinaux qui colonisent les milieux aquatiques au Cameroun ne concernent en majorité que les zones urbaines fortement anthropisées. Les travaux effectués sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Ajeegah *et al.*, 2017) ont prouvé l'abondance des kystes de flagellés du genre *Giardia* et d'oocystes de Sporozoaires du genre *Cryptosporidium* et *Cyclospora*. Kouam Kenmogne *et al.*, (2010) ont révélé la présence d'œufs et de larves d'helminthes dans les eaux de surface de la ville de Yaoundé. Kapsu Tchouankep, (2018) a évalué la dynamique spatio-temporelle des amoébidés dans les eaux de surface et souterraines de la ville de Yaoundé. Toutefois, peu d'études se sont intéressées à la distribution des parasites intestinaux dans les milieux aquatiques en zones rurales au Cameroun.

Le présent travail a pour objectif général d'évaluer la dynamique spatio-temporelle des formes de résistance des protozoaires et des helminthes intestinaux dans les eaux de surfaces et souterraines des Communes rurales de Ngoumou, d'Akono, d'Obala et de Monatélé.

Plus spécifiquement, il s'est agi d'étudier les variations spatiales et saisonnières de la qualité des eaux souterraines et de surface dans les quatre localités à partir des principaux paramètres physicochimiques ; d'isoler, d'identifier et de dénombrer les espèces de protozoaires et d'helminthes intestinaux présentes dans les échantillons d'eau ; de caractériser les espèces identifiées à l'aide des observations microscopiques et de montrer le rôle et les implications des variables environnementales sur la présence et le maintien des formes de résistance des protozoaires et des helminthes entériques dans l'environnement.

Ce document comprend trois chapitres dont le premier traite de la revue de la littérature, le deuxième présente le matériel et les méthodes utilisées et le troisième chapitre est consacré aux résultats et à la discussion, suivis d'une conclusion, des recommandations et des perspectives.



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



## **I.1. Généralités sur les milieux aquatiques**

La planète terre est également appelée planète bleue du fait que sa surface est recouverte à 72% d'eau (De Marsily, 2015). Ces eaux sont inégalement réparties à la surface de la planète : 97 % du volume total s'accumule dans les océans, 0,6 % et 0,4 % sont respectivement en phase solide dans les glaciers et gazeuse dans l'atmosphère et 2 % seulement sur les continents sous forme d'eau douce, (De Marsily, 2015). Le terme eau douce regroupe les eaux courantes (cours d'eau, rivières, fleuves...), les eaux calmes ou stagnantes (lacs, mares et étangs) et les eaux souterraines.

### **I.1.1. Eaux courantes ou lotiques**

Les systèmes lotiques représentent environ 0,1% du volume d'eau terrestre (Dussart *et al.*, 1995). Ces milieux prennent des formes diverses allant des ruisselets dont la largeur du lit est inférieure à 1 m, aux fleuves de largeur supérieure à 25 m (Allan, 2004). Ils sont caractérisés par l'écoulement des eaux qui dépend principalement de la pente. Cette caractéristique confère aux milieux lotiques leurs perpétuels changements physiques et chimiques.

### **I.1.2. Eaux souterraines**

Le terme 'eau souterraine' se réfère à l'eau qui se trouve dans le sol et les formations géologiques entièrement saturées (Margat, 2008 ; Vaessen *et al.*, 2015). Elle représente 97% de l'eau douce non gelée sur la planète terre. Les eaux souterraines avec un niveau de protection plus efficace par rapport à celui des eaux de surface, offrent une gamme variée de services allant du simple approvisionnement en eau potable, à la protection de la biodiversité (Margat, 2008 ; Mace *et al.*, 2012 ; Margat *et al.*, 2014 ; Griebler *et al.*, 2015). Elle est souvent la seule source d'eau pour tous les usages des communautés rurales (Clifton *et al.*, 2010). Les eaux souterraines peuvent resurgir à la surface du sol et être accessibles au niveau des sources ou alors peuvent être mises en évidence par un utilisateur à travers des puits et des forages.

Une source est un exutoire à la surface du sol, par lequel l'eau souterraine se déplace suivant la pente de la couche imperméable et apparaît à l'air libre (Ramsar, 2010). Un puits est un trou de quelques mètres de profondeur, avec un diamètre de 1 à 6 mètres creusé verticalement par l'homme pour l'exploitation d'une nappe phréatique (Gilli, 2004).

Les milieux aquatiques sont essentiels au maintien de la vie. Cependant, ils sont soumis à des pressions d'origine anthropique qui sont la cause de leur pollution (Devidal *et al.*, 2007).

## **I.2. Pollution des milieux aquatiques**

La pollution se définit comme une altération physique, chimique ou biologique du milieu lié à l'homme et entraînant des effets nuisibles pour la santé (Allouche *et al.*, 1999). Elle peut être de nature ponctuelle lorsque la source est connue (exemple rejet d'égouts ou des émissaires industrielles) et on peut y remédier en général grâce aux techniques d'assainissement. Elle peut également être d'origine diffuse c'est le cas des précipitations acides, les pâturages, les ruissèlements urbains et les eaux d'infiltration dans ce cas le problème est difficile à régler. Les formes de pollution peuvent être classées en trois grandes catégories suivant la nature du polluant qui peut être physique, chimique et biologique (Ramade, 2005 et 2007).

### **I.2.1. Pollution physique**

La pollution physique des eaux continentales est principalement due à la présence de matières solides insolubles dans l'eau (particules de charbon, terre, sable, limon). Il peut s'agir de matériaux provenant de l'érosion des sols due à la déforestation, à l'agriculture ou à l'exploitation des carrières (Tuffery, 1980 ; Arrignon, 1998). Elle est susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénotiques car elle modifie la température de l'eau qui est un facteur écologique important. Ce qui peut entraîner une baisse sensible de la teneur en oxygène dissous surtout si le milieu aquatique est chargé de matières organiques (Tuffery, 1980), une augmentation de la toxicité de certaines substances (Tuffery, 1980), une réduction de la résistance des animaux et une multiplication des agents pathogènes (Arrignon, 1998).

### **I.2.2. Pollution chimique**

La pollution chimique résulte de la libération dans l'eau de divers éléments minéraux tels les phosphates, les nitrates, les nitrites, les sulfates, l'ammoniaque qui sont des substances dissoutes rencontrées dans la nature à des concentrations généralement faibles, ou des substances non naturelles à toxicité immédiate ou différée (pesticides, métaux lourds, toxiques détergents etc...) qui s'accumulent dans les tissus des organismes vivants (Arrignon, 1998). Les premiers sont déversés dans le milieu aquatique sous forme d'excédents d'engrais agricoles qui sont entraînés par le ruissellement, le lessivage. Si leur charge devient élevée, ils peuvent altérer certaines caractéristiques de l'eau tels que la couleur, le pH, la température (Tuffery, 1980).

### **I.2.3. Pollution biologique**

Les milieux aquatiques hébergent divers organismes tels que les invertébrés et vertébrés aquatiques, les bactéries, les protozoaires et les champignons. Les bactéries, les

virus et les protozoaires constituent des contaminants particuliers des milieux aquatiques car ils sont composés des espèces enteropathogènes qui passent une partie de leur cycle biologique dans l'environnement. Ils sont issus le plus souvent des rejets des eaux usées des habitations, de la proximité des zones boueuses où les animaux séjournent et déposent les excréments, de la proximité des latrines traditionnelles et de l'épandage des eaux d'égout. Dans les eaux souterraines, l'abondance des microorganismes est à la fois tributaire des conditions physico-chimiques et trophiques locales, de la température et de la perméabilité de l'aquifère (Holt *et al.*, 2000). L'effectif de ces microorganismes pathogènes dans les eaux souterraines est en général très faible à cause de l'action épuratrice du sol, laquelle est aussi efficace vis-à-vis des particules en suspension (Nola *et al.*, 2005).

Dans les petites métropoles, la plupart des problèmes de baisse de la qualité des eaux sont liés à des fuites de latrines et de fosses septiques construits dans l'ignorance des normes, aux rejets d'effluents non contrôlés, aux eaux usées non canalisées, aux déchets domestiques non traités et aux zones d'enfouissement municipales qui se trouvent le plus souvent dans des zones périurbaines. Les localités comme Ngoumou, Akono, Obala et Monatéle n'en sont pas épargnées (figure 1).



**Figure 1** : Photographies illustrant l'insalubrité dans les localités étudiées : (A) abattoir artisanal de Ngoumou, (B) Ordures stockées à proximité d'un cours d'eau et cultures maraichères (Obala), (C) différentes activités anthropiques exercées sur un cours d'eau et (D) zone boueuse où séjournent le bétail à proximité d'un cours d'eau.

Elles connaissent un manque d'équipement d'assainissement amélioré. En effet dans ces localités on note une dominance des installations sanitaires de type traditionnel : les latrines pour la plupart ne sont pas canalisées dans une fosse septique ; certains endroits des cours d'eau servent de points de lessive et de laverie d'automobiles chargeant ainsi les eaux de détergents, de graisses, de solvant et de débris organiques (figure 1C) ; les rejets sont issus des différents usages domestiques de l'eau tels que les eaux ménagères provenant des cuisines ; les eaux vannes provenant des toilettes chargées de matières organiques azotées et de germes fécaux. A ces principaux rejets s'ajoutent les rejets des animaux qui séjournent à proximité des eaux de surfaces ou qui viennent s'y abreuver y déposant au passage des excréments ; on note également les abattoirs de type artisanal qui canalisent les déchets directement dans le cours d'eau (figure 1D).

Devant l'altération rapide des écosystèmes aquatiques, la nécessité de parvenir à l'évaluation de l'état de santé des milieux aquatiques et d'effectuer un suivi de leur condition est nécessaire (Chouinard, 2010). La caractérisation complète d'un hydrosystème doit tenir compte à la fois des composantes physico-chimiques et biologiques (Zébazé Togouet *et al.*, 2009).

### **I.3. Paramètres d'évaluation de la qualité des eaux**

L'appréciation de la qualité des eaux se base sur la mesure des paramètres hydrologiques, physico-chimiques et la présence ou l'absence de certains organismes et micro-organismes aquatiques et sur la caractérisation de leurs différentes menaces (Juliette *et al.*, 2005).

#### **I.3.1. Paramètres hydrologiques**

L'état hydrologique structure certains facteurs abiotiques tels que la dilution, la dispersion longitudinale, l'adsorption, les échanges gazeux à l'interface air/eau, la sédimentation et la remise en suspension des matières non dissoutes (Shorter, 2001). Parmi ces variables nous avons la vitesse d'écoulement des eaux, le débit et l'épaisseur de la colonne d'eau.

La vitesse d'écoulement des eaux dépend principalement de la pente, du débit et de la nature des fonds. Elle détermine l'habitat et la répartition des espèces aquatiques. A cet effet, les courants violents provoquent un état d'instabilité du substratum et des communautés benthiques (Angelier, 2000). Par ailleurs, la vitesse d'écoulement modifie aussi la qualité physico-chimique des eaux et contribue à l'autoépuration des cours d'eau dans la mesure où elle charrie les matières organiques et les détritiques présents dans l'eau.

Le débit d'un cours d'eau est la quantité d'eau exprimée en mètres cubes, qui s'écoule par seconde en un point donné de son parcours. Il est fonction du climat de la région, de la

perméabilité du terrain et de la pente. Plus le débit est important, plus le transport et la dilution sont rapides et la sédimentation déplacée vers l'aval (Schorter, 2001). En général, les forts débits entraînent une dérive des organismes jeunes ou mal adaptés, tandis que les débits très faibles créent des conditions de sous oxygénation et d'envasement des fonds (Jullian *et al.*, 2005). Les variables telles que les hauteurs des berges, la section mouillée, les caractéristiques des margelles sont d'autres paramètres hydrologiques et morphométriques à prendre en compte dans l'évaluation de la qualité des eaux.

### **I.3.2. Paramètres physico-chimiques**

#### **I.3.2.1. Variables physiques**

Les variables physiques le plus souvent mesurées dans les eaux sont : la température, les MES, la turbidité et la couleur ;

##### **I.3.2.1.1. Température**

La température de l'eau (°C) affecte sa densité et sa viscosité, la solubilité des gaz, celle de l'oxygène en particulier qui baisse quand la température de l'eau croît (Arrignon, 1998). La valeur de ce paramètre dans les eaux superficielles est influencée par la température ambiante et ceci d'autant plus que la profondeur est faible. Elle dépend également de la saison, de l'heure et du débit (Rodier *et al.*, 2009). Par ailleurs, elle croît avec la profondeur (Derwich *et al.*, 2010). On considère généralement que la température géothermale augmente de 1°C par 33 mètres en moyenne (Ginet et Decou, 1977).

On note par ailleurs, qu'une augmentation de la température accélère les vitesses des réactions chimiques et biochimiques (Hecky, 2000). L'évolution normale dans un environnement n'est optimale que lorsque les microorganismes se trouvent à une température appropriée ; celle-ci est variable selon les espèces. Les températures élevées de l'eau (comprises entre 25 et 37°C) stimulent l'évolution normale et simultanée des microorganismes qui, par l'intermédiaire des déchets métaboliques, affectent notamment le goût et la couleur de l'eau (OMS, 2004).

##### **I.3.2.1.2. Matières en suspension**

Les matières en suspension (mg/L) comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimensions et autres micro-organismes de l'eau (Maurice et Bloomfield, 2012). Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et par conséquent, la photosynthèse (De Villers *et al.*, 2005). La quantité de matières en suspension dans une eau

varie avec le type de bassin versant, la nature des terrains traversés, la saison et les apports éventuels des effluents (Rodier *et al.*, 2009).

#### **I.3.2.1.3. Turbidité et Couleur**

La turbidité (FTU) et la couleur (Pt-Co) augmentent avec les matières en suspension ; elles réduisent la quantité de lumière qui pénètre dans la colonne d'eau et par conséquent, diminuent la productivité des végétaux autotrophes phytoplanctoniques (Griebler *et al.*, 2010 ; Boutin *et al.*, 2011). La turbidité exprime l'état trouble d'une eau et est inversement proportionnelle à la transparence de celle-ci. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect et la saveur de l'eau (Beauchamp, 2006). Une eau très turbide est colorée avec une faible transparence. Une forte turbidité peut être signe d'une pollution et peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. Dans les eaux souterraines, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution de l'intensité a pour conséquence de limiter et d'éliminer la végétation (Tuekam, 2013).

#### **I.3.2.2. Variables chimiques**

Les paramètres chimiques les plus utilisés dans la caractérisation physico-chimique des plans d'eau sont entre autres : le pH, la conductivité électrique, les formes d'azote, les orthophosphates, l'oxygène dissous, le gaz carbonique dissous, la Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) et l'oxydabilité.

##### **I.3.2.2.1. pH et Salinité**

Le Ph (UC) est un paramètre très important pour l'équilibre biologique de tous les organismes aquatiques. Il renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité de l'eau au moyen d'une échelle universellement graduée de 0 à 14. Un pH inférieur à 7 correspond à une eau acide et un pH supérieur à 7 indique que l'eau est alcaline (basique). Un pH de 7 est donc dit neutre. L'action du pH sur les microorganismes peut être indirecte et se fait notamment par la modification du coefficient d'assimilation des différents composés nutritifs minéraux ou organiques, dont l'importance va dépendre de la tolérance des organismes vis-à-vis de l'acidité du milieu (Lacasse, 2004). Il varie avec la nature du substratum ou sol, celle des apports d'effluents industriels et domestiques, mais aussi avec l'activité biologique (Jullian *et al.*, 2005). Suite au séjour plus ou moins long dans la roche encaissante des eaux souterraines, leur pH dépendra de la nature des sols traversés bien qu'il reste généralement proche de la neutralité et varie en relation avec l'alcalinité de l'eau (Nola *et al.*, 2012). Le pH est acide dans les aquifères sableux ou granitiques, alcalin dans les aquifères calcaires (Beauchamp, 2006). Ses variations sont inversement proportionnelles à la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> dissous.

La salinité est définie par la quantité totale des éléments dissous dans l'eau. La salinité est un critère de classification des eaux. La présence de sel dans l'eau est très importante et détermine certaines de ses propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité, conductivité, pression osmotique). La salinisation de l'eau peut changer les proportions relatives des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) et anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^-$ ) de l'eau, ce qui influence les équilibres chimiques et la solubilité de certains minéraux. La salinité est un paramètre qui conditionne l'aire de répartition des espèces vivantes dans un milieu en fonction de leur préférence (hormis les espèces euryhalines supportant de grandes amplitudes de salinité) (Foussard *et al.*, 2011). Si la salinité varie, la survie des organismes sera fonction de leur tolérance. Les concentrations faibles en sel ne provoquent pas de plasmolyse apparente. Un milieu saturé en sels, entraîne la plasmolyse de l'oocyste qui se manifeste par une invagination légère de la paroi.

#### **I.3.2.2.2. Conductivité et Solide Totaux Dissous (STD)**

La conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et les Solide Totaux Dissous ( $\text{mg}/\text{L}$ ) sont des variables qui renseignent sur le degré de minéralisation du milieu. La conductivité électrique est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous. Elle varie en fonction de l'origine des eaux, la nature géologique du substrat, les confluences ou les afférences souterraines et la pollution du support aqueux. La pollution des eaux se traduit par une augmentation de la conductivité et des Solides Totaux Dissous. Ainsi, une augmentation de la teneur en sels dissous dans les eaux de puits se traduit par celle de la conductivité et des Solides Totaux Dissous (STD) ; par conséquent, elle est l'expression de la pollution de ces eaux (Zébazé Togouet *et al.*, 2011).

#### **I.3.2.2.3. Oxygène dissous et Alcalinité**

L'oxygène dissous ( $\text{mg}/\text{L}$ ) est une variable aussi bien chimique que biologique dont la teneur a une signification propre relative à la qualité biologique du support aqueux. L'oxygène de l'eau provient de son contact avec l'air, sa dissolution étant facilitée par le brassage. Elle a également une origine biologique par la fonction chlorophyllienne exercée par les végétaux des plans d'eau (Arrignon, 1998). Les conditions d'équilibre écologique normal exigent un minimum de saturation en oxygène de 75%, la situation devenant critique en deçà de 50% (Foto Menbohan *et al.*, 1991). Parmi les causes de variation de sa teneur, on peut citer la présence des matières organiques oxydables, des organismes, des germes aérobies, ainsi que la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface air-eau (Rodier, 1996). La teneur en oxygène dissous est indicatrice de la pollution suite à la consommation au cours des processus d'oxydation biologique ou chimique, des matières organiques

contenues dans l'eau. La quantité d'oxygène dissous dans une eau souterraine est la résultante fluctuante entre un apport extérieur enrichissant l'eau et son utilisation par la respiration des organismes aquatiques, mais aussi par les oxydations de substances dissoutes. Selon la législation française, l'eau n'est potabilisable que si elle contient au moins 5 mg/L d'oxygène dissous (Billen *et al.*, 1999). L'alcalinité d'une eau témoigne de la présence conjuguée d'hydrogencarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ). Les variations de cette composante sont à rapprocher aux degrés de minéralisation des eaux, d'oxydation des composés organiques et de la teneur en anhydre carbonique (Levêque *et al.*, 2005).

#### **I.3.2.2.4. Oxydabilité**

L'oxydabilité (mg/L) permet d'évaluer la concentration en matières organiques présentes dans l'eau. Une valeur élevée de l'oxydabilité indique une quantité excessive de matières organiques. Les matières organiques sont à l'origine de la surconsommation de désinfectants et de la formation de chloramines dans les eaux de consommation. Dans les milieux récepteurs, l'oxydabilité correspond à l'estimation globale de la concentration en matières organiques biodégradables, par l'évaluation de la quantité d'oxygène qu'elles enlèvent à un oxydant, le permanganate de potassium, dans des conditions précises de titration (Verneaux, 1973 ; Derwich *et al.*, 2010).

#### **I.3.2.2.5. Nitrates, Nitrites, Azotes ammoniacal et Orthophosphates**

Dans les hydrosystèmes, l'azote se trouve sous formes d'azote organique, d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (mg/L), de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) (mg/L), de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) (mg/L), ou associée à d'autres composés. L'azote provient du sol et de la minéralisation de la nécromasse. Toutefois, l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement de l'eau en cet élément par les apports d'effluents, rejet d'eaux usées domestiques, lessivage des sols agricoles fortement enrichis en engrais (Jullian *et al.*, 2005). D'après CEAEQ (2007), la teneur en ions  $\text{NH}_4^+$  est très élevée dans les eaux riches en matières organiques lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. De plus, une augmentation excessive de la température transforme l'ion  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  qui est toxique pour de nombreux organismes. Quant aux nitrites, c'est la forme intermédiaire de l'azote qui ne se maintient dans les eaux courantes que lorsque le milieu est insuffisamment oxygéné. Leur rémanence indique un état de pollution organique (Foto Menbohan *et al.*, 1991). La teneur en nitrates croît généralement dans l'eau avec le processus d'enrichissement par des apports latéraux successifs et une accumulation des matières organiques endogènes progressivement minéralisées. La transformation dans l'organisme des nitrates en nitrites peut présenter un danger, en



particulier chez le nourrisson. En effet, les nitrites se combinent à l'hémoglobine du sang et perturbent chez le nourrisson le transport de l'oxygène (méthémoglobinémie infantile). Les nitrites peuvent également se combiner avec des amines et former des nitrosamines, suspectées d'être cancérogènes (cancer de l'estomac).

Les orthophosphates (mg/L) représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Les orthophosphates sont la forme de phosphore qui est directement assimilable par les organismes. Ils sont rares dans les eaux naturelles et sont principalement associés aux apports exogènes (engrais, polyphosphates, des formulations détergentes, industrie chimique...). Les fortes teneurs en orthophosphates entraînent généralement des blooms algaux avec pour conséquence une réduction de l'éclairement en profondeur et à long terme l'eutrophisation (Devidal *et al.*, 2007).

L'approche physico-chimique peut mener à la conclusion erronée qu'il n'y a pas de problèmes lorsqu'il n'y a pas de dépassement des critères pour les substances mesurées, alors qu'en fait l'écosystème peut être sérieusement affecté par des polluants non mesurés (Berryman, 1990). Pour combler ce manque d'informations, les études de diagnostic des écosystèmes aquatiques se sont tournées vers la composante biologique (Lévêque, 2005). En effet, un organisme qui accomplit tout ou une partie de son cycle vital dans le milieu aquatique, témoigne des conditions passées et présentes de ce milieu (Solacroup, 2001).

### **I.3.3. Caractérisations biologiques**

La pollution microbiologique se traduit par la présence dans l'eau de nombreux agents pathogènes tels que les bactéries, les champignons, les virus, les protozoaires et les helminthes. Ces deux derniers groupes diffusent dans l'environnement aquatique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales et posent dans de nombreux pays de redoutables problèmes d'hygiène et de santé publique (Ramade, 2007). Ces microorganismes rendent l'eau impropre à la consommation humaine. Mais l'absence de bactéries ne signifie pas qu'il y a absence de protozoaires et d'helminthes parasites.

### **I.4. Généralités sur les Protozoaires**

En biologie, le terme protozoaire (du grec ancien proto= premier et -zoaire de zoo = animal) désigne les protistes animaux (Sintès, 2007). Les protozoaires sont des organismes eucaryotes unicellulaires différenciés, libres ou parasites qui remplissent de nombreuses fonctions nécessaires à la vie. Les protozoaires possèdent les mêmes structures et organites que les autres cellules eucaryotes, mais avec quelques variations comportant des organites complexes : vacuoles pulsatiles, cils et flagelles (Barbot, 2012). Leurs premières observations et descriptions ont été faites par Antoni van Leeuwenhoek en 1675. Certains protozoaires

possèdent un seul noyau, alors que d'autres en possèdent plusieurs. Les protozoaires présentent des dimensions variables. Leur taille est comprise entre 1 et 600  $\mu\text{m}$ . Les plus grands sont les amibes qui peuvent atteindre jusqu'à 5 mm (Corliss, 2002). Les plus petits sont les sporozoaires ainsi que certains parasites intracellulaires.

La plupart des protozoaires sont mobiles et peuvent être isolés dans de très grandes variétés de niches écologiques, y compris l'eau, les sols humides et à l'intérieur d'autres organismes (Maillard *et al.*, 2008 ; Norf et Foissner, 2010). Ils sont hétérotrophes et ingèrent leur nourriture par phagocytose ou au moyen d'un cytopharynx, contrairement aux autres protistes qui n'ingèrent pas leur nourriture. Il existe deux types de reproduction chez les protozoaires : la multiplication asexuée et la multiplication sexuée. La plupart se reproduisent par multiplication asexuée. Ils ont 2 étapes principales dans leur cycle de vie : le trophozoïte (l'étape métaboliquement active) et le kyste (forme dormante ou de dissémination).

L'enkystement est particulièrement fréquent et se produit aux fins de protection lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables (Ben Salah et Drancourt, 2010). Les protozoaires jouent un rôle important dans la nature (Jodra et Perrier, 2007) et se sont adaptés à tous les milieux de vie. Les protozoaires représentent près de 5% du monde vivant en termes d'espèces. Ils sont supérieurs en nombre aux bactéries qui sont peu nombreuses en termes d'espèces. Il pourrait en exister 650 000 espèces. Sur le plan biologique et évolutif, les protozoaires sont considérés comme les premières cellules eucaryotes. Ces organismes sont présents dans tous les milieux et habitats (eau douce, eau de mer, en tant que symbiotes ou comme parasites) dont les milieux extrêmes (sources d'eau chaude, lacs sursalés).

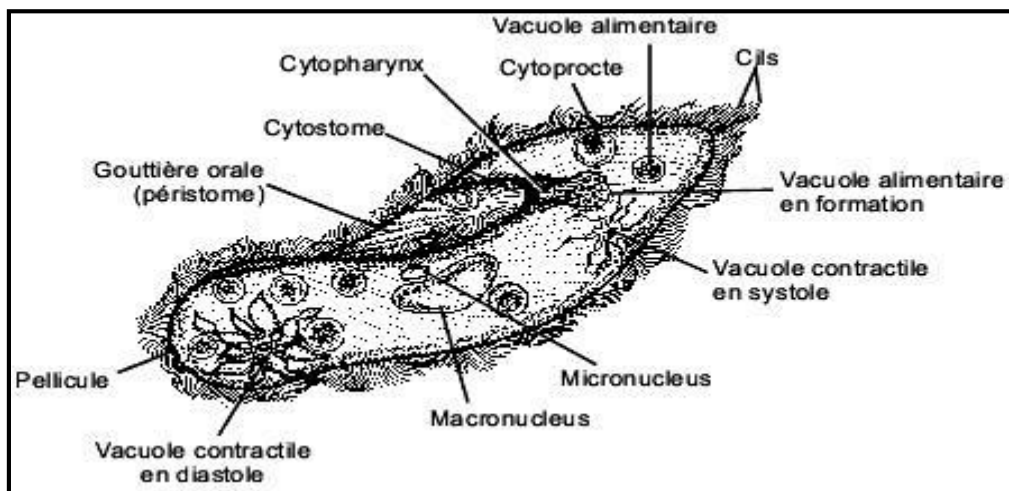
#### **I.4.1. Systématique des protozoaires**

Les protozoaires sont des organismes eucaryotes dont la systématique est basée sur la nature de l'appareil locomoteur et les caractères du cycle de développement (Puytorac, 1987). Ces critères permettent de distinguer quatre sous embranchements (Puytorac, 1987 ; Corliss, 2002 ; Parry, 2004 ; Sintès, 2007) : le sous embranchement des Ciliés, le sous embranchement des Flagellés, le sous embranchement des Rhizopodes et le sous embranchement des Sporozoaires ou Apicomplexa.

##### **I.4.1.1. Ciliés**

Les Ciliés sont des organismes unicellulaires constituant le sous Embranchement des Ciliophora du règne des protistes. Le corps de ces protozoaires est recouvert de cils vibratiles à la surface de la cellule (figure 2). Leurs battements sont coordonnés et ils assurent d'une part la locomotion de la cellule et d'autre part créent des courants d'eau amenant des

particules alimentaires à l'animal. Ils présentent divers modes de vie : libre (paramécie), fixé par un pédoncule, symbiote, parasites (peu nombreux). Ils vivent dans les eaux douces, saumâtre ou salée. Ils sont commensaux ou parasites. Le cytoplasme contient des vacuoles digestives et vacuoles pulsatiles, mitochondries, dictyosomes etc. L'appareil nucléaire est bipartite et contient un macronucléus et un micro-nucléus. Le macronoyau polyploïde, régularise le métabolisme de la cellule. Il est seul impliqué dans la vie végétative. Il contient les gènes qui codent pour toutes les protéines nécessaires aux fonctions vitales. C'est un noyau à très forte activité de transcription. Le micro-noyau, diploïde, contient une faible quantité d'ADN et intervient uniquement dans la reproduction sexuée. C'est un noyau à activité de transcription faible, mais porteur de toutes les informations génétiques de l'espèce (Jodra *et al.*, 2007). Ce sont des micro-organismes aquatiques indicateurs de la qualité de l'eau et sont à la base de la classification des milieux aquatiques en fonction du niveau de saprobies (Foto Menbohan *et al.*, 1991). La forme générale des ciliés est présentée sur la figure 2.

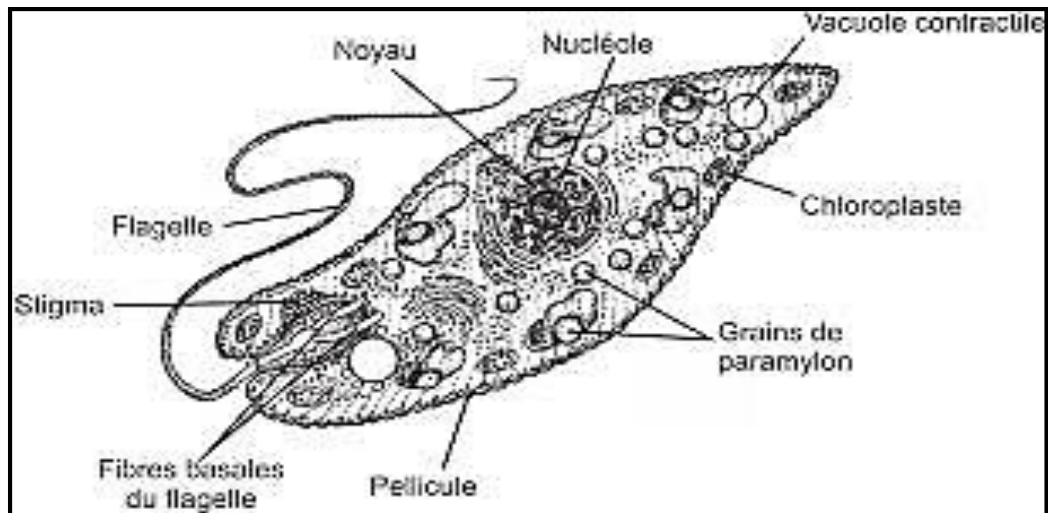


**Figure 2** : Organisation cellulaire d'un cilié (Jodra *et al.*, 2007)

#### **I.4.1.2. Flagellés**

Les flagellés sont des protozoaires caractérisés par la présence d'un ou de plusieurs organites locomoteurs de type flagelle (Lacoste, 2009). Les flagellés comportent des formes libres (Chaonoflagellés), des formes parasites (trypanosomes, Giardia), ou des symbiotes. Les flagelles locomoteurs sont symétriques. Le flagelle se présente comme un très long fouet contractile (Figure 3). Il s'insère sur un blépharoblaste ou grain basal. Le centrosome participe à la division cellulaire et produit des cils ou des flagelles alors que le blépharoblaste est uniquement lié à la production de cils ou de flagelles. Ils sont généralement de petite taille (2 à 30  $\mu\text{m}$ ) (Krometis *et al.*, 2009). A la base de chaque flagelle, on note la présence d'un corps basal, comportant 9 triplets de microtubules. Parfois ce flagelle est accolé sur une partie

de sa longueur à la surface de la cellule pour former une membrane ondulante. Le flagelle est constitué d'une protéine (flagelline) capable de se polymériser pour donner un flagelle. On retrouve les flagellés en vie libre dans l'eau douce, l'eau de mer et en vie parasite dans le tube digestif des animaux (Krometis *et al.*, 2009).



**Figure 3** : Structure d'un flagellé (Krometis *et al.*, 2009)

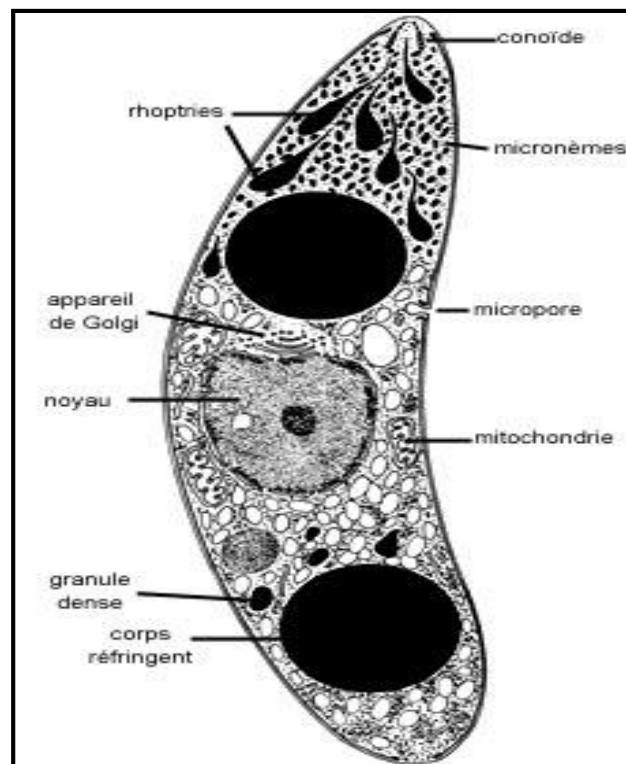
#### **I.4.1.3. Rhizopodes**

Ce sont des protozoaires ne présentant ni flagelles, ni cils caractéristiques. Pour se déplacer ils utilisent des protubérances cellulaires appelées pseudopodes. Par une rapide polymérisation-dépolymérisation de l'actine contenue dans le cytoplasme, les pseudopodes s'allongent et grâce aux molécules d'adhésion présentes à leurs extrémités, les organismes s'accrochent aux substrats. Ce groupe de Protozoaire est assez hétérogène. Il comprend trois ordres : les Foraminifères, les Actinopodes et les Amœbiens. Les Amœbiens, sont des protozoaires communément connus sous le nom d'amibes. Les Amœbiens se répartissent en deux grands sous-ordres : les amibes nues (ou Gymnamœbiens) et les amibes à thèque (ou Thécamebiens). Ces deux groupes sont caractérisés par l'existence de pseudopodes qui sont des expansions cytoplasmiques destinées à la locomotion et à la phagocytose. Les Amœbiens possèdent des pseudopodes lobés ou filiformes et plus ou moins digités (Dupuy, 2013).

#### **I.4.1.4. Sporozoaires**

Les Sporozoaires ou Apicomplexa sont des protozoaires parasites intracellulaires ou endosymbiontes dépourvus d'organites locomoteurs, généralement immobiles ou se déplaçant lentement, leur nutrition est osmotrophe. Ils possèdent un complexe apical, comprenant des rhoptries, micronèmes, les vacuoles, les anneaux polaires composés de microtubules, une membrane trilamellaire et un conoïde logé à l'intérieur des anneaux polaires (figure 4). Ce complexe apical n'est présent que dans la forme invasive (sporozoïte, mérozoïte et ookinète) ;

il joue un rôle dans l'interaction du parasite avec la cellule hôte et une invasion ultérieure de celle-ci (Kurvadina, *et al.*, 2002 ; Moore *et al.*, 2008). Leur cycle de reproduction présente une phase de schizogonie, de gamogonie et une phase de sporogonie. Le phylum des Apicomplexa est composée d'espèces parasites intracellulaires d'autres eucaryotes. Il contient des parasites importants en santé humaine tels que le *Plasmodium* agent causale du paludisme. *Sarcocystis* et *Toxoplasma* qui ont un cycle de vie hétéroxène. Les trois autres *Isospora*, *Cryptosporidium* et *Cyclospora* ont un cycle de vie monoxène dont une partie se déroule à l'intérieur des cellules épithéliales intestinales de l'hôte et sont transmis par voie orale. Ils se distinguent par la taille et la structure des oocystes (Kurvadina *et al.*, 2002).



**Figure 4** : Structure du complexe apical (Kurvadina, *et al.*, 2002)

## **I.4.2. Protozoaires intestinaux**

L'intestin de l'Homme peut héberger diverses espèces de protozoaires. Certaines sont de simples commensales, non pathogènes. D'autres ont été parfois rendues responsables de troubles intestinaux, du fait de leur action nécrosante sur les cellules (OMS 1993).

### **I.4.2.1. Flagellés**

Les flagellés intestinaux sont des parasites ubiquitaires, des régions tempérées et tropicales, dont la présence dans l'environnement varie en fonction du degré d'infestation et du niveau socio-économique des populations. Ainsi, la prévalence chez l'adulte varie de 2 à 7,5 % dans les pays industrialisés à 12 à 30 % dans les pays en voie de développement.

L'homme héberge de nombreux flagellés intestinaux mais seul *Giardia intestinalis* est pathogène, d'autres comme *Chilomastix mesnili*, *Trichomonas intestinal*, *Enteromonas hominis* sont habituellement peu ou pas pathogènes. La giardiose est la protozoose intestinale la plus répandue dans le monde.

#### **I.4.2.1.1. Classification**

*Giardia* a été observé pour la première fois en 1681 par l'hollandais Antonie van leewenhoek à l'aide d'un microscope de son invention (Boreham *et al.*, 1990). En 1915, Kofoïd crée le nom de « *Giardia lamblia* ».

Dans la classification basée sur sa morphologie, (Adam, 2001 ; Thompson *et al.*, 2000) *Giardia lamblia* appartient au :

- Règne des Protozoaires (micro-organisme unicellulaire eucaryotes, hétérotrophe)
- Phylum des Sarcomastigophora (sarcos = chair, mastix = fouet, phorein = porter)
- Sous phylum des Mastigophora (Les formes végétatives possèdent des flagelles pour la locomotion et la captation de la nourriture).
- Classe des Zoomastigophora (elles ont un mode de vie holozoïque de nutrition et absorbent leurs aliments par osmose par toute la surface de leur corps).
- Ordre des Diplomonadida (Symétrie bilatérale du fait d'une division longitudinale incomplète).
- Famille des Hexamitidae (elles sont munies de huit flagelles et possèdent une symétrie bilatérale).
- Genre : *Giardia* (Présence d'un disque adhésif ventrale).
- Espèce : *Giardia lamblia (intestinalis)*.

#### **I.4.2.1.2. Ecologie**

*Giardia* se nourrit d'éléments prélevés par pinocytose dans le contenu du tube digestif. Les glucides constituent la source principale d'énergie de ce protozoaire au métabolisme anaérobie (Thompson *et al.*, 2000). Il utilise également les acides aminés comme source de carbone (Levine *et al.*, 1980). Les trophozoïtes se fixent à la base des villosités de la bordure en brosse, sur l'épithélium intestinal, formant un véritable tapis. La fixation est permise grâce au disque adhésif ventral, selon un phénomène de succion entretenu par le mouvement des flagelles, et aussi par des interactions entre protéines membranaires du parasite (ex : lectine) et protéines des entérocytes (ex : trypsine) (Beugnet *et al.*, 2000). Les trophozoïtes peuvent s'enfoncer dans la lamina propria. Certains restent libres dans la lumière de l'intestin grêle, où ils se multiplient de façon asexuée par division binaire selon un plan de clivage longitudinal. Cette reproduction aboutit à la formation de deux cellules-filles identiques. Il se multiplie par

division binaire. Les kystes sont la forme de résistance du parasite dans le milieu extérieur. Les kystes de *Giardia* sont cosmopolites et peuplent les milieux les plus divers : Il y a fréquemment des kystes de *Giardia* dans les eaux usées, les eaux de surface, et dans les eaux souterraines et même dans la terre humide (Karanis *et al.*, 2007 ; Plutzer *et al.*, 2010). Ils demeurent toutefois relativement fragiles. Les kystes de *Giardia* peuvent survivre dans l'environnement pendant de longues périodes, selon les caractéristiques de l'eau. On a constaté qu'ils pouvaient résister à divers stress environnementaux, notamment la congélation, l'exposition à l'eau de mer et à des températures atteignant 37°C (Van Dyke *et al.*, 2012). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2004) estime l'incidence mondiale de la giardiase à 200 millions de cas par an.

#### **I.4.2.1.3. Cycle parasitaire**

*Giardia intestinalis*, est un parasite du tube digestif des hôtes qu'il colonise siégeant le plus souvent dans le duodénum et le jéjunum et responsable d'une parasitose intestinale : la giardiase. Le cycle de *Giardia* est très simple, monoxène, faisant alterner une phase de multiplication des trophozoïtes et un stade de kyste (figure 5). Le kyste pénètre dans le tube digestif de l'hôte. Le dékystement a lieu sous l'influence des enzymes gastriques (la pepsine) ou duodénales (la trypsine). La sortie du trophozoïte se fait à un pôle du kyste grâce aux mouvements de flagelles. À ce niveau un seul trophozoïte quadri nucléé apparaît, ce trophozoïte d'abord ovale, s'arrondit puis subit un processus de division dans les 15 à 30 min après le début du dékystement. Deux trophozoïtes binucléés et identiques sont ainsi formés (Bernarder *et al.*, 2001).

Les trophozoïtes colonisent la barrière épithéliale de l'intestin grêle. Par la suite, la reproduction des trophozoïtes se fait activement par simple fission binaire longitudinale entre 5 et 40 heures (Campbell et Faubert, 1994). Il y a d'abord division des noyaux puis division des organites en deux groupes. Ce n'est qu'après une formation complète de tous les organites que les deux cellules filles se séparent. Les trophozoïtes progressent dans le tube digestif et subissent l'enkystement (Campbell et Faubert, 1994). Les kystes formés sont alors rejetés avec les selles dans le milieu extérieur de façon intermittente. Une personne infectée peut excréter près de  $10^7$  kystes /gramme de selles (Das *et al.*, 2006). L'infection se transmet habituellement par voie oro-fécale, soit par voie directe interhumaine soit le plus souvent indirectement par l'intermédiaire d'aliments ou d'eaux souillées. La transmission du parasite est possible également au cours de certaines pratiques sexuelles avec contacts oro-anaux. Toutefois, on considère généralement qu'entre 10 à 100 kystes sont requis pour infecter un individu (Alexander *et al.*, 2014).

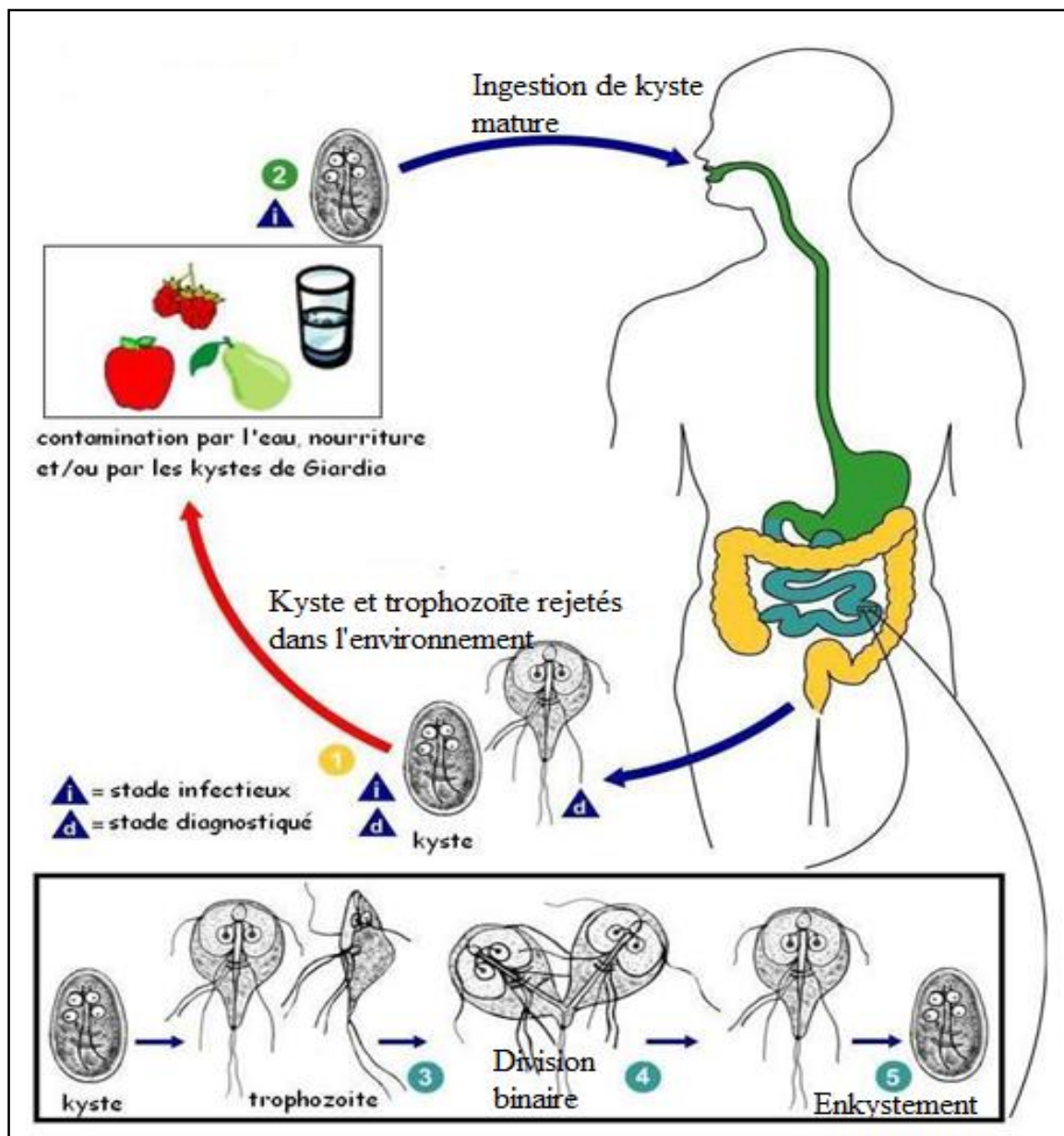


Figure 5 : Cycle de vie de *Giardia intestinalis* (CDC, 2004).

#### I.4.2.2. Amibes

Les amibes ont été pour la première fois décrites par August Johann Rösel von Rosenhof en 1757. Les amibes sont cosmopolites, avec une prédilection pour les zones tropicales en raison des conditions climatiques favorables, de l'absence ou l'insuffisance des mesures d'hygiène et d'assainissement liées le plus souvent à la pauvreté. Leur présence dans l'environnement est liée au péril fécal et donc en relation stricte avec une mauvaise hygiène fécale (déjections humaines souillant l'eau et le sol). On les retrouve donc le plus souvent dans les eaux et les sols humides, car ils sont sensibles à la dessiccation. Le kyste survit au minimum 15 jours dans l'eau à 18°C, il résiste bien aux agents chimiques.

L'intestin de l'Homme peut héberger diverses espèces d'amibes. Certaines sont de simples commensales, non pathogènes. Une seule espèce : *Entamoeba histolytica*, possède,



du fait de son action nécrosante sur les cellules, un pouvoir pathogène certain et est seule responsable de l'affection connue sous le nom d'amibiase (OMS 2017)

*Entamoeba histolytica*, est d'une amibe parasite qui se développe peu dans l'environnement.

#### **I.4.2.2.1. Classification**

La classification systématique d'*Entamoeba histolytica* d'après Schuster et Visvesvara, 2004a est la suivante :

- Règne des Protozoaires (eucaryotes unicellulaires)
- Phylum : Sarcomastigophora :(sarcos = chair, mastix =fouet, phorein = porter)
- Sous phylum : Sarcodina (protozoaire à corps nu ou protégé par une carapace, se multiplie par voie sexuée, se déplace grâce aux pseudopodes)
- Classe : Lobosea (présence de pseudopodes de type lobé)
- Ordre : Amoebidae (Amibes nues)
- Famille : Entamoebidae (Amibe peu pathogène)
- Genre : *Entamoeba* (vivant à l'intérieur du tube digestif de l'homme)
- Espèce : *Entamoeba histolytica*

#### **I.4.2.2.2. Ecologie**

*Entamoeba histolytica* est un parasite intracellulaire qui colonise le tube digestif de l'homme, mais qui se développe également dans l'environnement sous forme de kyste. Les kystes se forment lorsque les conditions environnementales de la forme végétative deviennent défavorables (froid, dessiccation ou épuisement des réserves nutritives). Ces kystes permettent aux amibes de survivre longtemps à l'état latente, avec une activité métabolique réduite. La forme kystique permet également la dissémination des espèces et l'implantation dans de nouveaux biotopes. La nourriture ingérée par phagocytose est stockée et digérée dans des vacuoles spécifiques (Meisler, 1985).

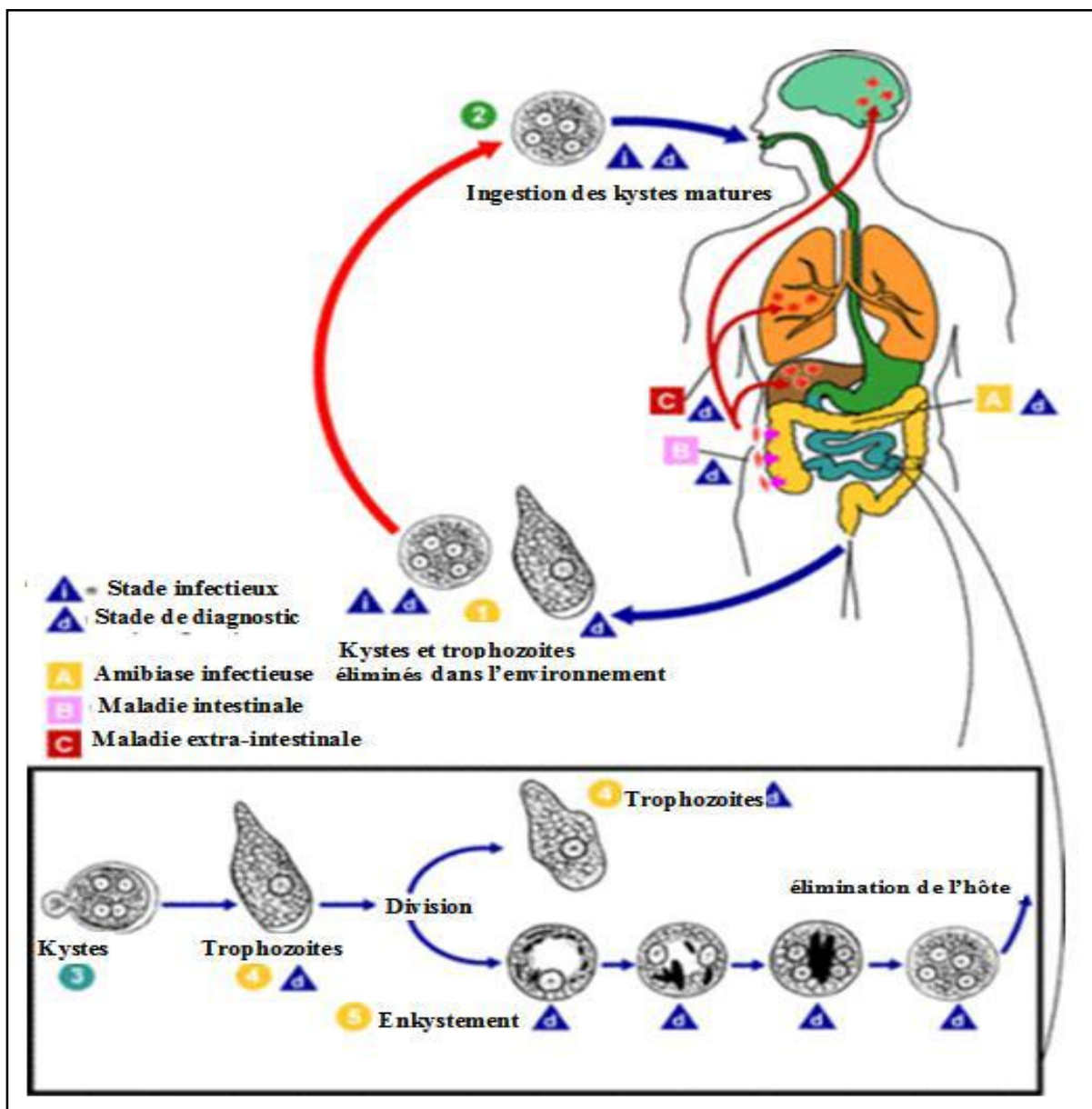
Les amibes, comme les autres organismes unicellulaires eucaryotes, se reproduisent de façon asexuée par mitose et cytokinèse, quand l'amibe est divisée (coupée en deux), seule la partie contenant le noyau va survivre et reconstituer une nouvelle cellule et un cytoplasme.

#### **I.4.2.2.3. Cycle évolutif**

*Entamoeba histolytica* qui se développe peu dans l'environnement a besoin d'un hôte pour compléter son cycle de vie, provoquant souvent un syndrome pathologique : l'amibiase.

Seul l'Homme est le réservoir du parasite. L'infestation est due aux formes de résistance du parasite : les kystes, éliminés dans les matières fécales. La contamination de

l'homme se fait par ingestion des kystes mûrs contenus dans les aliments et l'eau souillés (figure 6). Une fois que l'hôte a ingéré le kyste infestant à quatre noyaux, il perd au niveau de l'intestin grêle, la coque qui le protégeait et qui est lysée par les enzymes digestives. Une division nucléaire donne naissance à huit amibes ou amœboles, qui se transforment au niveau du côlon en formes végétatives ou trophozoïtes, non pathogènes, appelées formes minuta. Leur habitat est la lumière intestinale où elles se comportent comme de simples commensaux pour l'Homme chez lequel elles vivent en association avec les bactéries du tractus digestif dont le rôle apparaît comme capital pour la persistance de l'infestation. Ce cycle, au cours duquel à aucun moment il n'y a attaque de la muqueuse intestinale, est celui qui se déroule chez les malades en période de rémission et chez les porteurs sains dont le rôle est capital dans la dissémination du parasite (Brown *et al.*, 1999).



**Figure 6** : Cycle de développement d'*Entamoeba histolytica* (Brown *et al.*, 1999).

Sous l'influence de facteurs divers tenant à l'hôte et au parasite, la forme végétative *minuta grossit* et se transforme en forme *histolytica* hématophage qui pénètre dans la sous muqueuse colique, y exerce son action nécrotique entraînant des ulcérations de la paroi colique qui se surinfectent rapidement. De là elles peuvent même essayer par voie sanguine d'autres organes comme le foie notamment et y continuer à exercer leur action destructrice. Très vivaces, ces formes *histolytica* se multiplient activement mais sont incapables de s'enkyster. Pour se faire elles doivent revenir à la forme *minuta*. Pendant cette phase, il y a enkystement et les nouveaux kystes issus des trophozoïtes sont excrétés dans les selles et le cycle de vie recommence (Brown *et al.*, 1983).

### **I.4.2.3. Coccidies intestinales**

Les coccidies intestinales sont des protozoaires intracellulaires, parasites de la cellule Intestinale. Quatre genres de coccidies sont identifiés comme agents pathogènes gastro-intestinaux graves ou potentiellement mortels chez l'homme : *Cryptosporidium*, *Isospora*, *Cyclospora* et *Sarcocystis* (Coudert *et al.*, 2010).

#### **I.4.2.3.1. Ecologie**

Leur organisation, extrêmement simple, est l'effet d'une simplification occasionnée par la vie parasitaire. Ils parasitent certains animaux dont ils occupent les cellules épithéliales ou les tissus dans lesquels ils restent attachés; les appareils locomoteurs, flagellums et cils vibratiles, leur font complètement défaut. Les gamètes produisent un œuf (Oocyste) qui se retrouve dans l'environnement, c'est la forme de dissémination. La présence de *Cryptosporidium*, *Isospora*, *Cyclospora* a été signalée aussi bien au niveau des réservoirs d'eau au sein des habitations que dans certains sites naturels (lacs, rivières, cours d'eau, puits et sources) et même la terre humide, voire sèche. L'eau est donc le principal agent de dissémination (Mansfield et Gajadhar, 2004). L'oocyste peut rester viable et infectieux dans l'eau pendant plusieurs mois à des températures comprises entre 0 et 40°C. Il résiste à la majorité des désinfectants.

#### **I.4.2.3.2. *Cryptosporidium* spp.**

En 1895, Clarke fut le premier à observer une espèce du genre *Cryptosporidium*.

##### **I.4.2.3.2.1. Classification**

La classification de *Cryptosporidium* selon Leconte, 2013 est la suivante :

- Règne : Protozoaires (eucaryotes unicellulaires)
- Phylum : Apicomplexa :(tous les espèces sont des parasites et présentent un complexe apical)

- Classe : Sporozoa (reproduction asexuée et sexuée ; production d’oocystes)
- Sous classe : Coccidiasina (cycle de développement faisant intervenir le stade schizogonie, gaméto gonie et sporogonie, présence de gamonte de petite taille)
- Ordre : Eucoccidiorida (présence de stade mérogonie et schizogonie)
- Sous ordre : Eimeriorina (développement indépendant des macrogamètes et microgamètes ; zygote non mobile)
- Famille : Cryptosporidiidae (oocyste contenant quatre sporozoïtes nus, stades endogènes contenant un organelle d’attachement ; cycle de développement endogène)
- Genre : *Cryptosporidium* (absence de spécificité pour certaines espèces ; très grande prolificité ; développement intracellulaire)

#### **I.4.2.3.2.2. Cycle de développement**

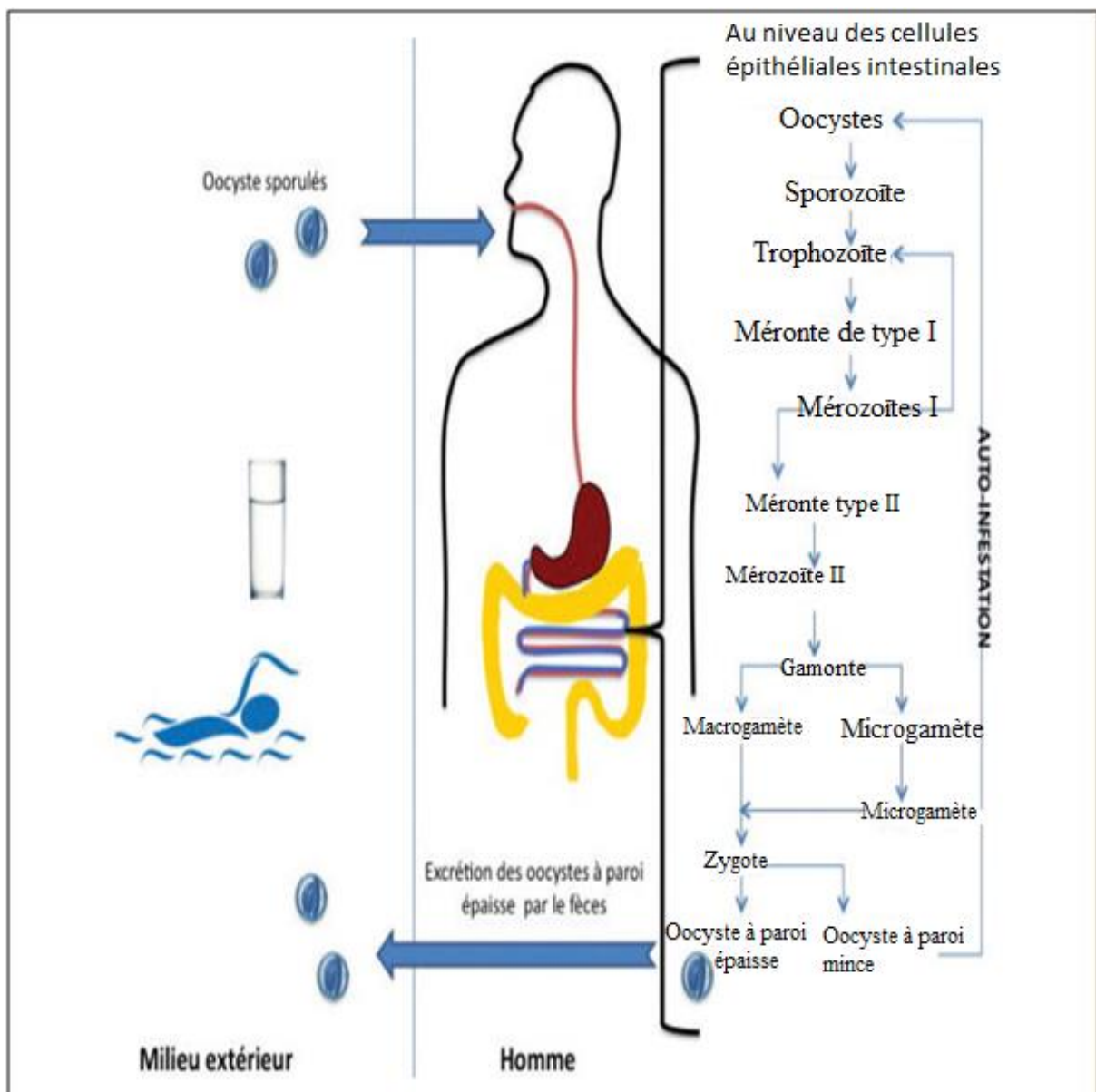
De nombreux travaux concernant l’ultra-structure de *Cryptosporidium* ont permis de l’inscrire dans un cycle monoxène et un seul hôte héberge les stades sexués et asexués. Le cycle de développement peut se reproduire en moins de 12 heures. À l’instar de celui des autres coccidies, le cycle biologique de *Cryptosporidium* comprend trois phases, schizogonique, gamogonique puis sporogonique (Nozais *et al.*, 2005) (figure 7).

Le cycle vital de *Cryptosporidium* commence par l’ingestion des oocystes. La durée totale du cycle, de la contamination digestive à l’élimination d’oocystes sporulés, varie d’environ 3-5 jours à 2 semaines. Une fois ingérés, les oocystes, sous l’action de la température, d’enzymes, des sels biliaires et dans le milieu réducteur de l’intestin, libèrent 4 sporozoïtes nus. Les sporozoïtes s’attachent alors à la bordure en brosse des entérocytes, de préférence dans la région de l’iléon où ils se transforment en trophozoïtes. La position qu’occupe *Cryptosporidium* au niveau des entérocytes est unique ; le parasite est intracellulaire mais extra-cytoplasmique (Koh *et al.*, 2013). Le trophozoïte donne naissance à un méronte de type I (contenant 8 mérozoïtes).

Libéré de la vacuole parasitophore, ces mérozoïtes de type I envahissent les cellules épithéliales voisines. Ces mérozoïtes ont deux devenir possibles : le recyclage, où ils vont donner naissance à de nouveaux mérontes de type I (le recyclage permet non seulement d’allonger la période d’excrétion, mais également d’augmenter le nombre d’oocystes excrétés et d’amplifier la pathogénicité) ou la phase gamogonique (Koh *et al.*, 2013). L’évolution en méronte de type II, qui contient 4 mérozoïtes (mérozoïtes type II). Ces derniers vont initier la reproduction sexuée. Les mérozoïtes de type II produiront les microgamontes mâles et le macrogamonte femelle. Les microgamontes deviennent multinucléés, chaque noyau étant ensuite incorporé dans un microgamète (un microgamonte peut produire jusqu’à 16

microgamètes). Les macrogamètes demeurent uninucléés en devenant des macrogamètes. La fécondation a lieu suite à la fusion des macrogamètes et des microgamètes. Celle-ci aboutit à la formation de zygotes (Koh *et al.*, 2013).

Au cours de la sporogonie qui fait suite à la fécondation, 4 sporozoïtes se différencient dans le cytoplasme du zygote pendant l'élaboration de la paroi du futur oocyste. Deux types d'oocystes sont produits : ceux à paroi épaisse qui constitueront la forme de résistance et de transmission et seront éliminés dans les selles de l'hôte ceux à paroi plus fine (environ 20 %), qui libèrent les sporozoïtes directement dans le tractus digestif et donnent lieu à une auto-infestation et à un nouveau cycle de développement chez le même hôte. L'auto-infestation à partir des oocystes à paroi mince et du recyclage des mérontes de type I est une particularité qui fait de *Cryptosporidium* un genre unique (Coudert *et al.*, 2010).



**Figure 7** : Cycle de développement de *Cryptosporidium parvum* (Koh *et al.*, 2013).

#### **I.4.2.3.3. *Cyclospora cayetanensis***

Probablement découvert par Eimer en 1870 dans l'intestin de la taupe. En 1902, Schaudin décrit pour la première fois le cycle de *Cyclospora*. L'analyse phylogénétique basée sur la séquence du gène de l'ARN 18S ribosomique, réalisée par Relman *et al.* (1996) confirme la nature du micro-organisme et sa parenté aux autres coccidies pathogènes chez l'homme (Relman *et al.*, 1996). *Cyclospora* est responsable de la cyclosporose chez l'homme.

##### **I.4.2.3.3.1. Classification**

*Cyclospora cayetanensis* selon (Coudert *et al.*, 2010) appartient au :

- Règne des Protozoaires (eucaryotes unicellulaires)
- Phylum : *Apicomplexa* :(tous les espèces sont des parasites et présente un complexe apicale)
- Classe : Sporozoasida (reproduction asexué et sexué ; production d'oocystes)
- Sous classe : Coccidiasina (cycle de développement faisant intervenir le stade schizogonie, gamétogonie et sporogonie, présence de gamonte de petite taille)
- Ordre : Eucoccidiorida (présence de stade mérogonie et schizogonie)
- Sous ordre : Eimeriorina (développement indépendant des macrogamètes et microgamètes ; zygote non mobile)
- famille : Eimeriidae ;
- Genre : *Cyclospora* ;
- Espèce : *Cyclospora cayetanensis* (en référence à l'institut cayetano au pérou). (Ortega et Sanchez, 2010).

##### **I.4.2.3.3.2. Cycle de développement**

Le cycle biologique de *C. cayetanensis* débute par l'ingestion d'oocystes matures et sporulés. Chaque oocyste renferme deux sporocystes contenant chacun deux sporozoïtes infestants. Le dékystement est provoqué par l'acidité gastrique, au contact de la bile et du suc pancréatique. Les sporozoïtes libérés dans la lumière intestinale pénètrent les entérocytes de l'intestin grêle. Le stade asexué implique une maturation et un développement des sporozoïtes dans l'entérocyte, en schizonte (ou méronte) qui renferment un nombre variable de mérozoïtes. Le schizonte de type I contient 8 à 12 mérozoïtes matures (0,5 x 3-4 µm), le type II en contient 4 (0,7-0,8 x 12-15 µm). La rupture des cellules épithéliales infestées libère les mérozoïtes qui envahissent d'autres entérocytes pour donner de nouveaux schizontes ou pour évoluer vers un stade sexué, avec la formation de gamètes mâles ou femelles. La fusion des gamètes donne naissance à un oocyste immature excrété dans les selles à la mort de l'entérocyte. Une période de maturation de 7 à 15 jours dans le milieu extérieur est nécessaire

pour achever la sporulation de l'oocyste qui devient infestant (Smith, 2007 ; CDC 2009 ; Ortega et Sanchez, 2010) (figure 8).

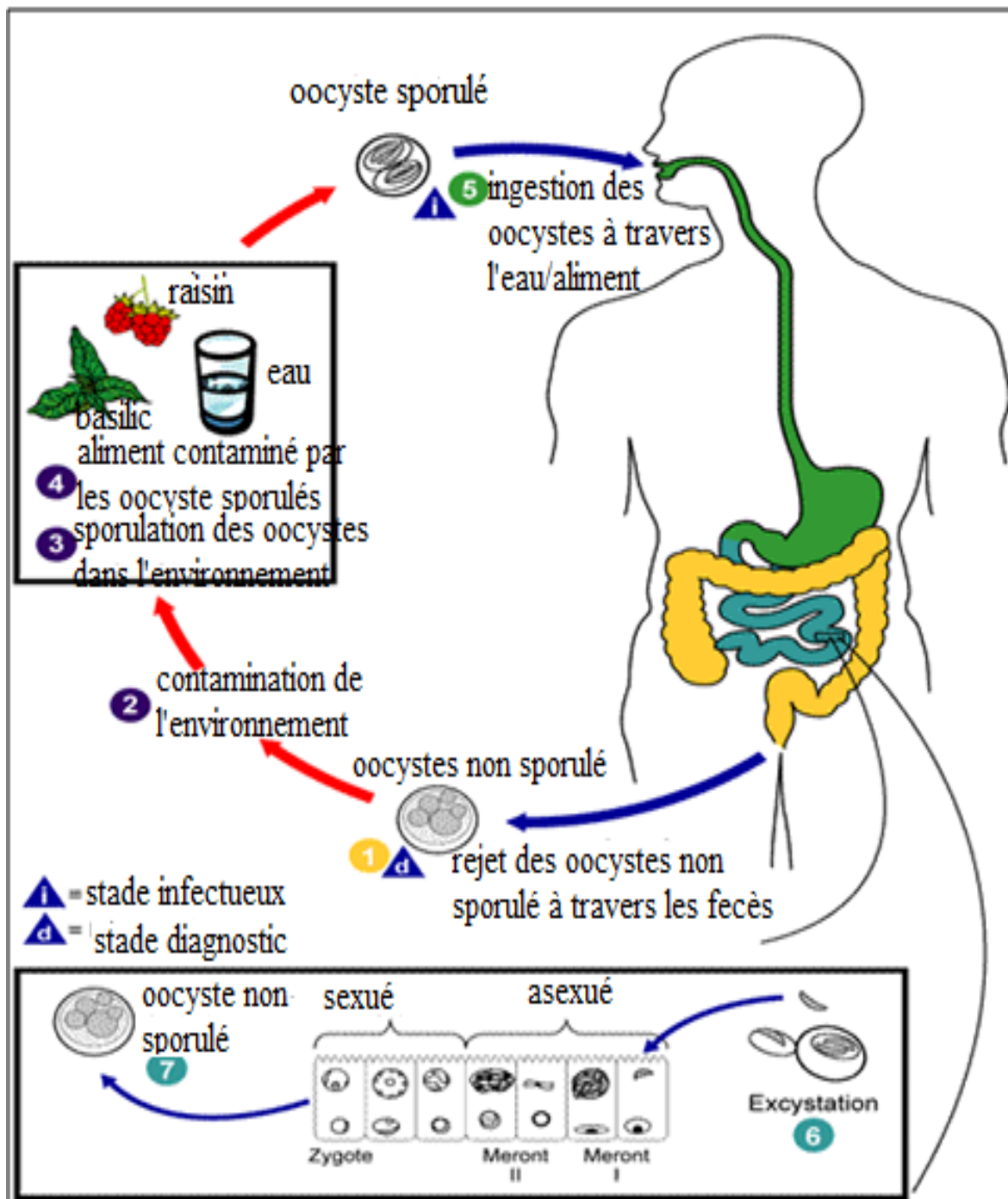


Figure 8 : Cycle de vie de *Cyclospora cayentanensis* (CDC- 2009).

#### I.4.2.3.4. *Isospora belli*

*Isospora belli* est décrit pour la première fois par Raillet et Lucet. En 1890, ils décrivent la forme kystique de l'isosporose. La taxonomie de ce groupe a été révisée par Frenkel en 1974.

#### **I.4.2.3.4.1. Classification**

*Isospora belli* selon (Chauve, 2007) appartient au :

- Règne : Protozoaires (eucaryotes unicellulaires)
- Phylum : Apicomplexa : (tous les espèces sont des parasites et présente un complexe apicale)
- Classe : Sporozoa (reproduction asexué et sexué ; production d'oocystes)
- Sous classe : Coccidiasina (cycle de développement faisant intervenir le stade schizogonie, gamétogonie et sporogonie, présence de gamonte de petite taille)
- Ordre : Eucoccidiorida (présence de stade mérogonie et schizogonie)
- Sous ordre : Eimeriorina (développement indépendant des macrogamètes et microgamètes ; zygote non mobile)
- famille : Isosporidae (cycle homoxène, sporulation exogène) ;
- Genre : *Isospora* (oocystes sporulés à deux sporocystes contenant chacun quatre sporozoïtes) ;
- Espèce : *Isospora belli*.

#### **I.4.2.3.4.2. Cycle de développement**

Le cycle est monoxène et comporte deux phases : cycle endogène (à l'intérieur du tube digestif) et cycle exogène (dans l'environnement extérieur) (Desportes *et al.*, 2005 ; Lagrange, 2005). Le développement comprend trois étapes : la multiplication asexuée ou schizogonie, la reproduction sexuée ou gamogonie et la sporogonie ou sporulation (figure 9).

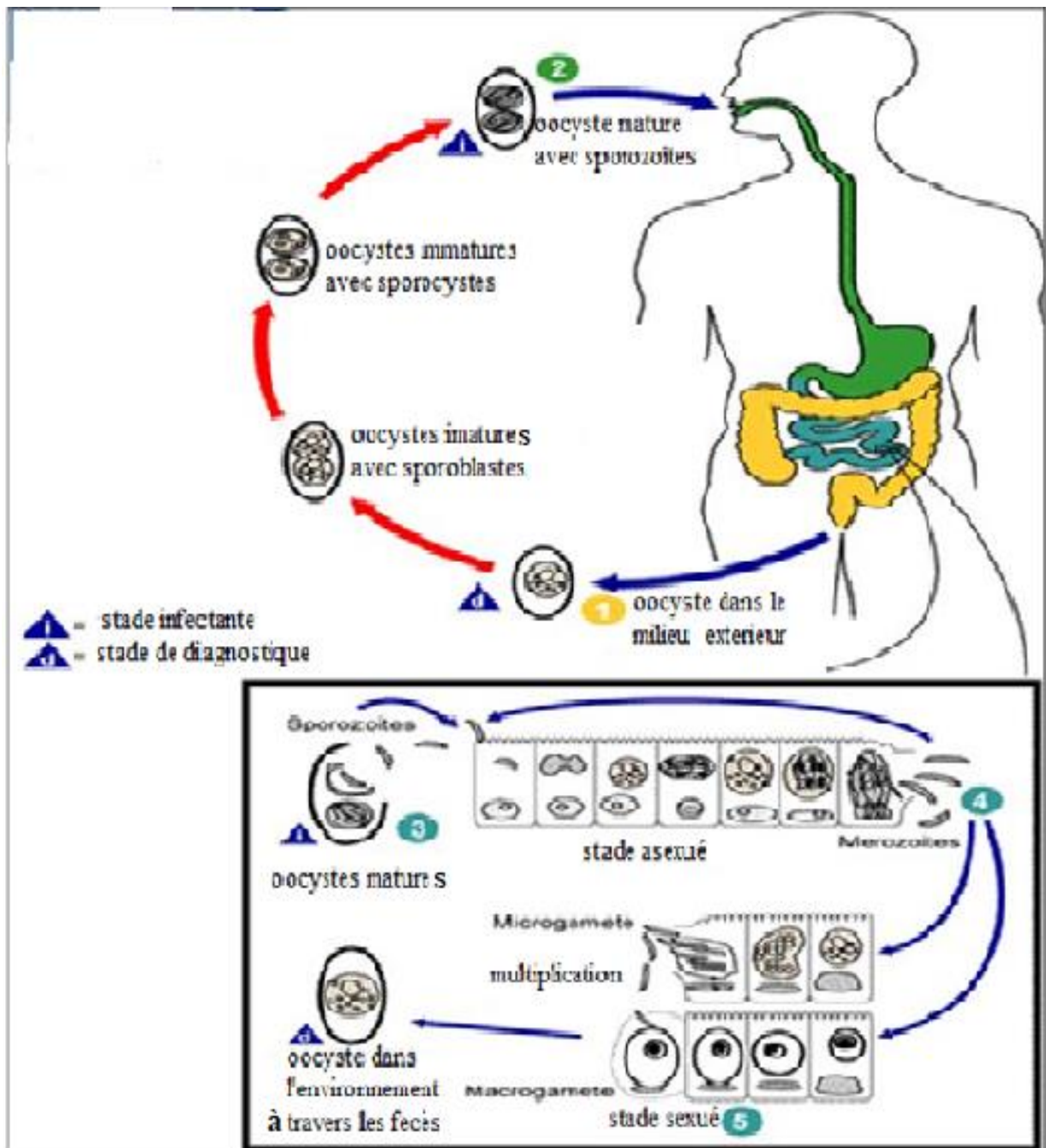
L'homme s'infecte en ingérant des oocystes matures. La déhiscence des sporocystes dans la lumière de l'intestin grêle libère les sporozoïtes qui pénètrent dans les entérocytes. La phase schizogonique asexuée débute par la transformation du sporozoïte à noyau unique en un schizonte à huit noyaux. Le schizonte produit huit mérozoïtes qui parasitent de nouveaux entérocytes. Au cours de la phase gamogonique, certains mérozoïtes vont envahir d'autres entérocytes et évoluer vers la forme sexuée du parasite, avec formation d'une part des microgamontes multinuclées puis des microgamètes flagellés, et d'autre part des macrogamètes. La fécondation du macrogamète par un microgamète aboutit à la formation d'un oocyste non sporulé, qui est excrété dans la lumière intestinale puis dans les selles (Desportes *et al.*, 2005).

L'oocyste excrété dans les selles contient un sporoblaste, dont la division nucléaire aboutit à deux sporoblastes mononucléés. Ces sporoblastes vont s'allonger, devenant deux sporocystes, au sein desquels deux divisions nucléaires successives aboutissent à la formation de 4 sporozoïtes par sporocyste. L'oocyste est sporulé quand les 8 sporozoïtes sont clairement



visibles (Desportes *et al.*, 2005). La sporulation s'effectue en aérobiose, entre 1 et 5 jours, dans un environnement extérieur humide et chaud (entre 20 °C et 40 °C). Entre 30 °C et 37 °C, la sporulation est plus rapide (moins de 16 h). La contagiosité est minime car seul l'oocyste sporulé est infectant (Desportes *et al.*, 2005).

Les caractéristiques de taille, de forme, et le nombre de sporozoïtes permettent de différencier *Isospora belli* des autres coccidies telles que *Cryptosporidium*, *Sarcocystis* et *Cyclospora*.



**Figure 9** : Cycle de vie de *Isospora belli* (Desportes *et al.*, 2005).

**Tableau I :** Caractéristiques de quelques protozoaires intestinaux (Coudert *et al.*, 2010)

Parasites	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Cryptosporidium</i> spp.	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	<i>Isospora belli</i>
Formes	Kystes ovales	Kystes sphérique	Oocystes sphérique	Oocystes sphérique	Oocystes ellipsoïdale
Taille	10-18µm	12-14 µm	4-6µm	8-10µm	18-30µm
Voie d'élimination	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces
Contenue	2 à 4 noyaux ; fragment de disque ventraux en forme de S au milieu du kyste	1 à 4 Noyaux ; Corps cristalloïdes à bout arrondie parfois grosse vacuole	4 Sporozoïtes	4-6 Globules (immature) ou 2 sporocystes à maturité	01 sporoblaste ou 2 sporocystes à 4 sporozoïtes à maturité
Période de maturation à l'extérieur	3 à 7 jours	Directement infestant (auto-infestation)	Directement infestant (auto-infestation)	14 jours	1 à 5 jours
Aspect	Clair, réfringent	Granuleux, sale	Granuleux avec un point noir visible	Globuleux	Transparent
Répartition mondiale	Cosmopolite Fréquent dans les Pays tropicaux et tempérés	Cosmopolite fréquent dans les régions tropicales et subtropicales	Cosmopolite	plus fréquent en zones tropicales et subtropicale	Zone tropicales et intertropical es humide
Voie de contamination	féco-oral, sexuel	féco-oral	féco-oral, sexuel	féco-oral	féco-oral
Duré du cycle	5 à 25 jours	10 jours environs	3-5 jours 2 semaines	7 à 20 jours	Cycle long
parasitose	giardiase	amibiase	Cryptosporidiose	isosporose	cyclosporose
Personnes à haut risque	les nourrissons et les petits enfants	les femmes enceintes et les personnes âgées	Nourrissons, immunodéficients, homosexuels, Vétérinaires et fermiers	Enfants, immunodéficients, homosexuels	immunodéficients
Réservoir	l'Homme	l'Homme	l'Homme et les animaux	l'Homme	l'Homme

## **I.5. Helminthes**

Les helminthes sont des métazoaires triploblastiques dépourvus de véritable cœlome. Deux grandes catégories d'helminthes sont parasites de l'homme : les vers ronds ou nématodes, et les vers plats ou plathelminthes. Parmi les plathelminthes, on distingue les cestodes et les trématodes (Aminata, 2006).

### **I.5.1. Némathelminthes**

Ce sont des vers ronds dont le développement s'effectue par mues cuticulaires. Cet embranchement regroupe des organismes pseudo-coelomates, avec un tube digestif ouvert sur une bouche et un anus. Le système nerveux est composé simplement d'un ganglion périoesophagien et de deux cordons nerveux. La respiration s'effectue par la cuticule, et il y a une absence de système circulatoire et respiratoire. Certaines estimations portent à 100 millions le nombre d'espèces composant ce phylum, celles-ci colonisent le sol, le milieu marin ou l'eau douce, et mènent une vie libre et/ou parasite des animaux (*Enterobius* et *Ascaris*) ou des plantes (Poinar *et al.*, 2010). Les nématodes regroupent des helminthes transmis par le sol et par contamination féco-orale. Les œufs libérés dans le milieu par la forme adulte doivent y séjourner au moins 15-30 jours selon les conditions du milieu et les espèces, pour devenir infectieux. Seuls les œufs d'*Enterobius vermicularis* sont facilement dégradés dans l'environnement. Ils sont plus répandus dans les régions tropicales et subtropicales, surtout lorsque les conditions d'hygiène sont inadéquates (Burkhart *et al.*, 2005).

#### **I.5.1.1. *Ascaris lumbricoïdes***

##### **I.5.1.1.1. Position systématique**

La classification d'*Ascaris lumbricoïdes* d'après De Ley *et al.* (2006) est la suivante :

- Phylum : Némathelminthes (vers rond à corps mou ; tube digestif ouvert sur une bouche et un anus)
- Classe : Chromadorea (œsophage en forme de bulbe, amphides généralement en forme de fentes ou de spirales d'anneaux) ;
- Ordre : Rhabditida (Vie libre, zooparasite et phytoparasite)
- Famille : Ascarididae (Vers ronds parasites intestinaux)
- Genre : *Ascaris* (Les vers adultes peuvent ressembler à un gros ver de terre ou lombric)
- Espèce : *Ascaris lumbricoïdes*

### I.5.1.1.2. Cycle évolutif

C'est un cycle simple, direct, sans hôte intermédiaire (Figure 10). Les femelles fécondées pondent des œufs qui sont éliminés dans le milieu extérieur (1) où ils s'embryonnent si l'oxygénation, l'humidité et la température sont optimales (28° à 32°C) (2). Après ingestion via les eaux de boisson, les légumes, les fruits souillés, chaque œuf libère une larve L2 au niveau de l'intestin grêle (3). Les larves L2 vont migrer par les vaisseaux portes jusqu'au foie (4) et aux poumons (5) et regagner l'intestin grêle par déglutition (6), où elles parviendront à maturité sexuelle (7). La ponte commence deux mois après l'ingestion des œufs infestants (Rohingam, 2008). *Ascaris lumbricoïdes* est responsable des infections qualifiées d'ascaridiose.

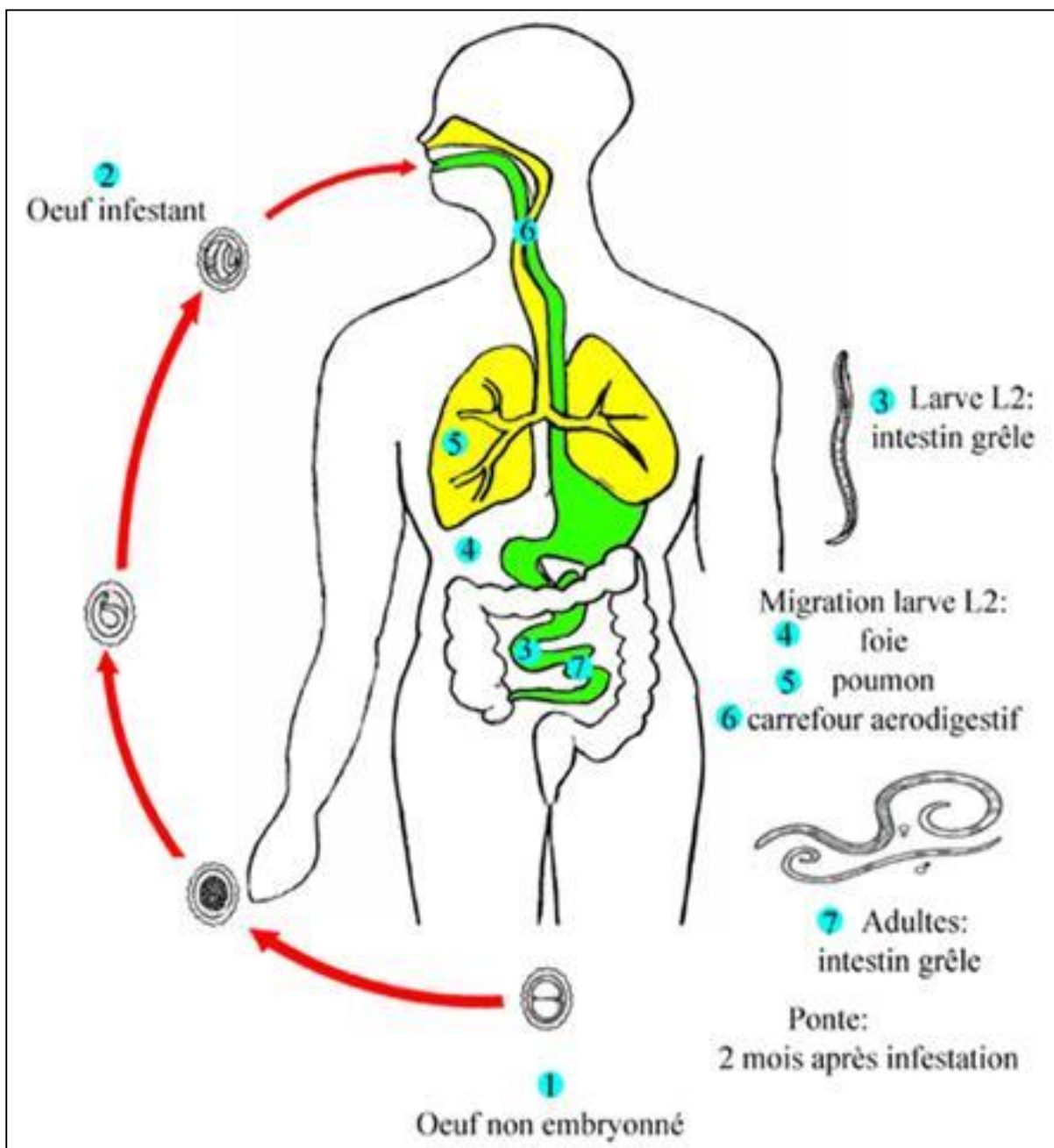


Figure 10 : Cycle parasitaire d'*Ascaris lumbricoïdes* (CDC, 2009).

### **I.5.1.2. *Ankylostoma duodenale***

#### **I.5.1.2.1. Systématique**

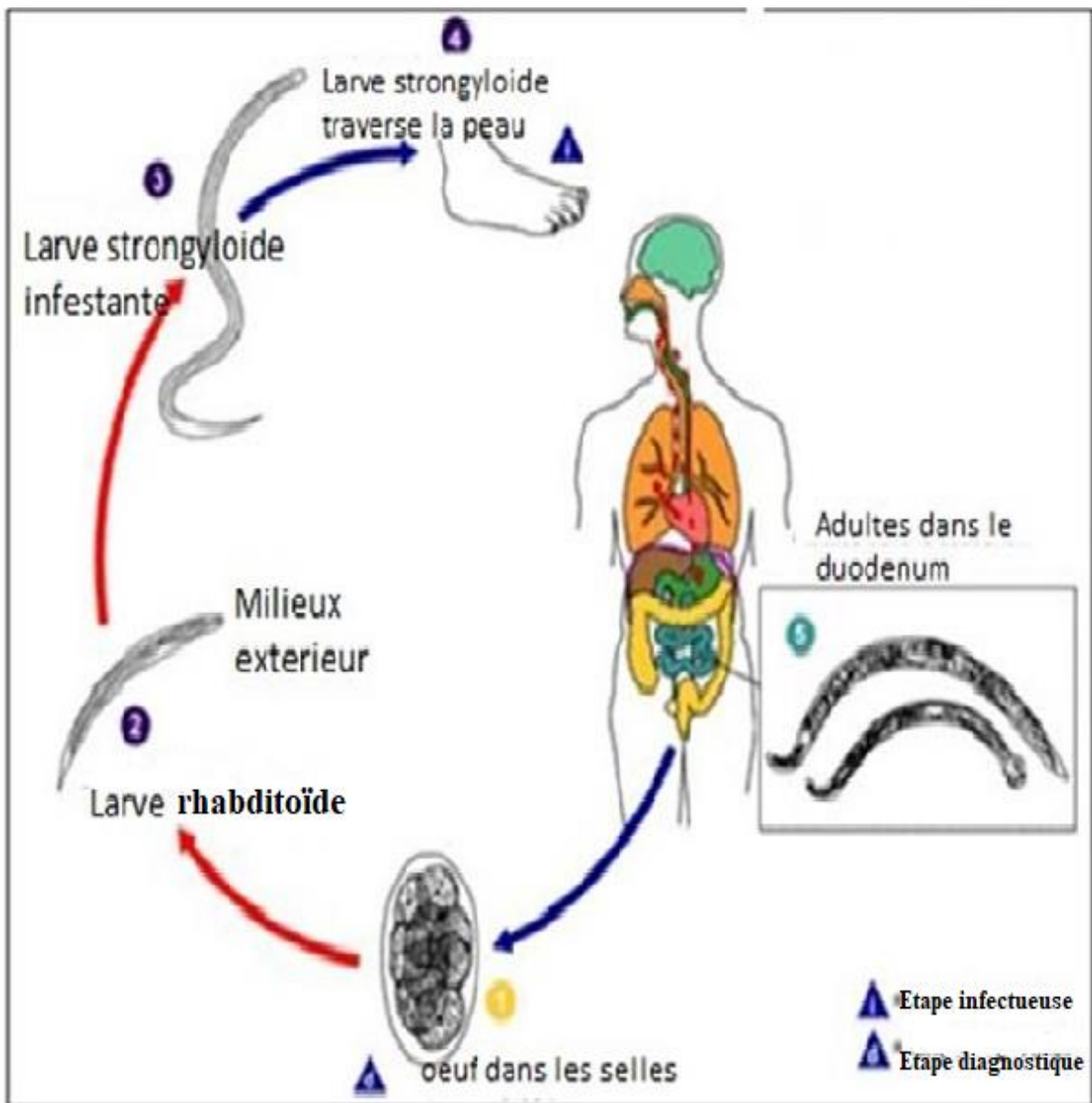
Classification scientifique d'*Ankylostomes* (Pawlowski *et al.*, 1993) est la suivante :

Phylum : Nématelminthes (Vers rond à corps mou ; développement se fait par mues cuticulaires ; tube digestif ouvert sur une bouche et un anus)

- Classe : Chromadorea (Œsophage en forme de bulbe, amphides généralement en forme de fentes ou de spirales d'anneaux)
- Ordre : Rhabditida (Vie libre, zooparasite et phytoparasites)
- Famille : Ankylostomatidae (La tête se prolonge dans la même direction que la courbure du corps, les œufs sont ellipsoïdes, on observe un espace clair entre l'embryon et la coque)
- Genre : *Ankylostoma* (Vers blanc grisâtre, il dispose de deux plaques ventrales sur le bord antérieur de la capsule buccale)
- Espèces : *Ankylostoma duodenale* (Vit dans le duodénum)

#### **I.5.1.2.2. Cycle de vie**

Il est monoxène, possède une phase dans le milieu extérieur et une autre dans l'organisme de l'homme (Figure 11). Dans le milieu extérieur, lorsque les conditions Physico-chimiques sont favorables, les œufs non embryonnés émis par la femelle se segmentent en blastomères. Dans les conditions optimales (température de 16 à 20°C pour *A. duodenale*, oxygénation suffisante, atmosphère humide et obscure) l'embryon se forme en 24 heures puis perce la coque de l'œuf libérant une larve rhabditoïde (L1). Au troisième jour, la larve L1 subit une mue et libère la larve strongyloïde L2 non infestante. Vers le cinquième jour, la larve L2 mue et donne la larve infestante (L3) dont la longévité est de 3 à 6 semaines. Ces larves possèdent un géotropisme négatif, un histotropisme et un thermotropisme positif. Au contact d'une peau humaine, la larve L3 devient active et pénètre à travers le tégument. Elle gagne la circulation sanguine, les poumons au troisième jour et atteint la trachée au quatrième jour. Elle migre dans l'œsophage, l'estomac et atteint l'intestin (duodénum) au huitième jour. Dans l'intestin, les larves se transforment en adultes vers le trentième jour, s'accouplent et la ponte des œufs commence au quarantième jour environ après la contamination. Ces œufs seront éliminés dans les selles (Ambassa, 1980).



**Figure 11** : Cycle parasitaire d'*Ankylostoma duodenale* (CDC, 2009).

### **I.5.1.3. *Enterobius vermicularis***

#### **I.5.1.3.1. Classification**

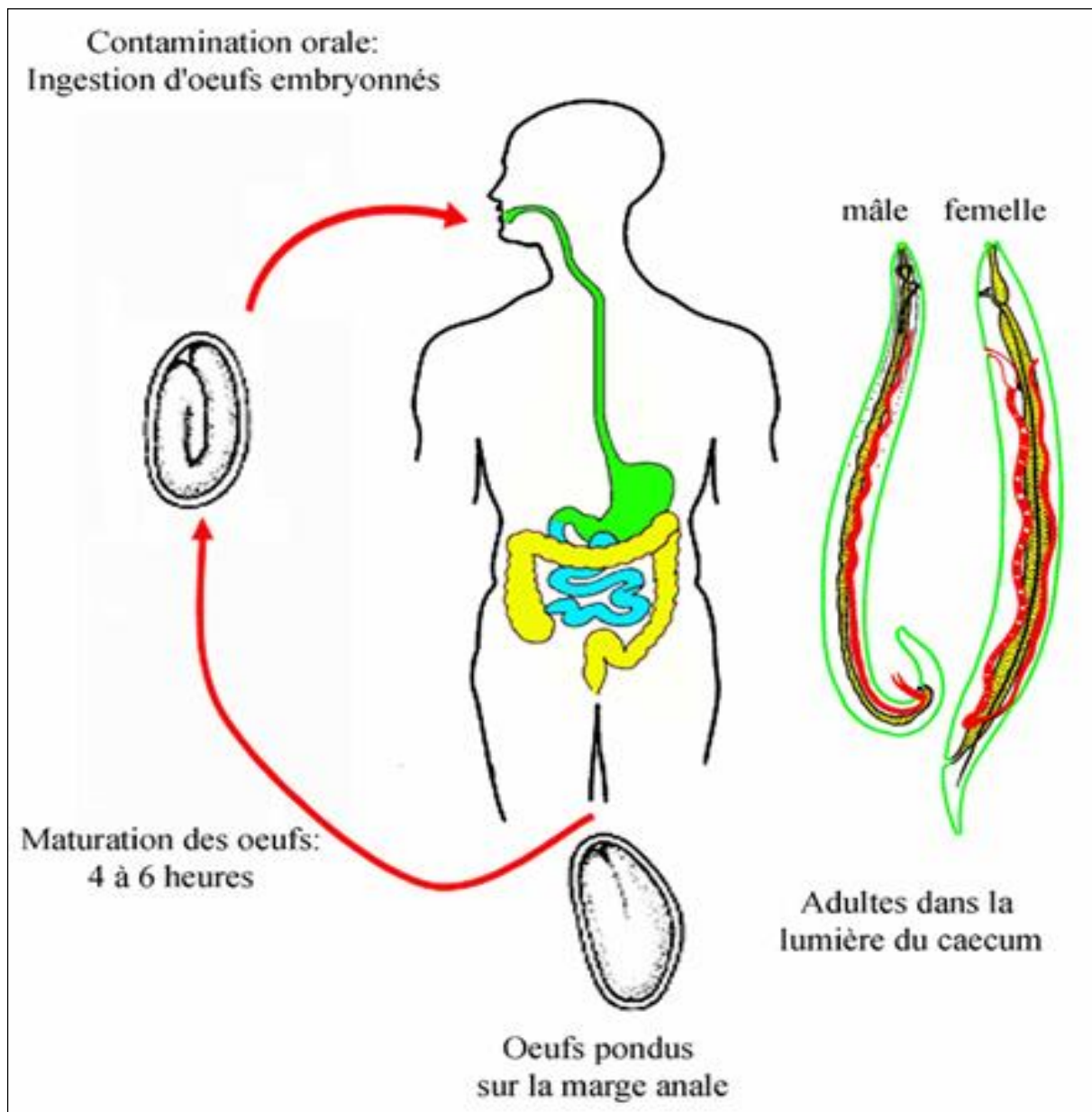
La classification d'*Enterobius vermicularis* d'après De Ley *et al.*, (2006) est la suivante :

- Phylum : Nématelminthes (Vers rond à corps mou ; développement se fait par mues cuticulaires ; tube digestif ouvert sur une bouche et un anus)
- Classe : Chromadorea (Œsophage en forme de bulbe, amphides généralement en forme de fentes ou de spirales d'anneaux)
- Ordre : Rhabditida (Vie libre, zooparasite et phytoparasites)
- Famille : Oxyuridae (Les femelles fécondées vont pondre à la marge anale, y provoquant un prurit intense, les œufs sont rarement mélangés aux selles)

- Genre : *Enterobius* (Le ver se localise particulièrement dans le cœcum de l'Homme, possède une longue extrémité postérieure pointue)
- Espèce : *Enterobius vermicularis*

### I.5.1.3.2. Cycle de vie

Le cycle est direct (Figure 12). Les femelles vivent dans le gros intestin. Lorsqu'elles sont gravides, elles gagnent le rectum et pondent dans la région péri-anale. Ces œufs contiennent une larve L1 au moment de la ponte ou quelques heures plus tard. L'infestation est possible pratiquement dès la ponte. Les œufs avalés éclosent dans le duodénum, les larves muent jusqu'au stade adulte et gagnent le gros intestin. Les œufs qui éclosent dans la région péri-anale peuvent également remonter dans le gros intestin et devenir adultes (Burkhart, 2005; Cook *et al.*, 2009).



**Figure 12** : Cycle parasitaire d'*Enterobius vermicularis* (CDC, 2009).

#### **I.5.1.4. *Strongyloïdes stercoralis***

##### **I.5.1.4.1. Classification**

Le nom scientifique de *Strongyloides stercoralis* a été donné par Bavay en 1876. La classification systématique d'après Gordon, 2000 est la suivante :

- Phylum : Nématelminthes (Vers rond à corps mou ; développement se fait par mues cuticulaires ; tube digestif ouvert sur une bouche et un anus)
- Classe : Secernentea (Amphide ouvertures sont des pores /en forme de fente, plasmides présent, système excréteur tubulaire, cuticule striée en deux ou quatre couches, trois glande oesophagiennes)
- Ordre : Rhabditida (Vie libre, zooparasite et phytoparasites)
- Famille : Strongyloididae (Grande capsule buccales)
- Genre : *Strongyloides* (La femelle parthénogénétique vit profondément insérée dans la muqueuse duodéno-jéjunale, non hématophage, les œufs sont non morulés dès la ponte qui évoluent très rapidement)
- Espèce : *Strongyloides stercoralis*

##### **I.5.1.4.2. Cycle biologique**

La larve *Strongyloides* (avec un renflement œsophagien unique) contamine l'homme par voie transcutanée (marche pieds nus) (3 et 3 bis). Elle gagne le poumon par voie lymphatique ou sanguine (4). Après avoir traversé la paroi de l'alvéole pulmonaire, elle gagne les bronches puis la trachée. Elle est déglutie (5), gagne l'intestin grêle, devient une femelle adulte parthénogénétique qui s'enfonce dans la muqueuse et y pond ses œufs. Les œufs éclosent dans la muqueuse intestinale, les premières larves rhabditoïdes apparaissent dans les selles 27 jours après la contamination (Figure 13). Une température du sol supérieure à 20°C, favorise la transformation des larves rhabditoïdes émises dans les selles en adultes libres stercoraux capables de fécondation. Elle aboutit à l'émission d'œufs puis de larves rhabditoïdes de seconde génération, capables de devenir des larves strongyloïdes infestantes (cycle stercoral) (Anofel, 2014).

Dans l'intestin de l'homme, les larves rhabditoïdes peuvent se transformer en larves strongyloïdes capables de réinfestation à travers la muqueuse du tube digestif ou de la marge anale sans passage par le milieu extérieur (3). Ce cycle endogène d'auto-infestation explique la ténacité et la durée illimitée de cette parasitose.



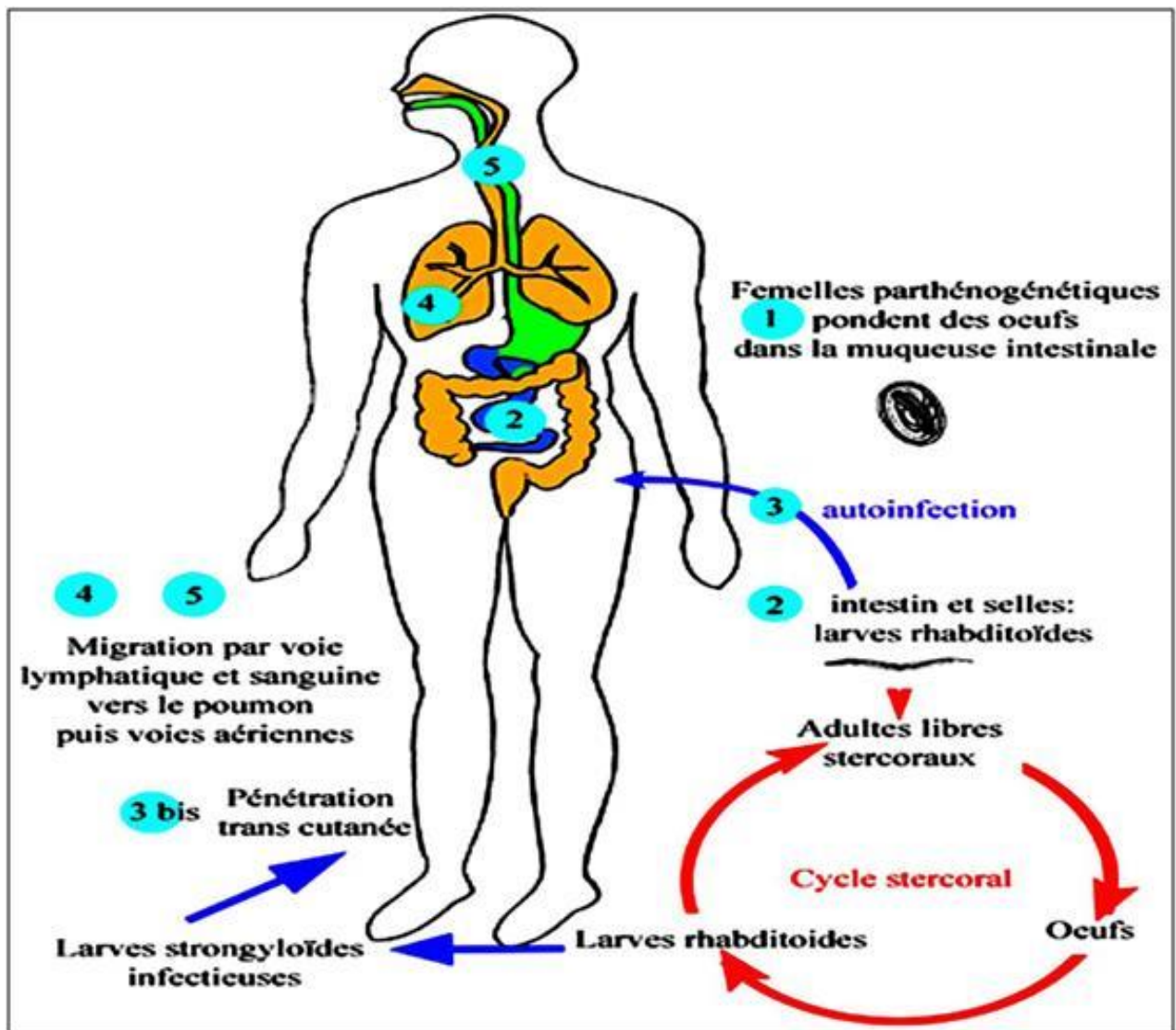


Figure 13 : Cycle parasitaire de *Strongyloides stercoralis* (Anofel, 2014).

### I.5.2. Plathelminthes

Ce sont des acéломates secondaires, c'est-à-dire qu'ils ont perdu leur coélome au cours de l'évolution. Ces vers plats ne possèdent qu'une seule cavité corporelle (parfois absente) et une unique ouverture, servant pour les apports alimentaires et l'élimination des déchets. L'appareil respiratoire est absent, les échanges gazeux s'effectuent par diffusion à travers le tégument. La plupart de ces vers sont hermaphrodites, et se reproduisent par fécondation croisée ou par autofécondation (Euzéby, 2004). Seules les classes des cestodes et des trématodes feront l'objet de notre étude.

#### I.5.2. 1. Cestodes

Les cestodes ont un corps plat, segmenté et un aspect rubané. Les parasites adultes sont composés d'un scolex, qui porte les éléments permettant de s'accrocher à l'hôte et d'un cou, générant une succession de proglottis chacun possédant un ensemble complet d'organes

reproducteurs mâles et femelles. Le nombre de proglottis varie selon les genres : jusqu'à 2500 chez *Taenia saginata*, trois pour *Echinococcus granulosus*. Le système digestif est absent : les aliments pré-digérés par l'hôte sont absorbés par le tégument possédant des microtiches (microvillosités). Ce sont des osmotrophes. Leur principale source d'énergie, peut être obtenues par phosphorylation oxydative, ou par deux voies anaérobiques, la fermentation lactique et la dismutation du malate, processus au cours duquel ce dernier est oxydé en pyruvate par une enzyme malique (Braeckman *et al.*, 2010). L'absence de voie métabolique des acides gras et du cholestérol oblige les cestodes à utiliser les transporteurs d'acide gras et des enzymes d'élongation des lipides de l'hôte. Les proglottis postérieurs (les plus âgés) sont matures pour la fonction reproductrice femelle. Ils sont fécondés par les proglottis antérieurs (plus jeunes), de fonction mâle. Les œufs atteignent la maturité après un passage de 18 à 20 jours dans de l'eau douce entre 15-25°C. *Taenia* spp. a une forte prévalence en Amérique latine, Europe de l'Est, Afrique sub-saharienne et en Asie. *Diphyllobothrium* spp. est surtout retrouvé en Afrique, Europe, Asie et Moyen-Orient (Zheng *et al.*, 2013).

#### **I.5.2.1.1. *Diphyllobothrium latum***

##### **I.5.2.1.1.1. Classification**

La classification systématique d'après Gordon, 2000 est la suivante :

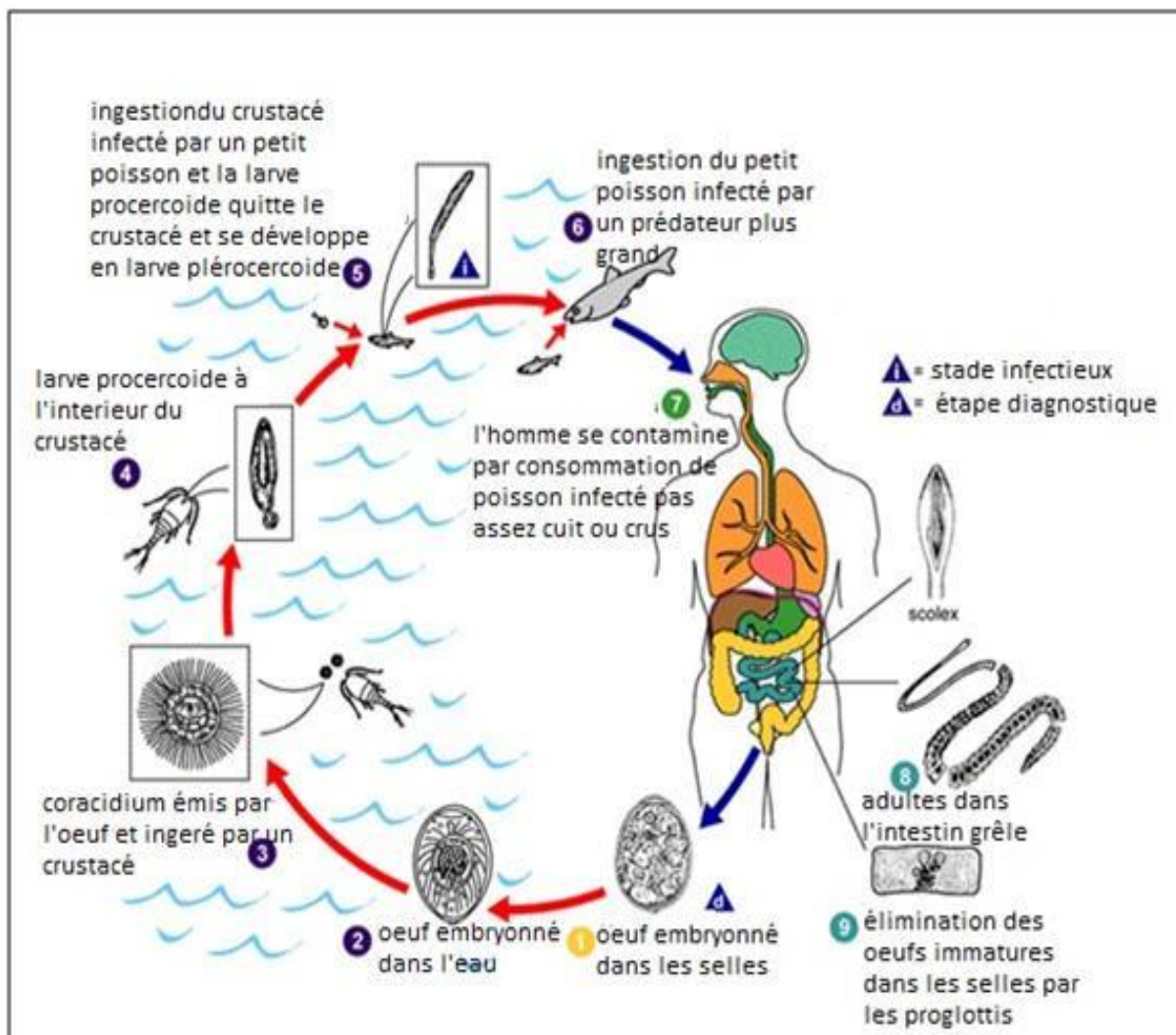
- Phylum : Plathelminthes (Vers plats acéломates, possèdent une seule cavité corporelle (parfois absente) et une unique ouverture, l'appareil respiratoire est absent, les échanges gazeux s'effectuent par diffusion à travers le tégument)
- Classe : Cestoda (Présence d'un scolex et d'un cou générant une succession de proglottis)
- Ordre : Pseudophyllidae (Le scolex est long et minuscule il est suivi après l'étroite zone germinative appelée cou d'une très longue chaîne rubanée de segment successifs plus large que long : les proglottis)
- Famille : Diphyllobothriidae (La tête ou scolex est muni de deux fentes longitudinales appelées bothridies)
- Genre : *Diphyllobothrium* (Ver plat rubané)
- Espèce : *Diphyllobothrium latum*

##### **I.5.2.1.1.2. Cycle de vie**

Des œufs non embryonnés sont éliminés dans les selles du mammifère hôte (hôte définitif, où les vers se reproduisent). Dans des conditions appropriées, les œufs ou oncosphères deviennent matures (en 18 à 20 jours approximativement) et dans l'eau se transforment en coracidium (embryon cilié nageur). Après ingestion par un crustacé d'eau

douce comme un cyclops (premier hôte intermédiaire), le coracidium devient une larve procercoïde (d'aspect vermiforme). Après l'ingestion du crustacé par un deuxième hôte intermédiaire, en général un vairon ou un autre petit poisson d'eau douce, les larves de procercoïdes se transforment en larves plérocercoides .

Les larves plérocercoides constituent l'étape contagieuse pour l'hôte définitif (humains y compris). Ces deuxièmes hôtes intermédiaires de petite taille peuvent être mangés par de plus grandes espèces prédatrices, par exemple, la truite, la perche et le brochet. Dans ce cas, les larves peuvent migrer vers les muscles des poissons prédateurs plus grands et les mammifères peuvent contracter la maladie en mangeant ces poissons infectés, crus ou pas assez cuits. Après l'ingestion des poissons infectés, les larves plérocercoides se transforment en adultes immatures puis en ténias adultes mûrs qui résideront dans l'intestin grêle. Les adultes se fixent à la muqueuse intestinale au moyen de deux crochets bilatéraux (bothridies) de leur scolex. Des œufs immatures sont évacués des proglottis (jusqu'à 1 000 000 œufs par jour et par ver) et sont éliminés dans les selles.



**Figure 14 :** Cycle de vie de *Diphyllobothrium latum* (Waki *et al.*, 1986)

Les œufs apparaissent dans les selles 5 à 6 semaines après le début de l'infection. Le ténia peut vivre jusqu'à 20 ans. Les larves survivent à la mort du poisson et sont détruites par une température supérieure à 50 °C (Waki et Takahashi, 1986).

### **I.5.2.2. Trématodes**

Ces plathelminthes possèdent des ventouses buccales et ventrales sur la forme adulte pour pouvoir se maintenir dans les tissus de l'hôte et présentent une régression des organes sensoriels. Les vers sont hermaphrodites. A l'émission, les œufs sont non-embryonnés. Ils doivent séjourner en eau douce bien oxygénée, à une température supérieure à 10°C, avant d'éclore. Ils sont retrouvés dans les zones tempérées et tropicales (Shu *et al.*, 2012). Les œufs de *Fasciola hepatica* par exemple résistent peu de temps à la dessiccation ou au gel, mais peuvent survivre jusqu'à 1 ou 2 ans dans un environnement froid et humide (Bourée, 2013).

#### **I.5.2.2.2. *Fasciola hepatica***

##### **I.5.2.2.2.1. Classification**

La classification systématique d'après Gordon, 2000 est la suivante :

- Phylum : Plathelminthes (Vers plats acéломates, possédant une seule cavité corporelle (parfois absente) et une ouverture unique, appareil respiratoire absent, échanges gazeux s'effectuant par diffusion à travers le tégument)
- Classe : Trematoda (Adultes possédant une ventouse buccale et ventrale)
- Ordre : Plagiorchiida (Vers hermaphrodites avec ou sans autofécondation)
- Famille : Fasciolidae (œufs non embryonnés à la ponte)
- Genre : *Fasciola* (Se nourrissent de tissu hépatique)
- Espèce : *Fasciola hepatica*

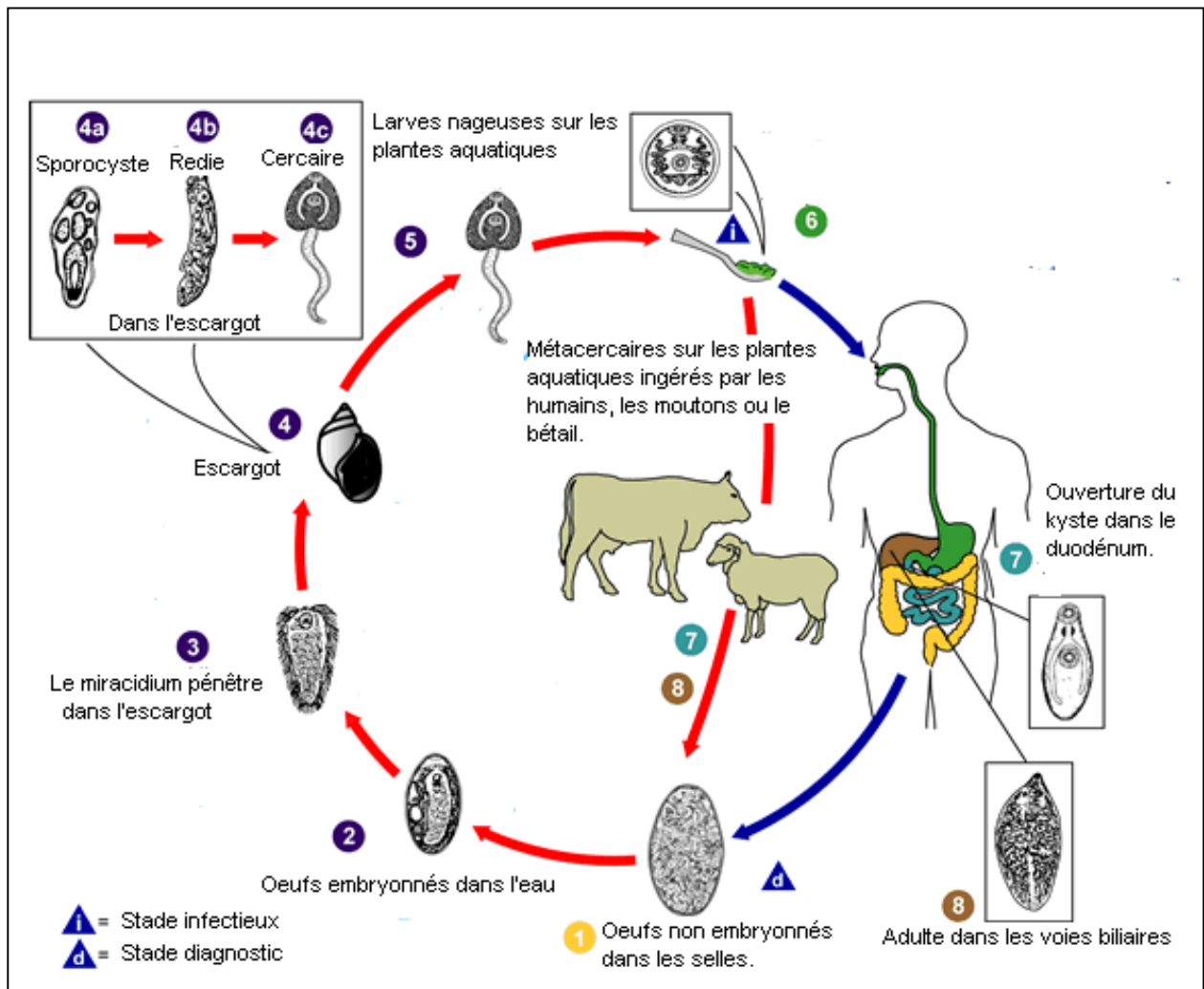
##### **I.5.2.2.2.2. Cycle évolutif**

*Fasciola hepatica* est responsable d'une maladie parasitaire, la fasciolose ou distomatose hépatobiliaire. Le cycle de développement est complexe, le parasite se développant en plusieurs stades nécessitant deux hôtes intermédiaires, dans des conditions écologiques bien définies (figure 15) (Mailles *et al.*, 2006).

Dans le milieu extérieur, un embryon cilié se développe dans l'œuf et en sort au bout d'un laps de temps très variable (3 à 6 semaines). Il s'agit d'une minuscule larve ciliée : la larve miracidium. Cette larve va se déplacer à la recherche de son premier hôte intermédiaire, qui est toujours un mollusque d'eau douce du genre *Lymnaea* essentiellement la limnée tronquée (*Lymnaea truncatula*) (Torgerson *et al.*, 1999). La larve pénètre alors dans la cavité respiratoire du mollusque pour se transformer en une masse irrégulière appelée sporocyste.

Le sporocyste se multiplie de façon asexuée pour donner naissance à des organismes appelés rédies (Mailles *et al.*, 2006). Chaque rédie donne naissance à une vingtaine d'organismes particuliers : les cercaires. Ils sortent de la limnée lorsque le milieu extérieur est particulièrement humide. Les cercaires se fixent sur un végétal immergé, s'entourent d'une coque résistante pour devenir des métacercaires enkystées. Ce sont déjà des douves en miniatures sous leur forme résistante et infectante. Sur les végétaux immergés ou sur une prairie humide, leur survie en état de vie ralentie, peut durer de plusieurs mois jusqu'à un an, en attendant d'être ingérées par un hôte définitif convenable.

L'infestation se fait par ingestion de végétaux porteurs de métacercaires. Les kystes ainsi ingérés sont dissous dans l'intestin et libèrent des douves immatures qui migrent de l'intestin vers le parenchyme hépatique (en moins d'une semaine) en passant par la cavité péritonéale. Les jeunes douves gagnent les canaux biliaires et en quelques semaines, ces jeunes douves deviennent adultes et acquièrent leur maturité sexuelle. La fécondation se fait par accouplement ventro-ventral entre deux individus ou par un seul via autofécondation pour pondre des œufs viables (Torgerson *et al.*, 1999).



**Figure 15** : Cycle de vie de *Fasciola hepatica* (Torgerson et Claxton, 1999)

### **I.5.2.2.1. *Hymenolepis nana***

#### **I.5.2.2.1.1. Systématique**

La classification d'*Hymenolepis* d'après s (Gaudiot, 2000) est la suivante :

- Phylum : Plathelminthes (Vers plats acéломates, possédant une seule cavité corporelle (parfois absente) et une unique ouverture, appareil respiratoire absent, échanges gazeux s'effectuant par diffusion à travers le tégument) ;
- Classe : Cestoda (Présence d'un scolex et d'un strobile générant une succession de proglottis chacun, généralement hermaphrodites) ;
- Ordre : Cyclophyllidea (œufs de forme sphérique, vers munis de plusieurs proglottis et tous ayant quatre ventouses sur leurs scolex) ;
- Famille : Hymenolepididae (petit nombre de testicule (un à quatre), pores génitaux unilatéraux) ;
- Genre : *Hymenolepis* (Ténia nain) ;
- Espèce : *Hymenolepis nana*

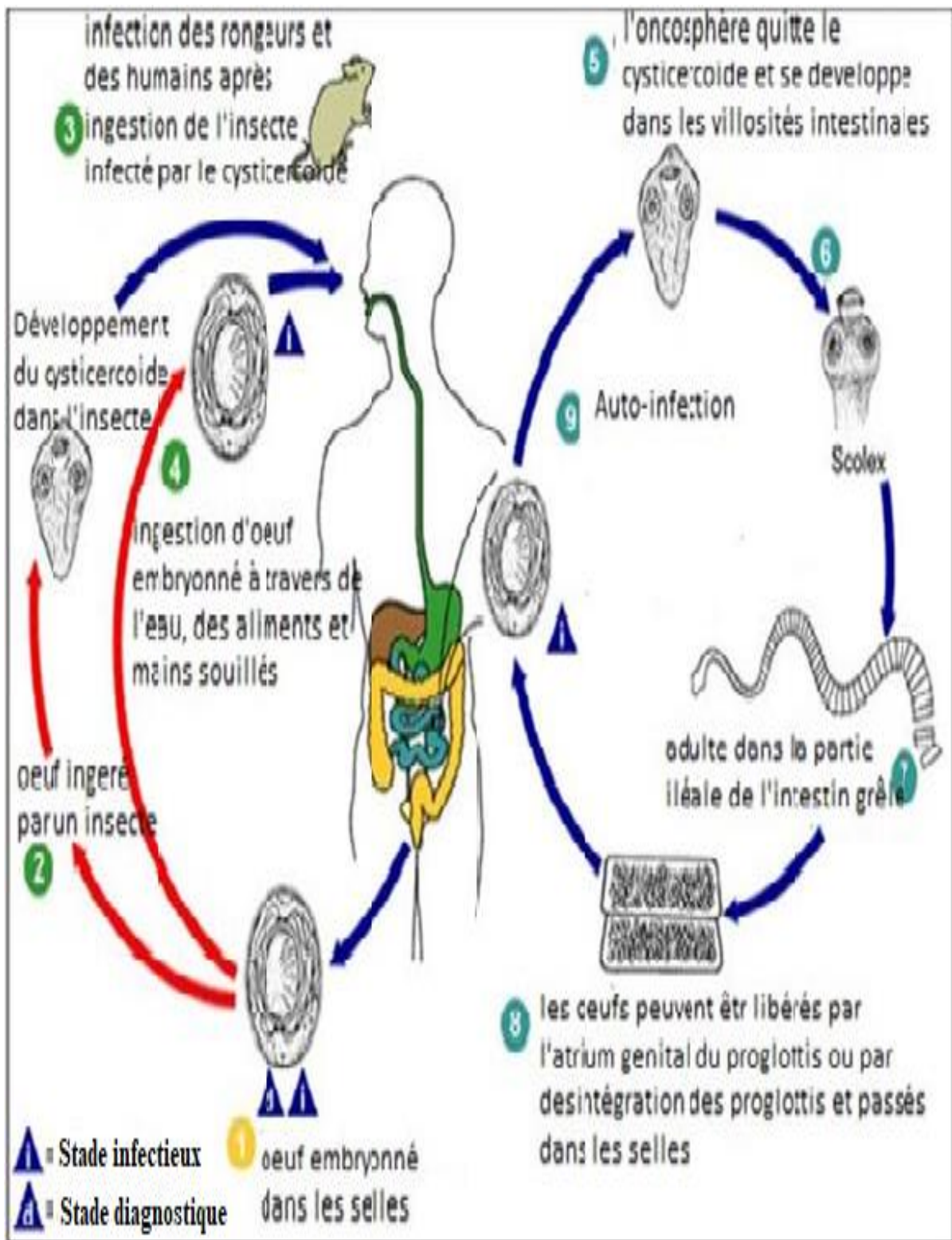
#### **I.5.2.2.1.2. Cycle évolutif**

Le cestode, *Hymenolepis nana*, également appelé le ténia nain, provoque l'hymenolépiasis, qui est généralement asymptomatique. Une certaine faiblesse, maux de tête, anorexie, et douleurs abdominales peuvent survenir.

Le mode habituel de contamination est direct : Lorsque les œufs sont ingérés (4) (dans des aliments ou de l'eau contaminés ou des mains contaminées par des selles), les oncosphères contenues dans les œufs sont libérées dans le duodénum, sous l'action des sucs digestifs, les embryons hexacanthés sont libérés dans les 4 à 5 jours ; ils pénètrent activement dans les villosités duodénales, et se développent en larves cysticercoïdes (5).

Lors de la rupture des villosités, les cysticercoïdes retournent à la lumière intestinale, évaginent leurs scolex (6), s'attachent à la muqueuse intestinale et se développent en adultes qui résident dans la portion iléale de l'intestin. Un strobila mesurant 0,5 à 4,5 cm de long et 1 mm de large se développe derrière le scolex après 2 semaines environ. Le strobila se compose de segments proglottides qui se cassent périodiquement et dégènèrent rapidement pour libérer leurs œufs dans le flux fécal (figure 16). Contrairement à tous les autres ténias qui infectent les humains, les œufs de *H. nana* sont infectieux immédiatement lorsqu'ils sont passés dans les selles. En plus d'être un risque pour les autres, les personnes infectées peuvent ré-ingérer leurs propres œufs par transfert fécale-main-bouche (l'auto-infection externe), ou les œufs peuvent éclore dans l'intestin, ré-envahir, et se développer en nouveaux vers (auto-infection

interne) (9). Production de proglottis gravidés (7). Les œufs sont transmis dans les selles lorsqu'ils sont libérés des proglottidés par l'intermédiaire de son atrium génital ou lorsque les proglottidés se désintègrent dans l'intestin grêle (8) (Bourée, 2003).



**Figure 16 :** Cycle de développement d'*Hymenolepis nana* (CDC, 2009).

**Tableau II :** Caractéristiques de quelques œufs d’helminthes (ANSES, 2011)

Parasites	<i>Ascaris lumbricoïdes</i>	<i>Ankylostoma duodenale</i>	<i>Enterobius vermicularis</i>	<i>Hymenolepis nana</i>	<i>Diphyllobothrium latum</i>	<i>Fasciola hepatica</i>
Formes de l’œuf	Ovoïde	Ellipsoïdale avec extrémité plus aplati	Ovale et asymétrie	Rond	Ovoïde	Ellipsoïdale
Taille (µm)	55-75 ×35-50	55-75 ×36-40	50-60 ×20-30	30-60	58-75 ×40-50	130-150 ×63-90
Voie d’élimination	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces	A travers les fèces
Contenu de l’œuf	Non embryonné	Non embryonné	Embryonné/non embryonné	Embryonné	Non embryonné	Non embryonné
Période de maturation à l’extérieur	18 jours	24heures	4- 6 heures		18-20jours	3-6 semaines
Nombre d’œuf/jour	200.000-450.000	200.000	10.000	15000/gramme	1000.000	Non déterminé
Répartition mondiale	Cosmopolite fréquent dans les Régions tropicales et Subtropicales	Régions chaudes et humides	Cosmopolite fréquent dans les Pays industrialisés occidentaux	Cosmopolite fréquent dans les zones tropicales et subtropicales	Foyer en Région tempérées	Région d’élevage de moutons
Voie de contamination	féco-orale	Passage transcutané	féco-orale	féco-orale	féco-orale	féco-orale
Durée du cycle	2 mois	40 jours	1 jour	3 semaines	5 à 6 semaines	6 mois
parasitose	ascaridiose	ankylostomose	l’oxyurose	hymenolépiasis	Bothriocéphalose	fasciolose
Personnes à haut risque	Enfants	Adultes	Enfant en âge scolaire	Enfants	Adultes	Adultes
Réservoir	Humains ou porcins	Humains	Humains	Humains ou rongeurs	Humains ou animal piscivore	Humains et ruminants



## **I.6. Influence des facteurs environnementaux et intérêt de l'étude**

### **I.6.1. Facteurs intervenant dans la dissémination des protozoaires et helminthes**

La grande variété d'helminthes et de protozoaires intestinaux retrouvés dans l'environnement sont sous la dépendance de nombreux facteurs anthropiques : le nombre d'individus et /ou d'animaux infectés, le nombre d'œufs pondus quotidiennement par l'espèce, le nombre d'œufs éliminés par gramme de matière fécale humaine infestés (Feachem *et al.*, 1983). Dans les eaux douces, la persistance des protozoaires et des helminthes varie selon les espèces. Les oocystes du genre *Cryptosporidium* peuvent résister dans l'eau pendant plusieurs mois et certains œufs comme ceux d'*Ascaris* sont plus résistants et leur persistance est évaluée de quelques mois à plus d'une année (Shuval *et al.*, 1986).

Les protozoaires et des helminthes entériques sont pour la plupart cosmopolites et passent obligatoirement une partie de leur cycle de développement dans l'environnement pour acquérir leur pouvoir infestant. Leur développement dans ce dernier peut être considérablement influencé par des températures extrêmes ou par des déversements ou des événements perturbateurs : les œufs d'*Ascaris* dans le milieu extérieur où ils s'embryonnent nécessitent des conditions de température élevée (28 à 32°C) et une bonne oxygénation. Les œufs d'Ankylostomes vont s'embryonner dans le milieu extérieur selon certaines conditions de température : 22 à 26°C pour *Ankylostoma duodenale*, 27 à 30°C pour *Necator americanus*, ce qui explique la répartition géographique et les cas d'ankylostomiase dans les régions tempérées, l'évolution normale et simultanée des formes de résistance des protozoaires demande la présence d'un degré déterminé d'humidité. Pour *Isoospora belli*, la sporulation est plus rapide entre 30 et 37°C et pour *Cyclospora*, elle a lieu entre 22 et 32°C (OMS, 2011).

Les paramètres des eaux naturelles peuvent influencer grandement sur la dissémination des formes de résistance des protozoaires et des helminthes. Une turbidité forte peut permettre aux micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension et favoriser leur distribution. Un pH extrêmement acide ou alcalin provoque l'altération de la membrane et peut entraîner un retard dans le développement et ou une dégénérescence des formes de résistance dans l'environnement (un pH égal à 11 produit une altération de la coque des œufs d'*Ascaris* et un pH de 12,5 les détruit complètement). La conductivité électrique joue un rôle défavorable sur la survie des helminthes et des protozoaires. Une salinité élevée entraîne la plasmolyse des formes de résistance qui se manifeste par une invagination de la cellule. La présence d'autres micro-organismes responsables des phénomènes de compétition ou de prédation peut également influencer sur la dispersion de ces formes (Jean-Louis, 1989).

### **I.6.2. Intérêt de l'étude**

Les helminthes et les protozoaires gastro-intestinaux sont dans nos sociétés modernes, une source de préoccupations pour la santé publique. Leurs impacts sur les populations peuvent être importants dans les pays en voie de développement, où les maladies associées à une contamination féco-orale sont nombreuses. Ces infections regroupent des parasitoses liées aux contaminations fécales (*Ascaris* spp, *Trichuris trichiura*, *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Cyclospora*, *Isospora*), à l'ingestion de viande ou poisson crus ou mal cuits (*Tænia* spp, *Diphyllobothrium latum*) ou à des contaminations accidentelles, après consommation de végétaux de bords de rivage (*Fasciola hepatica*, *Cyclospora cayetanensis*, *Entamoeba* spp. par exemple). Dans d'autres cas, comme pour le parasite *Enterobius vermicularis*, la vie en collectivité facilite leur transmission.

### **I.8. Identification des Protozoaires et des Helminthes**

L'isolement des formes de résistance dans les échantillons se réalise le plus souvent à l'aide des techniques de concentration et de coloration et a pour principale but d'établir avec certitude la présence de parasites dans l'échantillon, qu'il s'agisse de protozoaires ou de gros œufs d'helminthes, et de les identifier à l'aide des caractéristiques morphologiques.

Les premières méthodes développées afin d'identifier les protozoaires et les helminthes ont été des méthodes morphologiques par observations au microscope optique classique (avec oculaire et objectif). Cependant, bien que ces techniques permettent l'observation d'une cellule entière, elles ont un grossissement illimité et ne permettent pas l'observation des détails. En profitant des progrès techniques, les scientifiques ont donc mis au point des microscopes faisant intervenir les électrons il s'agit du microscope électronique. Il en existe deux : Microscope électronique à transmission et microscope électronique à balayage.

#### **I.7.1. Microscopie électronique**

Le microscope électronique est un type de microscope qui utilise un faisceau d'électrons pour illuminer un échantillon et en créer une image agrandie. Il est inventé en 1931 par les ingénieurs Ernst Ruska et Max Knoll (Marc *et al.*, 1984). Le microscope électronique utilise les lentilles électrostatiques et électromagnétiques pour former l'image en contrôlant le faisceau d'électrons et pour le faire converger sur un plan particulier par rapport à l'échantillon. La microscopie électronique est d'un apport très important. Les chercheurs les utilisent pour examiner les matières biologiques tels que les micro-organismes, les cellules et les caractéristiques des différentes surfaces. En effet l'analyse structurale des agents pathogènes, en particulier certains parasites de petites tailles ont été analysées et caractérisées

initialement grâce à la microscopie électronique, ainsi que les conséquences cellulaires de leurs infections (biopsie duodenale). A fort grossissement, on peut identifier les différents stades de la schizogonie et de la gamogonie sur ces biopsies. La ME reste donc le seul outil efficace pour analyser des structures animales dont l'étude nécessite un niveau de résolution très poussé et/ou dont la composition est trop complexe. C'est évidemment le cas des organites intracellulaires et des spécialisations de la membrane plasmique, que la microscopie électronique a contribué à identifier et à décrire (Olofinlade *et al.*, 2000). Les matériaux appelés à être regardés en microscopie électronique nécessite un traitement approprié. La technique requise ici est la fixation chimique utilisé pour les spécimens biologiques et visant à stabiliser la structure macromoléculaire mobile du spécimen par réticulation chimique des protéines avec des aldéhydes tels que le glutéraldéhyde, et les lipides avec le tétr oxyde d'osmium (Kruger *et al.*, 2000). Mais la microscopie électronique est une méthode longue, onéreuse, nécessitant un personnel hautement qualifié. Différentes méthodes plus rapides ont permis ces dernières années d'optimiser la caractérisation de l'échantillon : la technique d'immunofluorescence (IFA), et diverses techniques moléculaires, qui sont de plus en plus utilisées dans le milieu de la recherche.

### **I.7.2. Épreuve d'immunofluorescence**

Après la concentration et la séparation de l'échantillon, une partie de la suspension est transférée sur une lame pour coloration et examen. Pour colorer les échantillons, des anticorps marqués par fluorescence et dirigés contre des antigènes spécifiques présents à la surface des kystes et des oocystes sont appliqués sur la lame en vue d'être incubés. Un microscope à immunofluorescence directe est ensuite utilisé pour trouver les corps fluorescents qui pourraient être des kystes ou des oocystes. (Anofel, 2019).

### **I.7.3. Méthodes moléculaires**

Plusieurs méthodes moléculaires sont aussi utilisées pour identifier les formes de résistances des parasites entériques. La réaction en chaîne de la polymérase (*Polymerase Chain Reaction* ou PCR) est la méthode moléculaire la plus utilisée pour détecter les kystes et les oocystes. Elle consiste à lyser les kystes et les oocystes afin de libérer leur ADN, puis à introduire des amorces ciblant des régions codantes précises (acide ribonucléique ribosomique 18S) et à amplifier ces régions. Les régions codantes ciblées peuvent être spécifiques à un genre ou spécifiques à une espèce ou à un nombre limité d'espèces. L'électrophorèse en gel d'agarose, la coloration au bromure d'éthidium et l'examen visuel à la lumière ultraviolette servent à déterminer l'existence d'un signal PRC positif (Ward *et al.*, 2002). Des variations de la méthode classique ont été élaborées et sont utilisées pour la

détection des pathogènes, la plus fréquemment utilisée étant la PCR quantitative (QPCR). Elle utilise des sondes Oligonucléotidiques et des colorants qui rendent l'organisme fluorescent lorsqu'ils sont liés à un Acide Désoxyribonucléique double brin. La région cible étant amplifiée, la fluorescence est mesurée en temps réel. Cette méthode comporte plusieurs avantages par rapport à la PCR classique, la capacité de quantifier les kystes et les oocystes, de différencier les espèces et la détection simultanée de différents microorganismes (Ramirez *et al.*, 2006).

### **I.8. Eau de consommation, risques et santé**

Le manque de connaissance sur la qualité de l'eau conduit à l'utilisation d'eau impropre à la consommation, un problème qui peut se poser à la fois au niveau du foyer (où l'eau peut ne pas être bouillie ou chlorée avant d'être bue) et au niveau national (quand la qualité des eaux souterraines n'est pas contrôlée). Les patients souffrant de maladies liées à l'eau remplissent 90 % des lits des hôpitaux publics une situation habituelle dans les pays en voie de développement (OMS 2000).

Diverses formes de pollution affectent les ressources en eau. La pollution thermique, peut faciliter le développement d'amibes libres, pathogènes pour les baigneurs, surtout en période de faibles débits (étiage). La pollution chimique est probablement la plus fréquente, très largement répandue et très diverse (Gameson, 1977).

En revanche le risque d'origine microbienne est lui bien démontré, pourtant sous-estimé par la population focalisée sur le risque chimique. La pollution microbienne et parasitaire des eaux est très importante. Son origine est avant tout d'origine fécale, due aux déjections humaines et animales, au travers des eaux usées (Lopez, 2010). Les microorganismes de pollution fécale des eaux sont des bactéries susceptibles de provoquer des troubles gastro-intestinaux, des parasites (protozoaires et helminthes) sont aussi en cause : ils sont fort nombreux, dans les pays tropicaux, à impliquer un stade hydrique important dans leur cycle de développement, tel *Entamoeba coli*, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*, qui sont de redoutables agents pathogènes, provoquant des diarrhées graves, notamment pour des sujets immunodéprimés ; leurs kystes sont aussi particulièrement résistants dans le milieu et face aux désinfectants (Hartemann, 2009). La catégorie la plus importante des maladies liées à l'eau et qui affecte les enfants en âge scolaire est l'infection intestinale à helminthes (vers parasites). Les vecteurs de maladies liés à l'eau, véhiculent des maladies qui contaminent les êtres humains : la bilharziose, la filariose, le paludisme et l'onchocercose sont les plus courantes (OMS 2000). Ainsi, il convient d'organiser la prévention de leurs conséquences pour la santé des populations et la meilleure solution est la limitation de la pollution de notre environnement hydrique.



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

## **II.1. Matériel**

### **II.1.1. Zones d'étude**

L'étude a été menée dans quatre arrondissements appartenant à deux Départements de la région du Centre (Mefou-et-Akono et la Lekié) qui sont limitrophes à la ville de Yaoundé et présentent des différences écologiques et des peuplements différents. Il s'agit des arrondissements de Ngoumou, Akono, Obala et Monatélé.

#### **II.1.1.1. Ngoumou et Akono**

##### **II.1.1.1.1. Situation géographique**

Ngoumou et Akono sont deux arrondissements du département de la Mefou et Akono qui se trouve dans la Région du Centre, au Sud de la capitale du Cameroun, Yaoundé.

Ngoumou est le chef-lieu de ce département depuis 1992. Située à 45 km de Yaoundé, entre 3°35' et 3°36' de latitude Nord et entre 11°17'30'' et 11°18'30'' de longitude Est et limité à l'Est par l'arrondissement de Bikok, à l'Ouest par l'arrondissement de Makak ; au Nord par l'arrondissement de Mbankomo ; au Sud par l'arrondissement d'Akono (IRD, 1966).

Situé à 12 km de Ngoumou, Akono est également l'un des quatre Arrondissements du département de la Mefou et Akono. C'est un district créé en 1964. Le district d'Akono est érigé en arrondissement en 1974 (INC, 1999). Situé entre 3°29'59'' et 3°30'30'' de latitude Nord et entre 11°19'36'' et 11°20' de longitude Est, l'arrondissement d'Akono est limité au nord par Ngoumou, à l'est par Bikok, au sud par le fleuve Nyong, qui sépare Akono du district de Ngomedzap et à l'ouest par la commune de Makak (INC, 1999).

##### **II.1.1.1.2. Géologie**

Ngoumou est étendue sur une superficie de 400 Km<sup>2</sup>, tandis que Akono présente une superficie de 320 Km<sup>2</sup>. Le sol rencontré dans ces deux localités est à plusieurs égards semblable à celui de la forêt équatoriale sous couvert végétal. La couche superficielle est essentiellement constituée des débris végétaux ou humus ayant une épaisseur d'environ 50 cm. En dessous de cette couche, l'on trouve souvent, et par endroits, de l'argile rouge ou marron. Ailleurs on se trouve en présence de la latérite ferralitique. Selon la topographie, l'épaisseur, de cette couche varie de 3 à 6 m, et peut atteindre par endroits plus de 10 m. Ces sols sont issus en général de l'altération des embréchites qui sont des espèces chimiques riches et par conséquent propices à l'agriculture. Une disponibilité de terre fertile, des cours d'eaux avec des perspectives de paysages et des terrains exploitables, font de Ngoumou et d'Akono des villes agro-pastorales. Les activités les plus pratiquées sont l'agriculture, l'artisanat et l'élevage (PDC, 2015).

### **II.1.1.1.3. Climat et hydrographie**

Ngoumou et Akono sont situées dans la zone équatoriale humide. Les températures moyennes sont comprises entre 22 et 26°C. Parfois, elles montent jusqu'à 30 à 32 °C. Le climat comprend quatre saisons réparties comme suit : une grande saison sèche de novembre à mi-mars ; une petite saison pluvieuse de mi-mars à mi-juin ; une petite saison sèche de mi-Juin à mi-Août ; une grande saison pluvieuse de mi-Août à fin Octobre (Suchel, 1987). Les mois d'intense pluie sont les mois de septembre et d'octobre avec des précipitations à hauteur de 200 mm (pour une pluviométrie annuelle de 1200 mm). Ngoumou et Akono sont constituées d'un ensemble de petits plateaux dont la moyenne des altitudes est de 730 m. Chaque plateau est entouré de vallées drainées par des cours d'eau d'importance variable, prenant leurs sources dans la partie Nord, où le plateau est le plus élevé à 925 m d'altitude. Le cours d'eau Akono du fait de son débit permanent, est favorable à la mise en place des systèmes d'approvisionnement en eau potable. Les autres par ailleurs font face non seulement à des problèmes d'entretien entraînant parfois le rétrécissement des lits mais aussi à la baisse du niveau d'eau en saison sèche (INC, 2015).

### **II.1.1.2. Obala et Monatélé**

#### **II.1.1.2.1. Situation géographique**

Obala et Monatélé sont deux arrondissements du département de la Lekié qui se trouve dans la Région du Centre, au Nord de la capitale du Cameroun, Yaoundé.

Obala, en 1950 n'était qu'un poste administratif sous le commandement du Français Fernand Pech, en 1955 la Commune d'Obala est créée, en 1964 elle devient le chef-lieu du Département de la Lekié et en 1968 Obala retrouve son statut d'Arrondissement, suite au transfert du Chef-lieu à Monatélé, situé à 53 Km de Yaoundé, entre 4°10'00'' de latitude Nord et 11°32'00'' de longitude Est. Obala est limité à l'Ouest par Elig-Mfomo, à l'Est par Batchenga, au Sud par Okola et au Nord par Monatélé. Cité coloniale et historique, qui a eu le privilège d'être érigée en chef-lieu du département de la Lekié, avant le transfert de celui-ci à Monatélé (PCD, 2013).

La commune de Monatélé, créée en 1964 est le chef-lieu de l'Arrondissement qui porte le même nom. C'est également le chef-lieu du Département de la Lekié dans la Région du Centre. Situé à 90 Km de la Capitale et à 70 Km par Obala, elle se situe entre 4°10' et 4°18' de latitude Nord et entre 11°45' et 11°65' de longitude Est. Limité au Nord par la commune d'Ebedda, au Sud par la commune d'Evodoula, à l'Est par la commune d'Obala, à l'Ouest par le fleuve Sanaga (PCD, 2015).

### **II.1.1.2.2. Géologie**

La commune d'Obala couvre une superficie de 475Km<sup>2</sup>. L'aire rurale est la plus vaste de l'espace communal. On distingue dans la commune d'Obala trois types de sols : les sols ferrallitiques ou sols basiques : Ce sont les sols dérivés du basalte. Ils sont argilo sablonneux, généralement pas profonds et rajeunis par l'érosion. Les sols hydromorphes : Caractéristique des zones marécageuses. Le relief de la commune d'Obala est un plateau peu accidenté dans l'ensemble ; on y rencontre quelques collines telles que le mont Loua qui a une altitude de 900 m. Trois types de formation végétale couvraient la commune d'Obala : la forêt de type secondaire dans la partie sud et ouest de la commune, la forêt galerie le long des cours d'eau et les savanes péri- forestières dans la partie nord. Cependant, la pression démographique et la nature laborieuse de la population ont entraînés la transformation des forêts et de la savane en plantation (PCD, 2013).

Monatéle avec une superficie de 375,5 Km<sup>2</sup> fait partie de la formation dite « plateau central » La côte de la plaine qui longe le fleuve Sanaga varie entre 335m et 397m d'altitude par contre dans la partie continentale l'on enregistre plutôt une altitude variant entre 400m et 560m. Ici les sols sont de nature : Sableux, argileux et latéritiques. La végétation est constituée de savane, forêt secondaire et tertiaire et les galeries tout au long du fleuve. La disponibilité des terres cultivable entraine une économie locale, largement dominée par le secteur agricole, nous avons au premier rang les cultures vivrières, Les cultures maraichères, Les cultures pérennes, mais à côté de cette activité on distingue entre autres : La pêche, l'élevage, le commerce, l'extraction du sable, l'exploitation du gravier (PCD, 2015).

### **II.1.1.2.3. Climat et hydrologie**

Les communes d'Obala et de Monatéle sont soumises à un climat de type guinéen à quatre saisons annuelles d'inégales durées : deux saisons sèches dont une grande (de Novembre à mi-Mars) et une petite (de mi-Juin à mi-Août) ; deux saisons pluvieuses allant de mi-Août à fin Octobre pour la grande et de mi-Mars à mi-Juin s'agissant de la petite. La pluviométrie est de l'ordre de 1600 mm par an avec un maximum de précipitations en Septembre. Cette intense activité pluviométrique alimente un réseau hydrographique interne dans la communes d'Obala, notamment Afamba, Foulou, Mbélé, Doua, Mindjomo. Les températures atteignent des maximas de 35°C en saison sèche et 20°C en saison de pluie (PCD, 2013).

Le fleuve Sanaga à Monatéle constitue le principal bassin hydrographique qui couvre la commune. À lui, viennent se greffer de nombreux cours d'eau non moins importants à savoir : la Lekié, la Ngobo, la Mbagba (PCD, 2015).



#### **II.1.1.2.4. Potentialités et obstacles**

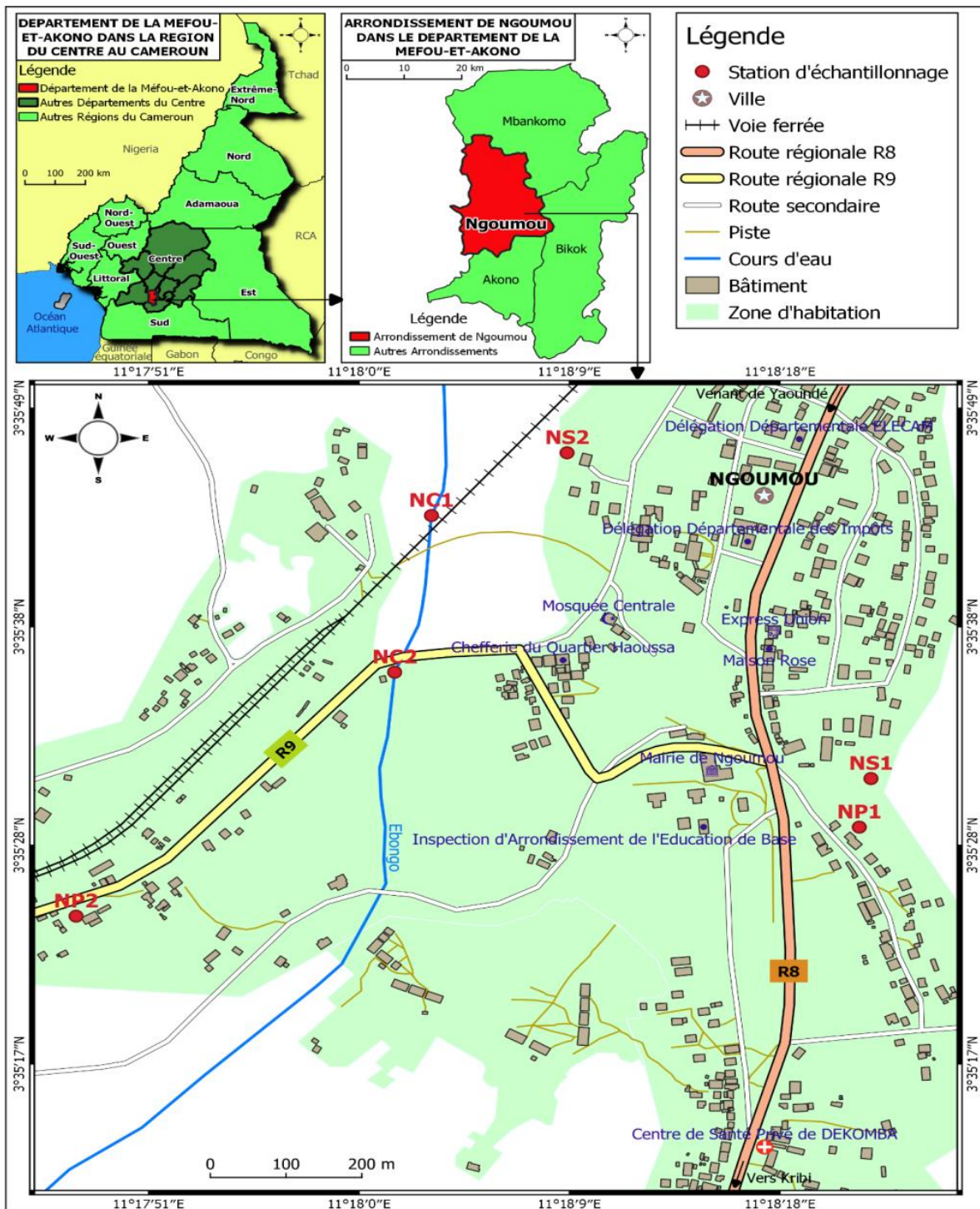
Ces communes sont principalement agricoles et produisent 60 à 70 % des vivres vendus sur le marché de la capitale politique Yaoundé. Mais malgré leur proximité avec le centre urbain, elles font face à des contraintes et obstacles : on retrouve encore au sein de ces localités un élevage traditionnel caractérisé par la divagation des bêtes, la croissance démographique est lente et faible du fait de l'exode rural. Infrastructures sanitaires de type traditionnel : les latrines sont généralement des petites cases construites à l'arrière de la maison et dans l'ignorance des normes, défaut de canalisation des eaux usées, manque de station d'épuration des eaux usées, hygiène précaire et l'absence du réseau d'adduction en eau potable. Les populations se retournent vers des points d'eau d'approvisionnement comme les puits, les sources, les rivières ceci sans se soucier de la qualité, d'où l'intérêt d'initier les recherches sur ces différentes sources d'approvisionnement en eau afin d'orienter les responsables vers les sites à exploiter et ceux à préserver pour un rendement plus efficace et durable (PDC, 2015).

#### **II.1.2. Choix et description des stations d'échantillonnage**

Pour cette étude, 24 stations d'échantillonnage ont été retenues, 16 dans le milieu aquatique souterrain (puits et sources) et 8 dans les eaux de surface. Ces points de prélèvement ont été choisis en fonction des critères tels que le grand intérêt des populations pour ces points d'eau, les différentes sources de pollution liées aux activités anthropiques riveraines. Sur la base de ces critères dans chaque localité, deux sources et deux puits ont été choisis, de même qu'un cours d'eau par localité. Les cours d'eau étudiés ici sont l'Ebongo à Ngoumou, l'Akono à Akono, l'Afamba à Obala et le fleuve Sanaga à Monatélé. Le tableau III présente les localisations précises des plants d'eau étudiés. Les stations de prélèvements sont nommées en fonction des localités.

##### **II.1.2.1. Ngoumou**

Dans la Commune rurale de Ngoumou 06 stations ont été retenues : quatre dans le milieu souterrain à savoir deux sources et deux puits et deux stations au niveau du cours d'eau : l'une en aval et l'autre en amont du cours d'eau Ebongo. Les sources sont nommées NS1, NS2 ; les puits NP1, NP2 et les stations sur le cours d'eau sont désignées NC1 en amont et NC2 en aval (figure 17).



**Figure 17 : Site d'étude et points d'échantillonnage à Ngoumou (INC, 2018)**

### II.1.2.1.1. Cours d'eau

Le cours d'eau Ebongo traverse la localité de Ngoumou pour se déverser dans l'Akono et est essentiellement occupé tout au long par une forêt dense secondaire présentant par endroit des arbustes, des hautes herbes constituant le sous-bois, et alternant avec des espaces défrichés pour exploitation agricole de type traditionnel et longe derrière certaines maisons d'habitation qui canalisent leurs eaux usées dans ce dernier. Certains endroits du cours d'eau

ont été aménagés par les riverains pour la lessive, la baignade et comme point de laverie automobile, non loin du cours d'eau se trouve également un abattoir artisanal dont les déchets sont déversés dans le cours d'eau.

Au total 02 stations ont été retenues sur le cours d'eau Ebongo : la station NC1 (figure 15A) qui se trouve à 660 m d'altitude, en amont du cours d'eau dans une zone marécageuse. Cette partie du cours d'eau est plus large et est utilisée par les enfants comme coin de baignade ; la station NC2 (figure 18B) est située à proximité de l'abattoir artisanal juste après le pont sur la route qui mène à la gare ferroviaire de Ngoumou. Cette portion du cours d'eau est également utilisée par les riverains pour la lessive, la baignade et laverie des motos.



**Figure 18 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage du cours d'eau Ebongo : (A) station NC1 et (B) station NC2

#### **II.1.2.1.2. Sources et puits**

Au centre de la localité de Ngoumou 02 sources (NS1 et NS2) et 02 puits (NP1 et NP2) ont été retenus : La source NS1 (figure 19A) est une source non aménagée et est située du côté du stationnement de Ngoumou derrière le marché en contre bas des maisons d'habitation dans une zone marécageuse. On note la présence de cacaoyers, arbustes, de bananiers, des cultures vivrières et des légumes. À quelques mètres se trouvent également des étangs piscicoles. La source NS2 (figure 19B) se situe derrière un centre de santé et des maisons d'habitations. C'est une source non protégée, elle est entourée de hautes herbes, aux environs de la source on note la présence de quelques champs de légumes et de maïs.



**Figure 19 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) source NS1 et (B) source NS2

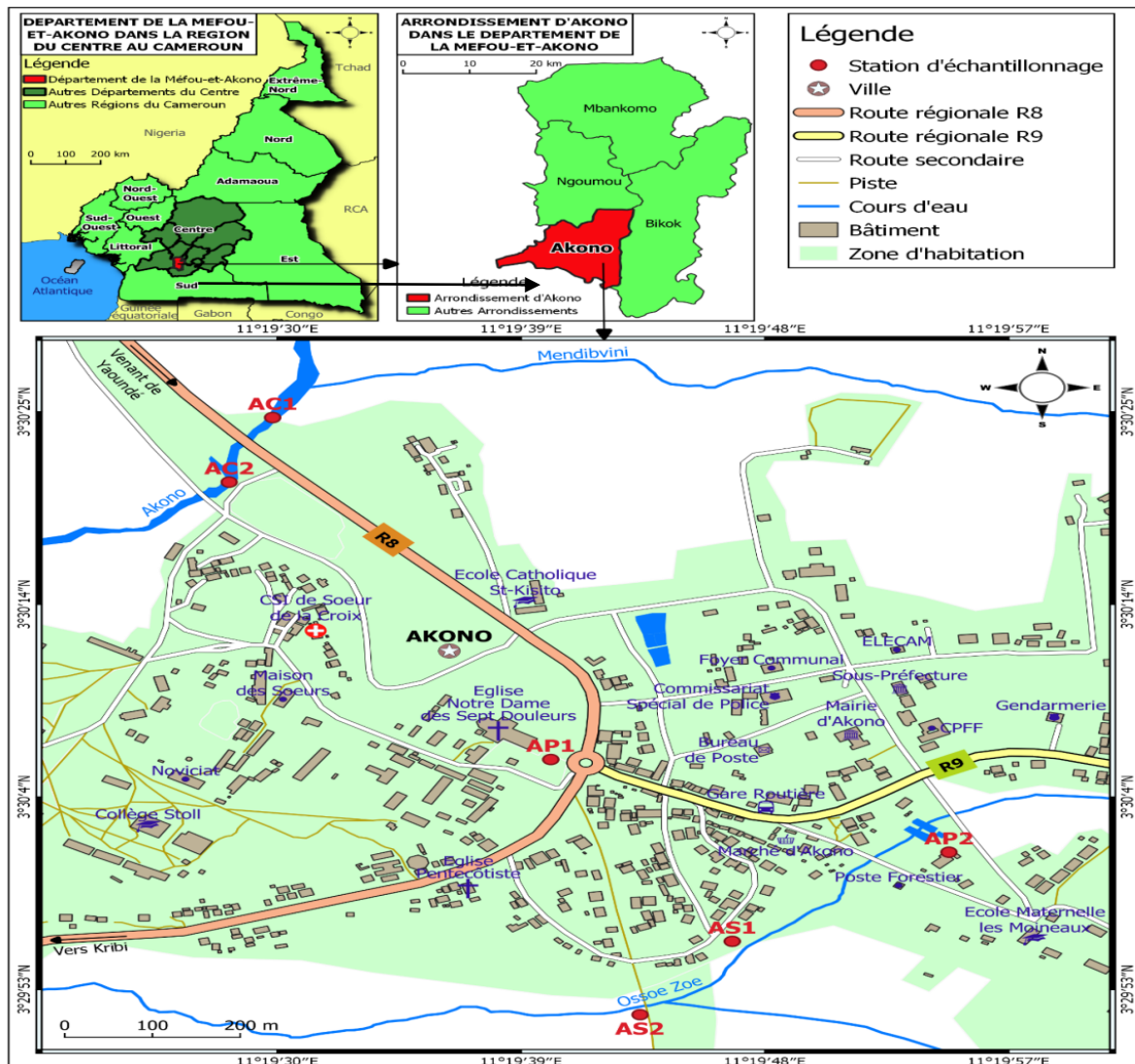
Le puits NP1 (figure 20A), se trouve du côté du stationnement, derrière les maisons d'habitation au bas de la colline dans une zone marécageuse. Ce puits est protégé d'une margelle et d'un couvercle. Le puits NP2 (figure 20B) est situé en face de la gare ferroviaire de Ngoumou en contrebas de la route à proximité des maisons d'habitations. Il se trouve à 5 mètres des toilettes, et n'a ni margelle, ni couvercle, il est recouvert en partie par des planches.



**Figure 20 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) puits NP1 et (B) puits NP2

### II.1.2.2. Akono

Dans la localité d'Akono les sources sont désignées AS1, AS2 ; les puits AP1, AP2 et les stations AC1 et AC2 sur l'Akono (figure 21).



**Figure 21** : Site d'étude et points d'échantillonnage à Akono (INC, 2018)

#### II.1.2.2.1. Cours d'eau

Le cours d'eau Akono traverse l'entrée de la localité. Ici deux stations ont été choisies de part et d'autre du pont d'Akono. La station AC1 (figure 22A) est située en amont du cours d'eau avant le pont. À ce niveau les berges du cours d'eau ont été recouvertes de ciment et sont entourées de hautes herbes. La station AC2 (figure 22B) est située en aval après le pont d'Akono, c'est le point de confluence avec l'Ebongo. Les berges sont recouvertes d'herbes, cette portion du cours d'eau est plus large et est utilisée par les riverains comme point de lessive, baignade, laverie automobile et abreuvement de bétail qui dépose leurs excréments au passage.



**Figure 22 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage sur le cours d'eau Akono : (A) station AC1 et (B) station AC2

#### II.1.2.2.2. Sources et Puits

La source AS1 (figure 23A) est non protégée située au quartier dit Ekong, derrière le marché d'Akono, les riverains viennent s'approvisionner en trempant directement le seau dans le plan d'eau. Elle est entourée d'herbes et de bananiers. La source AS2 (figure 23B) se trouve dans le quartier nommé fin goudron. L'eau est à fleur de surface, elle est utilisée par les populations pour la baignade et la lessive.



**Figure 23 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) source AS1 et (B) source AS2



**Figure 24 :** Vue des stations d'échantillonnage : (A) puits AP2 et (B) puits AP1

Le puits AP1 se trouve au centre d'Akono du côté de la chapelle. Il est surmonté d'une margelle munie d'un couvercle (figure 24A). Le puits AP2 est situé derrière le lycée devant une concession. Il est dépourvu de margelle et recouvert en partie des planches (figure 24B).

### II.1.2.3. Obala

Les sources sont nommées OS1, OS2 ; les puits OP1, OP2. Les stations sur le cours d'eau d'eau sont désignées OC1 et OC2 (figure 25).

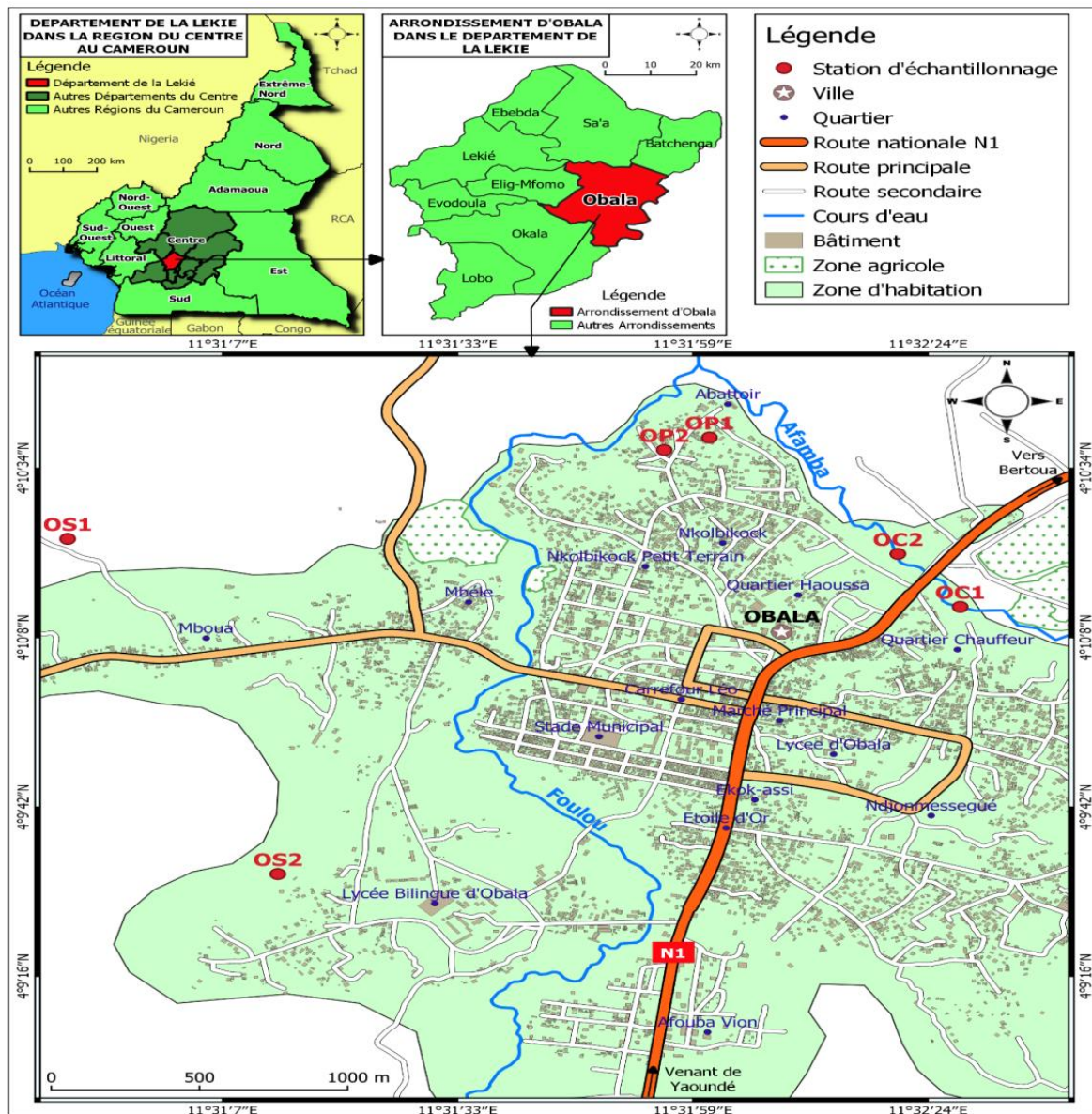


Figure 25 : Site d'étude et points d'échantillonnage à Obala (INC, 2018)

#### II.1.2.3.1. Cours d'eau

Dans le cours d'eau Afamba, deux stations ont été choisies. La station OC1 (figure 26 A) est située en amont avant le pont au niveau du quartier haoussa. A ce niveau les populations font de la lessive et cultivent des légumes aux alentours.

La station OC2 (figure 26B) est située en aval après le pont en contre bas de la route du côté gauche en venant du marché à 10 mètres se trouve un enclos de bétails, dont les déchets sont entrainés dans le cours d'eau. Ici la portion du cours d'eau est plus large et a subi des aménagements, les bords proches du pont sont recouverts de béton. Les populations y ont accès facilement grâce à une servitude qui a été emménagée. C'est également un lieu de lessive, de laverie auto et même de baignade.



**Figure 26 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage du cours d'eau d'Obala : (A) station OC1 et (B) station OC2

#### II.1.2.3.2. Sources et puits

La source OS1 (figure 27A) se trouve dans le quartier dit Ossongo, elle est située en bas d'une colline, loin des maisons d'habitation. Elle est protégée par un cadre en béton et l'eau coule à travers un tuyau en polystyrène.



**Figure 27 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) source OS1 et (B) source OS2

La source OS2 (figure 27B) se trouve derrière le lycée. Ici, l'eau forme une petite marre dans laquelle les populations trempent directement le seau pour puiser. Les populations ont également aménagé un endroit à côté de la source pour la lessive.



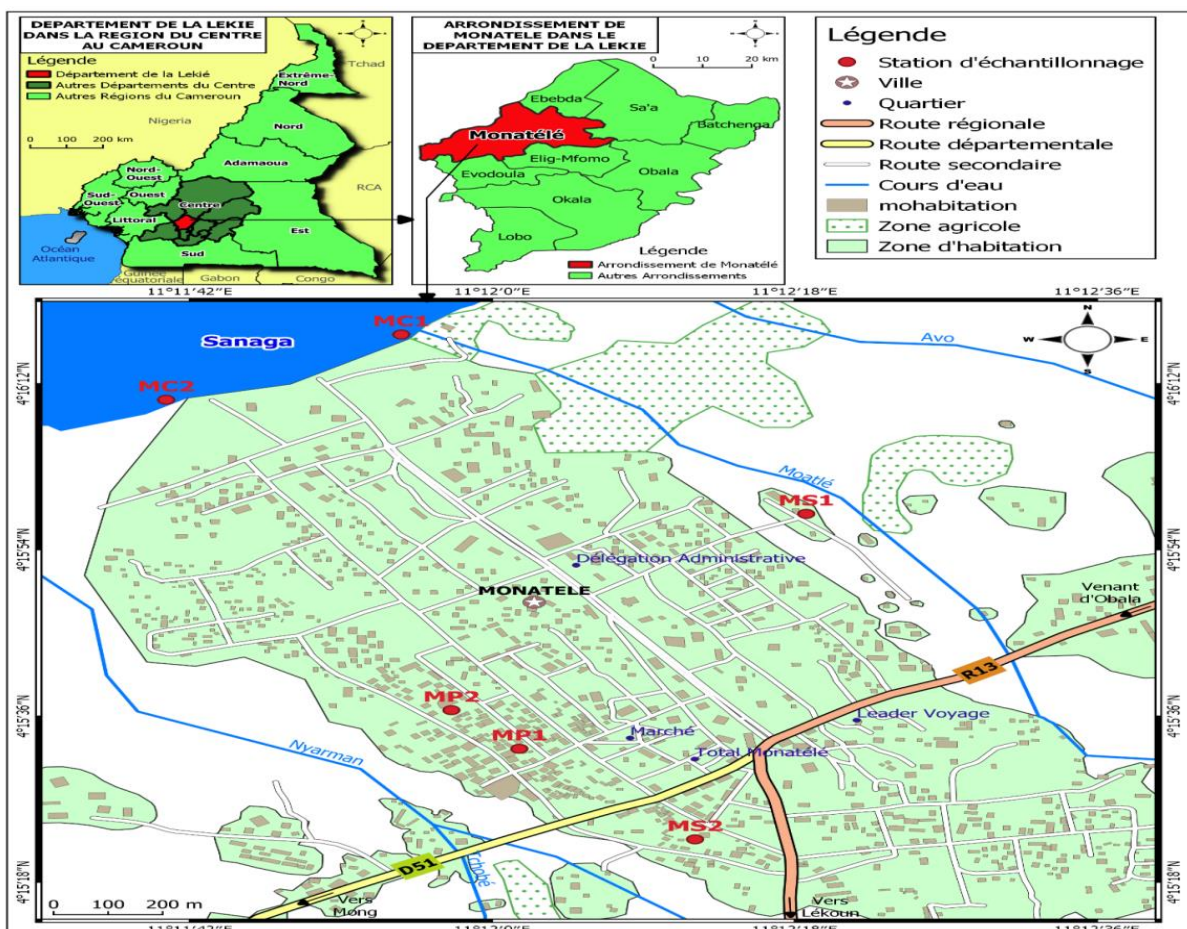
Le puits OP1 (figure 28A) se trouve devant une concession à 5m des latrines, il est surmonté d'une margelle avec couvercle. Le puits OP2 (figure 28B) est situé entre deux concessions, il est également surmonté d'une margelle mais sans couvercle.



**Figure 28 :** Vue des stations d'échantillonnage : (A) puits OP1 et (B) puits OP2

#### II.1.2.4. Monatéle

Dans la localité de Monatéle les sources sont désignées MS1, MS2 ; les puits MP1, MP2 et les stations sur la Sanaga MC1 et MC2 (figure 29).



**Figure 29 :** Site d'étude et points d'échantillonnage à Monatéle (INC, 2018)

#### II.1.2.4.1. Sanaga

La rive accessible à la ville fait l'objet de quelques activités à savoir la pêche, creusage de sable, lessive et baignade. Deux stations ont été choisies : la station MC1 située en amont de la rive (figure 30A) et la station MC2 (figure 30B) situé en aval de la rive. Les populations font la lessive, se baignent, nettoient les poissons ramenés de la pêche et déchargent les pirogues chargées des vivres ramenées de l'autre rive où les autochtones font des champs.



**Figure 30 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage sur la Sanaga : (A) station MC1 et (B) station MC2

#### II.1.2.4.2. Sources et puits

La source MS1 (figure 31A) est située près de la prison de Monatélé, ses eaux sont utilisées par le personnel pour la cuisson, la lessive. Les populations recueillent l'eau en trempant le seau dans la source. Aux alentours on note les champs de maïs cultivés par les prisonniers. La source MS2 (figure 31B) se trouve derrière le marché, elle est entourée d'herbes.



**Figure 31 :** Vues partielles des stations d'échantillonnage : (A) source MS1 et (B) source MS2

Le puits MP1 et le puits MP2 sont situés dans le quartier haoussa et se trouvent entre les concessions. Le puits MP1 (figure 32A) est muni d'une margelle alors que le puits MP2 (figure 32B) est surmonté par un demi-fu qui lui sert de margelle. Tous deux sont dépourvus de couvercle.



**Figure 32 :** Vues des stations d'échantillonnage : (A) puits MP1 et (B) puits MP2.

**Tableau III :** Coordonnées géographiques, caractéristiques principales et sources de pollution des milieux aquatiques étudiés (sources, puits, cours d'eau).

Milieux aquatiques	Stations	Coordonnées GPS			Activités
		Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
Cours d'eau Ngoumou (Afamba)	NC1	03°35'36,4''	11°18'1,1''	660	Zone marécageuse, eaux résiduaires, baignade, quelques fois présence d'excréments humains
	NC2	03°35'43,9''	11°18'03,1''	664	Abattoir artisanal, excréments d'animaux lessive, baignade, laverie automobiles
Cours d'eau	AC1	03°30'24,7''	11°19'30''	629	Berges recouvertes de ciment

Akono (Akono)	AC2	3°30'21,8''	11°19'27,7''	628	Abreuvement du bétail, excréments d'animaux, baignade, lessive
Sources (Ngoumou)	NS1	3°35'30,9''	11°18'21,9''	646	Zone marécageuse, étang de pisciculture, eaux résiduaire, agriculture
	NS2	3°35'47''	11°18'8,9''	664	Habitations spontanées, culture maraichères
Sources (Akono)	AS1	3°29'55,5''	11°19'46,8''	661	Zone marécageuse, forêts,
	AS2	3°29'51,6''	11°19'43,5''	660	Lessive, baignade, laverie automobile, quelques fois présence d'excréments humains
Puits (Ngoumou)	Np1	3°35'28,5''	11°18'21,4''	647	Habitations spontanées, Toilette à quelques mètres
	Np2	3°35'24,1''	11°17'47,9''	657	Zone marécageuse, eaux résiduaire, effluents domestiques Toilette en amont
Puits (Akono)	AP1	3°30'5,7''	11°19'40,1''	678	Habitations spontanées, Toilette à quelques mètres
	AP2	3°30'0,5''	11°19'54,8''	687	Habitations spontanées

Localité et milieux aquatiques	Stations	Coordonnées GPS			Activités et caractéristiques
		Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
Cours d'eau d'Obala (Afamba)	OC1	04°10'12''	11°32'27,6''	469	Lessive, baignade, effluent domestique, agriculture maraichère
	OC2	04°10'18,5''	11°32'22,7''	467	Excréments d'animaux, dépôt d'ordure, lessive, baignade, laverie auto
Cours d'eau de Monatélé (Sanaga)	MC1	04°16'17,32'	11°11'54,6''	348	Dépôts de sable, stationnement de pirogue
	MC2	4°16'10,25''	11°11'40,6''	347	Lessive, baignade,
Sources Obala	OS1	4°10'22,8''	11°30'50,2''	494	Zone marécageuse, forêt
	OS2	4°09'31,5''	11°31'13,2''	486	Agricultures, lessive
Sources Monatélé	MS1	4°15'57,9''	11°12'18,7''	361	Agriculture maraichère,
	MS2	4°15'22,56''	11°12'12,1''	370	Habitation spontanées, eaux résiduaires
Puits Obala	OP1	4°10'36,4''	11°31'57,8''	474	Habitations spontanées
	OP2	4°10'36,4''	11°31'55,5''	488	Habitations spontanées, effluent ménager
Puits Monatélé	MP1	4°15'32,51''	11°12'1,44''	398	Habitations spontanées
	MP2	4°15'36,64''	11°11'57,58''	392	Habitations spontanées

## **II.2. Méthodes**

L'étude s'est déroulée en deux phases : une phase préliminaire allant de janvier à mars 2017, consacrée à la prospection des bassins versants, au choix des cours d'eau, des puits et sources. La seconde phase s'est déroulée d'avril 2017 à avril 2018 afin de collecter les données physico-chimiques et biologiques dans les 24 stations retenues.

Certains paramètres ont été mesurés directement sur le terrain ; pour les analyses au laboratoire, les prélèvements pour la physico-chimie de l'eau ont été effectués dans les puits à l'aide d'un sceau de 5 L puis transvasés dans des flacons de polyéthylène de 1000 mL à double bouchage et ramenés au laboratoire en enceinte réfrigérée. Dans les cours d'eau et les sources, les prélèvements ont été effectués de façon directe dans les flacons de 1000 mL.

### **II.2.1. Mesure des paramètres morpho-métriques et hydrologiques**

Les paramètres hydrologiques considérés dans cette étude ont été la vitesse d'écoulement de l'eau, la hauteur de la colonne d'eau, la profondeur de l'eau. Certaines caractéristiques morpho-métriques des points d'eau telles que la hauteur, le diamètre, la longueur, la largeur de la margelle et le niveau piézométrique ont été mesurés.

#### **II.2.1.1. Vitesse d'écoulement de l'eau**

La vitesse d'écoulement de l'eau ( $V$ ) a été mesurée dans différents tronçons de la station par la méthode indirecte qui consiste à déterminer à l'aide d'un chronomètre, le temps mis par un colorant neutre non polluant (bleu de méthylène) pour parcourir une distance connue. Elle est déterminée par la formule où  $V = d/t$  où  $V$  (exprimée en m/s) représente la vitesse d'écoulement de l'eau,  $d$  (exprimée en m) est la distance parcourue et  $t$  (exprimé en s) traduit le temps mis.

#### **II.2.1.2. Hauteur de la colonne d'eau**

L'épaisseur de la colonne d'eau ou hauteur de l'eau exprimée en centimètres a été mesurée à l'aide d'une corde graduée et lestée. Graduée au millimètre près, la corde est plongée verticalement dans la colonne d'eau de bout en bout d'une berge à l'autre. La valeur moyenne représente la hauteur de l'eau pour la station.

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

Les mesures des paramètres physico-chimiques se sont déroulées à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de APHA (2005) et Rodier *et al.* (2009). Les paramètres mesurés ont été entre autres la température, la conductivité électrique, la salinité, le pH, les STD, les gaz dissous, les formes d'azote, de phosphore et la quantité de matières organiques.

### **II.2.2.1. Température**

La température de l'eau a été mesurée *in situ*, à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10°C. Le thermomètre est plongé dans l'eau au 2/3 pendant 2 à 3 minutes. La montée du mercure correspond à la valeur de la température en degré Celsius (°C).

### **II.2.2.2. Conductivité électrique**

La conductivité électrique exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a été mesurée à l'aide de l'électrode d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839.

### **II.2.2.3. Salinité**

La salinité a été mesurée à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839. Les valeurs sont exprimées en unité de salinité pratique (usp) représentant la masse en g de sels dissous par volume d'eau.

### **II.2.2.4. pH**

Le potentiel d'hydrogène (pH) a été mesuré à l'aide du multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839. Les résultats sont exprimés en unité conventionnelle (UC) avec une précision de 1/10e.

### **II.2.2.5. Solides Totaux Dissous (STD)**

Les solides totaux dissous (STD en mg/L) ont également été mesurés sur le terrain à l'aide du multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839. Pour ce faire, l'appareil de mesure préalablement calibré a été mis sous tension, la sonde a été ensuite plongée dans l'eau et le paramètre à mesurer a été sélectionné ce qui a permis d'obtenir la valeur de celui-ci sur l'écran d'affichage.

### **II.2.2.6. Oxygène (O<sub>2</sub>) dissous**

La teneur en O<sub>2</sub> dissous a été mesurée en deux temps : la fixation sur le terrain et la mesure au laboratoire par titrimétrie. La fixation s'est faite à l'aide d'une bouteille de Winkler de 125 mL. On y a introduit 1mL de Chlorure de manganèse (MnCl<sub>2</sub>) et 1mL de réactif de Winkler (KI+KOH). Le contenu de la bouteille de Winkler a été transvasé dans un flacon en polyéthylène de 200 mL et ramené au laboratoire.

De retour au laboratoire, on a mesuré 50 mL de l'échantillon fixé sur le terrain. On y a ajouté 1 mL d'acide sulfurique concentré pour dissoudre le précipité formé. On a titré avec du thiosulfate de sodium N/80 jusqu'à disparition de la coloration bleue due à la présence de l'empois d'amidon comme indicateur coloré. La teneur en oxygène (mg/L de O<sub>2</sub>) correspond à la descente burette. Les valeurs obtenues ont été converties en pourcentage de saturation en oxygène grâce à l'Abaque de Mortimer (1956).

### **II.2.2.7. Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dissous**

Le CO<sub>2</sub> dissous a également été fixé sur le terrain et mesuré au laboratoire par titrimétrie. Sur le terrain, on a procédé à la fixation au moyen d'une solution de soude (NaOH) de 20 mL de normalité N/20, en utilisant la phénolphtaléine comme indicateur coloré, pour un volume de 200 mL d'eau à l'aide d'une fiole jaugée. Le contenu a été transvasé dans un flacon en polyéthylène et ramené au laboratoire pour titration.

De retour au laboratoire, le CO<sub>2</sub> dissous a été mesuré en prélevant 50 mL des 200 mL fixés sur le terrain, que l'on a titré avec du HCl (N/10) jusqu'à la disparition complète de la coloration rose. Le témoin a été préparé et titré dans les mêmes conditions avec de l'eau distillée. La teneur en CO<sub>2</sub> sera déterminée par la formule :

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/L)} = (\text{descente de burette du témoin} - \text{descente de burette de l'échantillon}) \times 17,6.$$

### **II.2.2.8. Matières en suspension (MES)**

Les MES ont été mesurées par colorimétrie au spectrophotomètre HACH DR 3900 à la longueur d'onde  $\lambda=810$  nm après calibrage de l'appareil, une cellule spectrophotométrique de 10 mL contenant l'échantillon a été introduite dans le spectrophotomètre et les teneurs de MES ont été exprimées en mg/L.

### **II.2.2.9. Turbidité**

La turbidité a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre HACH DR 3900 à la longueur d'onde  $\lambda= 450$  nm. Après étalonnage et lecture sur l'échantillon de la turbidité, les valeurs ont été exprimées en FTU.

### **II.2.2.10. Couleur**

La couleur a été mesurée par colorimétrie au spectrophotomètre HACH DR 3900 à la longueur d'onde  $\lambda= 455$  nm. Les valeurs ont été exprimées unité Pt-Co.

### **II.2.2.11. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les mesures de la teneur de l'eau en nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se sont faites au spectrophotomètre HACH DR 3900. Les nitrates ont été mesurées sur 10 ml d'échantillon avec comme réactif le Nitruver V à la longueur d'onde  $\lambda = 507$  nm. Les résultats ont été exprimés en mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

### **II.2.2.12. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

Les teneurs en nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ont été mesurées sur 10 mL d'échantillon avec comme réactif le Nitruver III à la longueur d'onde  $\lambda= 500$  nm. Les résultats ont été exprimés en mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

### **II.2.2.13. Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

La concentration en azote ammoniacal (exprimée en mg/L de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a été mesurée par la méthode de Nessler sur 10 mL d'échantillon d'eau brute en présence du sel de Rochelle (et du réactif de Nessler et la lecture a été faite à la longueur d'onde  $\lambda = 425$  nm.



#### **II.2.2.14. Orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

Les teneurs en orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ont été mesurées au spectrophotomètre HACH DR 3900 sur 10 mL d'échantillon avec comme réactif le Phosver III. Les résultats ont été exprimés en mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à la longueur d'onde  $\lambda = 530$  nm.

#### **II.2.2.15. Alcalinité**

L'alcalinité a été déterminée par volumétrie en titrant 50 mL d'échantillon d'eau avec de l'acide sulfurique N/50, en présence du rouge vert de méthyl-bromocrésol comme indicateur coloré. Les résultats exprimés en mg/L de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ont été obtenus par la formule ci-après :

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

#### **II.2.2.16. Oxydabilité**

L'oxydabilité a été mesurée par volumétrie. Dans un erlenmeyer de 500 mL ont été introduits 200 mL d'échantillon d'eau brute, puis 2 mL de carbonate monosodique et l'ensemble a été porté à ébullition sur une plaque chauffante. Dès le début de l'ébullition, 20 mL de KMnO<sub>4</sub> N/80 ont été ajoutés. Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erlenmeyer a été refroidi à l'eau courante, puis 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 25% et 20 mL de sel de Mohr y ont été ajoutés successivement. L'échantillon décoloré a ensuite été titré au KMnO<sub>4</sub> N/80 jusqu'à obtention d'une couleur rose persistante. L'échantillon témoin est préparé dans les mêmes conditions, mais avec de l'eau distillée. L'oxydabilité exprimée en mg/L de O<sub>2</sub> s'obtient par la formule ci-dessous :

$$\text{Oxydabilité (mg/L de O}_2) = \frac{(q - q_0)}{2} \times 3,19$$

Avec q = descente burette de l'échantillon

q<sub>0</sub> = descente burette témoin

### **II.2.3. Variables biologiques**

#### **II.2.3.1. Isolement et identification des formes de résistance des Protozoaires et Helminthes intestinaux**

De retour au laboratoire, les échantillons biologiques ont été laissés pour sédimentation pendant 24h. Le volume du culot a été mesuré et fixé au formol 10% (OMS, 2017). L'examen des échantillons s'est fait au microscope optique et au microscope électronique.

#### **II.2.3.2. Isolement des formes de résistances des protozoaires**

Plusieurs méthodes d'identification spécifique des différentes espèces ont été utilisées.

### **II.2.3.2.1. Examen direct après centrifugation**

Cette technique a consisté à prélever 5 mL du culot, l'introduire dans un tube à essai, y ajouter 0,5mL de formol, 5 mL d'eau distillée ensuite pour diluer le culot, y ajouter quelques gouttes de colorant (lugol ou de fuschine basique, la safranine ou MIF) qui vont colorer les structures internes des parasites et fermer les tubes pour homogénéiser en agitant. Les tubes ont ensuite été placés dans une centrifugeuse pendant 10 minutes (500trs/min). Enlever délicatement les tubes de la centrifugeuse sans les bouger et pipeter à l'aide d'une micropipette le fond du tube et poser la goutte sur la lame porte objet qu'on recouvre avec une lamelle pour observation au microscope optique.

### **II.2.3.2.2. Technique de concentration des échantillons**

La méthode diphasique de sédimentation au formol-éther de Ritchie est basée sur la coagulation des protéines par le formol et la stabilisation des graisses contenues dans l'échantillon par l'éther. Ainsi, les parasites vont se déposer au fond du tube par centrifugation. Elle consiste à ajouter 7 mL de réactif de Ritchie (100 mL de formol, 9g de NaCl, 900 mL d'eau distillée) au sous spécimen contenu dans un tube à centrifuger. Mélanger et laisser sédimenter quelques secondes, ensuite ajouter 3 ml d'éther. Boucher et mélanger par retournements pendant 30 secondes. Centrifuger à 500trs/min pendant 5 min et éliminer le surnageant par retournements. Faire un examen direct sur le culot de centrifugation.

### **II.2.3.2.3. Méthode de coloration de Ziehl-Neelsen modifiée**

Elle consiste à la coloration des lames. En effet, une solution de sulfate de zinc 10 % (permettant aux oocystes de flotter) est ajoutée au sous spécimen prélevé et reparti dans les tubes à essais. Les contenus de ces tubes à essais sont ensuite centrifugés à 500 tours/min pendant 5 min pour faire flotter les oocystes. Le surnageant est prélevé à l'aide d'une micropipette et distribué sur des lames qui sont par la suite séchées à l'air pour favoriser l'adhésion de l'échantillon sur les lames.

Après fixation au méthanol et coloration à la fuschine basique respectivement pendant 1 et 5 minutes, rincer à l'eau distillée et à l'acide sulfurique 2 % (jouant le rôle de décolorant des organismes autres que les oocystes) pendant 2 minutes. Rincer et réaliser ensuite une contre-coloration au bleu de méthylène 5 % (qui colore les autres structures ou organismes à l'exception des oocystes). Après rinçage à l'eau et séchage à l'air, l'examen et le dénombrement des oocystes sont réalisés au microscope Olympus CK2 au grossissement 20 X et 40X. Les mensurations des oocystes sont faites à l'aide du micromètre oculaire.

### **II.2.3.3. Isolement des œufs et des larves d'helminthes**

Les techniques de Kato-Katz et diphasique au formol-éther ont permis de concentrer les éléments parasitaires afin de garantir un meilleur dénombrement. L'observation des œufs et des larves d'helminthes s'est faite au microscope inversé de marque Olympus CK2, à un grossissement 20 X.

#### **II.2.3.3.1. Technique de concentration formol-éther**

Après homogénéisation de l'échantillon, 5 ml du culot ont été introduits dans des tubes à essai puis, nous avons ajouté successivement 2 mL de formol 10 % et 3 mL d'éther. Le mélange a été parfaitement agité puis centrifugé à 500 tours/min pendant trois minutes à l'aide d'une centrifugeuse. Le contenu du tube s'est séparé en quatre couches : en fonction de la densité on observe une couche supérieure d'éther, un bouchon de débris gras adhérant à la paroi du tube, une couche de formol et le culot. Le bouchon de débris gras a ensuite été décollé à l'aide d'un bâtonnet et le surnageant a été éliminé en renversant le tube d'un mouvement rapide. Enfin, le culot, mélangé à 2 ou 3 gouttes de colorant (Iugol) a servi à l'identification et au dénombrement des œufs et des larves d'helminthes après montage entre lame et lamelle.

#### **II.2.3.3.2. Technique de Kato-Katz**

Cette technique a été décrite par Katz *et al.* (1970) ; elle permet d'identifier et de quantifier les œufs et les larves d'helminthes intestinaux. La solution de Kato-Katz a été préparée en mélangeant 100 mL d'eau distillée, 100 mL de glycérine et 1 mL de vert de Malachite 3% (ou 1 mL de bleu de méthylène 3%). Les rectangles de papier cellophane ont été trempés dans cette solution 24 heures avant usage. Un fragment de culot a été prélevé et déposé au centre d'une lame. Sur cette dernière, un rectangle de papier cellophane imbibé de glycérol a été déposé et à l'aide d'un tube à essai, le culot a été étalé entre la lame et la cellophane en un frottis. La préparation ainsi obtenue a été observée après 30 minutes au microscope optique pour l'identification des œufs et des larves d'helminthes.

### **II.2.3.4. Manipulation des échantillons pour observation en microscopie**

#### **Electronique à balayage**

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique basée sur le principe des interactions électrons-matière permettant d'obtenir des images en haute résolution de la surface d'un échantillon. Un faisceau d'électrons vient frapper la surface de l'échantillon générant l'émission d'un spectre de particules sous forme de rayonnements : électrons

secondaires, électrons rétrodiffusés et rayons X. Le traitement de ces différents rayonnements apporte de l'information sur la matière dont est constitué l'échantillon.

La préparation des échantillons pour examen en microscopie électronique à balayage a été faite en collaboration avec le laboratoire de parasitologie de l'Université de Mansoura, Egypte. La première étape a consisté à la séparation des micro-organismes du culot. Pour cela un sous spécimen du culot est introduit dans un tube de 15 ml, ensuite ajouter 5ml d'une solution de sulfate de Zinc 10% qui va faire flotter les oocystes, mélanger par retournement et centrifuger à 500 tr/min pendant 10 min. Ensuite prélever le surnageant à l'aide d'une micropipette et introduire dans un tube de conservation micronic contenant une solution de glutéraldéhyde 2%. Par la suite l'échantillon a été transféré à un petit morceau de filtre Millipore à l'aide d'une seringue mini ; un petit morceau de papier filtre a été utilisé pour mèche de liquide excessif de la surface du filtre Millipore et déshydraté pendant 30min successivement à l'aide d'acétone 70%, d'acétate d'uranium 0,5% et pendant 2x20min à l'aide d'éthanol 96% et 100% ensuite la membrane est recouverte d'une fine pellicule d'or/palladium d'environ 2 à 3 nm d'épaisseur. et observée dans un Jeol JSM-6510 L.V SEM, Le microscope a été actionné à 30 KV à EM Unit, les exemples d'images ont été enregistrées.

#### **II.2.3.5. Dénombrement des éléments parasitaires**

Les formes environnementales des parasites intestinaux de l'homme ont été identifiées à l'aide des planches de l'OMS (1994). Les mesures des dimensions ont été faites grâce au micromètre que porte l'un des oculaires du microscope. On a trouvé le nombre (X) de parasites dans 1 L d'échantillon en utilisant la formule suivante (Ajeegah *et al.*, 2014)

$$X = \frac{y \cdot V_x}{V_y}$$

Avec :  $V_x$  = volume du culot dans 1 L d'échantillon,  $V_y$  = volume du culot utilisé pour observation et  $y$  = nombre de parasites observés dans  $V_y$ .

Les résultats obtenus ont été traités à l'aide du programme Excel de Microsoft Office 2013 pour la réalisation des graphes. Les photos ont été réalisées par des captures d'écran des observations microscopiques à l'objectif 20X grâce à l'application Toupview avec une caméra intégrée sur l'objectif du microscope. Les dessins ont été réalisés à la chambre claire du microscope Wild et à l'aide des logiciels Photoshop 4.1. Dessin 3D version 2.4.

#### **II.2.4. Analyses statistiques des variables physico-chimiques et biologiques**

##### **II.2.4.1. Corrélation de rang de Spearman (r)**

Les corrélations ont été calculées entre les densités moyennes des organismes et les moyennes des variables physico-chimiques obtenues. Ce calcul a permis de conforter les

relations probables entre les différentes variables tant biotiques qu'abiotiques. Deux séries de variables sont plus ou moins fortement liées selon que  $r$  est plus ou moins proche de 1. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman a été calculé pour mesurer les degrés de liaison entre les variables abiotiques d'une part, entre les variables biologiques et entre les variables abiotiques et biologiques d'autre part. L'analyse est effectuée à l'aide du programme SPSS version 20.0 après vérification de la distribution des données.

#### **II.2.4.2. Test H de Kruskal-Wallis**

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (test H) a été utilisé pour vérifier sur le plan spatial et temporel, la signification des différences (ou similarités) de variances des paramètres abiotiques et des densités des variables biologiques, relatifs à la distribution des organismes récoltés. Il a également été utilisé pour comparer, à partir des paramètres physico-chimiques mesurés, primo les eaux des puits et les eaux des sources étudiées, et secundo les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour se faire, deux hypothèses ont été émises : une hypothèse nulle selon laquelle les médianes des échantillons à comparer ne diffèrent pas significativement et une seconde hypothèse alternative selon laquelle il existe une différence significative entre les médianes des échantillons à comparer.

L'analyse a été effectuée à l'aide du programme SPSS version 20.0 qui nous donne la valeur de  $p$  ( $p$ -value). Si cette valeur est inférieure à 0,05 ( $p < 0,05$ ), l'hypothèse nulle est rejetée. Dans le cas contraire, ( $p \geq 0,05$ ) elle est vérifiée. Les variables étant quantitatives, ce test de rang est mesuré avec au moins une échelle ordinale (rangs). Le test se fonde sur l'hypothèse que les différents échantillons à comparer suivent la même distribution ou qu'ils ont des distributions autour d'une médiane (StatSoft France, 2005). Chaque fois que le test de Kruskal-Wallis a montré une différence significative entre les variances des échantillons comparés, le test de comparaison multiple de rangs ou le test U de Mann-Whitney a été utilisé pour une comparaison deux à deux, afin d'isoler les échantillons qui diffèrent significativement.

#### **II.2.4.3. Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)**

L'objectif de l'analyse de classification hiérarchique (ACH) est de rassembler les moyennes de variables dans des classes de plus en plus larges, sur la base de certaines mesures de similarité distance qu'est la distance euclidienne. Les résultats de ce type de classification sont habituellement représentés sous forme de dendrogramme. Cette méthode se distingue de toutes les autres par le fait qu'elle utilise une analyse de la variance approchée afin d'évaluer les distances entre les classes (Ward, 1963). Dans ce travail, l'ACH a été utilisée pour regrouper les stations en fonction d'une part, de leurs similarités abiotiques, et

d'autre part, de la similarité des organismes récoltés sur la base des densités moyennes. La distance euclidienne employée dans cette analyse de classification ascendante est une échelle ordinale de 0 à 10 (Williams *et al.*, 1971) et la méthode de Ward a été utilisée comme critère d'agrégation. L'ACH a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 2019.

#### **II.2.4.4. Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Dans cette étude, l'ACP a été utilisée pour établir la typologie abiotique des stations de prélèvement sur la base de l'ensemble des variables environnementales mesurées à chaque station tout au long de l'étude. Cette méthode de statistique factorielle descriptive a pour objectif de présenter sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données de taille importante (Philippeau, 1992). La matrice de données est composée des échantillons « n » en ligne sur lesquels sont mesurés des variables quantitatives « p » disposées en colonnes. La matrice utilisée dans cette étude est une base ayant subi une transformation logarithmique «  $\text{Log}(X + 1)$  » pour avoir une normalité approximative puis standardisée pour obtenir une échelle comparable des variables (Michael *et al.*, 2004). Le tableau de données « n » × « p » forme ainsi un nuage de « n » points dans un espace à « p » dimensions. Chaque composante principale (dimension) explique une quantité plus ou moins importante de l'information de départ.

En général, les deux à trois premières composantes principales suffisent pour expliquer 60 à 70% de l'information contenue dans la matrice de départ (Ouro-Boya, 2004). Les composantes principales sont obtenues par la diagonalisation d'une matrice qui, suivant la nature des variables initiales, est soit la matrice des corrélations, soit la matrice des covariances (Legendre *et al.*, 1979). Dans le cadre de cette étude, c'est la matrice de corrélation qui a été utilisée. La phase finale de l'ACP consiste en une représentation graphique qui permet alors d'avoir un aperçu des résultats. Il existe deux types de représentation ; le diagramme de dispersion des variables qui est un cercle de corrélation et le diagramme de dispersion des sites. L'ACP a été réalisé à l'aide du logiciel XLSTAT 2019.

#### **II.2.4.5. Analyse Canonique des Correspondances (ACC)**

Pour cette étude, l'ACC a permis de mettre en relation les densités des organismes récoltés et les variables environnementales après avoir subi une transformation logarithmique [ $\log(X + 1)$ ] (Ter Braak *et al.*, 2002). Elle a permis de déterminer les facteurs abiotiques influençant l'abondance des espèces rencontrées dans les différents noyaux définis par la densité. Le résultat de cette analyse est présenté par un graphique sur lequel sont projetées les variables espèces et les stations d'échantillonnage en fonction des densités. L'Analyse Canonique des Correspondances a été effectuée grâce au logiciel XLSTAT 2019.



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

### III.1. Résultats

#### III.1.1. Caractérisation des points d'eau étudiés

##### III.1.1.1. Caractéristiques morphométriques

Les paramètres morphométriques concernant les puits et les sources sont précisément le niveau piézométrique, la forme, les mesures de la margelle ou le niveau de protection du point d'eau (tableau IV). Le niveau piézométrique a varié de 0 à 7,5 m dans les puits étudiés. Le puits NP2 et le puits AP2 sont dépourvus de margelle. Les effluents et les eaux de ruissellement sont directement déversés dans le puits. Les margelles des puits n'ont pas de couvercle adéquat. La hauteur de la margelle a varié de 0,1 à 0,9 m. Les caractéristiques des puits sont présentées dans le tableau IV.

**Tableau IV** : Caractéristiques morphométriques des puits étudiés

Puits	NP1	NP2	AP1	AP2	OP1	OP2	MP1	MP2
Niveau piézométrique(m)	0	0,8	0	2,6	1,5	1,34	7,5	3,47
Hauteur (m)	0,9	0,1	0,9	0,10	0,66	0,63	0,66	0,57
Diamètre (m)	C 0,8	C 1,31	C 1	1,18x0,9	C 1,10	0,76x0,8	C 1,06	D 0,58

Dans les localités de Ngoumou et d'Akono, les sources ne sont pas aménagées. Les sources d'Obala et de Monatélé sont aménagées en partie, avec des bordures élevées en parpaings allant de 1,2 à 2,8 m de hauteur à l'exception de la source OS1 située à Obala qui est totalement aménagée avec une cuve en béton fermée d'une dalle et munie d'un tuyau en PVC.

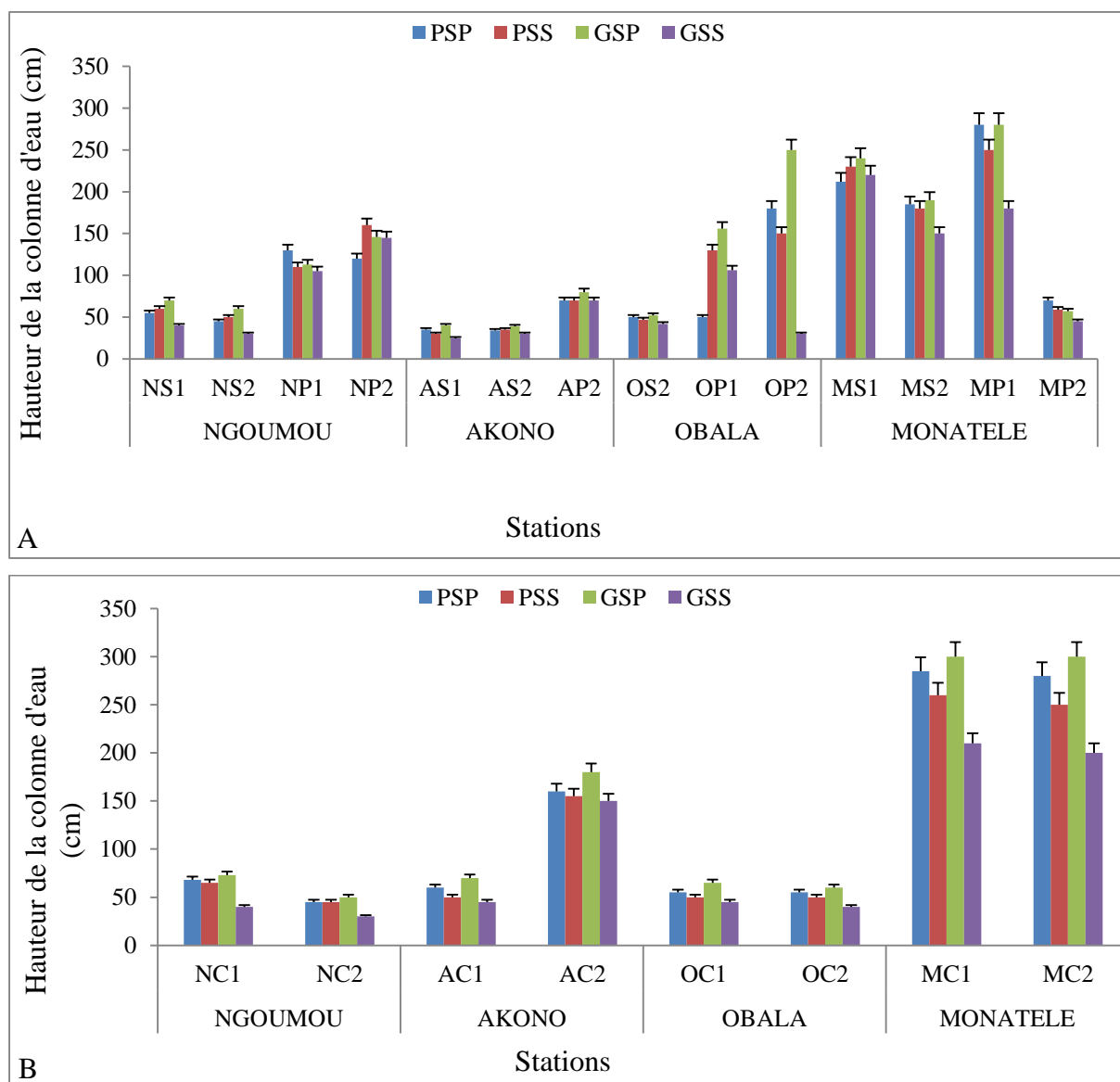
Les caractéristiques morphométriques des sources sont consignées dans le tableau V et concernent le niveau de protection ou le type d'aménagement, la forme et les dimensions.

**Tableau V** : Caractéristiques morpho-métriques des sources étudiées

Sources	NS1	NS2	AS1	AS2	OS1	OS2	MS1	MS2
Profondeur (m)	0,7	0,71	0,7	0,4	1,2	1,56	2,4	2,8
Présence protection	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Dalle fermée avec tuyaux	Aucune	Surmonté par des briques	Aucune
Largeur/Longueur (m)	0,84x3	3,5x2,45	2,8x4	1,13x2,1	1x2	2,4x3	D 2,1	0,8x0,8



La hauteur de la colonne d'eau dans les eaux de surface a varié de 30 cm à Ngoumou (NC2) (pendant la GSS) à 300 cm pendant la GSP à Monatéle (MC2). Dans les cours d'eau d'Obala (Afamba) et de Ngoumou (Ebongo), la hauteur de la colonne d'eau est restée en dessous de 70 cm à toutes les saisons. Elle renseigne sur le volume d'eau et permet d'évaluer les variations en fonction des saisons. Pour ce qui est du milieu souterrain, la colonne d'eau était considérable dans les puits de Ngoumou (NP1 et NP2), d'Obala (OP1 et OP2) et de Monatéle (MP1) avec une valeur maximale de 250 cm dans le puits OP2 sauf en GSS où le niveau d'eau baisse à Obala (OP2). Dans les sources, l'épaisseur de la colonne d'eau a oscillé entre 25 cm à Akono (AS1) pendant la GSS à 240 cm à Monatéle (MS1) pendant la GSP (Figure 33).



**Figure 33 :** Variations spatio-temporelles de la hauteur de la colonne d'eau (A) dans les puits et les sources et (B) dans les cours d'eau étudiés

### **III.1.1.2. Variations spatio-temporelles des variables physicochimiques des points d'eau**

#### **III.1.1.2.1. Variations spatio-temporelles des caractéristiques physiques**

Les valeurs saisonnières des paramètres physiques des eaux de sources, puits et cours d'eau étudiées ont varié d'une localité à l'autre. Les paramètres tels que : la température, la turbidité, les MES et la couleur ont été mesurés dans toutes les stations d'échantillonnage et dans les différentes localités.

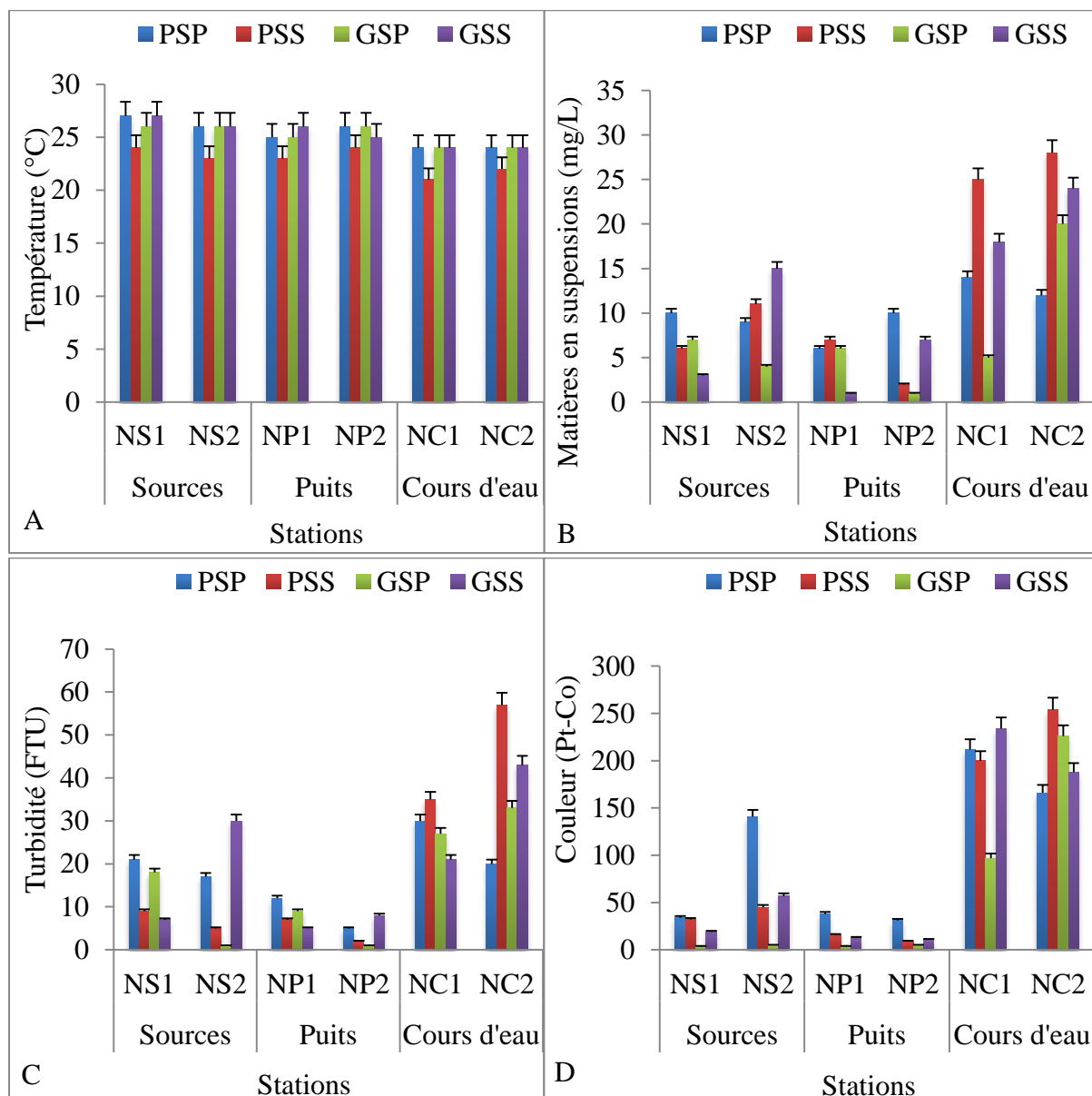
##### **III.1.1.2.1.1. Caractéristiques physiques des sources, puits et cours d'eau de Ngoumou**

Les variations spatio-temporelles des valeurs de la température, de la turbidité, des matières en suspension et de la couleur sont présentées sur la figure 34. Dans la localité de Ngoumou, la température dans les points d'eau varie entre 21°C et 27°C (figure 34A), avec une moyenne de 24,6±1,5°C. Bien que ces valeurs soient différentes d'une station à l'autre, le test H de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) sur le plan spatial entre les valeurs de la température obtenues aussi bien au niveau des eaux souterraines que de surface. Mais une différence significative est observée d'une campagne à l'autre (test U de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).

Les matières en suspension (MES) et la turbidité sont restées faibles tout au long de la période d'étude traduisant un apport modéré des particules exogènes non solubles dans les plans d'eau. Elles varient respectivement entre 1 et 28 mg/L et entre 1 et 57 FTU (figure 34B et C). Les puits sont moins chargés avec un minimum de 1 mg/L pour les MES et de 1 FTU pour la turbidité enregistrée à la station NP2 pendant la GSP et les valeurs les plus élevées ont été observées au niveau du cours d'eau, avec un maximum de (28 mg/L) pour les MES et 57 FTU pour la turbidité relevée à la station NC2 pendant la PSS. Au niveau de cette station du cours d'eau s'exerce diverses activités anthropiques telles que la lessive, laverie automobile, baignade, ce qui favoriserait la remise en suspension des particules non solubles dans la colonne d'eau.

La couleur des eaux, est plus élevée dans le cours d'eau allant de 97 (GSP) à 254 Pt-Co (PSS). Dans les eaux souterraines par contre, ces valeurs sont moins élevées et varient entre 4 et 141 Pt-Co (figure 34D). Les valeurs maximales sont caractéristiques de la PSP dans les eaux souterraines et dans le cours d'eau les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la saison sèche. Dans le cours d'eau, les valeurs sont plus élevées car ce dernier traverse une zone marécageuse. La couleur de l'eau est liée à la présence des particules colloïdales dans l'eau. D'après le test de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ), les MES, la couleur et la

turbidité ne présentent pas de différences significatives sur le plan spatio-temporelle aussi bien dans le milieu souterrain que dans le cours d'eau.



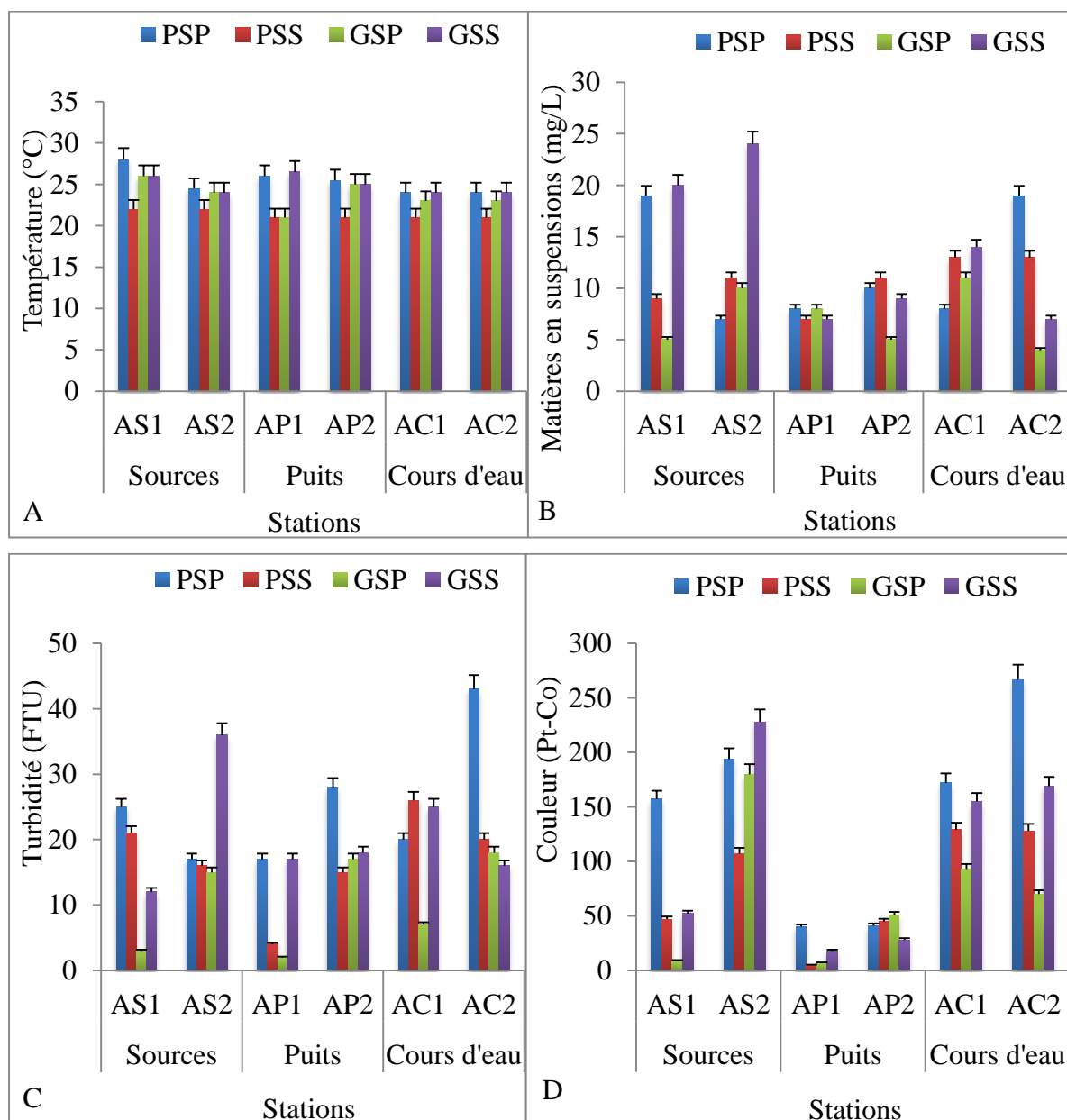
**Figure 34 :** Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.

### III.1.1.2.1.2. Caractéristiques physiques des sources, puits et cours d'eau d'Akono

Les variations spatiales et saisonnières des valeurs de la température, de la turbidité, des matières en suspensions (MES) et de la couleur sont présentées à la figure 35. Dans la localité d'Akono, les valeurs de la température des eaux ont évolué entre 21 et 28°C, avec une moyenne de  $23,8 \pm 2^\circ\text{C}$  (figure 35A). Ces variations d'après le test de Kruskal-Wallis restent non significatives sur le plan spatial ( $p > 0,05$ ). On observe par contre une variation significative d'une saison à une autre d'après le test U de Mann-Whitney ( $P < 0,05$ ). Les

valeurs les plus faibles sont notées durant la PSS tant pour les eaux souterraines que pour le cours d'eau.

Les valeurs de MES et de la turbidité sont restées faibles. Dans les eaux souterraines, ces valeurs oscillent entre 5 et 24 mg/L et entre 2 et 36 FTU respectivement pour les MES et la turbidité. La valeur maximale a été obtenue à la source AS2 durant la GSS (figure 35B et C). Au niveau du cours d'eau les eaux ont été plus turbides (43 FTU) en PSP à la station AC2. Ces variations ne présentent pas de différences significativement sur le plan spatio-temporel d'après le test de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).



**Figure 35 :** Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono

La couleur des eaux au niveau des eaux souterraines a variée entre 5 et 228 Pt-Co avec une moyenne de  $99,6 \pm 76,2$  Pt-Co (figure 35D). Les eaux sont plus colorées à la station AS2 pendant toute les saisons et moins colorées à la station AP1. Cette différence reste significative sur le plan spatial d'après le test de Kruskal Wallis ( $p < 0,05$ ) mais non significative sur le plan temporel. Au niveau du cours d'eau, ces valeurs ont été plus élevées et varient entre 70 et 267 Pt-Co. Les eaux ont été plus colorées à la PSP pour toute les stations. Les variations de la couleur au niveau du cours d'eau restent non significatives entre les stations d'après le test de Man-Whitney ( $p > 0,05$ ).

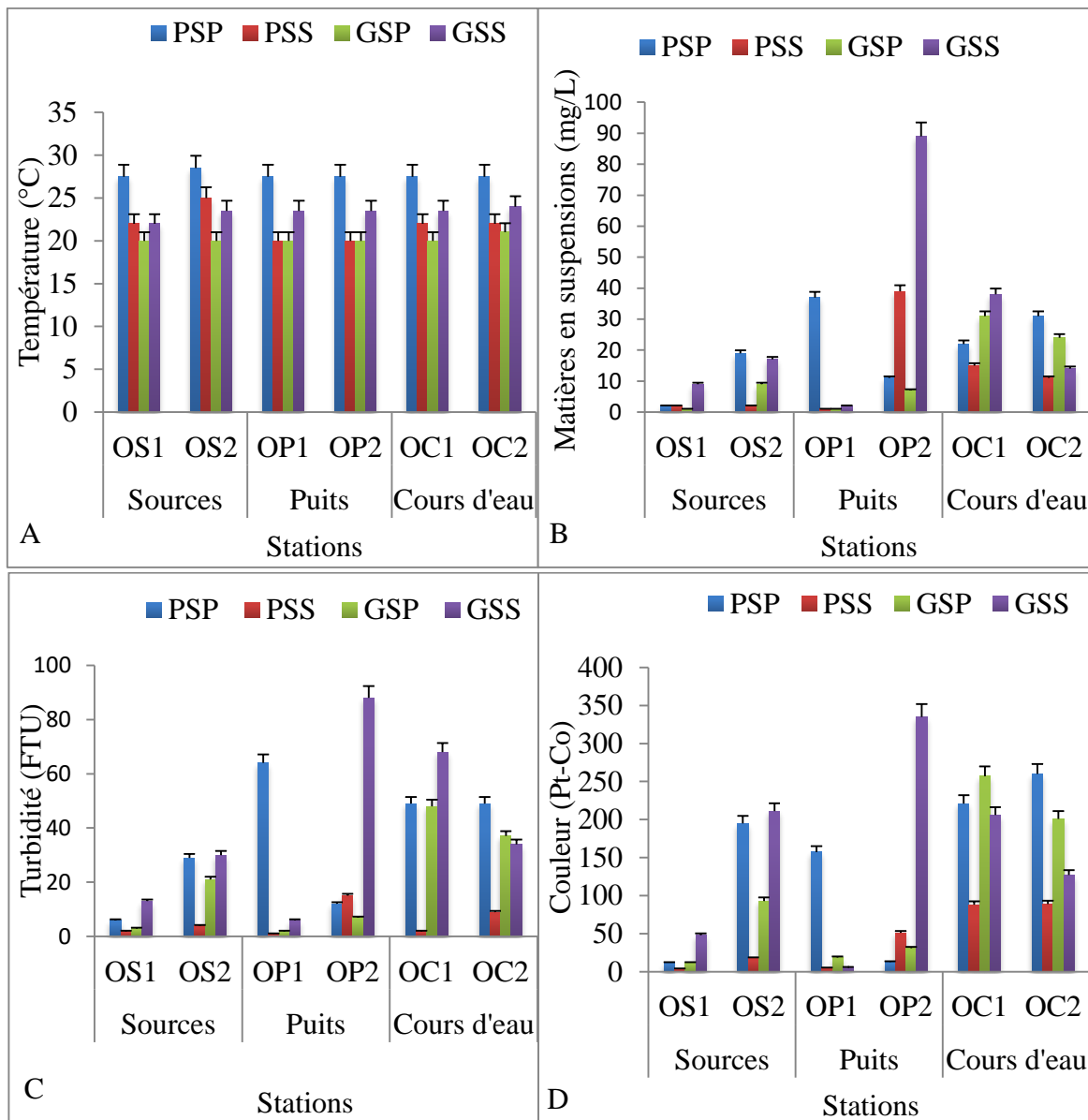
#### **III.1.1.2.1.3. Caractéristiques physiques des sources, puits et cours d'eau d'Obala**

Les variations spatio-temporelles des valeurs de la température, de la turbidité, des matières en suspensions et de la couleur sont présentées sur la figure 36.

La température des eaux à Obala varie entre 20 et 28,5 °C avec une moyenne de  $23,25 \pm 3$ °C (figure 36A). Le test de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative entre les stations  $p > 0,05$ . Les températures les plus faibles ont été enregistrées en GSP. Ces variations saisonnières restent significatives d'après le test H de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

Les MES et la turbidité présentent des profils de variation semblables. Au niveau des eaux souterraines, elles varient entre 1 et 89 mg/L et entre 1 et 98 FTU (figure 36B) respectivement. On observe un pic de MES au niveau du puits OP2 (89 Pt-Co) pendant la GSS, période durant laquelle le niveau d'eau dans le puits a baissé. Dans le cours d'eau, ces valeurs oscillent entre 11 et 38 mg/L et entre 2 et 68 FTU. Ces variations ne diffèrent pas significativement sur le plan spatio-temporel d'après le test de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

La couleur présente les profils de variation semblables à ceux de la turbidité et des matières en suspension (MES). Dans les eaux souterraines, ces valeurs oscillent entre 4 Pt-Co (pendant la GSP à la source OS1) et 335 Pt-Co (pendant la GSS au puits OP2). Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées à la source OS1 d'Obala. Cette source est protégée par un cadre en béton ce qui limite les apports exogènes. Au niveau du cours d'eau, elle est plus élevée et varie entre 88 et 260 Pt-Co. Les eaux ont été moins colorées pendant la PSS dans toutes les stations (figure 36D). Le test de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les valeurs obtenues dans le cours d'eau et les secteurs d'eaux souterraines.



**Figure 36 :** Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala

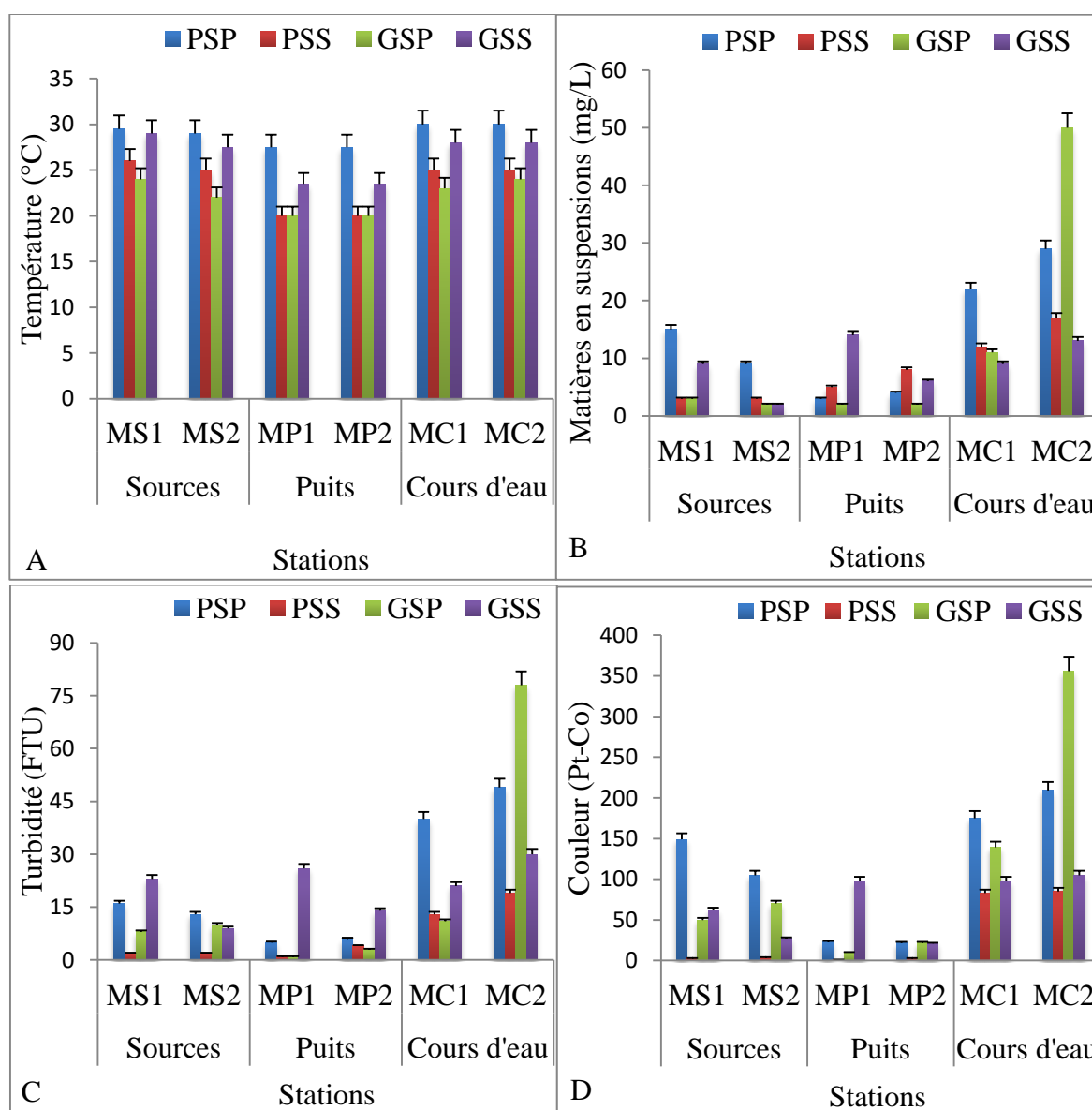
#### III.1.1.2.1.4. Caractéristiques physiques des sources, puits et cours d'eau de Monatélé

Les variations spatiales et saisonnières des valeurs de la température, de la turbidité, des Matières en suspension et de la couleur sont présentées à la figure 36. La température des eaux varie entre 20 et 30°C avec une moyenne de  $25,29 \pm 3,34^\circ\text{C}$  (figure 37A). Le test de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative entre les stations  $p > 0,05$ . Par contre on note une différence significative d'une saison à une autre ( $p < 0,05$ ).

Les valeurs des MES et de la turbidité sont restées faibles. Dans les eaux souterraines, elles varient entre 2 et 15 mg/L et entre 1 et 26 FTU respectivement pour les MES et la

turbidité (figure 37B). Par contre ces variables sont plus élevées au niveau du cours d'eau, elles varient entre 9 et 50 mg/L et entre 11 et 78 FTU respectivement. La station MC2 située en aval présente les valeurs les plus élevées. Ces variations ne présentent pas de différence significative sur le plan spatio-temporel d'après le test de Kruskal-Wallis  $p > 0,05$ .

la couleur des eaux ne diffère pas significativement d'une station à une autre et d'une saison à une autre d'après le test de Kruskal-Wallis  $p > 0,05$ . La couleur est restée faible dans les eaux souterraines et varie entre 1 et 98 Pt-Co. Les valeurs les plus élevées été enregistrées pendant la PSP et la GSS respectivement au niveau des sources et au niveau des puits. Par contre dans le cours d'eau, ces valeurs sont plus élevées et varient entre 83 et 356 Pt-Co (à la station MC2 pendant la GSP) (figure 37C).



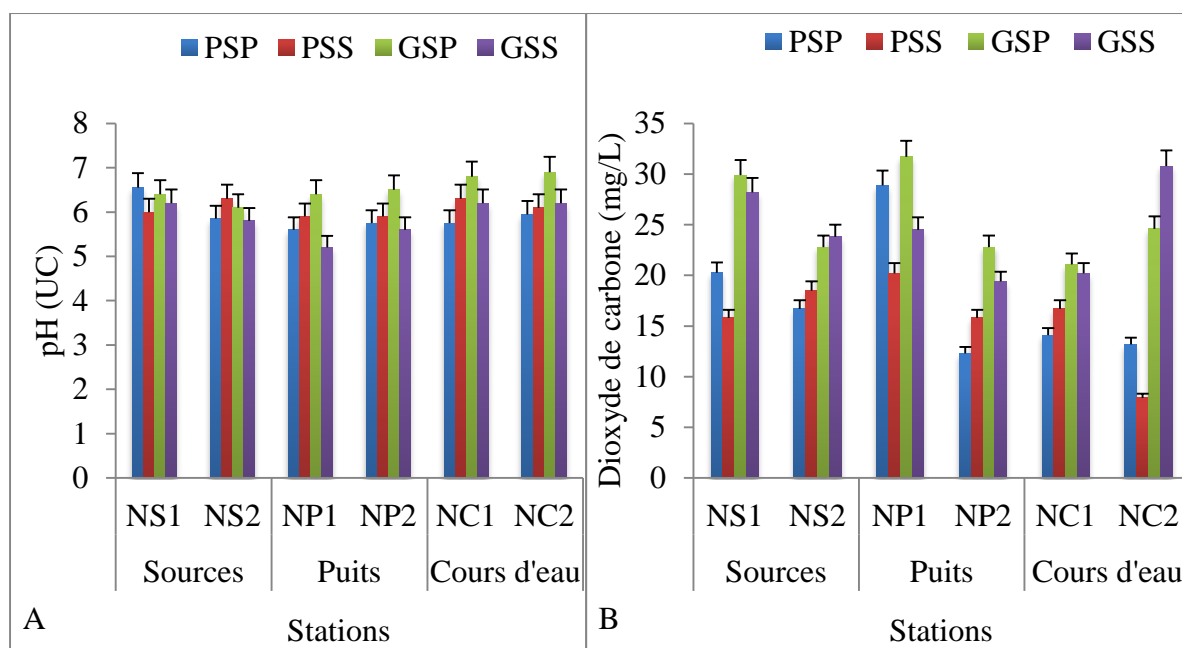
**Figure 37 :** Variations spatio-temporelles de la température (A), des matières en suspensions (B), de la turbidité (C) et de la couleur (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatélé

### III.1.1.2.2. Variations spatio-temporelles des caractéristiques chimiques

#### III.1.1.2.2.1. Caractéristiques chimiques des sources, puits et cours d'eau de Ngoumou

Afin d'apprécier la qualité chimique des eaux, quelques variables chimiques ont été mesurées. Les variations spatio-temporelles du pH et du CO<sub>2</sub> sont présentées sur la figure 38. Dans la localité de Ngoumou, le pH des eaux varie de 5,2 à 6,9 UC. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de 6,09±0,3 UC. Les eaux de Ngoumou sont donc faiblement acides. Le test de Kruskal-Wallis ne montre pas de différence significativement sur le plan spatial ( $p > 0,05$ ) par contre sur le plan temporel on note une différence significative  $p < 0,05$  d'après le test de Mann-Whitney (figure 38A).

Les teneurs des eaux en CO<sub>2</sub> dissous varient entre 13,3 et 31,7 mg/L dans les eaux souterraines avec une moyenne de 21,9±5,6 mg/L. Dans le cours d'eau, ces valeurs sont plus faibles et varient entre 7,9 à 30,8 mg/L (figure 38B). Ces variations ne montrent aucune différence significative sur le plan spatial (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ). Par contre on note une différence significative sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).

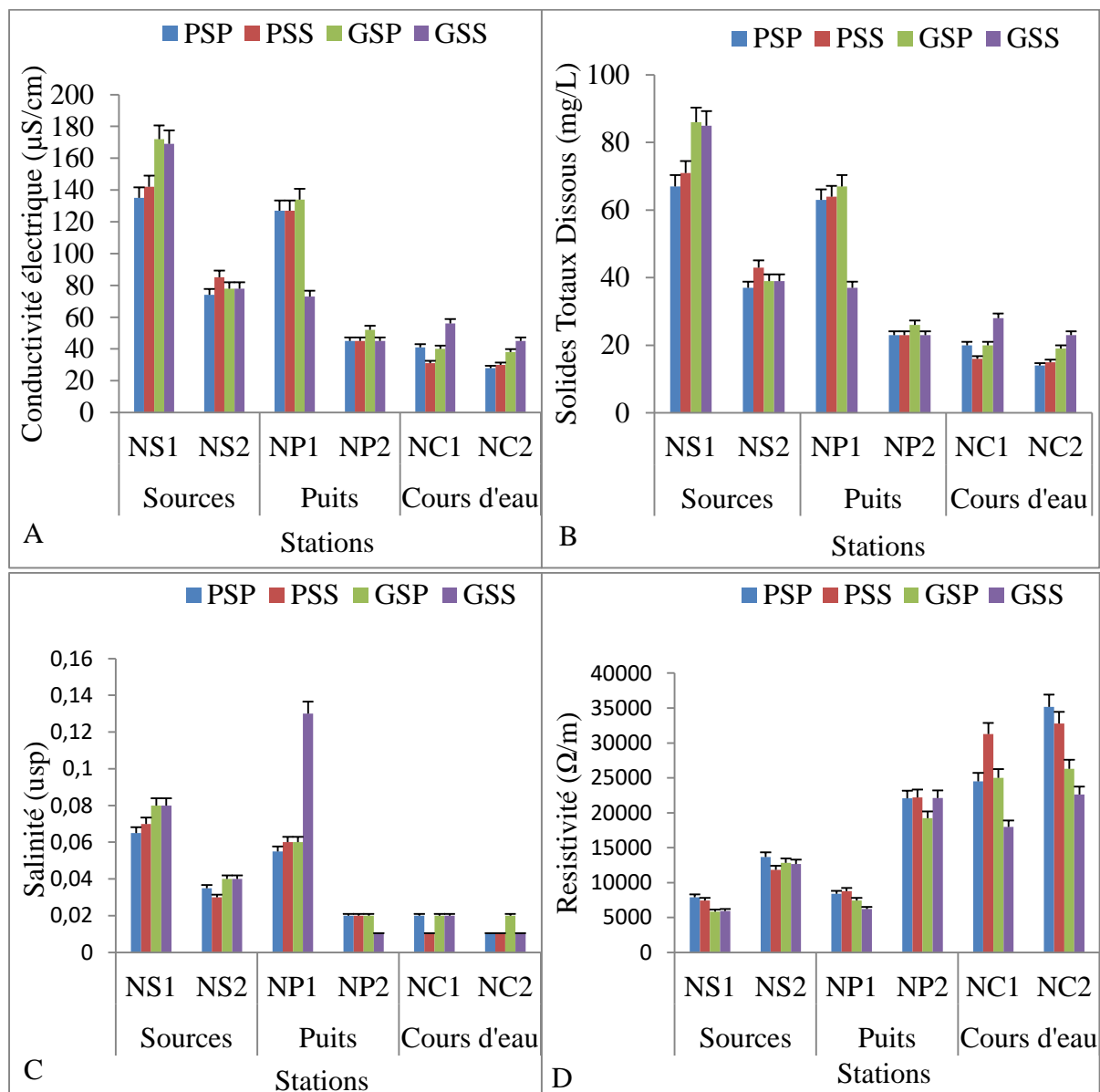


**Figure 38:** Variation spatio-temporelle du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité de Ngoumou

La conductivité électrique, les solides totaux dissous (STD) et la salinité sont restées faibles et présentent pratiquement le même profil de variation (figure 39). Ces variations ne présentent aucune différence significative d'une saison à une autre mais diffèrent significativement sur le plan spatial (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Elles varient entre 28 et 172  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 39A), entre 14 et 86 mg/L (figure 42B) et entre 0,01 et 0,13 usp (figure 39



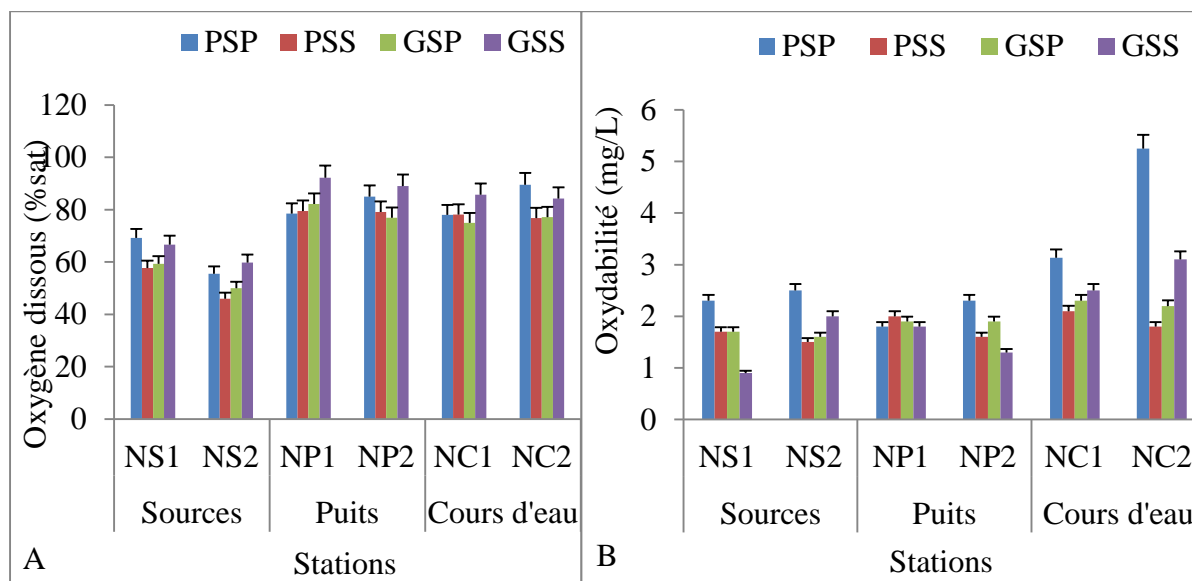
C) respectivement pour la conductivité, les STD et la salinité. Ces variables sont restées très faibles au niveau du cours d'eau par rapport aux sources et aux puits pendant la période d'étude. Les valeurs de la conductivité électrique et des STD les plus élevées ont été enregistrées à la station NS1 (172 $\mu$ S/cm). On note un pic de salinité en GSS à la station NP1.



**Figure 39 :** Variation spatio-temporelle de la conductivité (A), des Solides Totaux Dissous (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.

Les eaux ont été bien oxygénées et très pauvres en matières organiques ; les teneurs en oxygène dissous dans les eaux n'ont pas varié significativement d'une station à une autre ( $p > 0,05$ ) et sont restées généralement au-dessus de 50%. L'oxydabilité a présenté des valeurs allant de 0,9 à 5,25 mg/L (figure 40B). Lorsqu'on applique le test de Kruskal-Wallis pour ces deux variables, aucune différence significative n'est notée sur le plan spatial ( $p < 0,05$ ).

Cependant on enregistre une différence significative sur le plan temporel pour ce qui est de l'oxygène dissous (figure 40A).



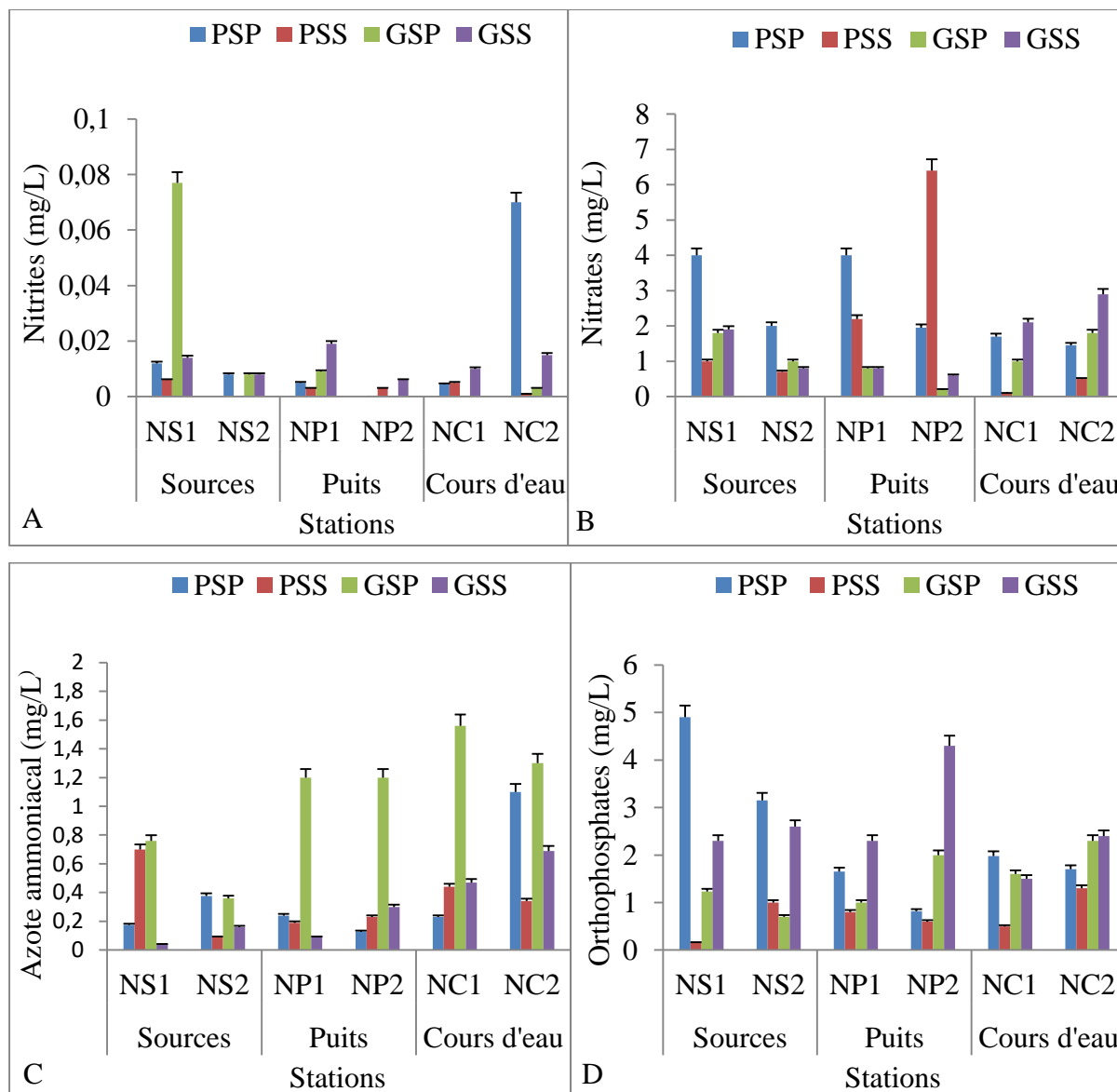
**Figure 40 :** Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (C) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.

Les variations spatio-temporelles des formes d'azote à savoir les nitrates, nitrites et azote ammoniacal et les Orthophosphates sont représentées sur la figure 41. Les teneurs des eaux en nitrates et en nitrites ne varient pas significativement sur le plan spatio-temporel, test H de Kruskal Wallis ( $p > 0,05$ ). Les nitrites sont présents dans les eaux sous forme de trace avec des valeurs comprises entre 0 et 0,077 mg/L, on observe deux pics de nitrites en GSP à la station NS1 et en PSP à la station NC2 (figure 41A). Les nitrates ont été la forme d'azote ayant les plus grandes valeurs pendant cette étude. Dans les eaux souterraines, elles varient de 0,2 à 6,4 mg/L (NP2) (figure 40B). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en PSP sauf à la station NP2 où on a un pic de 6,4 mg/L durant la PSS. Au niveau du cours d'eau, les valeurs sont plus faibles et varient entre 01 et 2.9 mg/L la valeur la plus élevées a été enregistrées en GSS à la station NC2.

En ce qui concerne l'azote ammoniacal, les teneurs dans les eaux sont restées faibles durant toute la période d'étude, avec des valeurs comprises entre 0,009 et 1,56 mg/L et chevauchent autour d'une moyenne de  $0,55 \pm 0,44$  mg/L (figure 41C). D'après le test de Kruskal-Wallis, ces teneurs ne diffèrent pas significativement d'une station à une autre ( $p > 0,05$ ). Dans les eaux, les valeurs les plus élevées sont caractéristiques de la GSP.

Les Orthophosphates présentent des valeurs qui oscillent entre 0,16 mg/L (NS1 pendant la PSS) et 4,9 mg/L (NS1 pendant la PSP) pour les eaux souterraines (figure 41D). Les valeurs maximales sont relevées pendant la PSP dans les sources et pendant la GSS au

niveau des puits. Dans le cours d'eau, ces valeurs oscillent entre 0,5 et 2,4 mg/L. et les plus faibles valeurs ont été enregistrées durant la PSS aussi bien pour les eaux souterraines que pour les eaux du cours d'eau. Lorsqu'on applique le test de Kruskal-Wallis pour les valeurs obtenues les variations ne sont pas significatives entre les stations ( $p > 0,05$ ) mais la différence reste significative entre les saisons ( $p < 0,05$ ).

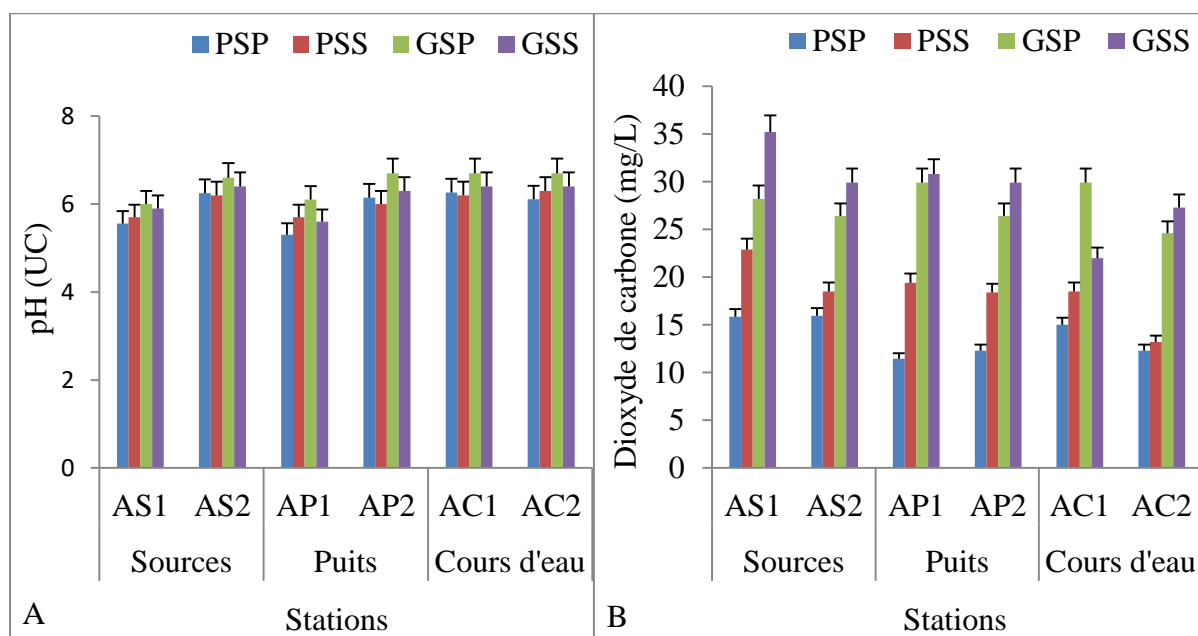


**Figure 41 :** Variation spatio-temporelle des des Nitrites (A), Nitrates (B), de l'Azote ammoniacal (C) et des Orthophosphates (D) dans les eaux des sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Ngoumou.

### III.1.1.2.2.2. Caractéristiques chimiques des sources, puits et cours d'eau d'Akono

La figure 42 présente les variations spatio-temporelles des valeurs de pH et du CO<sub>2</sub> dissous. Le pH varie de 5,3 à 6,7 UC, les eaux de la localité d'Akono sont donc faiblement

acides. Ces variations ne présentent pas de différences significatives sur le plan spatio-temporelle (le test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ) (figure 42A).

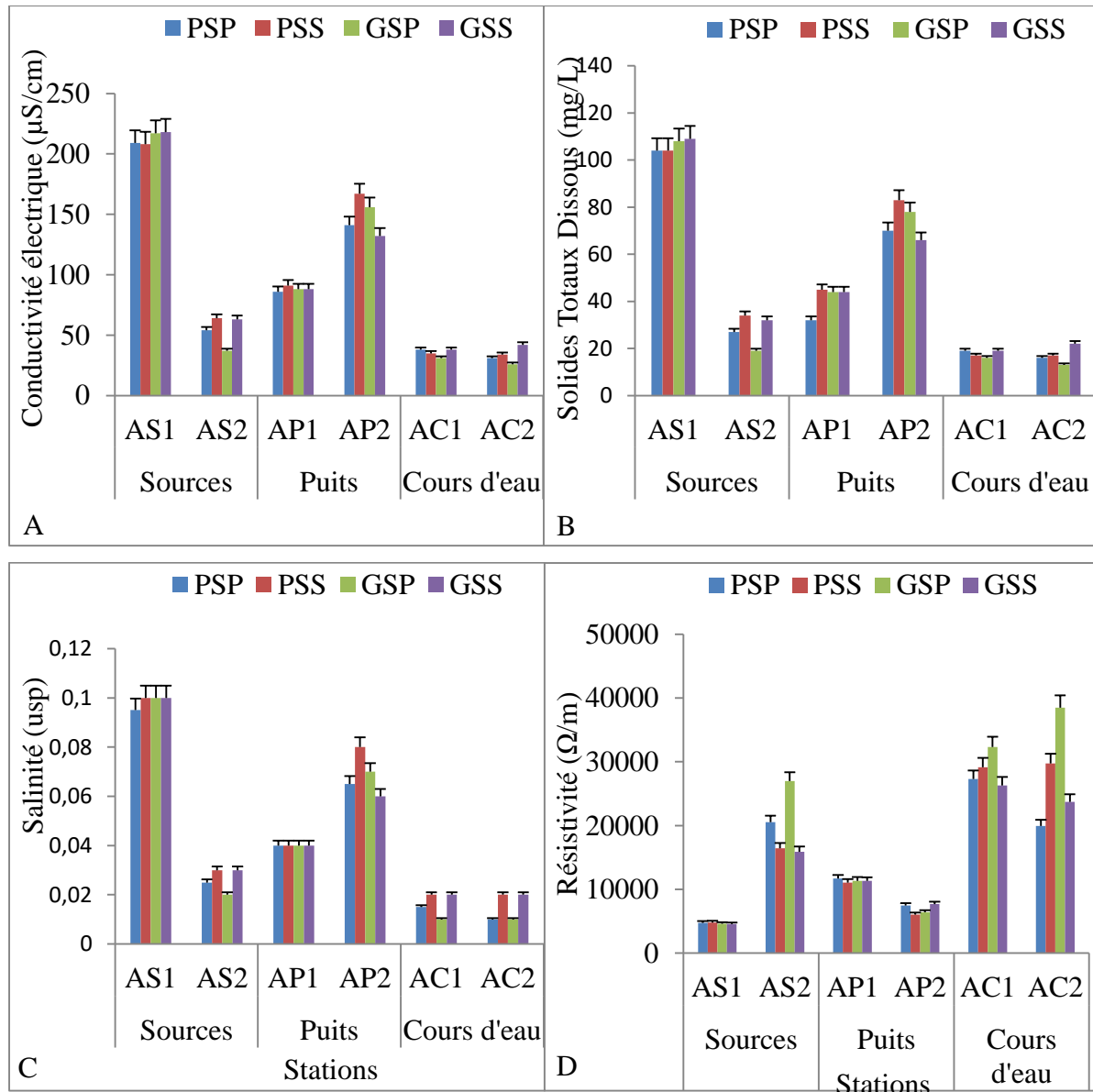


**Figure 42 :** Variations spatio-temporelles du pH (B) et du dioxyde de carbone (C) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité d'Akono.

Les teneurs en  $\text{CO}_2$  dissous varient entre 11,45 et 35,2 mg/L et oscillent autour d'une moyenne de  $22 \pm 0,7$  mg/L dans les eaux souterraines (figure 42B). Elles augmentent de la PSP à la GSS. Par contre dans le cours d'eau, les valeurs sont plus faibles et oscillent entre 12,3 et 29,9 mg/L. Toute fois le test de Kruskal-Wallis ne révèle pas de différence significative entre les stations tant pour les eaux souterraines que de surface ( $p > 0,05$ ) mais diffèrent significativement sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).

Les variations spatiales et saisonnières de la conductivité électrique, des STD, de la résistivité et de la salinité sont présentées sur la figure 43. La conductivité, les STD et la salinité présentent des profils de variation presque similaires. Lorsqu'on applique le test de Kruskal-Wallis à ces trois paramètres, les valeurs ne diffèrent pas significativement d'une saison à une autre ( $p > 0,05$ ) mais diffèrent significativement sur le plan spatial ( $p < 0,05$ ). Les valeurs de la conductivité et des STD dans les eaux souterraines varient respectivement de 37 (à AS2 pendant la GSP) à 219  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (à AS1 pendant la GSS) (figure 43A) et de 19 (AS2 pendant la GSP) à 109 mg/L (à AS1 pendant la GSS) (figure 43B). Par contre dans le cours d'eau les valeurs de conductivité et de STD sont très faibles et varient entre 26 et 42  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et entre 13 et 22 mg/L respectivement. Les faibles valeurs de la conductivité électrique obtenues dans les milieux aquatiques surtout dans le cours d'eau pourraient s'expliquer par la faible dégradation de la matière organique présente dans le milieu et traduiraient le caractère peu pollué de ces eaux.

Concernant la résistivité, son profil de variation est inversement proportionnel à celui de la conductivité électrique avec des valeurs qui chevauchent autour d'une moyenne de  $10733,5 \pm 6470,23 \text{ } \Omega/\text{m}$  et de  $28365,62 \pm 5593,63 \text{ } \Omega/\text{m}$  respectivement pour les eaux souterraines et du cours d'eau. Elle est plus élevée au niveau du cours d'eau que dans les eaux souterraines (figure 43D).

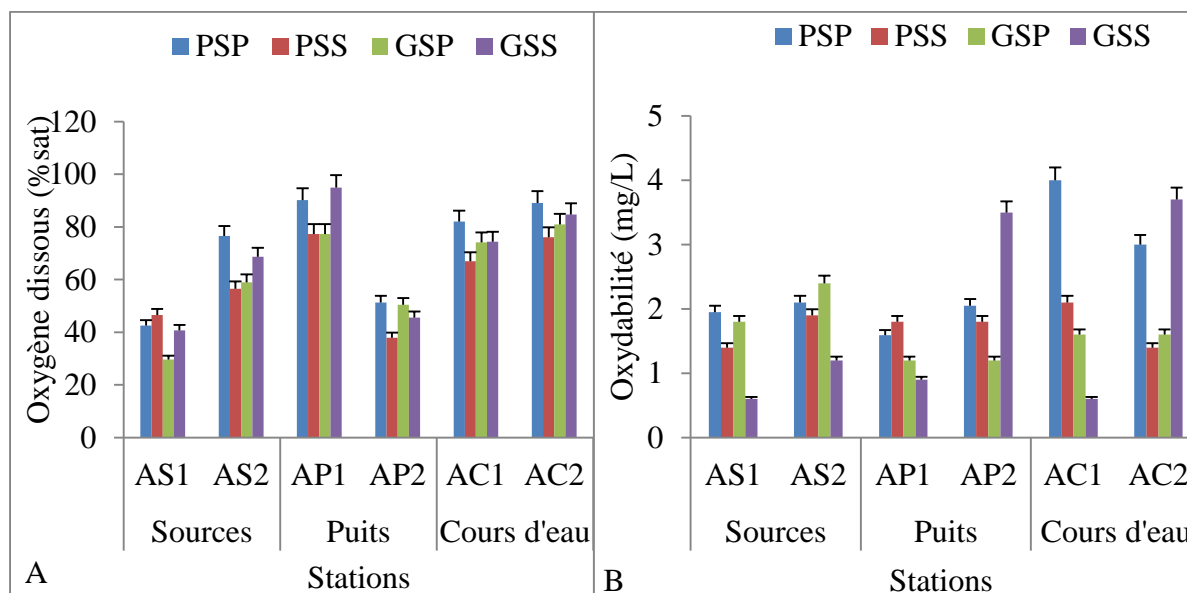


**Figure 43 :** Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des Solides Totaux Dissous (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono.

La figure 44 présente les variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en oxygène dissous et les valeurs de l'oxydabilité dans les puits, les sources et les cours d'eau étudiés. Les pourcentages de saturation en oxygène montrent que les eaux sont moyennement oxygénées, avec des taux de saturation qui ne varient pas d'une station à une autre et oscillant entre 29,62 et 94,9 % pour une moyenne de  $59,06 \pm 19,51 \%$  dans les eaux souterraines et

entre 67 et 89,11 % pour une moyenne de  $78,57 \pm 7,9$  % pour les eaux du cours d'eau (figure 44A). Les plus petites valeurs sont caractéristiques de la PSS sauf à la station AS1 où la plus petite valeur est notée en GSP et les plus grandes valeurs sont enregistrées durant la PSP aussi bien pour les eaux souterraines que du cours d'eau. Le test de Kruskal-Wallis ne révèle pas de différence significative sur le plan spatial par contre une différence significative est notée sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).

L'oxydabilité qui est un paramètre caractéristique de la pollution organique a présenté des valeurs relativement faibles allant de 0,6 à 4 mg/L avec une moyenne de  $1,71 \pm 0,6$  mg/L, ce qui témoigne de la faible charge de l'eau en matière organique. Pour les eaux de source et de puits, les valeurs les plus faibles ont été observées pendant la GSS sauf à la station AP2 où la plus petite valeur est notée à la GSP. Dans le cours d'eau les valeurs maximales ont été relevées pendant la PSP et la GSS. Ces variations ne présentent pas de différence significative sur le plan spatio-temporel ( $p > 0,05$ ).

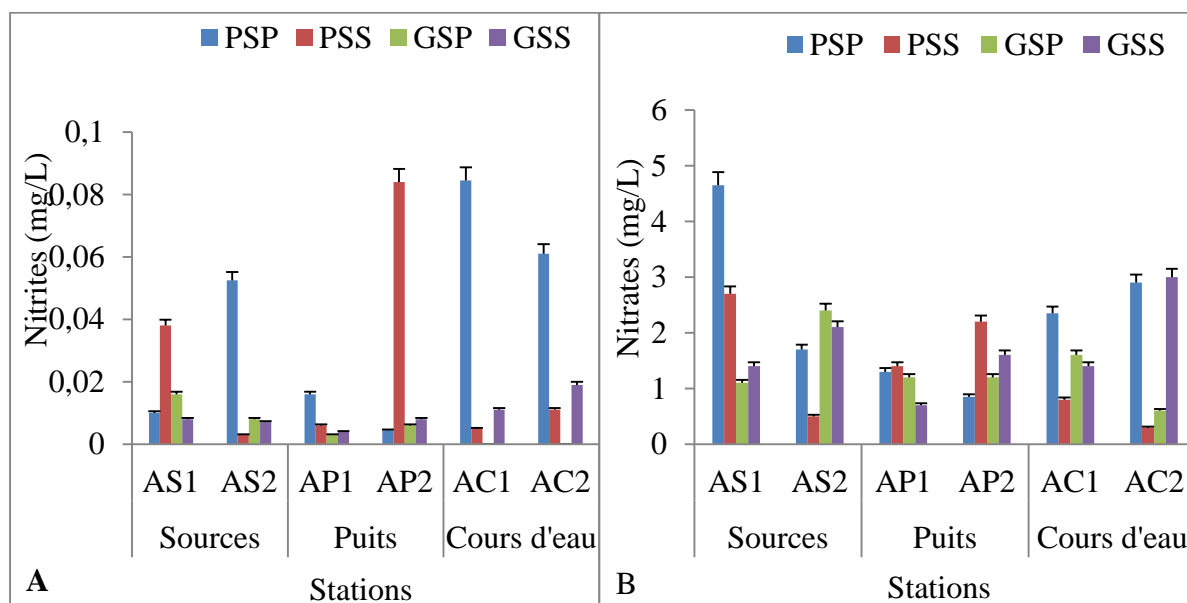


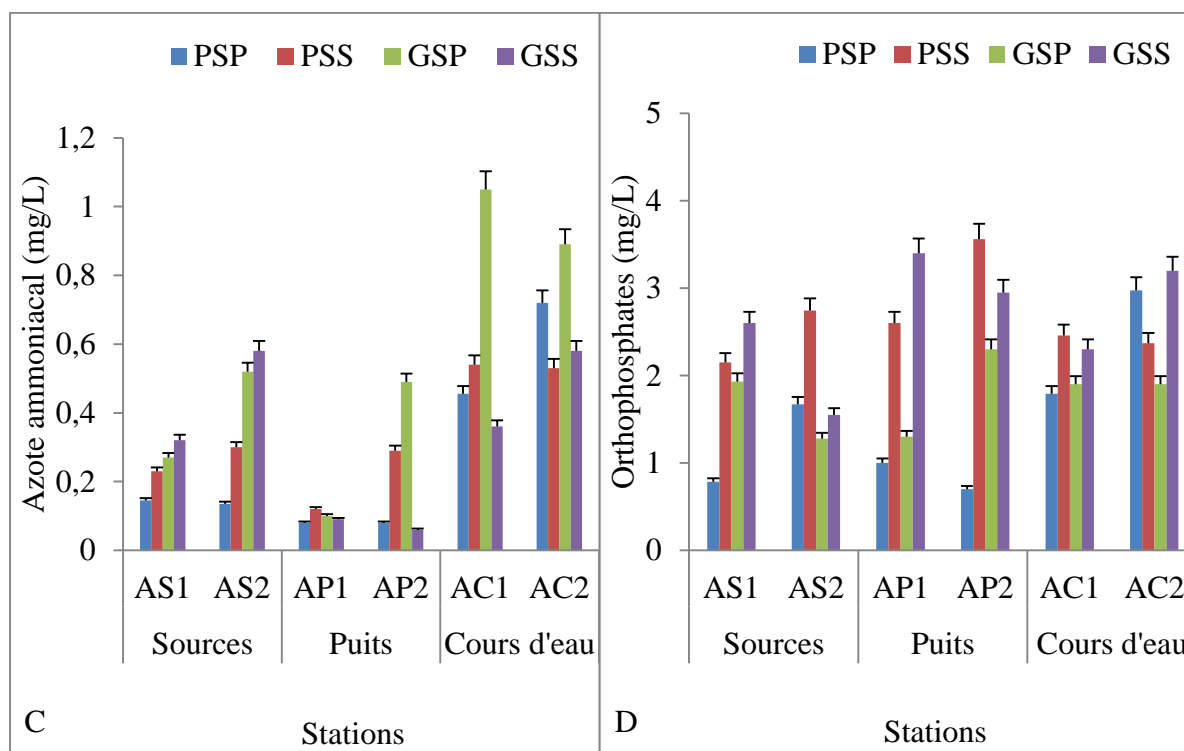
**Figure 44 :** Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono.

Les variations spatio-temporelles des formes d'azote à savoir les nitrates, nitrites et azote ammoniacal sont présentées sur la figure 45. Les teneurs des eaux en nitrates et nitrites ne diffèrent pas significativement sur le plan spatio-temporel (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ). Dans les sources et les puits, les nitrites sont présents à l'état de trace avec des valeurs allant de 0,003 à 0,084 mg/L pour une moyenne de  $0,01 \pm 0,02$  mg/L. Dans le cours d'eau les teneurs en nitrites varient entre 0 et 0,084 mg. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées PSP.

Les nitrates sont la forme d'azote ayant les valeurs les plus élevées dans les points d'eau, allant de 0,5 à 4,6 mg/L pour une moyenne de  $1,6 \pm 0,9$  mg/L dans les eaux souterraines. Ces valeurs sont plus faibles au niveau du cours d'eau et oscillent entre 0,3 et 3 mg/L (figure 45B). La PSP a présenté les valeurs les plus élevées en nitrates au niveau du cours d'eau tandis que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées en PSS. Le profil des nitrates présente un pic en PSP à la source AS1. L'azote ammoniacal, tout comme les nitrites se trouvent dans les eaux à l'état de trace. Les valeurs sont comprises entre 0,1 et 0,58 mg/L dans les eaux souterraines et entre 0,36 et 1,05 mg/L au niveau du cours d'eau (figure 45C). La station AS2 est la plus riche en azote ammoniacal et la station AP1 la moins riche. Dans le cours d'eau, les teneurs les plus élevées sont enregistrées pendant la GSP. Après application du test de comparaison de Kruskal-Wallis, les teneurs en azote ammoniacal ne diffèrent pas significativement sur le plan temporel ( $p > 0,05$ ) mais elles diffèrent significativement sur le plan spatial ( $p < 0,05$ ). Toute fois ces valeurs sont en dessous des normes pour les eaux naturelles.

Les orthophosphates présentent des profils de variation qui évoluent en dents de scie au niveau des stations. Ces valeurs oscillent entre 0,7 (à AS1 pendant la PSP) et 3,56 mg/L (à AP2 pendant la PSS) dans les eaux souterraines (figure 45D). Dans l'ensemble des points, les teneurs en azote ammoniacal sont plus élevées dans le cours d'eau que dans les eaux souterraines. Les fluctuations étant fonction des apports exogènes et du taux de saturation en oxygène. Et les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la GSP. Les variations ne sont pas significatives sur le plan spatio-temporel pour les valeurs obtenues (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).





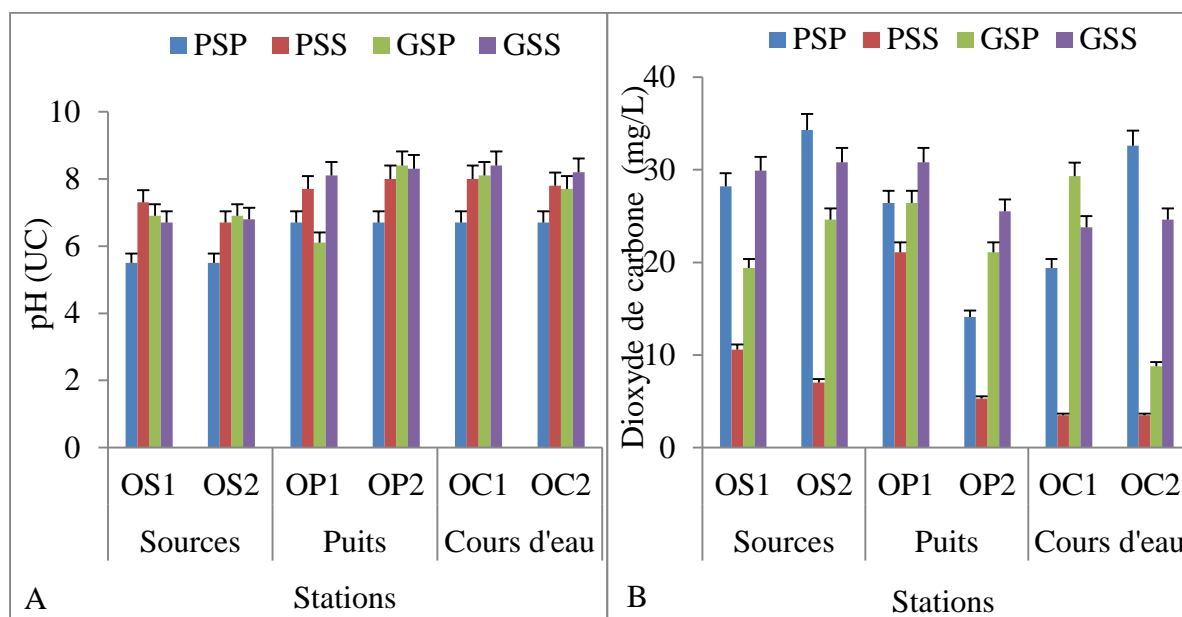
**Figure 45 :** Variations spatio-temporelles des Nitrates (A), des Nitrites (B), de l'Azote ammoniacal (C) et de la Résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Akono

### III.1.1.2.2.3. Caractéristiques chimiques des sources, puits et cours d'eau d'Obala

Les variations spatio-temporelles des valeurs de pH et des teneurs en gaz carbonique dissous sont présentées sur la figure 46. Les valeurs de pH ont révélé des eaux faiblement acides à tendance basiques (figure 46A). Le pH varie de 5,5 (pendant la PSP) à 8,4 UC (pendant la GSS). Ces valeurs chevauchent autour d'une moyenne  $7,7 \pm 0,65$  UC. Ces variations ne présentent pas de différence significative d'une station à une autre d'après le test de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ) par contre une différence significative est notée sur le plan temporelle ( $p < 0,05$ ).

Le  $\text{CO}_2$  dissous varie entre 5,2 (à OP2 en PSS) et 34,3 mg/L (à OS2 en PSP) ces teneurs oscillent autour d'une moyenne de  $20,8 \pm 9,2$  mg/L. Dans le cours d'eau, ces valeurs sont plus faibles et varient entre 3,5 et 32,6 mg/L (figure 46B). La PSS présente les plus petites teneurs en gaz carbonique dissous pour tous les plans d'eau. Le test de Kruskal-Wallis ne montre aucune différence significative d'une station à une autre ( $p > 0,05$ ) aussi bien dans les eaux souterraines que de surface. Par contre, on note une différence significative sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).

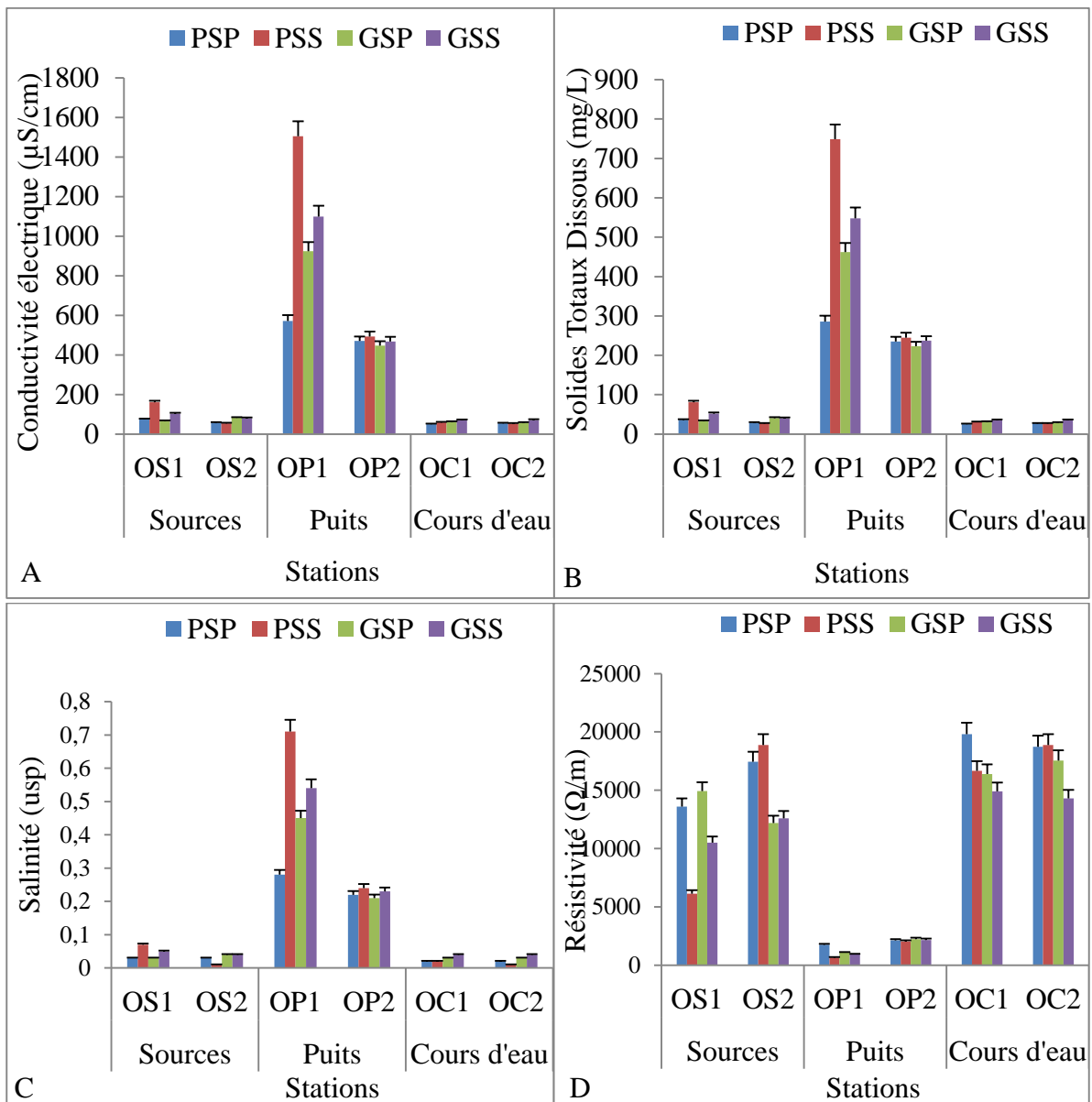




**Figure 46 :** Variations spatio-temporelles du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité d'Obala

Les variations spatiales et saisonnières de la conductivité électrique, des teneurs en STD, de la salinité et de la résistivité relevées dans les différents plans d'eau sont présentées sur la figure 47. Dans les eaux souterraines, la conductivité électrique, les STD et la salinité varient respectivement entre 54 et 1505  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 46A), entre 27 et 749 mg/L (figure 47B) et entre 0,01 et 0,71  $\mu\text{S}$  (figure 46C). La conductivité électrique et les STD sont plus importants dans les eaux de puits avec une valeur maximale de 1505  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obtenue à OP1. Dans le cours d'eau par contre, ces variables sont restées très faibles illustrant ainsi la faible minéralisation des eaux et augmentent de la PSP à la GSS, elles varient entre 50 et 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la conductivité et entre 25 et 35 mg/L pour les STD (figure 47B). La PSS et la GSS sont caractérisées par des valeurs élevées respectivement pour les eaux souterraines et du cours d'eau. Pour ces trois paramètres, le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative sur le plan spatial ( $p < 0,05$ ). Mais aucune différence significative n'est notée sur le plan temporelle ( $p > 0,05$ ).

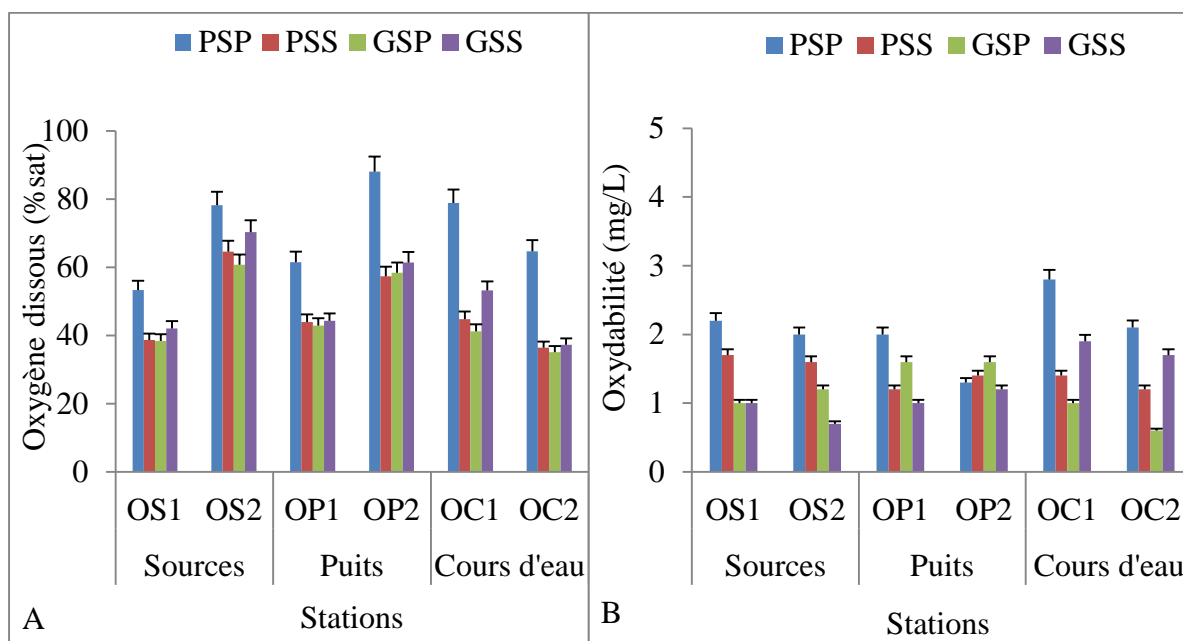
Pour ce qui est de la résistivité, elle présente un profil de variation inversement proportionnel à celui de la conductivité électrique (figure 47D). Elle est plus élevée dans les eaux de surface et les sources que dans les eaux de puits. Elle présente également un profil de variation similaire d'une saison à une autre et les valeurs les plus faibles sont observées pendant la PSS dans le puits OP1. Ces valeurs diffèrent significativement sur le plan spatial d'après le test H de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).



**Figure 47 :** Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des STD (B), de la salinité (C) et de la résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.

Les pourcentages d'oxygénation vont de moins bonne à bonne, elles varient de 38 à 88 %sat dans les eaux souterraines et de 35 et 78%sat dans le cours d'eau (figure 48A). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées pendant la PSP. Les variations ne présentent aucune différence significative d'une station à une autre ( $p > 0,05$ ). Mais différent significativement sur le plan saisonnier le test H de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

Pour ce qui est de l'oxydabilité, elle varie entre 0,7 et 2,2 mg/L dans les eaux souterraines et de 0,6 à 2,8 mg/L dans le cours d'eau (figure 48B), ce qui pourrait traduire la faible charge en matière organique et le caractère peu pollué de ces eaux. Le test de Kruskal-Wallis ne montre pas de différence significative sur le plan spatial ( $p > 0,05$ ).



**Figure 48 :** Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.

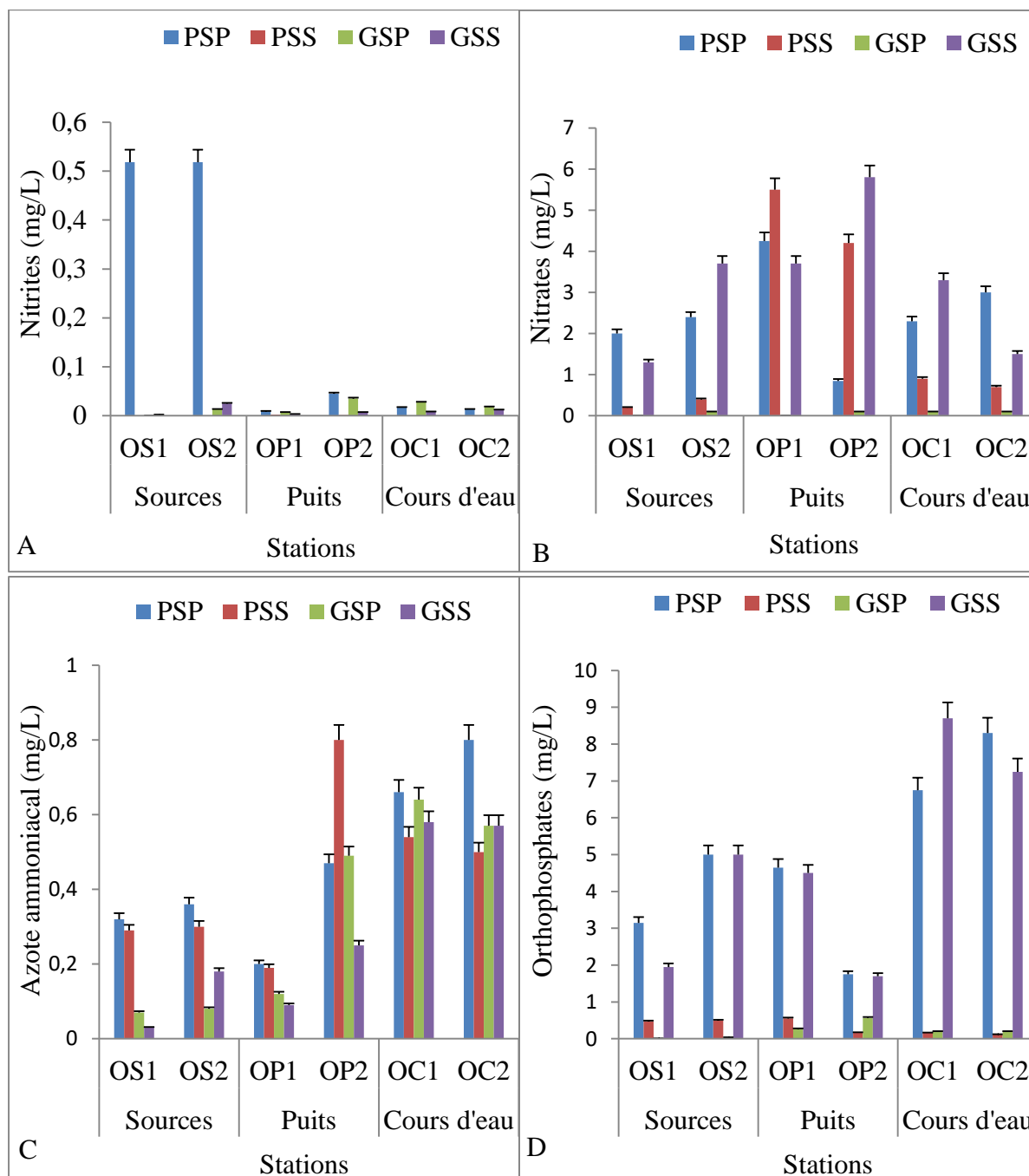
Les variations des formes d'azote et d'Orthophosphates sont présentées sur la figure 49. Les nitrites sont présent dans les eaux sous forme de trace, avec des valeurs inférieures à 0,1mg/L sauf dans les sources pendant la PSP où les nitrites présentent une valeur maximale de 0,51 mg/L.

Les nitrates ont été la forme d'azote la plus élevée dans les eaux. Elles varient de 0 à 5,5 mg/L et ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $2,1 \pm 2,5$  mg/l (figure 49B). Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les puits pendant la saison sèche. Ces teneurs sont plus faibles voir nulles pendant la GSP tant pour les eaux souterraines que dans le cours d'eau.

L'azote ammoniacal dans les eaux est resté dans les normes avec des valeurs inférieures à 1 mg/L. Elles décroissent de la PSP à la GSS sauf à la station OP2 où on observe un pic 0,8 mg/L pendant la PSS (figure 49C). Lorsqu'on applique le test de Kruskal-Wallis, les formes d'azote ne présentent aucune différence significative sur le plan spatial aussi bien pour les eaux souterraines que de surface. Par contre en ce qui concerne les nitrites et les nitrates, on note une différence significative sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).

Parlant des orthophosphates leurs teneurs dans les eaux souterraines varient entre 0,01 et 5 mg/L avec une moyenne de  $1,8 \pm 1,6$  mg/L. Dans le cours d'eau, elles varient entre 0,2 et 8,7 mg/L. Les teneurs les plus élevées ont été relevées pendant la GSS et la PSP (figure 49D).

Le test de Kruskal-Wallis ne montre pas de différence significative sur le plan spatial ( $p > 0,05$ ). Mais une différence significative est notée sur le pan temporel ( $p < 0,05$ ).

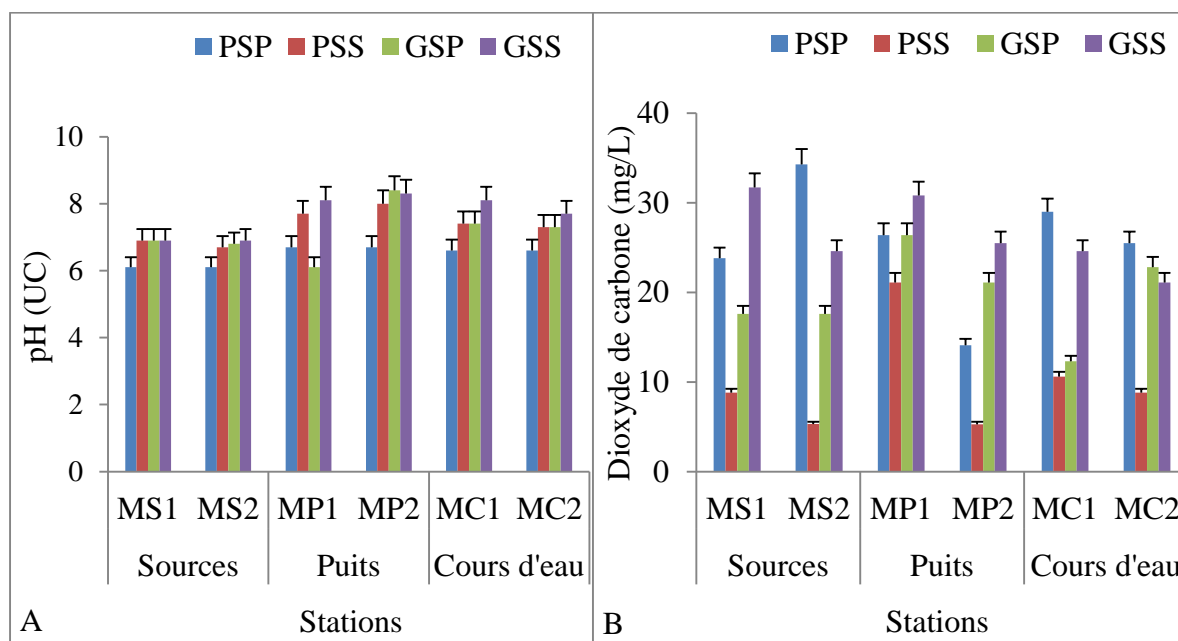


**Figure 49 :** Variations spatio-temporelles des Nitrites (A), des Nitrates (B), de l'Azote ammoniacal (C) et des Orthophosphates (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité d'Obala.

#### III.1.1.2.2.4. Caractéristiques chimiques des sources, puits et cours d'eau de Monatélé

Les valeurs du pH et des teneurs en gaz carbonique dissous sont présentées sur la figure 50. Les variations de pH révèlent des eaux faiblement acides à tendance basique. Il varie de 6,1 à 8,4 UC (figure 50A). Ces valeurs chevauchent autour d'une moyenne de

7,3±0,5 UC et augmentent de la PSP à la GSS. D'après le test de Kruskal-Wallis, les variations de pH ne présentent pas de différences significatives sur le plan spatial ( $p>0,05$ ). Mais elles diffèrent significativement sur le plan temporel ( $p<0,05$ ).



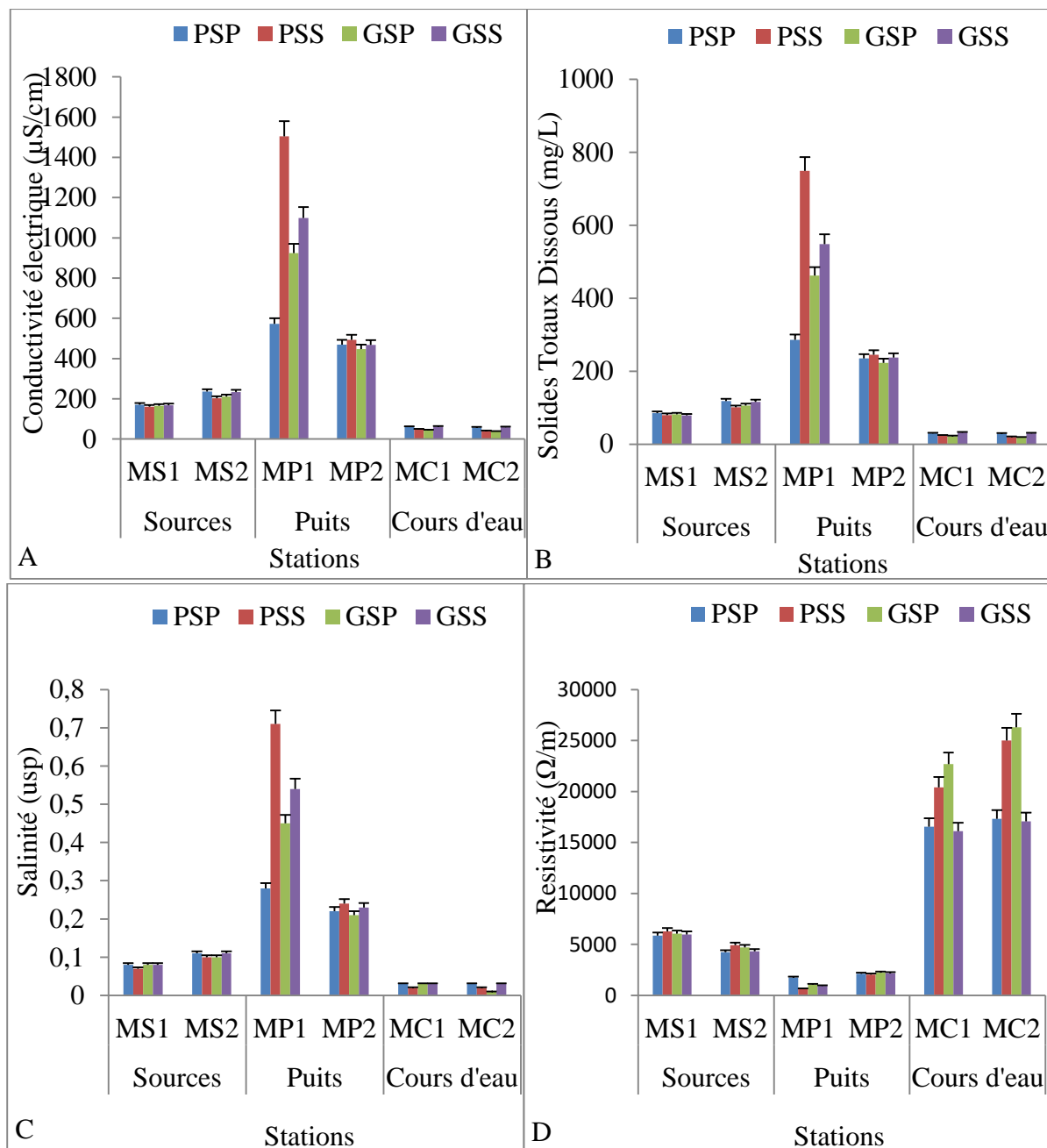
**Figure 50 :** Variations spatio-temporelles du pH (A) et du Dioxyde de carbone (B) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau dans la localité de Monatéle.

Les teneurs en  $\text{CO}_2$  varient entre 5,3 et 34,3mg/L. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $20,8\pm 8,9$  mg/L. dans le cours d'eau, elles varient entre 8,8 et 25,5 mg/L (figure 50B). Les profils de variation sont similaires entre les stations et ne montrent pas de différence significative d'une station à une autre lorsqu'on applique le test Kruskal Wallis  $p>0,05$ . Les teneurs les plus faibles sont enregistrées pendant la PSS. Les variations saisonnières restent significatives ( $p<0,05$ ).

Les variations spatio-temporelles de la conductivité électrique, des STD, de la salinité et de la résistivité sont présentées sur la figure 51. Ces trois paramètres présentent des profils de variation presque similaires (figure 51A ; 51B et 51C). Dans les eaux souterraines, elles oscillent entre  $161\mu\text{S}/\text{cm}$  (MS1) et  $1505\mu\text{S}/\text{Cm}$  (MP1) pour la conductivité électrique, entre 80 mg/L (MS1) et 749 mg/L (MP1) pour les STD et entre 0,1 (MS1) et 0,71 usp (MP1) pour la salinité. Dans les eaux de puits la conductivité électrique, les STD et la salinité sont importants par rapport aux eaux de source. Par contre dans la Sanaga, ces variables sont plus faibles et varient entre 38 et 62  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et entre 22 et 32 mg/L respectivement pour la conductivité électrique et les TDS. Et on note également un pic de conductivité à la station MP1 pendant la PSS de même pour les STD. Lorsqu'on réalise le test de Kruskal-Wallis pour

ces trois variables, on ne note pas de différence significative sur le plan saisonnier ( $p > 0,05$ ) par contre sur le plan spatial la différence reste significative ( $p < 0,05$ ).

Pour ce qui est de la résistivité les profils de variation sont inversement proportionnels à ceux de la conductivité. Elles varient de  $934 \Omega/m$  (MP1) à  $26300 \Omega/m$  (MC1). Elle est donc plus élevée dans la Sanaga et faibles dans les eaux de puits.

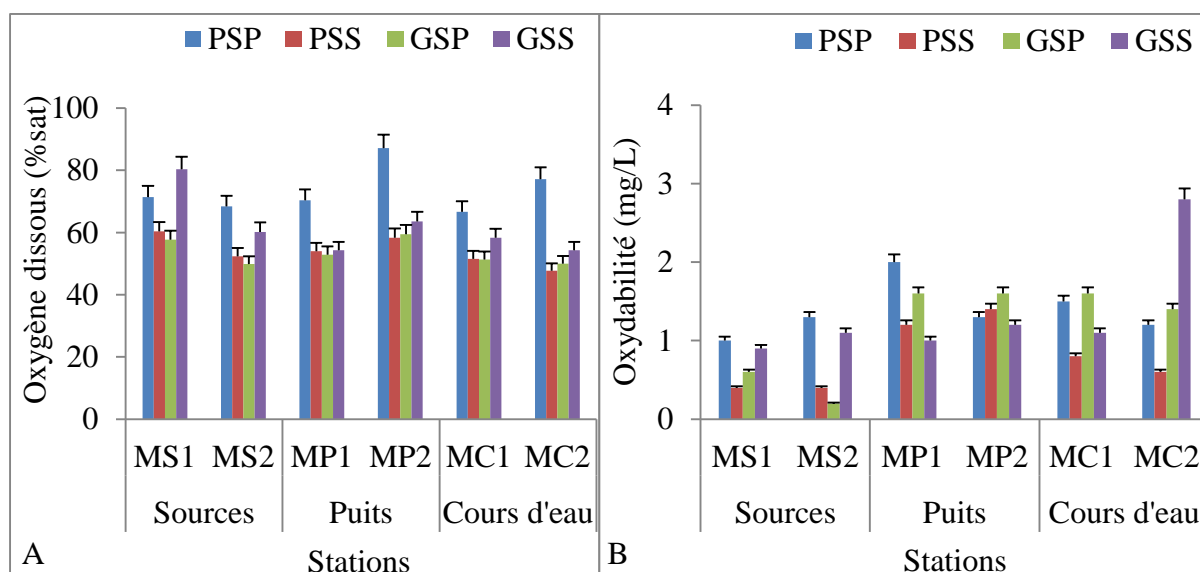


**Figure 51 :** Variations spatio-temporelles de la conductivité (A), des STD (B), de la salinité (C) et de la résistivité (E) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatélé.

La figure 52 présente les variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en oxygène et les valeurs de l'oxydabilité. Dans les sources et les puits, les pourcentages de

saturation en oxygène varient entre 49 et 80 %sat ces pourcentages oscillent autour d'une moyenne de  $60,72 \pm 10,46\%$ . Dans la Sanaga, ces valeurs varient entre 49 et 77%sat (figure 52A). Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées pendant la PSP. Lorsqu'on applique le test Kruskal-Wallis, les valeurs ne montrent aucune différence significative entre les stations ( $p > 0,05$ ) mais on note une différence sur le plan saisonnier ( $p < 0,05$ ).

L'oxydabilité a présenté des valeurs allant de 0,2 à 2,8 mg/L (figure 52B), ce qui témoigne de la faible charge en matière organique de ces eaux. Ces valeurs ne montrent pas de différence significative sur le plan spatio-temporel aussi bien au niveau des eaux souterraines que de la Sanaga (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).



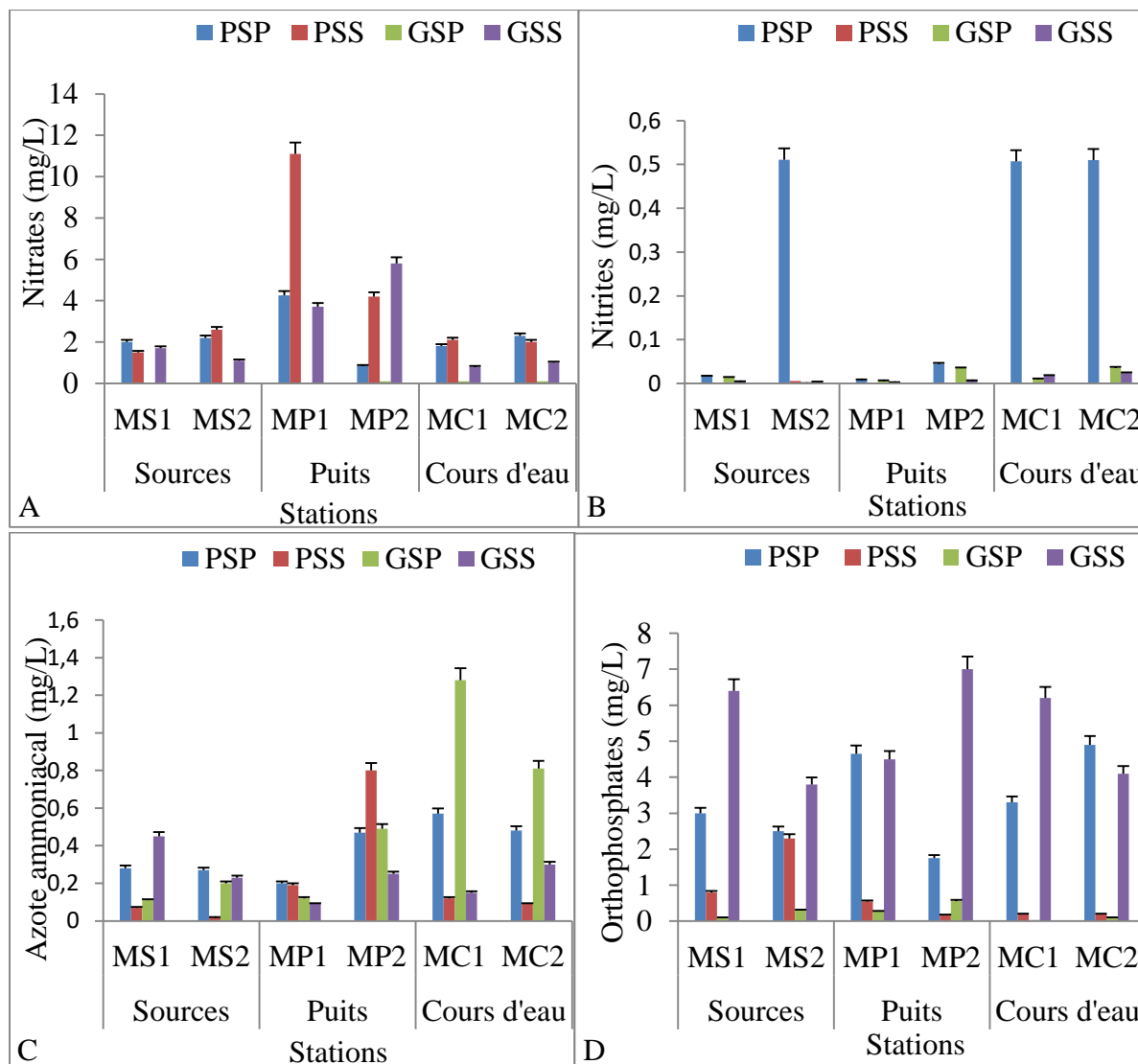
**Figure 52 :** Variations spatio-temporelles des pourcentages de saturation en Oxygène (A) et des teneurs de l'Oxydabilité (B) dans les eaux de sources, des puits et de la Sanaga de la localité de Monatélé.

Les variations spatiales et saisonnières des nitrates, nitrites, azote ammoniacal et des orthophosphates sont présentées à la figure 53. Les nitrates sont la forme d'azote ayant les plus grandes valeurs. En effet les nitrates varient de 0 à 5 mg/L dans les eaux souterraines. Et entre 0,1 et 2,3 mg/L dans la Sanaga (figure 53A). La GSP est caractérisée par de faibles teneurs en nitrates. Les profils de variations sont presque similaires entre les stations et présentent un pic à la station MP1 pendant la PSS.

Les nitrites sont présents à l'état de trace et varient entre 0,001 et 0,5 mg/L (figure 53B). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pendant la PSP aussi bien dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface.

Les teneurs en azote ammoniacal sont également restées faibles dans les eaux et varient entre 0,009mg/L (MS2) et 0,49 mg/L (MP2) (figure 53C). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans le puits MP2 avec un pic en PSS. Dans la Sanaga, ces valeurs sont

un peu plus élevées et varient entre 0,1 et 1,28 mg/L et la GSP est caractérisée par les valeurs les plus élevées. D'après le test de Kruskal-Wallis, les formes d'Azotes ne présentent pas des différences significatives sur le plan spatial aussi bien pour les eaux souterraines que de surfaces. Par contre en ce qui concerne les nitrites et les nitrates, une différence significative est notée sur le plan temporel ( $p < 0,05$ ).



**Figure 53 :** Variations spatio-temporelles des Nitrates (A), des Nitrites (B), de l'Azote ammoniacal (C) et de la Résistivité (D) dans les eaux de sources, des puits et du cours d'eau de la localité de Monatélé.

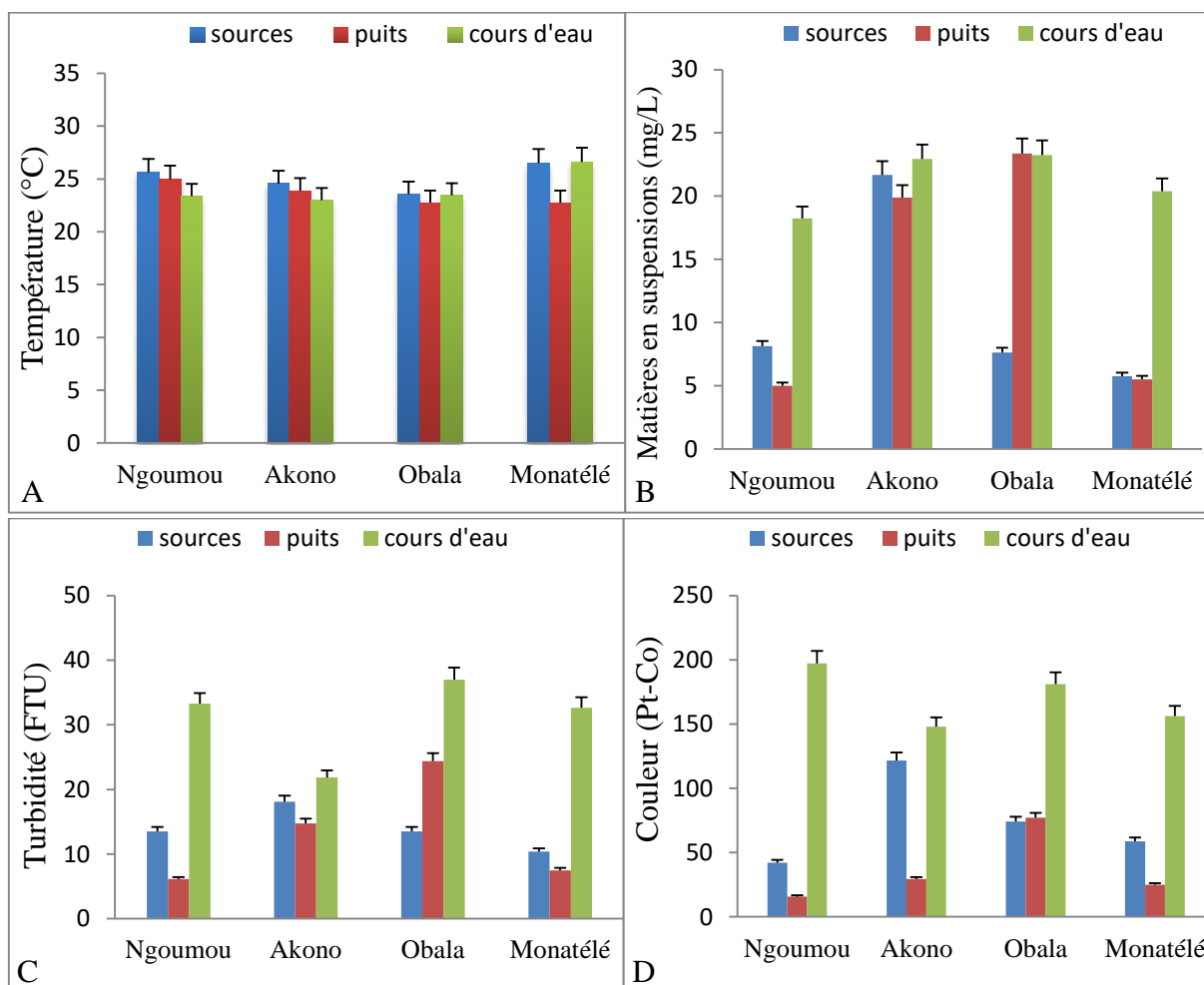
Pour ce qui est des orthophosphates, les profils de variation sont presque semblables entre les stations et varient de 0,1 et 7 mg/L dans les eaux souterraines et entre 0 et 6 mg/L dans la Sanaga (figure 53D). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la GSS. Lorsqu'on applique le test de Kruskal-Wallis, Ces variations ne montrent pas de différence significative d'une station à une autre ( $p > 0,05$ ) par contre on note une différence significative sur le plan saisonnier ( $p < 0,05$ ).



### III.1.1.3. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques dans les milieux Aquatiques étudiés

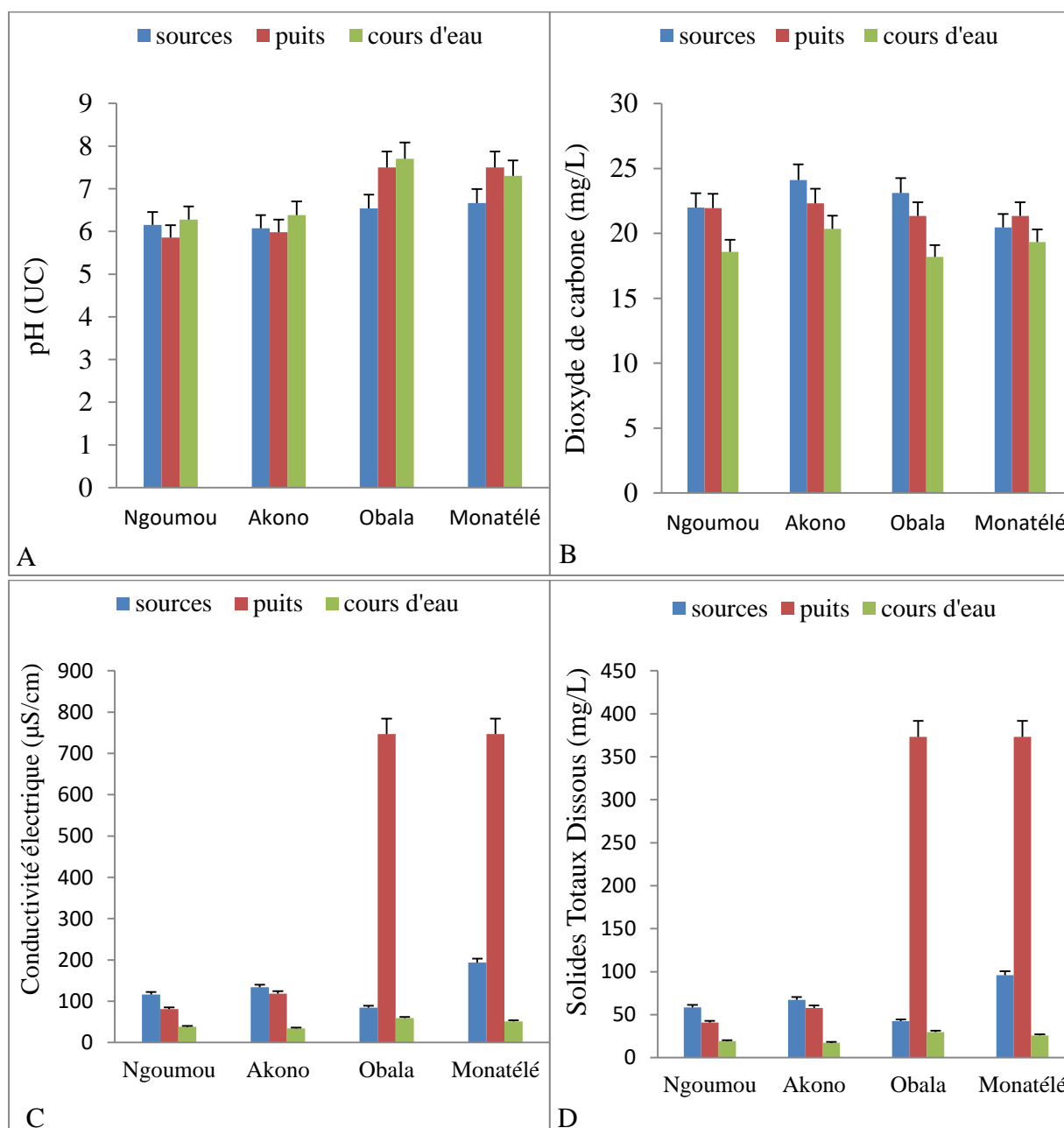
Dans le milieu souterrain, la température des eaux est plus faible dans les puits d'Obala et de Monatéle comparativement à Ngoumou et à Akono (figure 54A) ceci pourrait s'expliquer par la profondeur des puits qui est plus élevée à Monatéle et à Obala. Au niveau des eaux de surface la température est plus élevée dans la Sanaga. Ceci serait due au fait que la Sanaga du côté de Monatéle n'est plus protégée par la canopée et ses eaux sont directement exposées au rayonnement solaire.

Les valeurs de MES et de la turbidité pour les eaux souterraines, ont été plus élevées dans les localités d'Akono et d'Obala. Par contre dans les eaux de surface, les valeurs les plus faibles ont été observées à Akono et à Ngoumou respectivement pour la turbidité et les MES. Le gradient de la couleur s'apparente à celui de MES et de la turbidité (figure 54D). Elle est plus faible dans les eaux souterraines. Et les eaux de Ngoumou sont les moins colorées au niveau souterrain et les plus colorées pour ce qui est des eaux de surface.



**Figure 54 :** Variations spatiales des valeurs moyennes de température, Matières en suspension, turbidité et couleur dans les sources, les puits et les cours d'eau des quatre localités

Les eaux de Ngoumou et d'Akono sont légèrement acides avec les valeurs de pH <7 comparativement à celles d'Obala et de Monatéle présentent des valeurs de pH acide à tendance basique (figure 55A). Le gradient de CO<sub>2</sub> est inversement proportionnel à celui du pH, il décroît des eaux souterraines vers les eaux de surface (figure 55B). Pour ce qui est de la conductivité, au niveau du milieu souterrain elle est importante dans les puits d'Obala et de Monatéle. Par contre dans les eaux de surface la conductivité est restée faible dans l'ensemble des quatre localités (figure 55C). Les TDS présentent un profil de variation similaire à celui de la conductivité.



**Figure 55 :** Variations spatiales des valeurs moyennes (A) de pH, (B) de Dioxyde de carbone, (C) Conductivité électrique et (D) Solides Totaux Dissous dans les sources, les puits et les cours d'eau des quatre localités

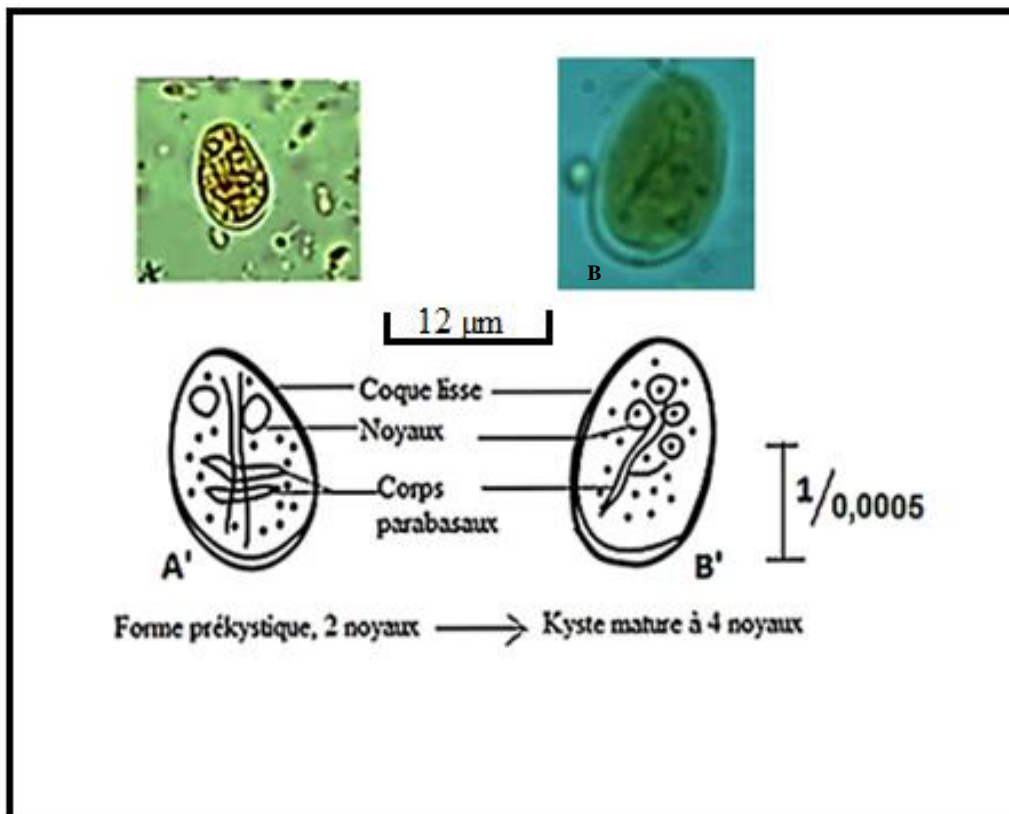
### III.1.2. Caractérisation des formes de résistance des protozoaires et des helminthes intestinaux

#### III.1.2.1. Caractérisation des formes de résistance des protozoaires intestinaux

Les protozoaires entériques identifiés dans les échantillons d'eau analysés se présentent principalement sous la forme de kystes (amibes et zooflagellés) et sous la forme d'oocystes (coccidies). Les espèces de protozoaires entériques identifiés sont : *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Cryptosporidium* spp, *Cyclospora cayetanensis* et *Isospora belli*.

##### III.1.2.1.1. *Giardia intestinalis*

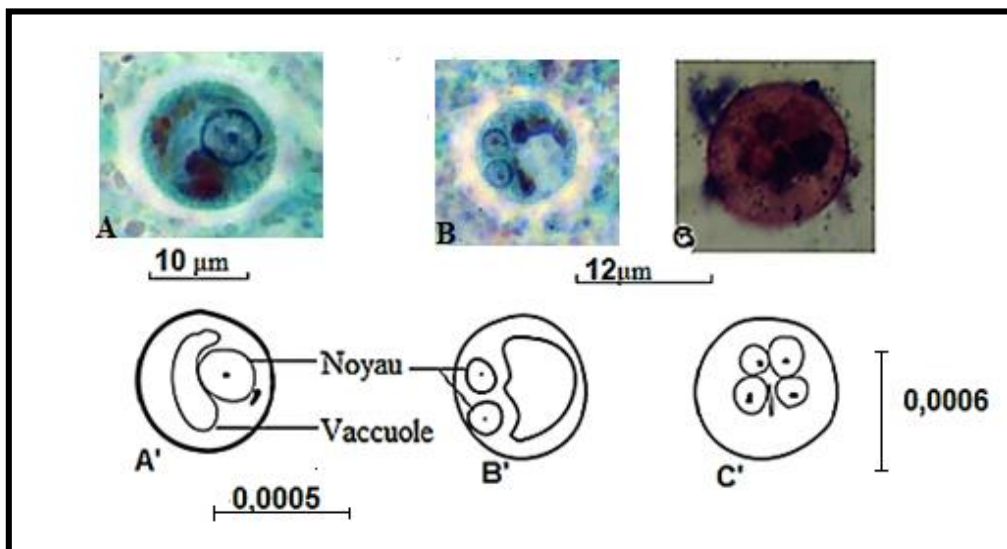
Les kystes de *Giardia* se présentent sous deux formes : la forme prékystique immature à deux noyaux (figure 56A) et la forme kystique mature à 4 noyaux (figure 56B). Ils ont une forme ovoïde, mesurent entre 8 et 12  $\mu\text{m}$  de long sur 7 et 10  $\mu\text{m}$  de large (figure 56). Ils sont entourés par une paroi fine protéique à double contour. A l'intérieur du kyste on observe deux ou quatre noyaux et des restes d'organites visibles ce qui donne l'aspect de contenir un S au centre.



**Figure 56 :** Kystes immatures (A) et kystes matures (B) de *Giardia intestinalis* : (A') et (B') dessins annotés respectifs

### III.1.2.1.2. *Entamoeba histolytica*

Les kystes d'*Entamoeba histolytica* se présentent sous 2 formes : la forme prékystique qui présente 1 ou 2 noyaux (figure 57A et B) et la forme kystique contenant 4 noyaux (figure 57C). Ils ont une forme ronde, mesurent entre 10 et 14  $\mu\text{m}$  de diamètre. La paroi kystique est plus épaisse. Son cytoplasme uniforme possède à maturité quatre noyaux et contient des inclusions chromatoidales à bout arrondies (bâtonnet en forme de cigare) et une vacuole de glycogène, les kystes immatures contiennent une vacuole, un ou deux noyaux et sont plus grands. Cette coque membranaire serait due à l'accumulation des matières organiques par les cellules comme réserve de nutriments. Cette accumulation de matières qui recouvre la paroi du kyste, protège également la cellule dans l'environnement. Toutes les stations présentent une faible charge en kyste d'*Entamoeba histolytica* à l'exception de la station NC2 du cours d'eau de Ngoumou et de la source AS2 d'Akono.

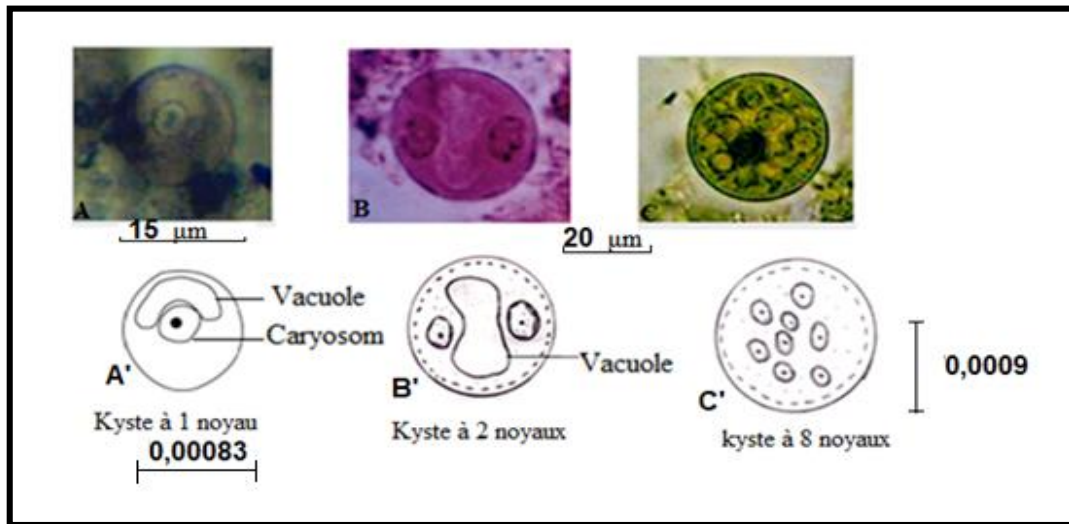


**Figure 57** : kystes immatures (A) et (B), kyste mature (C) d'*Entamoeba histolytica*, : (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs

### III.1.2.1.3. *Entamoeba coli*

Les kystes matures contenant 8 noyaux (figure 58C) et immatures contenant un gros noyau excentré et 2 noyaux (figure 58A et B) d'*Entamoeba coli* ont été observés, la taille des noyaux diminue avec le degré de maturité (figure 55C). Ils mesurent entre 15 et 30  $\mu\text{m}$ , de forme ronde, ce kyste possède un ectoplasme dense et un endoplasme uniforme avec des inclusions qui repoussent le(s) noyau(x) vers la périphérie. On observe également dans les kystes des corps chromatoides fins et un gros caryosome en général excentré. Les kystes d'*E. coli* sont plus résistants dans l'environnement et leur taille diminue avec le temps et l'appauvrissement du milieu. L'espèce *E. coli* est plus abondante dans les cours d'eau. Cette

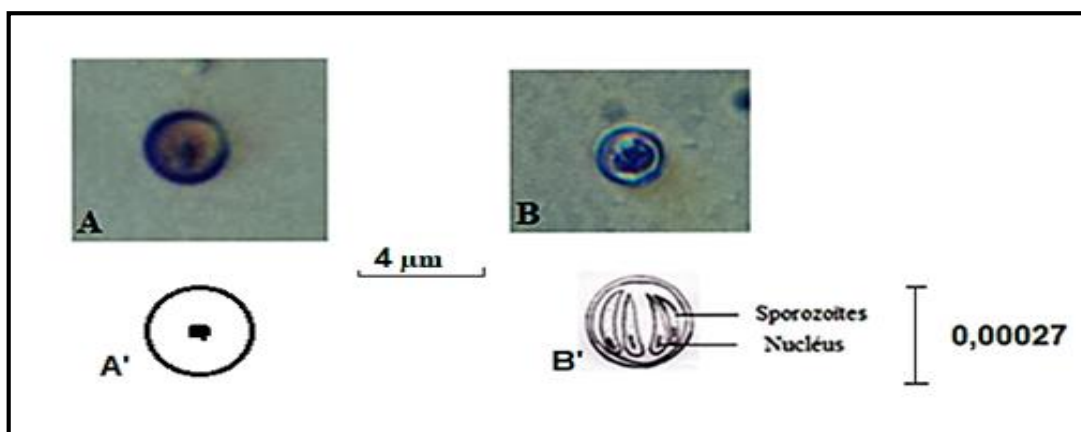
espèce est résistante dans l'environnement et caractérise les milieux pollués. La plus forte charge est observée à la station OC2 d'Obala et à la source AS2 d'Akono. Caractérisées par des valeurs de couleur, MES, de turbidité et de matière organique dissoute élevées.



**Figure 58 :** kyste d'*Entamoeba coli* : à 1 noyau (A) ; à 2 noyaux (B), à 8 noyaux (C) et (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs

#### III.1.2.1.4. *Cryptosporidium* spp.

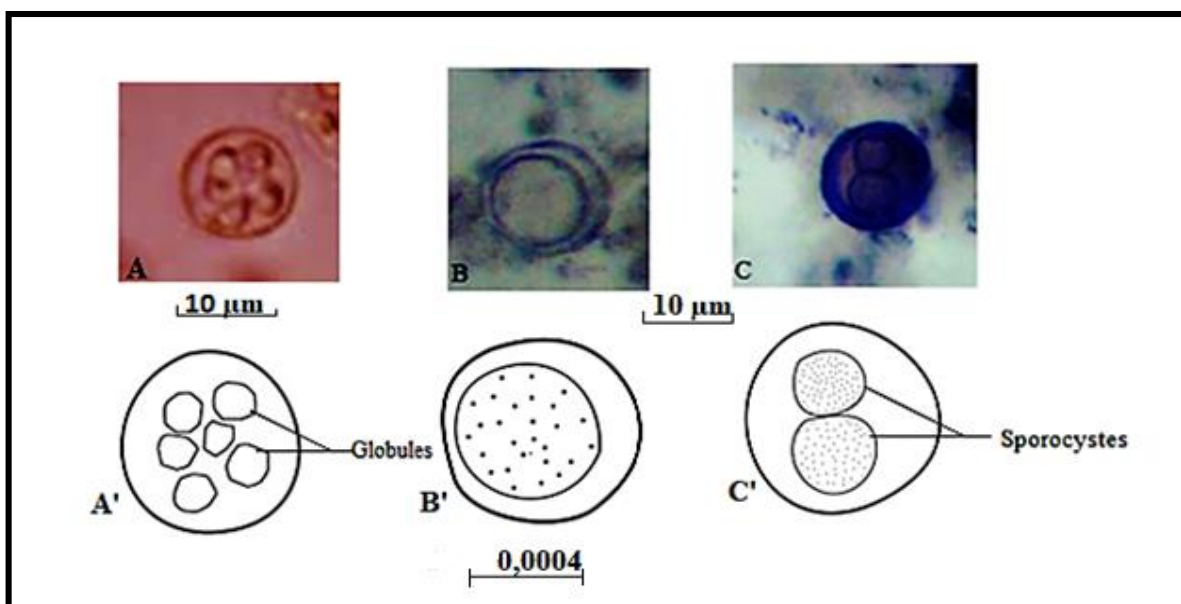
En ce qui concerne le genre *Cryptosporidium*, à l'exception de la source NS1 à Ngoumou, de la station OC2 et AC2 respectivement à Obala et à Akono toutes les autres stations ont présenté les plus fortes charges d'ocyste de *Cryptosporidium* spp. la valeur la plus élevée a été enregistrée à la station NC1 à Ngoumou. Ceci pourrait s'expliquer par la présence d'un abattoir dans les environs et les déjections des troupeaux de bétail augmentant le risque péri-fécal. Les oocystes apparaissent sous forme d'élément arrondi de 4 à 5 µm, réfringents, d'aspect granuleux et présentent un point noir correspondant au corps résiduel (figure 59A) ou la structure interne présente parfois des éléments en croissant, caractéristique des sporozoïtes (figure 59B).



**Figure 59 :** Oocystes de *Cryptosporidium* spp. (A et B), (A') et (B') dessins annotés

### III.1.2.1.5. *Cyclospora cayetanensis*

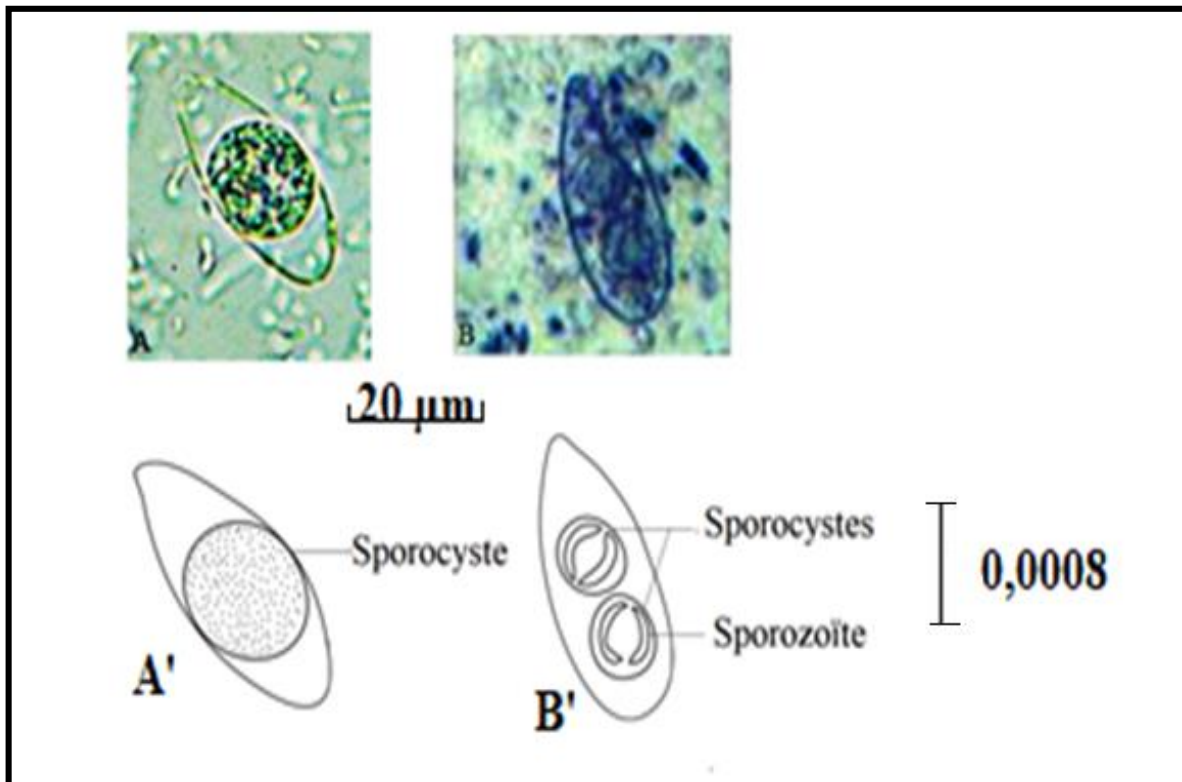
Les oocystes de *Cyclospora cayetanensis* se présentent sous la forme non sporulée comportant des inclusions globuleuses (A) et sous une forme intermédiaire (en cours de sporulation) présentant un grand globule (60B) et sous la forme sporulée contenant deux sporocystes (60C). Ils sont de forme sphérique, très réfringents et mesurent entre 8 et 10  $\mu\text{m}$  de diamètre (figure 60). Les densités les plus élevées de *Cyclospora cayetanensis* sont caractéristiques des stations MC2 et MS2 à Montélé et des stations OC2, OP1 et OS2 d'Obala caractérisées par une forte charge en matière organique dissoute ou particulaire, une bonne oxygénation des eaux et une température élevée. Ce sont des variables qui favorisent la dissémination de cette espèce.



**Figure 60 :** Oocyste immature avec des globules (A), oocyste en cours de sporulation avec un grand globule (B), oocyste avec deux sporocystes (C) de *Cyclospora cayetanensis*, (A'), (B') et (C') dessins annotés respectifs

### III.1.2.1.6. *Isospora belli*

Les oocystes d'*Isospora* se présentent sous forme ellipsoïdale légèrement acuminés à leur pôle antérieur, transparents, mesurent entre 20 à 36  $\mu\text{m}$  de long sur 10 à 17  $\mu\text{m}$  de large, avec une paroi lisse (figure 61). Les oocystes d'*Isospora* se présentent sous la forme non sporulée contenant un sporoblaste globuleux (61A) ou sous la forme sporulée contenant 2 sporocystes (61B). Cette espèce a présenté les densités les plus élevées au niveau des stations NP1 et NC2 de Ngoumou et MS1 de Monatélé.



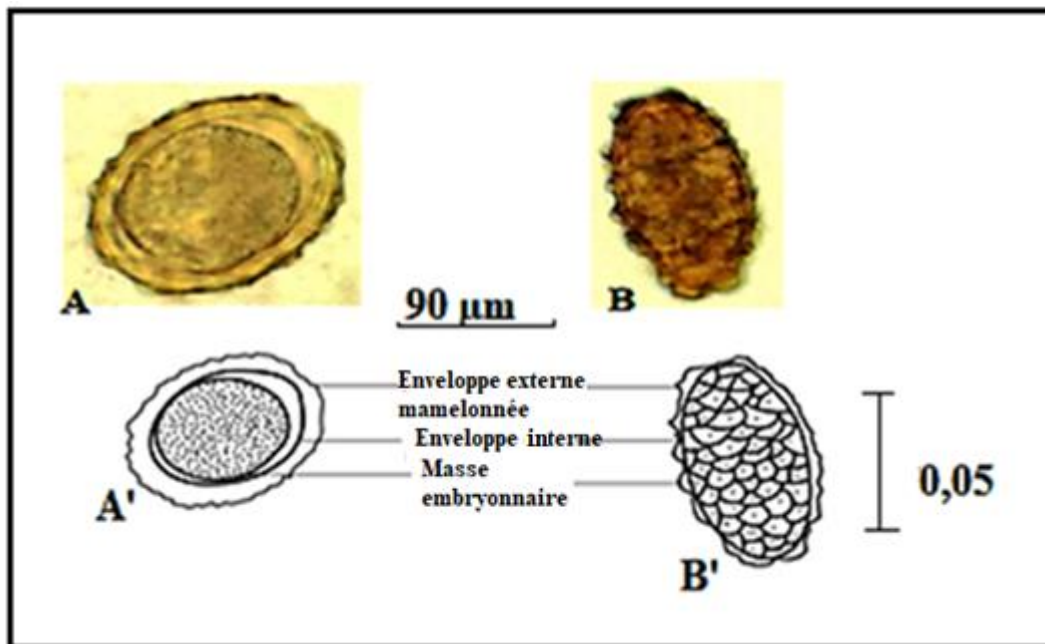
**Figure 61** : Oocyste immature avec un sporoblaste (A), oocyste avec deux sporocystes (B) d'*Isospora belli*, (A') et (B') dessins annotés respectifs.

### III.1.2.2. Caractéristiques morphologiques des œufs d'helminthes observés

Les analyses microscopiques des eaux échantillonnées ont permis de mettre en évidence différents œufs d'helminthes appartenant au phylum des Némathelminthes (Nématodes) et des Plathelminthes (Trématodes et Cestodes). Les types d'œufs et larves retrouvés appartiennent aux genres *Ascaris*, *Ankylostomes*, *Enterobius*, *strongyloides*, *Diphyllobothrium*, *Hymenelopsis* et *Fasciola*.

#### III.1.2.2.1. *Ascaris* spp.

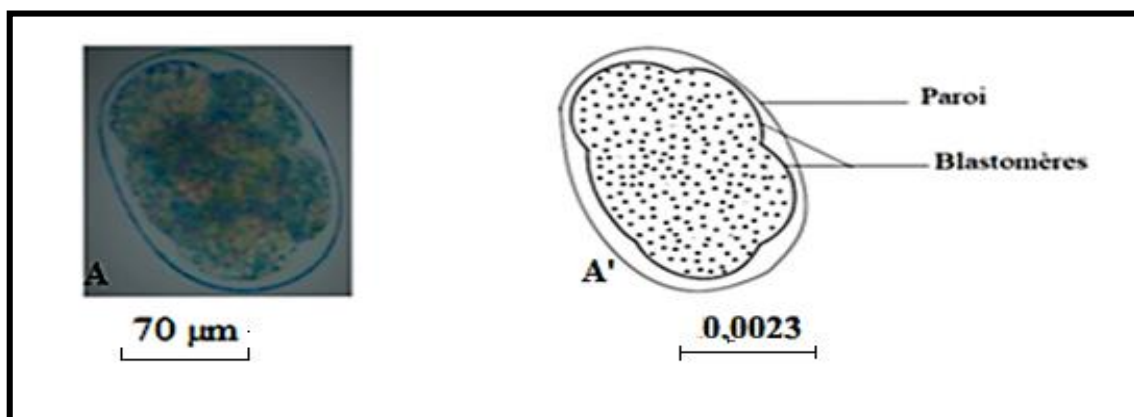
Les œufs d'*Ascaris* mesurent entre 60 et 90µm, sont ovoïdes, symétriques, munis d'une coque externe mamelonnée albumineuse épaisse au pourtour, une coque interne lisse plus épaisse. A l'intérieur on observe une cellule germinatrice sous forme de masse arrondie qui n'occupe pas la totalité de l'œuf (figure 62A). La présence de leur coque épaisse rend les œufs d'*Ascaris* persistants dans l'environnement. Ceci pourrait expliquer leur forte représentativité sur le plan spatial.



**Figure 62 :** Morphologie caractéristique des œufs d'*Ascaris* spp. (A), dessin annoté (B')

#### III.1.2.2.2. *Ankylostomes* spp.

Les œufs d'*Ankylostome* ont une forme ellipsoïdale, mesure entre 60 à 70 µm, possèdent une coque transparente, fine et mince. Ils contiennent des blastomères et on observe un espace clair entre la paroi et le contenu cytoplasmique (figure 63). Cette espèce a également été plus diversifiée sur le plan spatial et les densités les plus élevées ont été enregistrées au niveau des eaux de surface.



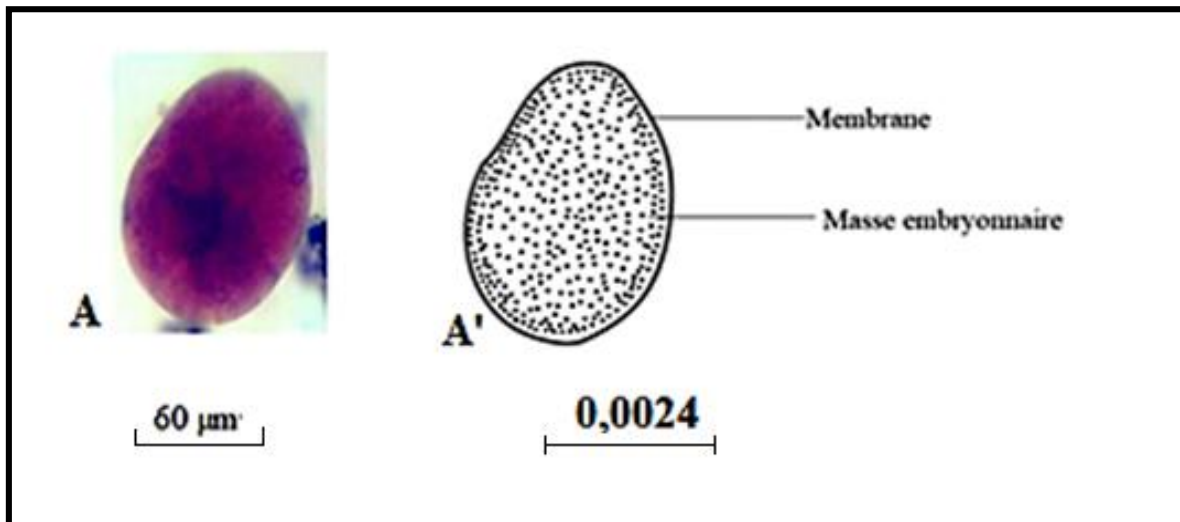
**Figure 63 :** Morphologie caractéristique des œufs d'*Ankylostome* spp. (A), dessin annoté (A')

#### III.1.2.2.3. *Enterobius* spp.

Les œufs d'*Enterobius* spp. ont été les moins représentés avec les plus faibles densités, car ces œufs se retrouvent difficilement dans l'environnement et y résistent très peu. Les œufs d'*Enterobius* sont de forme asymétrique avec un côté plat et un côté bombé,



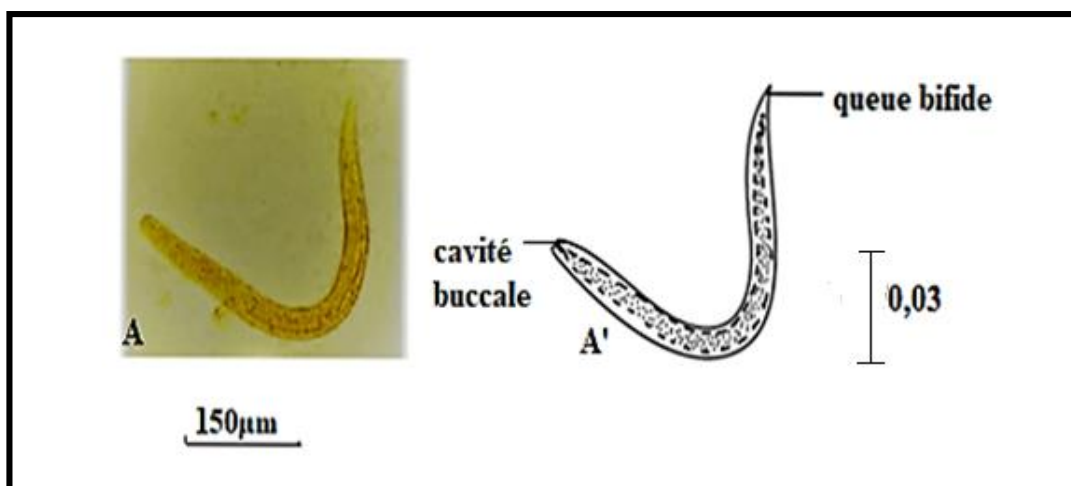
mesurent entre 50 et 60  $\mu\text{m}$  de long. Ils présentent une coque lisse, le contenu est une masse ovoïde, parfois granuleuse occupant la totalité de l'œuf (figure 64).



**Figure 64 :** Morphologie caractéristiques des œufs d'*Enterobius* spp. (A), dessin annoté (A')

#### III.1.2.2.4. Larve de *Strongyloides stercoralis*

Les larves de *Strongyloides* mesurent entre 180 et 630  $\mu\text{m}$  de long, sans orifice buccale, une extrémité postérieure pointue. Aspect transparent, contient des granules jaunâtres (figure 65). Les charges sont élevées dans toutes les stations.

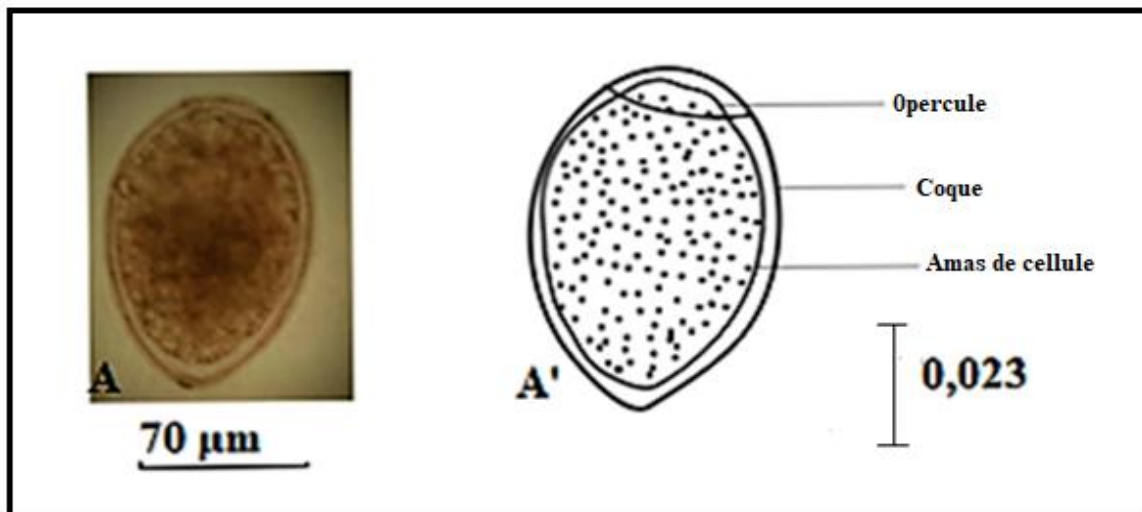


**Figure 65 :** Morphologie caractéristiques des larves de *Strongyloides stercoralis* (A) et dessin annoté (A').

#### III.1.2.2.5. *Diphyllobothrium* spp.

Les œufs de *Diphyllobothrium* spp. ont une forme ovoïde trapu, avec une taille de 70  $\mu\text{m}$  de long environ, possèdent un opercule à un pôle, leur coque est lisse, mince

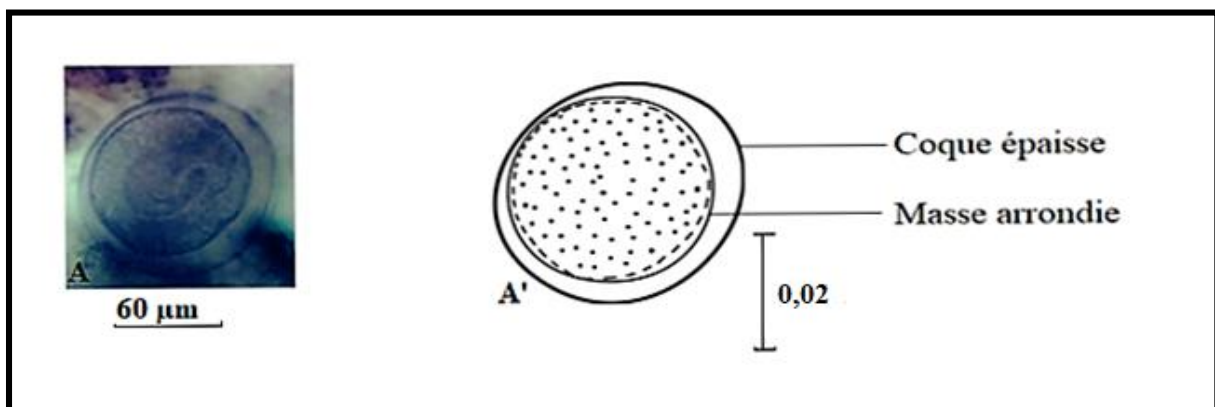
(figure 66A). A l'intérieur, l'œuf contient une cellule centrale, entourée de nombreuses cellules



**Figure 66 :** Morphologie caractéristique des œufs de *Diphyllobotrium* spp. (A) dessin annoté (A')

#### III.1.2.2.6. *Hymenolepis* spp.

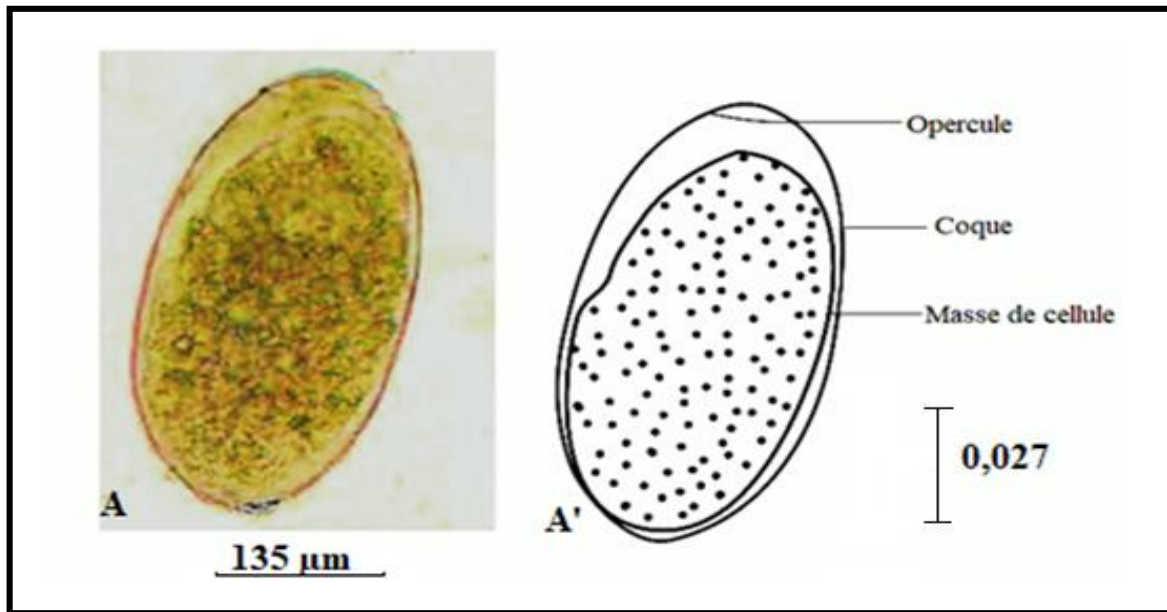
L'œuf d'*Hymenolepis* spp. de couleur transparent ou parfois jaunâtre, a une forme ovoïde, mesure 40 à 60 µm. On note la présence d'une coque très épaisse (figure 67). L'œuf contient une cellule centrale.



**Figure 67 :** Morphologie caractéristique des œufs d'*Hymenolepis* spp. (A) dessin annoté (A')

#### III.1.2.2.7. *Fasciola* spp.

Les œufs sont de grande taille comprise entre 130 et 145 µm de long sur 70 à 80 µm de large, ils ont une forme elliptique régulière, présentent une coque mince et un opercule peu visible. L'intérieur se présente sous forme d'une masse granuleuse qui remplit l'œuf entier (figure 68).

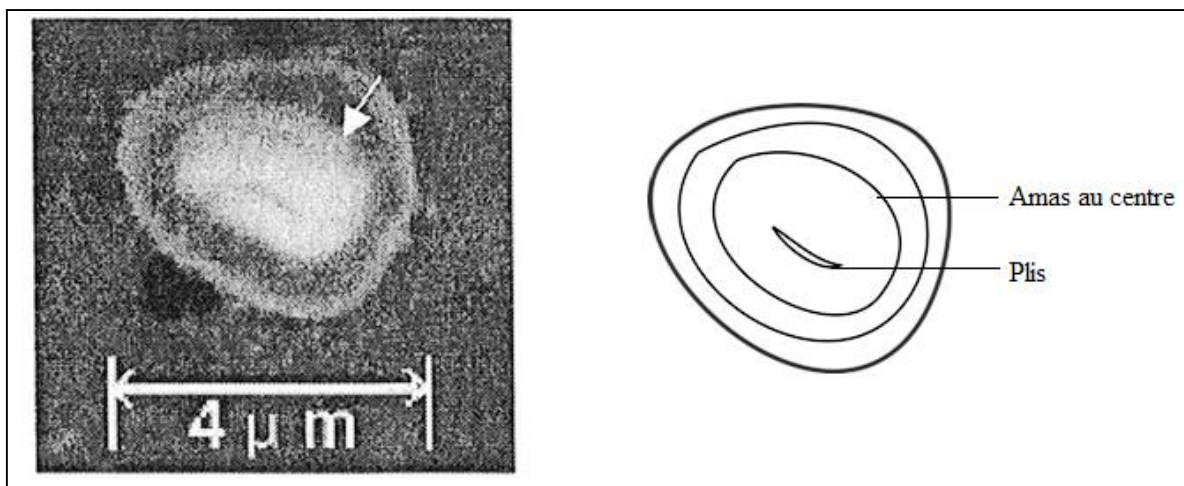


**Figure 68** : Morphologie caractéristique des œufs de *Fasciola* spp.

### III.1.2.3. Caractérisation des oocystes et des helminthes en microscopie électronique

Pour ce qui est des examens en microscopie électronique, les images correspondant aux oocystes de *Cryptosporidium* et des œufs d'*Ascaris* ont pu être enregistrées.

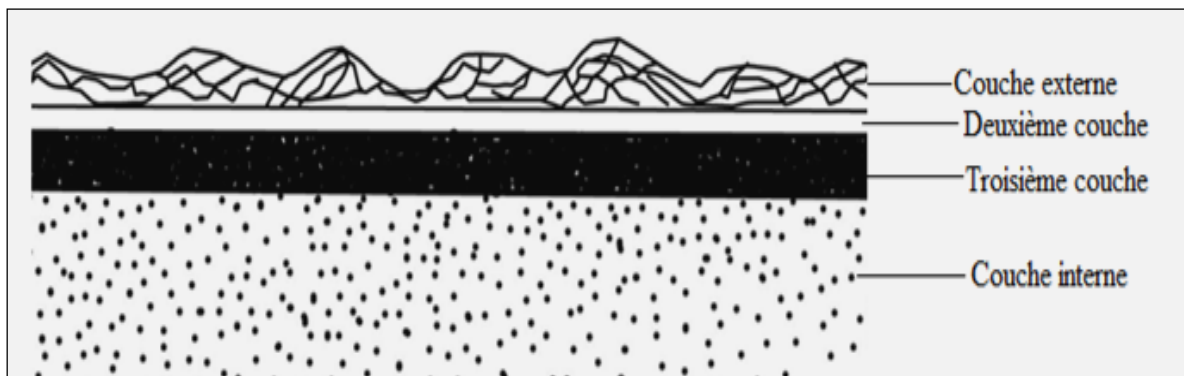
L'oocyste de *Cryptosporidium* observé est de forme ovoïde et mesure 4 μm de diamètre. L'image montre un amas au centre qui correspond aux quatre sporozoïtes, on observe également un pli dans la paroi de l'oocyste qui correspond à la zone de la paroi qui céderait lors du dékystement (figure 69).



**Figure 69** : Image d'un oocyste de *Cryptosporidium* spp au microscope électronique à balayage (MEB)

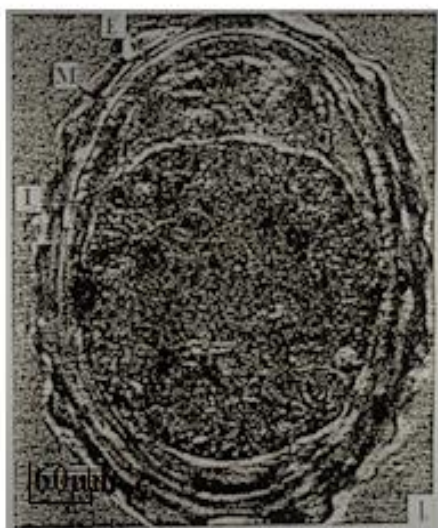
Cette observation nous a également permis d'élaborer un modèle à 4 couches de la structure de la paroi de l'oocyste (figure 70). La couche externe (8 nm), apparaît dense aux électrons

en microscopie électronique. Cette couche est principalement composée de sucre et confère à la cellule son caractère d'immunogénicité ainsi que l'attachement du parasite à la cellule-hôte et sert de protection contre les lésions mécaniques. La deuxième couche (4 nm), laisse passer les électrons en microscopie électronique. Elle serait à l'origine de la faiblesse de la paroi de l'oocyste ; la troisième couche (13 nm) est une fine couche apparaissant dense aux électrons. Elle abrite les principales protéines structurales de la paroi de l'oocyste, à l'origine de sa force et de sa flexibilité ; La couche interne (40 nm) est plus épaisse, est composée d'hydrates de carbone et de polysaccharides de structure.



**Figure 70 :** Modèle à 4 couches de la structure de la paroi de l'oocyste

L'œuf d'*Ascaris* observé à une taille de 60 µm et l'image enregistrée présente 3 couches membranaires (figure 71) : une couche externe mamelonnée, ce mamelonnage pourrait résulter de l'érosion dans le milieu extérieur. Cette surface granuleuse présente en microscopie électronique une organisation régulière de fibres protéiques dont l'arrangement confère sa rigidité à l'œuf d'*Ascaris*, une couche intermédiaire de faible épaisseur et une couche interne.

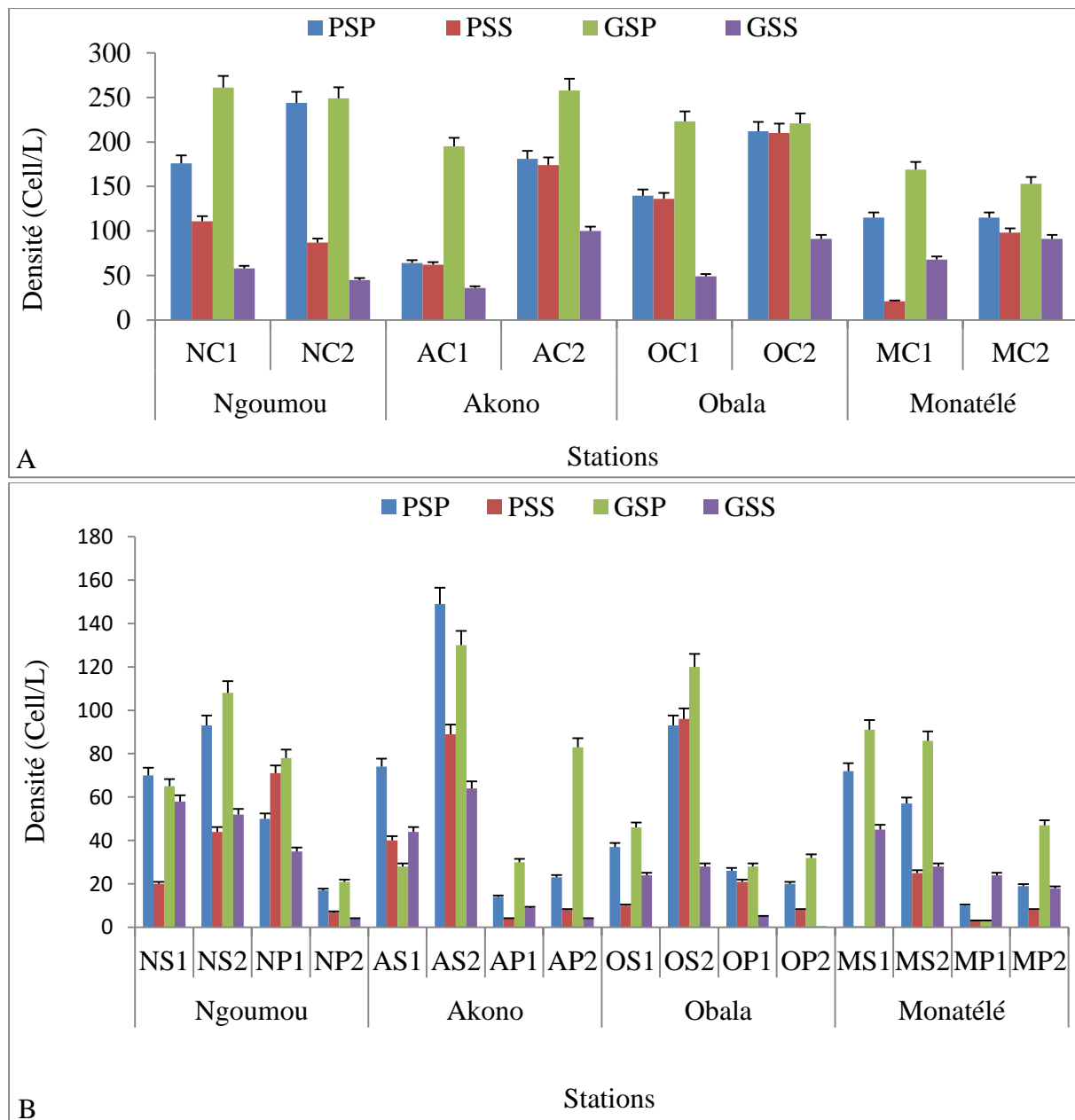


**Figure 71 :** Image de l'œuf d'*Ascaris lumbricoïdes* au microscope électronique à balayage

### III.1.3. Densité des formes de résistance des protozoaires et d'helminthes entériques identifiés dans les milieux étudiés

#### III.1.3.1. Variations spatio-temporelles des densités des formes de résistance des protozoaires entériques dans les milieux aquatiques

Les variations saisonnières des formes de résistance des protozoaires dans les eaux de surfaces sont présentées sur la figure 72A. Les densités ont varié entre 21 (PSS) et 261 cell/L (GSP) (respectivement dans la Sanaga à Monatéle et l'Ebongo à Ngoumou).



**Figure 72** : Répartition saisonnière des densités des formes environnementales des protozoaires entériques dans les cours d'eau (A) et dans les sources et les puits (B) de différentes localités.

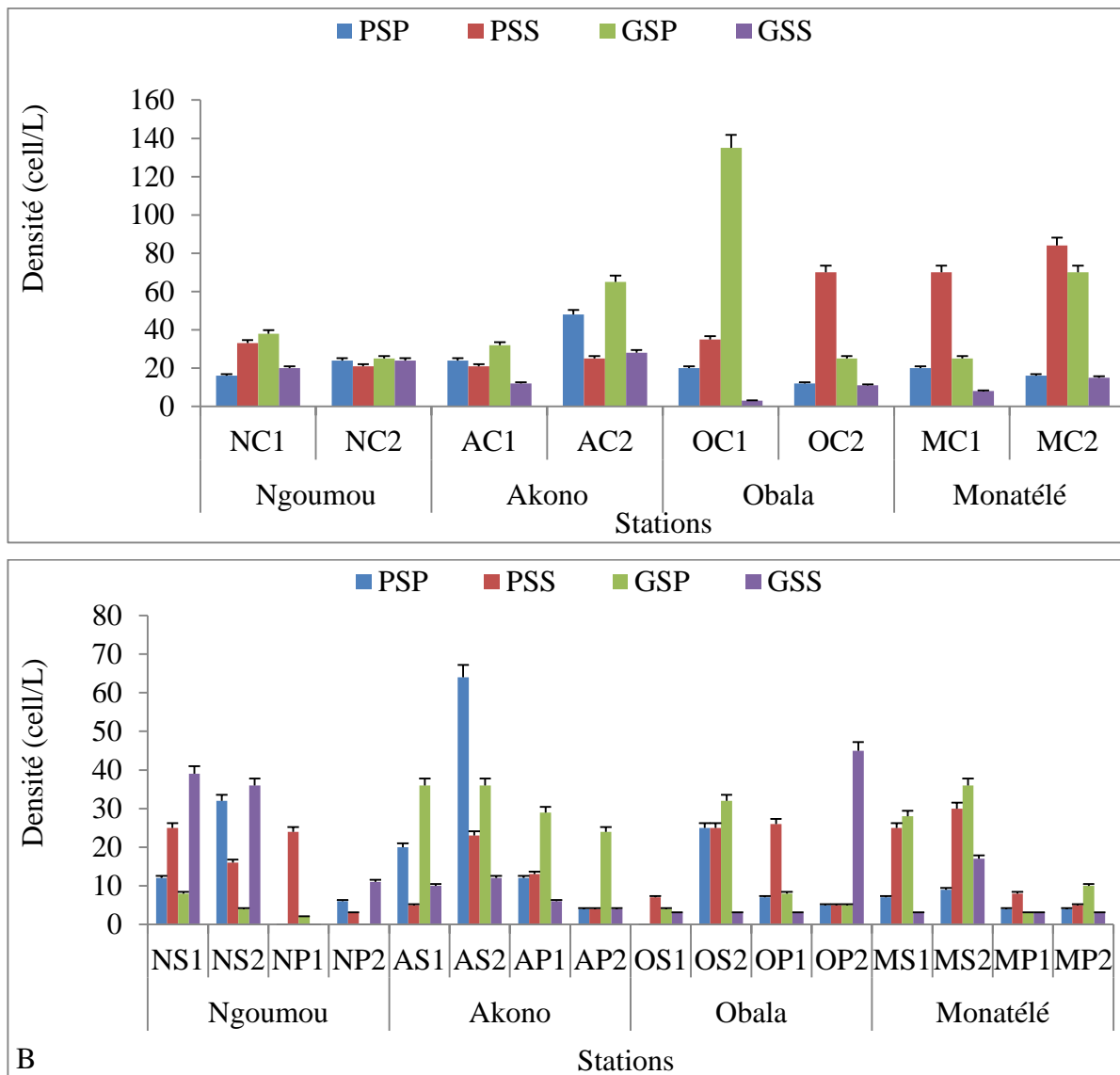
Les densités les plus élevées ont été enregistrées pendant la GSP dans l'ensemble des localités. Le cours d'eau le plus contaminé est celui de Ngoumou avec une densité maximale de 261 cell/L suivi de l'Afamba situé à Obala. Car dans ces cours d'eau, les jeunes viennent s'y baigner et au passage défèquent au niveau de l'herbier qui borde le cours d'eau on note également la présence d'un abattoir artisanal et d'un enclos de bétail à proximité du cours d'eau de Ngoumou et de l'Afamba respectivement et ayant pour conséquence l'augmentation du péril-fécal. Ceci pourrait expliquer la forte densité obtenue. Ces variations sont non significatives sur le plan saisonnier ( $p > 0,05$ ) mais significatives sur le plan spatial d'après le test de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ).

Les variations saisonnières des densités moyennes des formes de résistance des protozoaires identifiées dans les eaux souterraines sont présentées sur la figure 72B. Elles varient entre 0 (PSS) et 149 cell/L (PSP). Les densités les plus élevées ont été enregistrées pendant la PSP au niveau des stations AS2 (149 cell/L) d'Akono et OS2 (120 cell/L) d'Obala pendant la GSP. Et les plus faibles au niveau des stations OP1 et MS1. Dans l'ensemble les sources ont présenté une charge parasitaire importante. Ceci serait lié au fait que dans ces communes rurales les sources sont dépourvues de protection et la nappe d'eau est à fleur de surface, elles reçoivent les effluents domestiques et les eaux de lessivage des sols en saison pluvieuse.

Dans les puits par contre, les densités sont plus faibles à cause de la profondeur de la nappe d'eau qui subit une filtration naturelle ce qui limite la contamination. Les puits NP1 à Ngoumou et AP2 à Akono sont les plus contaminés à toutes les saisons. Ils sont dépourvus de margelle et reçoivent les eaux de lessivage des sols en saisons pluvieuses et sont situées à proximité des toilettes. Les variations spatio-temporelles ne sont pas significatives sur le plan statistique d'après le test de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

### **III.1.3.2. Variations saisonnières des densités des formes de résistance d'helminthes dans les milieux aquatiques**

La figure 73 présente les variations saisonnières des densités d'helminthes. Les variations des densités d'helminthes observées dans les eaux de surface des quatre localités sont présentées sur la figure 73A. Les densités varient entre 8 (GSS) et 135 cell/L (GSP). Le cours d'eau d'Obala a présenté la densité la plus élevée (135 cell/L) à la station OC1 à cause des apports provenant de la rigole en amont qui charrie les déchets de ménages et des toilettes pendant la saison pluvieuse. Dans les cours d'eau de Ngoumou, d'Akono et d'Obala, les densités d'helminthes les plus élevées sont notées pendant la GSP tandis que dans la Sanaga les densités les plus élevées ont été relevées pendant la PSS.

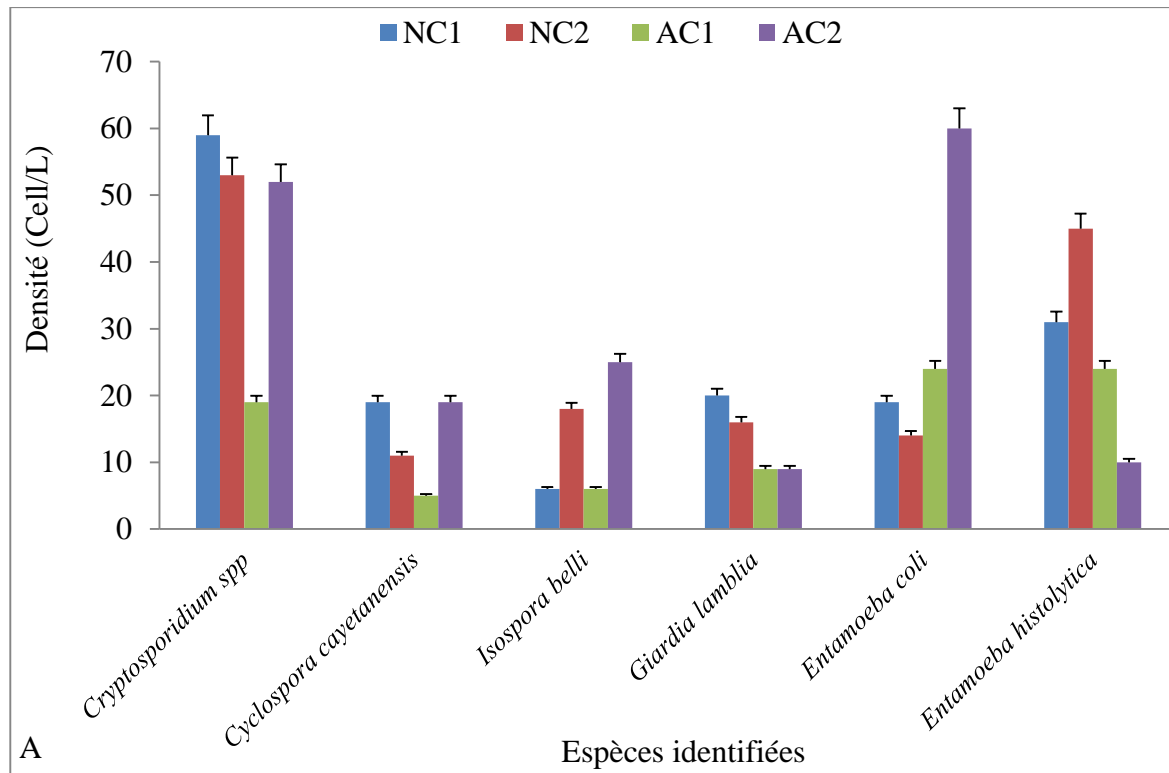


**Figure 73 :** Répartitions spatio-temporelles des densités moyennes des formes de résistances d'helminthes entériques (A) dans les cours d'eau et (B) dans les puits et les sources des différentes localités étudiées.

### III.1.3.3. Variations spatiales des densités des formes de résistance des protozoaires entériques dans les milieux aquatiques

La figure 74 présente les variations spatiales des densités moyennes des espèces de protozoaires entériques identifiées dans les cours d'eau de Ngoumou et d'Akono. Ces densités oscillent entre 6 et 59 cell/L (NC1) dans le cours d'eau de Ngoumou et entre 5 (AC1) à 60 cell/L (AC2) dans le cours d'eau Akono. La station NC1 présente les densités moyennes les plus élevées (59 cell/L) à l'exception d'*Isospora belli* (18 cell/L) et d'*Entamoeba histolytica* (45 cell/L) qui ont été plus abondante à la station NC2. La plus petite densité est celle d'*Isospora belli* (6 cell/L) et la plus grande densité est celle de *Cryptosporidium* spp. (59 cell/L) (figure 74).

Dans le cours d'eau Akono, la station AC2 présente les densités les plus remarquables pour les espèces *Cryptosporidium* spp. (52 cell/L) et *Entamoeba coli* (60 cell/L). Les espèces *Cyclospora cayetanensis* (5 cell/L) et *Isospora belli* (6 cell/L) sont les moins densément représentés. La répartition spatiale le long du cours d'eau à Ngoumou présente une différence significative ( $p < 0,05$ ). Au niveau du cours d'eau Akono la différence n'est pas significative d'une station à une autre (d'après Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

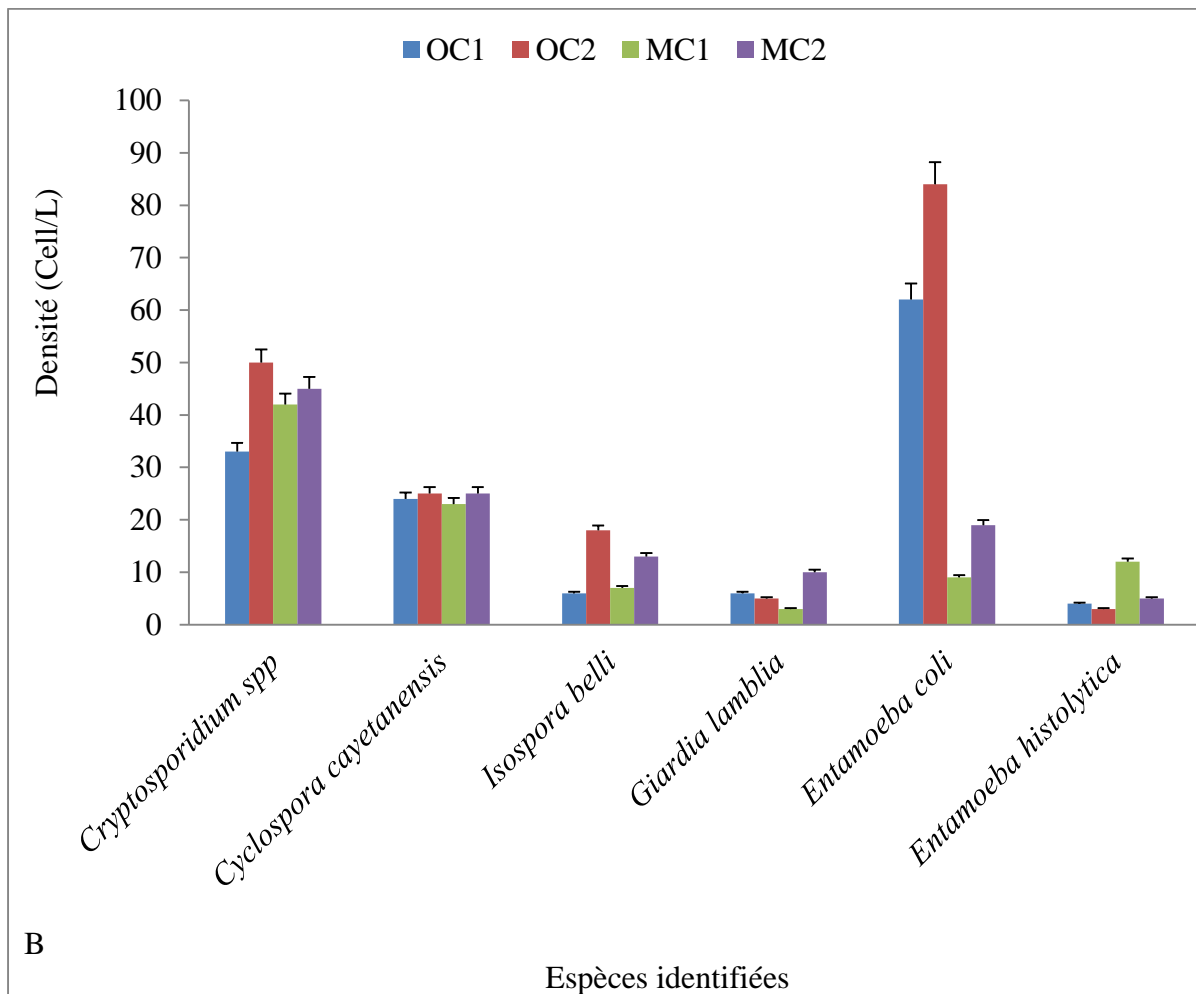


**Figure 74** : Variations spatiales des densités des formes de résistance des protozoaires entériques dans les eaux de surface de Ngoumou et d'Akono.

Dans le cours d'eau d'Obala (figure 75), ces densités ont oscillé entre 4 et 62 cell/L. avec les espèces *Cryptosporidium* spp. (50 cell/L), *Entamoeba coli* (84 cell/L) et *Cyclospora cayetanensis* (25 cell/L) les plus nombreuses. La charge parasitaire a été plus importante à OC2 (84 cell/L). L'abondance de l'espèce *Entamoeba coli* dans le cours d'eau traduit la présence de matière organique et l'importance des rejets d'origine anthropique dans ce cours d'eau, de plus les kystes *Entamoeba coli* sont très résistants à la pollution.

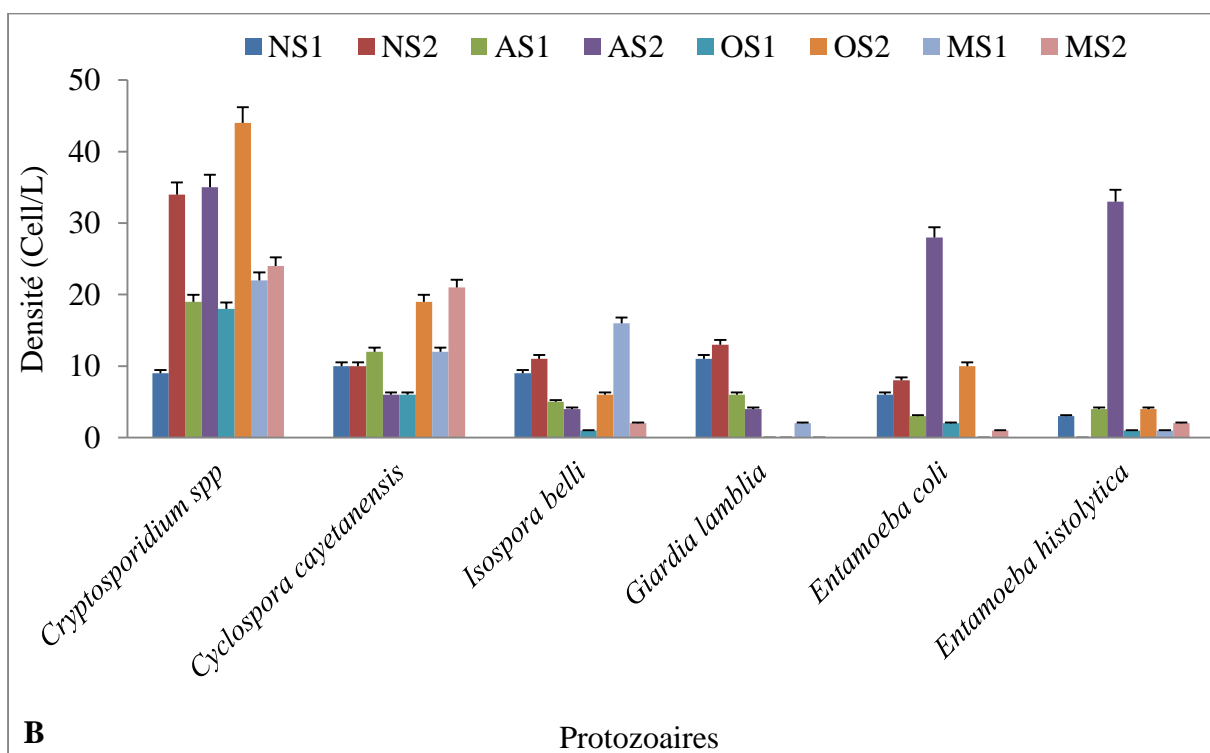
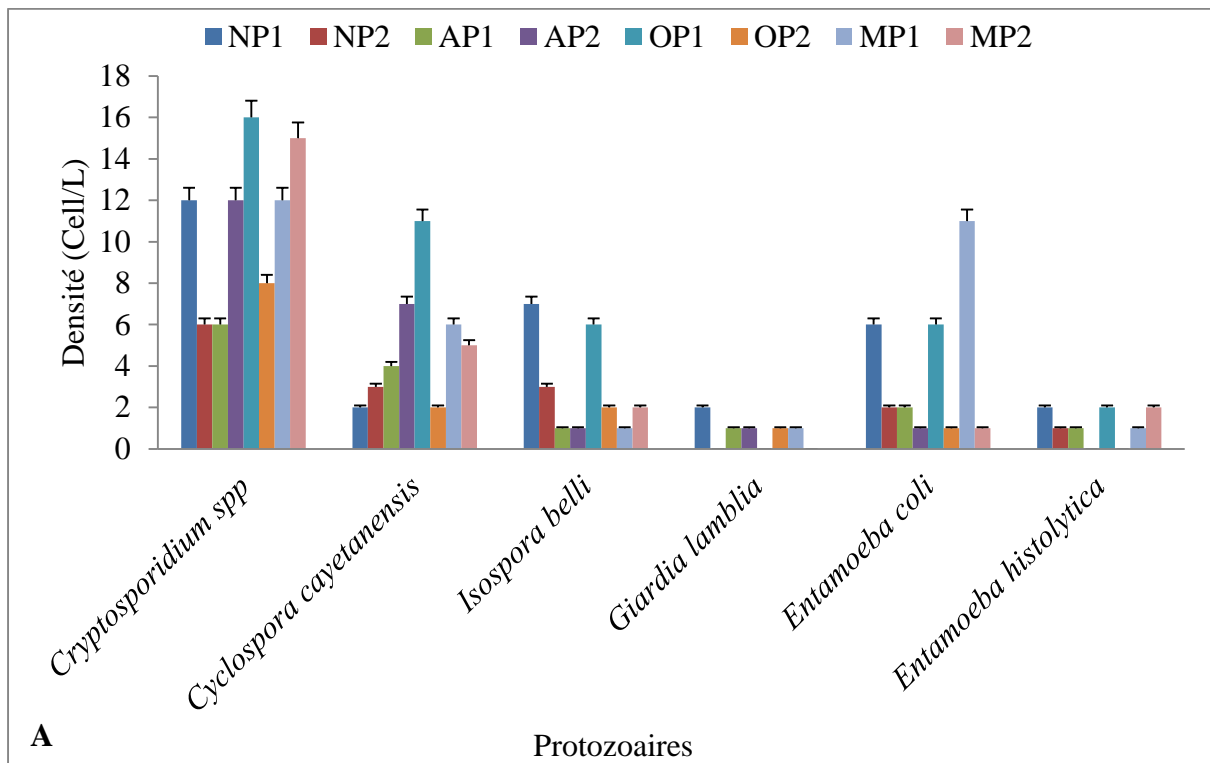
Dans la Sanaga à Monatélé, les densités ont varié entre 3 et 45 cell/L. La station MC2 présente les densités moyennes les plus élevées (45 cell/L). Dans l'ensemble, les espèces les moins abondantes sont *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* et *Isospora belli* (figure 75). Les faibles densités d'*Entamoeba histolytica* seraient liées au fait que cette espèce résiste peu dans l'environnement.





**Figure 75** : Variations spatiales des densités des formes de résistance des protozoaires entériques observées dans les eaux de surface d’Obala et de Monatélé.

Les variations spatiales des densités des espèces de protozoaires entériques identifiées dans les eaux souterraines sont présentées sur les figures 76A et B. Au niveau des sources, les densités ont varié de 0 cell/L à 44 cell/L (*Cryptosporidium* spp à OS2). La source AS2 à Akono et la source OS2 à Obala ont été les plus contaminées car on y note les densités de protozoaires entériques les plus élevées et la source OS1 la moins contaminée avec une densité moyenne faible (4 cell/L) car elle est protégée avec un cadre en béton ce qui limite la contamination, on observe de fortes densités d’amibes parasites (*Entamoeba histolytica* et *Entamoeba coli*) à la source AS2 à cause des apports du marché et des effluents domestiques des habitations situés à proximité (figure 76B). Les densités élevées des oocystes de *Cryptosporidium* spp. observées dans les sources et les puits par rapport aux autres espèces pourraient être liées à une grande résistance de cette espèce aux différents stress environnementaux et à son pouvoir zoonotique important.



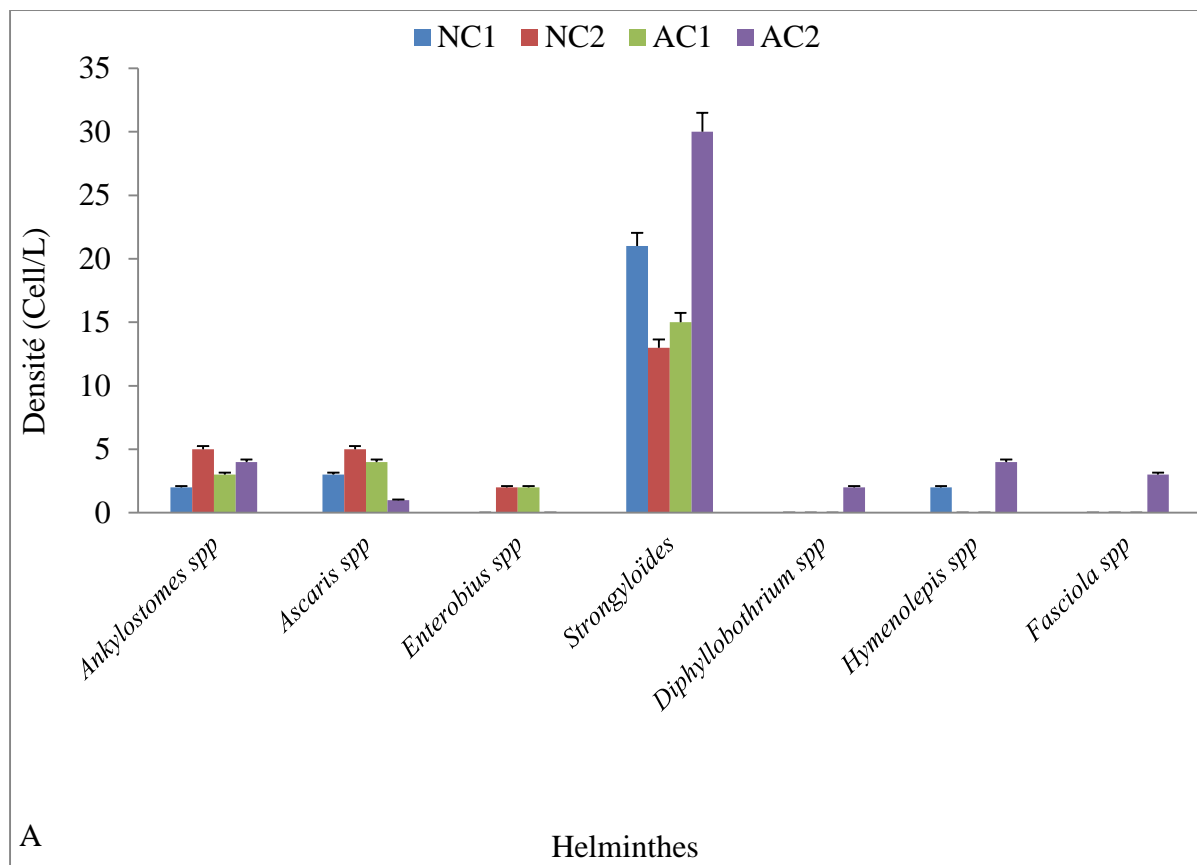
**Figure 76 :** Variations spatiales des densités de protozoaires dans les puits (A) et les sources (B) étudiés.

Par contre dans les puits, les densités sont plus faibles et varient entre 0 et 17 cell/L. Les kystes de *Giardia lamblia* et d'*Entamoeba histolytica* ont été les moins abondants et les oocystes de *Cryptosporidium spp.* ont été les plus densément représentés. Le puits OP1 situé à Obala semble être plus contaminé avec une densité maximale de 16 cell/L. Le Test de

kruskal-wallis ne montre aucune différence significative sur la répartition des espèces entre les puits ( $p>0,05$ ).

#### III.1.3.4. Variation spatiale des densités des formes de résistance des helminthes entériques dans les milieux aquatiques.

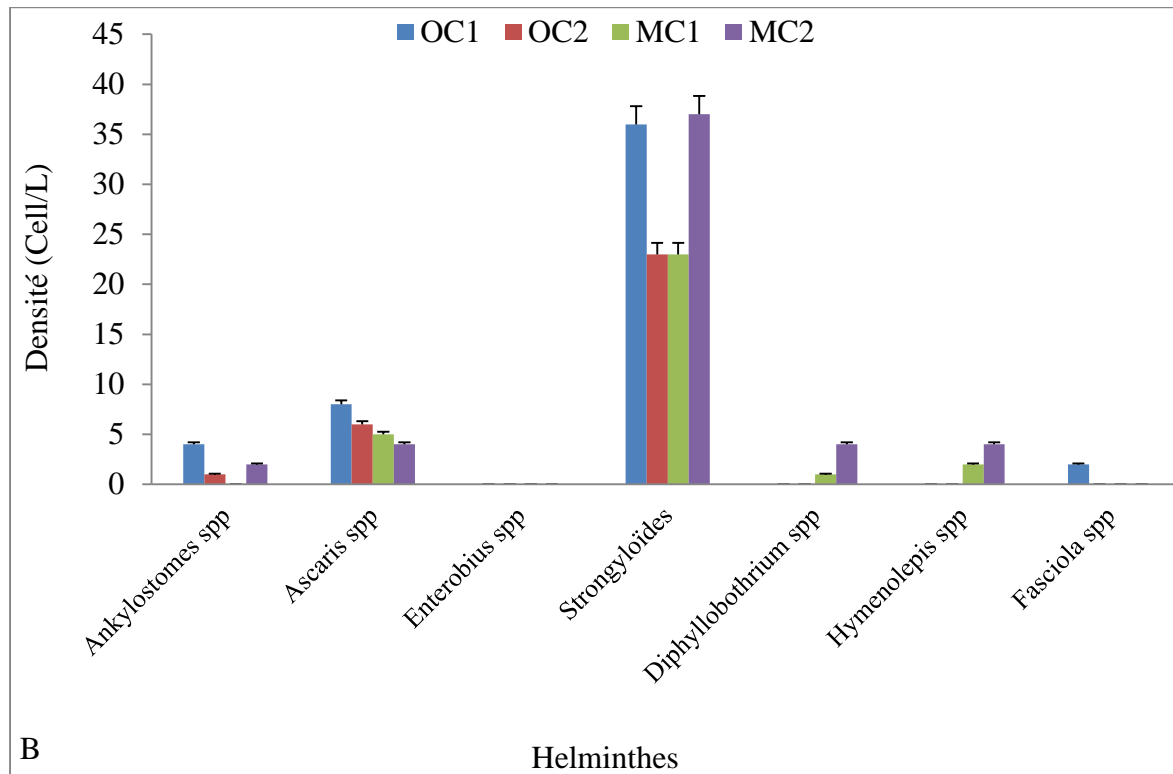
Les densités moyennes d'helminthes entériques dans le cours d'eau de Ngoumou et d'Akono ont varié entre 0 et 30 cell/L pour l'ensemble des espèces rencontrées (figure 77). Le genre *Strongyloïdes* a présenté les densités moyennes les plus élevées dans toutes les stations. La station AC2 située en aval de l'Akono est la plus contaminée car on y note une diversité d'helminthes parasites. Les espèces *Hymenolepis* spp., *Diphyllobothrium* spp. et *Fasciola* spp. ont été les moins représentés. La répartition spatiale le long du cours d'eau de Ngoumou et d'Akono ne présente pas de différence significative d'une station à l'autre (test de Mann-Whitney,  $p>0,05$ ).



**Figure 77** : Variations spatiales des densités des formes de résistance des helminthes entériques dans les eaux de surface de Ngoumou et d'Akono

La figure 78 présente les densités spatiales des formes de résistances des helminthes entériques identifiées dans le cours d'eau d'Obala et dans la Sanaga. Ces densités oscillent entre 0 et 37 cell/L. Ce sont les larves de *Strongyloïdes stercoralis* qui ont dominé avec une

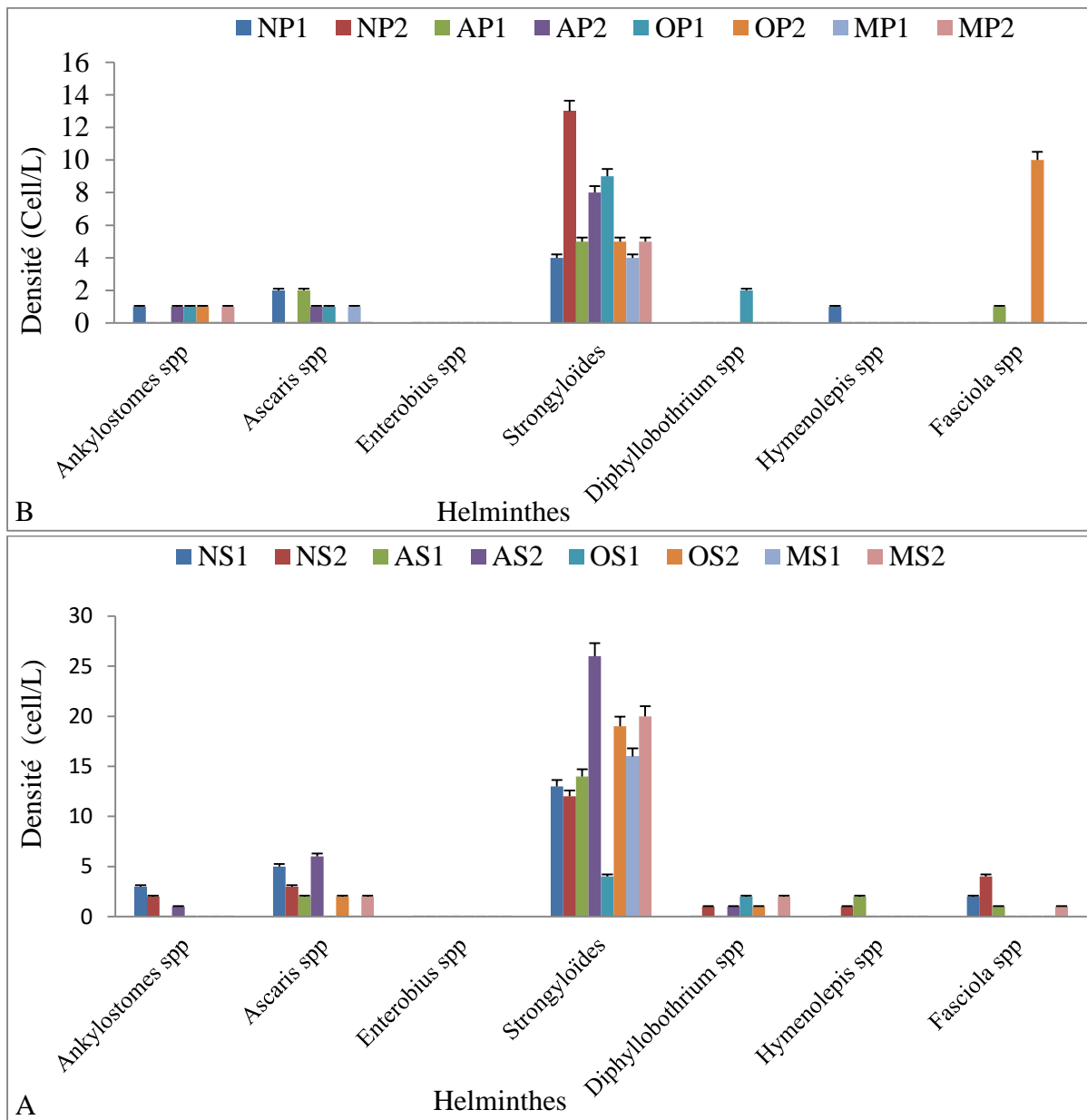
moyenne maximale de 37 cell/L à MC2, suivi du genre *Ascaris*. Le groupe le moins représenté est celui d'*Enterobius*.



**Figure 78 :** Variations spatiales des densités des œufs et des larves d’helminthes observées dans les eaux de surface d’Obala et de Monatélé

Les variations des densités d’helminthes dans les eaux souterraines sont présentées sur la figure 79. Au niveau des sources, les densités varient entre 0 à 26 cell/L (AS2 à Akono) (figure 79B). La source OS1 située à Obala enregistre le moins d’helminthes entériques ce qui serait lié à la protection de ce point d’eau. La source NS2 à Ngoumou dépourvue de protection a été la plus contaminée car on y note une diversité d’helminthes entériques. Les larves de *Strongyloïdes Stercoralis* ont présenté la densité la plus élevée (26 cell/L à AS2). Les œufs d’*Enterobius* spp. ont été les moins représentés ceci pourrait être lié au fait que les œufs *Enterobius* spp. sont rarement évacués dans le milieu extérieur à travers les fèces et y résistent très peu.

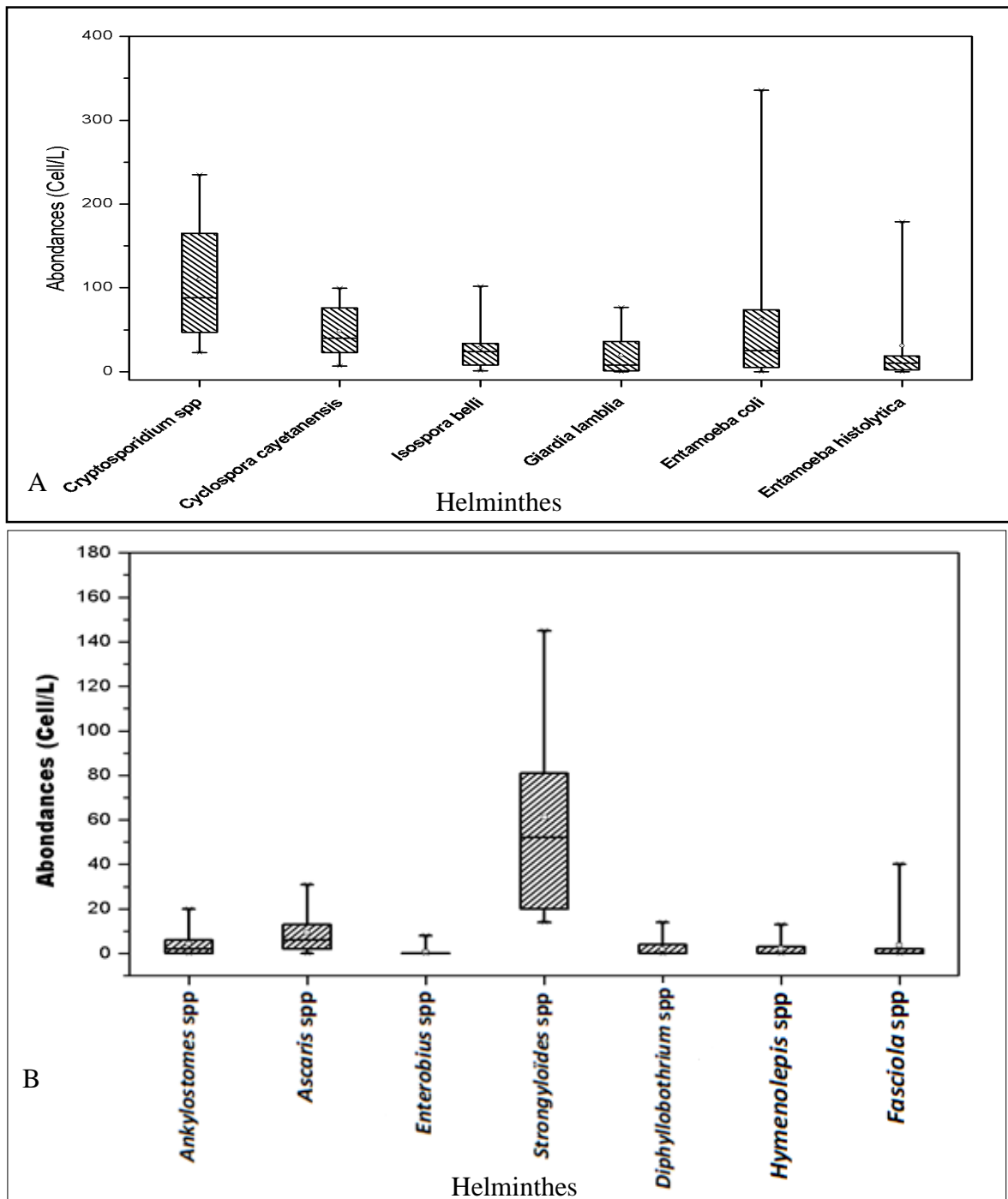
Pour ce qui est des puits, les densités sont plus faibles et varient entre 0 et 13 cell/L (figure 79A). Les larves de *Strongyloïdes stercoralis* présentent les densités moyennes les plus élevées dans presque toutes les stations avec une moyenne maximale de 13 cell/L obtenue à la station NP2. Le puits OP1 à Obala a été le plus contaminé car on y note une diversité d’helminthes. Les œufs d’*Enterobius* spp. sont les moins représentés dans toutes les stations



**Figure 79** : Variations spatiales des densités des formes de résistance d'helminthes entériques observées dans les puits (A) et les sources (B) étudiés.

La figure 80 présente les densités moyennes des formes de résistance des parasites entériques pendant l'étude. Il en ressort que *Cryptosporidium* spp. a dominé dans l'ensemble avec une densité moyenne de 109 cell/L suivis d'*Entamoeba coli* 62 cell/L et de *Cyclospora cayetanensis* 47 cell/L (figure 80A). Selon les caractéristiques du milieu, ces espèces sont résistantes à divers stress environnementaux et se développent rapidement dans les milieux pollués de plus les oocystes du genre *Cryptosporidium* ont un réservoir zoonotique important car les espèces de ce groupe ne sont pas spécifiques à un seul hôte, ils sont directement infestants après leur libération dans les fèces et sont capables d'infester l'homme et les animaux. L'espèce la moins abondante est *Entamoeba histolytica*. Cette faible abondance pourrait s'expliquer par le fait que ses kystes résistent peu dans l'environnement.

Les formes de résistance des helminthes entériques ont été moins abondante (figure 80B). Cette faible abondance serait liée au type d'infestation des populations. Le genre *Strongyloides* a été largement plus abondant avec une densité moyenne de 61 cell/L, suivi d'*Ascaris* spp. Le groupe le moins représenté est *Enterobius* spp., cette faible abondance peut s'expliquer par le fait que les œufs d'*Enterobius* spp. sont rarement émis dans les selles.



**Figure 80 :** Variations des densités des formes de résistance des protozoaires (A) et des helminthes entériques (B) identifiés pendant l'étude.

### III.1.4. Analyses statistiques des variables physico-chimiques et biologiques

#### III.1.4.1. Corrélations de Spearman entre les moyennes des variables physico-chimiques mesurés dans les puits

Pour un risque égal à 1%, les STD ont été positivement corrélées à la conductivité ( $r=0,998$  ;  $p=0,01$ ), à l'alcalinité ( $r=0,448$  ;  $p=0,01$ ) et à la salinité ( $r=0,967$  ;  $p=0,01$ ). En effet, les particules dissoutes vont augmenter l'aspect trouble de l'eau et influencer les échanges ioniques qui vont agir sur la conductivité. Il existe une corrélation significative et positive ( $r=0,245$  ;  $p=0,05$ ) entre l'augmentation des valeurs de pH et l'augmentation de l'alcalinité. Les profils de variation de la turbidité, des MES et de la couleur sont significativement liés ( $p>0,05$ ) ; En effet, l'augmentation des MES élève la turbidité de l'eau, qui à son tour va colorer l'eau, d'où les corrélations positives entre les MES et la couleur ( $r = 0,836$ ;  $p=0,01$ ), respectivement, les MES et la turbidité ( $r=0,765$ ;  $p=0,01$ ). En effet, plus il y a des MES dans l'eau, moins la lumière va traverser et donc plus la couleur aura une valeur élevée. La conductivité électrique a été d'une part fortement corrélée à l'alcalinité ( $r = 0,447$  ;  $p=0,01$ ), et à la salinité ( $r=0,968$  ;  $p=0,01$ ) et d'autre part négativement corrélée à la résistivité ( $-0,412$  ;  $p=0,01$ ). Toutes ces corrélations, aussi bien positives que négatives traduiraient une synergie d'action des paramètres analysés sur la qualité de l'eau.

Concernant la biologie, un certain nombre de corrélations significatives a été relevé entre quelques paramètres physico-chimiques et les formes de résistance des parasites entériques observées. Ces relations sont présentées dans le tableau (VI). *Cyclospora cayetanensis* est positivement corrélé à la température ( $r=0,342$ ) car sa sporulation est très dépendante de ce paramètre. *Cryptosporidium* spp. ( $r=0,212$ ), *Cyclospora* ( $r=0,183$ ), *Giardia* ( $r=0,269$ ), *Isospora belli* ( $r= 0,258$ ), *Entamoeba coli* ( $r=0,421$ ) et *Entamoeba histolytica* ( $r=0,352$ ) sont positivement liés à la couleur et *Isospora belli* ( $r=0,279$ ), *Giardia* ( $r= 0,270$ ), *Entamoeba histolytica* ( $r= 0,343$ ) et *Entamoeba coli* ( $r=0,534$ ) à la turbidité. *Cryptosporidium* ( $r=0,213$ ), *Isospora belli* ( $r=0,277$ ), *Giardia* ( $r=0,262$ ), *Entamoeba histolytica* ( $r=0,270$ ) et *Entamoeba coli* ( $r=0,430$ ) sont positivement corrélés aux MES. *Cryptosporidium* spp ( $r=-0,167$ ), *Isospora belli* ( $r=-0,328$ ), *Giardia lamblia* ( $r=-0,271$ ), *Entamoeba coli* ( $r=-0,491$ ) et *Entamoeba histolytica* ( $r=-0,309$ ) sont négativement liés à la conductivité.

Pour les helminthes, les espèces *Ankylostome* spp. ( $r = 0,168$ ), *Ascaris* spp. ( $r = -0,192$ ), *Enterobius* spp. ( $r = -0,212$ ), *Strongylides stercoralis* ( $r = -0,301$ ), *Hymenolepis* spp. ( $r = -0,145$ ) et *Fasciola* spp. ( $r=-0,004$ ) ont été négativement liées à la conductivité. *Ascaris* spp. évolue dans le même sens que les MES ( $r = 0,285$ ), la turbidité ( $r = 0,313$ ) et la couleur de l'eau ( $r = 0,222$ ).

**Tableau VI** : Corrélations de Spearman entre les variables biologiques et les moyennes des variables physicochimiques mesurées (NB : \*Significatif à 5%; \*\* Significatif à 1%)

Temp= température ; Cond= conductivité, Coul= couleur, MES= matière en suspension, Turb=Turbidité, STD= Solides totaux dissous, Sal= Salinité.

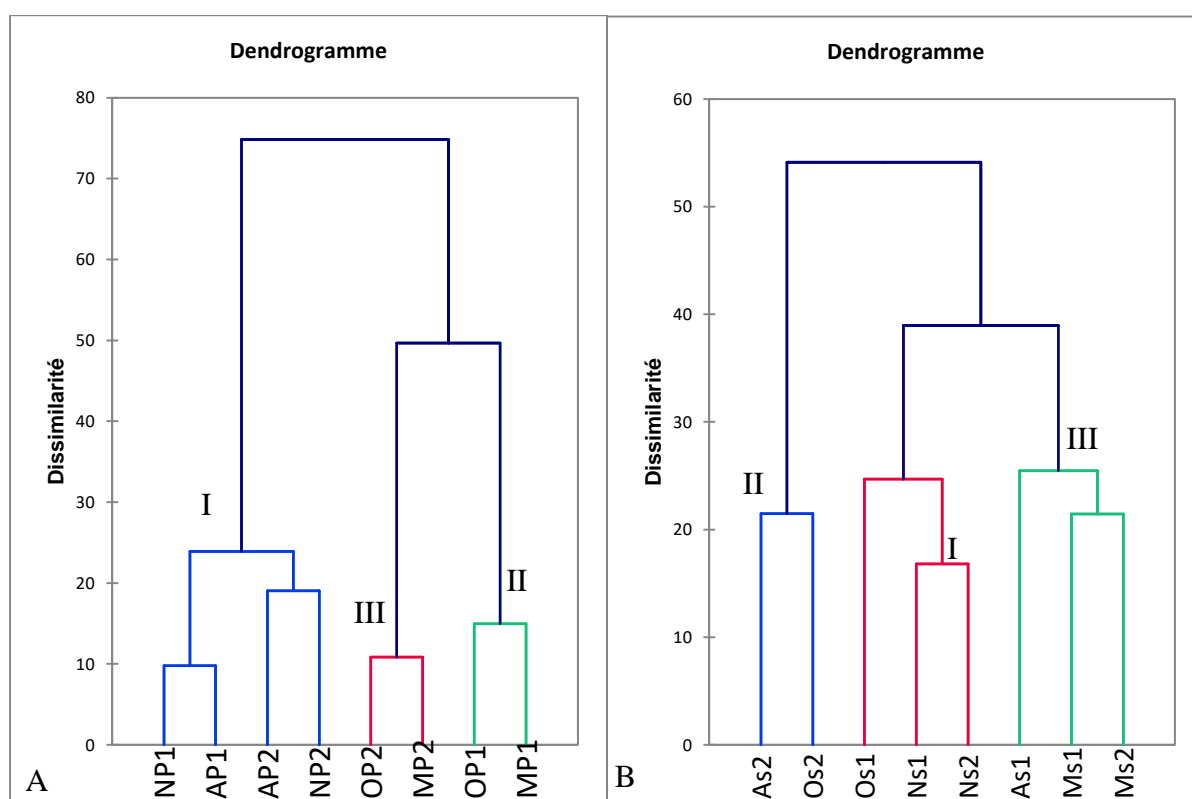
	Temp	Cond	Coul	Turb	MES	STD	Sal
<i>Cryptosporidium</i> spp	0,009	-0,167	<b>0,212*</b>	0,193	<b>0,213*</b>	-0,162	-0,180
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	<b>0,342**</b>	-0,131	0,183	0,159	0,167	-0,131	-0,129
<i>Isospora belli</i>	0,183	<b>-0,328**</b>	<b>0,269**</b>	<b>0,279**</b>	<b>0,277**</b>	<b>-0,322**</b>	<b>-0,326**</b>
<i>Giardia lamblia</i>	0,098	<b>-0,271**</b>	<b>0,258*</b>	<b>0,270**</b>	<b>0,262*</b>	<b>-0,275**</b>	<b>-0,275**</b>
<i>Entamoeba coli</i>	-0,055	<b>-0,491**</b>	<b>0,421**</b>	<b>0,534**</b>	<b>0,430**</b>	<b>-0,489**</b>	<b>-0,496**</b>
<i>Entamoeba histolytica</i>	-0,149	<b>-0,309**</b>	<b>0,352**</b>	<b>0,343**</b>	<b>0,270**</b>	<b>-0,341**</b>	<b>-0,267**</b>
<i>Ankylostome</i> spp.	0,040	-0,168	0,069	0,153	0,130	-0,166	-0,184
<i>Ascaris</i> spp.	0,59	-0,192	<b>0,222*</b>	<b>0,313**</b>	<b>0,285*</b>	<b>-0,202*</b>	<b>-0,207*</b>
<i>Enterobius</i> spp.	-0,096	<b>-0,212*</b>	0,140	0,111	0,067	<b>-0,213*</b>	<b>-0,209*</b>
<i>Strongyloïdes stercoralis</i>	0,012	<b>-0,301**</b>	0,161	0,169	0,080	<b>-0,300*</b>	<b>-0,278**</b>
<i>Diphyllobothrium</i> spp.	-0,091	0,035	0,098	-0,049	-0,114	0,039	0,042
<i>Hymenolepis</i> spp.	0,158	-0,145	0,023	0,113	0,102	-0,142	-0,101
<i>Fasciola</i> spp.	0,087	-0,004	0,012	0,063	0,011	0,000	0,013



### III.1.4.2. Analyse de Classification Hiérarchique des stations d'étude (ACH)

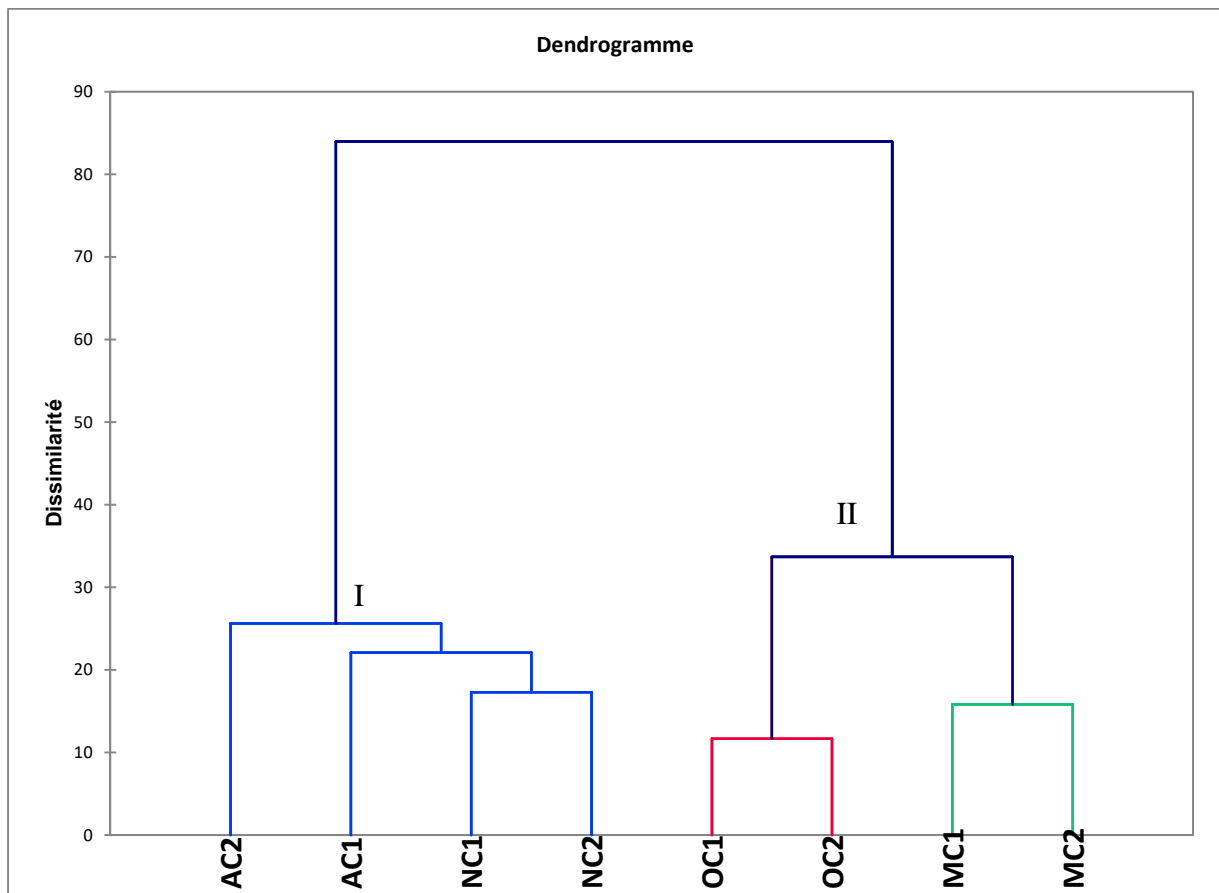
La hiérarchisation des stations d'étude sur la base des paramètres physico-chimiques et biologiques est présentée sur trois dendrogrammes (figure 81 et 82). Pour ce qui est des puits, le regroupement donne trois groupes comme suit : le groupe I est une association des puits (NP1-AP1 et AP2-NP2) lié à 25%, le groupe II regroupant les puits OP1-MP1 avec 17% d'affinité (figure 81A) ; le groupe III regroupe les puits OP2 et MP2 à 14%.

L'analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des sources nous a donné trois groupes de stations aux caractéristiques physicochimiques distinctes (figure 81B) : le groupe I constitué de la source OS1 lié à 25% au sources NS1 et NS2, le groupe II (constitué des sources AS2 et OS2 liées à 23%), le groupe III (est une association constituée de la source AS1 liée à 27% au groupe MS1-MS2).



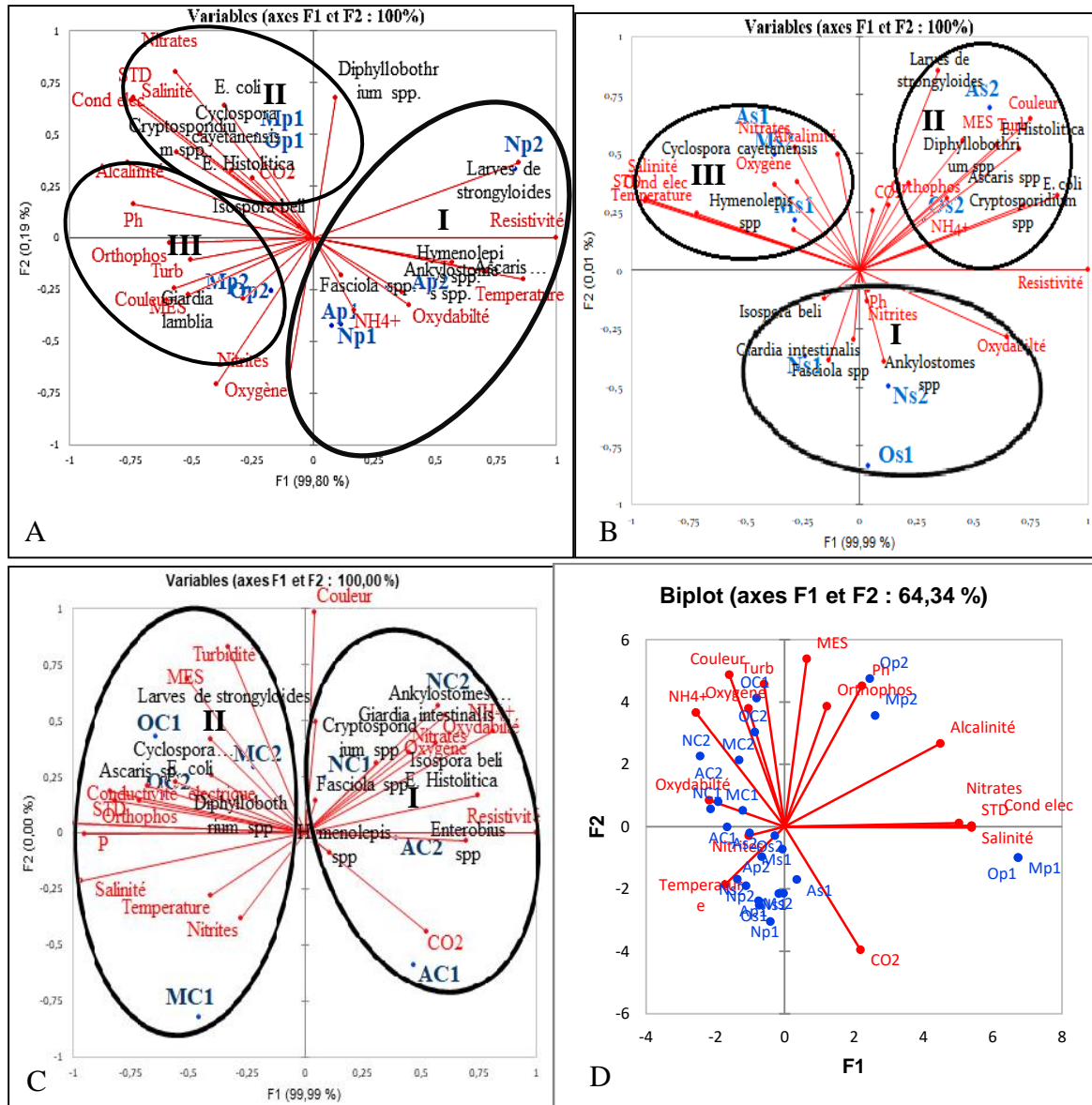
**Figure 81** : Classification hiérarchique des stations d'échantillonnages à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées (A) dans les eaux de puits et (B) de sources pendant la période d'étude

Concernant les eaux de surfaces 2 groupes ont également été formés. Le groupe I, regroupe les stations avec 3 sous-groupes (AC2 liée à AC1 tous deux liées aux stations NC1-NC2) la station AC1 se démarque de la station AC2 et ces deux dernières se démarquent du groupe NC1-NC2. Le groupe II est constitué des stations (OC1-OC2) liées aux stations (MC1-MC2) (figure 82).



**Figure 82 :** Classification hiérarchique des stations d'échantillonnages à partir des valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées dans les eaux de surfaces pendant la période d'étude. NB : les chiffres romains I, II et III désignent les groupes constitués

Une Analyse en Composantes Principales est faite par la suite pour déterminer les paramètres physico-chimiques et biologiques caractéristiques des différents groupes formés. Pour ce qui est des puits, l'essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes factoriels F1 (99,80 %) et F2 (0,19 %) qui cumulent 100 % de l'inertie totale (Figure 83 A). Trois grands groupes se dégagent de ce plan factoriel (figure 83A) : le groupe I constitué des puits NP1 et AP1 caractérisés par des eaux bien oxygénés, des fortes valeurs de nitrite et d'azote ammoniacal et une densité élevée des œufs de *Fasciola* spp. lié aux puits AP2 et NP2 caractérisé par des fortes valeurs d'oxydabilité de température et de résistivité avec des densités élevées pour les espèces *Ankylostome* spp., *Ascaris* spp., *Hymenolepis* spp. et les larves de *Strongyloides* et par opposition au groupe II constitué des puits OP1 et MP1 qui présente des fortes valeurs de conductivité électrique, les STD, les Nitrates des densités élevées pour les espèces *E coli*, *Cyclospora cayetanensis*, *Cryptosporidium* et *E histolytica*; le groupe III regroupe les puits MP2 et OP2 qui se caractérisent par des valeurs élevées de MES, la couleur, la turbidité, les orthophosphates et des densités élevées des kystes de *Giardia intestinalis*.



**Figure 83** : Résultat de l'analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur les variables Environnementales mesurées dans les différentes stations : (A) histogramme des valeurs propres ; Cercle de corrélation entre les variables (C) Biplot montrant la distribution des stations dans les puits, (D) dans les sources et (E) dans les cours d'eau

La figure 83B ci-dessus présente la distribution des sources. Cette distribution oppose trois grands groupes, le groupe I constitué de la source AS1 liée aux sources NS1 et NS2 caractérisées par des teneurs élevées d'oxydabilité et des espèces telles que *Ankylostome* spp., *Fasciola* spp., *Giardia intestinalis* et *Isospora belli*, le groupe II constitué des stations AS2 et OS2 qui se différencient par des valeurs élevées de MES, la couleur, la turbidité qui sont des variables qui influencent le plus la dissémination des formes de résistance dans l'environnement et des densités élevées des espèces *E. coli*, *E. histolytica*, *Cryptosporidium* spp., *Strongyloides* et *Diphyllobothrium* spp. et par opposition au groupe III qui est constitué

de la source AS1 lié aux sources MS1 et MS2 de Monatélé qui se caractérisent par une forte minéralisation des eaux, des fortes valeurs de salinité et de Nitrate et présentent des densités élevées des oocystes de *Cyclospora cayetanensis* et des œufs d'*Hymenolepis* spp.

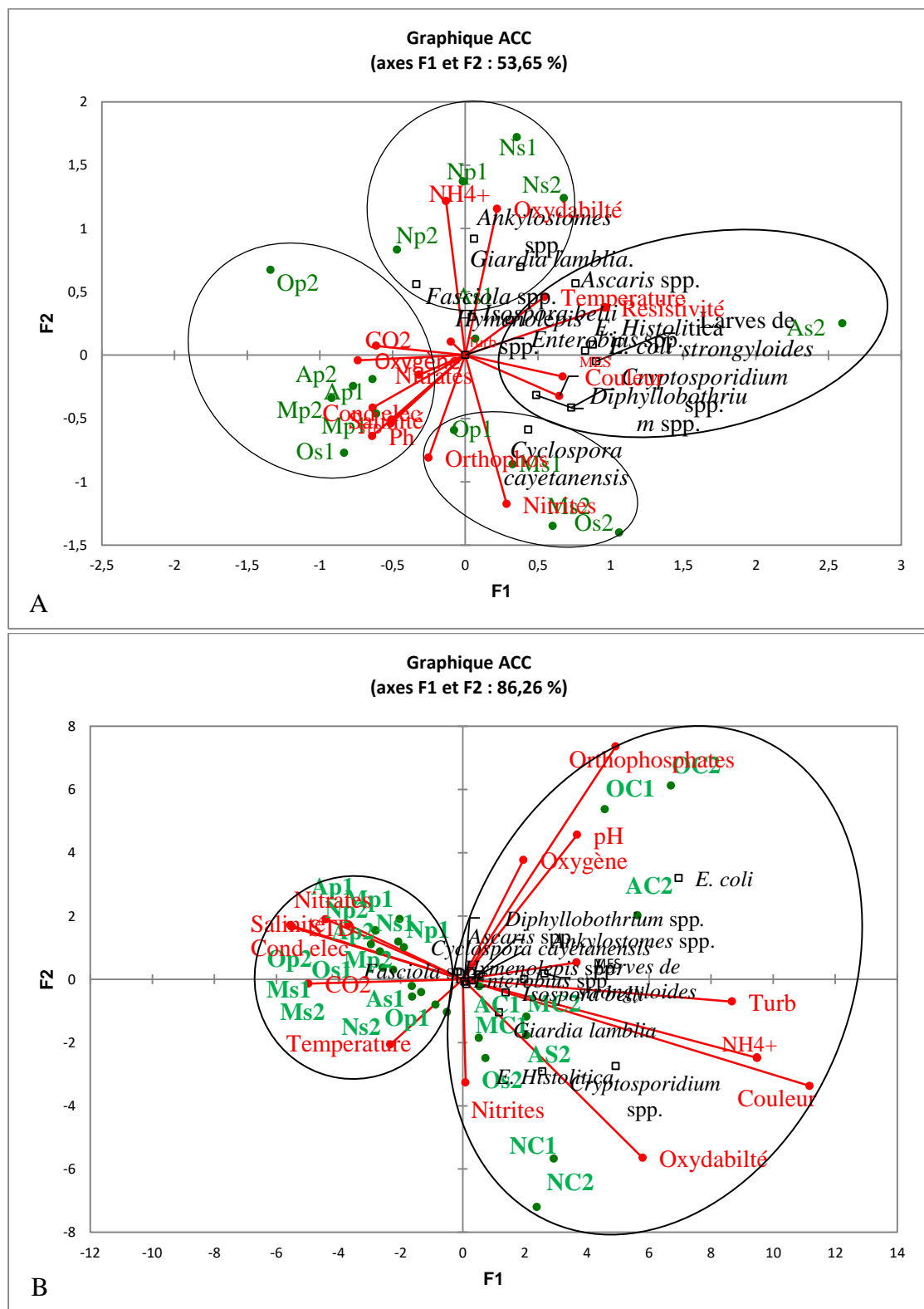
Pour ce qui est des eaux de surface l'essentiel de la variance totale est également fourni par les deux premiers axes F1 et F2 qui cumulent 100% de l'inertie totale deux grands groupes se dégagent de ce plan factoriel (figure 83C) : le groupe I constitué des stations du cours d'eau d'Akono qui se distinguent par des densités élevées des espèces *Enterobius* spp. et *E histolytica* lié aux stations du cours d'eau de Ngoumou. La station NC2 située en aval du cours d'eau de Ngoumou s'éloigne des autres par des densités élevées des oocystes de *Cryptosporidium* spp., d'*Isospora belli*, les kystes de *Giardia* et les œufs d'*Ankylostomes* spp. et des fortes valeurs d'oxydabilité par opposition au groupe II composé des stations du cours d'eau d'Obala qui se différencient de la Sanaga par des densités élevées des espèces *E coli*, *Cyclospora cayetanensis*, *Strongyloides* et *Ascaris* spp. et par des fortes valeurs de MES, de Turbidité de conductivité électrique et de salinité.

#### **III.1.4.3. Analyse Canonique des correspondances (ACC) entre les stations et la distribution des variables caractéristiques des différents milieux**

Dans le but d'établir l'influence des variables environnementales sur l'abondance des protozoaires et des helminthes intestinaux inventoriés dans les eaux souterraines une analyse canonique de correspondance est effectuée. Les deux premiers axes utilisés pour l'expression des résultats de cette analyse cumulent 53,65% de l'inertie totale. Ce plan factoriel 1×2 permet de dissocier nettement les eaux souterraines en quatre groupes (figure 84A). L'axe 1 isole en coordonnées négative la majorité des puits (OP1, AP2, AP1, MP2, MP1) et la source OS1 d'Obala ce groupe présente une forte minéralisation des eaux, une forte oxygénation, des faibles teneurs en matières organiques dissoutes ou particulaires et une faible charge parasitaire. Cette axe isole également mais dans sa partie positive la source AS2 qui se caractérise par des densités élevées des kystes d'*E coli*, *E histolytica*, les oocystes de *Cryptosporidium* spp., les larves de *Strongyloides* et par des fortes valeurs de MES et de couleur et une faible minéralisation des eaux. Les deux autres groupes constitués de la majorité des sources se regroupent autour de l'axe F2.

En ce qui concerne l'ensemble des stations d'étude les deux premiers axes utilisés pour l'expression des résultats de l'ACC cumulent 86%. Ce plan factoriel permet de dissocier nettement les eaux souterraines des eaux de surface (figure 84B) : l'axe F1 isole dans sa partie négative la plupart des sources et des puits qui présente des fortes minéralisations des eaux, des valeurs élevées de température, de nitrate et de CO<sub>2</sub> et une faible charge parasitaire

à l'exception des sources OS2 et AS2 ; le cours d'eau d'Obala se différencie par des densités élevées d'*E coli* et celui de Ngoumou par les oocystes de *Cryptosporidium* spp. et les Kystes d'*Entamoeba histolytica*.



**Figure 84** : Caractéristique des stations d'échantillonnage en fonction des variables abiotiques et biotiques dans les milieux aquatiques

## **III.2. Discussion**

### **III.2.1. Caractérisation physico-chimique des eaux étudiées**

Au cours de cette étude, la qualité physicochimique des eaux a varié significativement d'une localité à une autre. De même, des variations saisonnières ont été observées pour certains paramètres aussi bien en milieu souterrain que dans les eaux de surface.

Les faibles variations de température observées au niveau des cours d'eau situés dans les communes rurales de Ngoumou, d'Akono, d'Obala (figures 33A ; 34A ; 35A et 36A) résulteraient du faible ensoleillement de ces cours d'eau dû à la présence importante de la canopée qui constitue une barrière réduisant l'impact des rayons solaires sur la variation de la température de l'eau le long du cours d'eau. A ce sujet, Qiu (2013) souligne que dans les cours d'eau de tête de bassin situés en zones forestières, les températures sont basses et varient très peu. Ces gammes de température sont proches de celles obtenues par Kapso Tchouankep (2018) dans les cours d'eau périurbains aux environs de Yaoundé (22 - 27°C). De plus, la température légèrement élevée obtenue à la Sanaga du côté de Monatélé pourrait s'expliquer par la déforestation, favorisant une plus large exposition des eaux aux rayons solaires incidents (Ajeegah *et al.*, 2017). Au niveau des eaux souterraines, les faibles valeurs de température ont été observées dans les puits situés à Obala et Monatélé. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que ces puits sont plus profonds. Ce constat avait déjà été souligné par Nana Kemegni (2017) qui avait mentionné que la température des eaux de puits diminuait avec la profondeur. La température moyenne obtenue dans les eaux échantillonnées est caractéristique des zones tropicales et est favorable à la dissémination et au développement des espèces protozoaires et d'helminthes identifiées.

Les valeurs moyennes des matières en suspensions et de la turbidité (figure 33B et C ; 34B et C ; 35B et C ; 36B et C) présentent des différences significatives sur le plan spatial ( $p > 0,5$ ). Les valeurs supérieures obtenues dans le cours d'eau d'Obala seraient liées aux apports exogènes des déchets d'une poubelle située à proximité de ce cours d'eau. En effet, selon Wéthé *et al.* (2003), la quantité de MES est liée aux apports exogènes et au transport des particules non solubles par les eaux de ruissellement. Les valeurs élevées de la couleur obtenue à la source NS2, AS2, et OS2 seraient liées au fait que ces sources sont sans protection (figure 20, 16 et 24) et reçoivent les eaux de pluies qui se chargent de particules solubles lors du lessivage des sols et elles sont fortement sollicitées par la population pour la lessive et la baignade. Ces activités anthropiques favorisent la remise en suspension des particules non solubles dans l'eau.

Les valeurs de pH enregistrées au cours de l'étude varient suivant les localités. Dans la localité de Ngoumou et d'Akono, les valeurs de  $\text{pH} < 7$  révèlent une légère tendance de l'eau à l'acidité. Ce résultat pourrait s'expliquer par la nature ferrallitique et latéritique des sols de ces deux localités. Ces observations confirment les observations de Nola *et al.* (1999) qui suggèrent que le pH de l'eau est tributaire des couches de terrain traversées au cours de la percolation. Tandis que celles d'Obala et de Monatélé présentent des valeurs de pH faiblement acide à tendance basique. Le changement pour la basicité dans ces deux localités serait lié à la nature basique des apports exogènes et endogène dans les milieux aquatiques car d'après (Temgoua *et al.*, 2003) le pH d'une eau dépend également de la nature des apports exogènes. Néanmoins ces valeurs restent dans la gamme de pH des eaux naturelles favorables à la vie aquatique (5-9 UC) (Dussart *et al.*, 1995).

Les valeurs de la conductivité électrique sont très faibles au niveau des eaux de surface des quatre localités et se situent autour d'une moyenne de  $38 \pm 9 \mu\text{S/cm}$  à Ngoumou, de  $34 \pm 5 \mu\text{S/cm}$  à Akono, de  $59 \pm 7 \mu\text{S/cm}$  à Obala et de  $51 \pm 9 \mu\text{S/cm}$  à Monatélé) traduisant une faible minéralisation des eaux. Nisbet et Verneaux (1970) estiment que les eaux de moins de  $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  soient faiblement minéralisées. Cela confirme également une faible activité anthropique qui ferait augmenter les teneurs ioniques (Piscart *et al.* 2009 ; 2011). Ces valeurs de conductivité concordent avec celles obtenues par Kapso (2018) dans les cours d'eau périurbain, et s'éloignent de celles enregistrées dans les cours d'eau urbains en zone fortement anthropisé obtenues par Tchakonté (2016). Par contre au niveau des eaux souterraines, elles sont relativement élevées au niveau puits d'Obala ( $747 \mu\text{S/cm}$ ) et de Monatélé ( $535 \pm 81 \mu\text{S/cm}$ ), traduisant ainsi un degré de minéralisation élevé (Rodier, 2009). Ce résultat serait en relation avec la minéralogie de la roche réservoir car au niveau des puits, les apports en matières organiques sont limités par la capacité de rétention du sol et de la zone non saturée ; ainsi les apports sont principalement sous forme dissoute d'où les valeurs importantes de la conductivité électrique (Foulquier, 2009). De plus, les valeurs du potentiel d'oxydoréduction sont inversement proportionnelles à la conductivité électrique, traduisant la faible minéralisation.

Les eaux étudiées sont moyennement oxygénées (pourcentage de saturation  $\geq 50\%$ ). Leurs charges en matières organiques (0,2 à 2,8 mg/l) ont été en général supérieures à celles rencontrées dans les milieux oligotrophes (1 mg/l) et pourraient expliquer la faible dégradation de la matière organique dans les milieux aquatiques. Les valeurs de l'oxydabilité et de l'azote ammoniacal obtenues dans les échantillons d'eau traduisent un appauvrissement

des eaux en matière organique, ce qui explique le caractère peu pollué de ces eaux dû à la faible anthropisation de ces localités (Ajeegah *et al.*, 2017).

En définitive, la physico-chimie montre que les eaux d'Akono, de Ngoumou sont légèrement acide, d'Obala et de Monatélé sont légèrement acide à tendance basique, faiblement minéralisées, bien oxygénées et pauvre en matière organique.

### **III.2.2. Caractérisation des variables biologiques**

La particularité des parasites entériques réside dans leur capacité à survivre longtemps sous forme d'œufs pour les helminthes et de kystes pour les protozoaires, même dans un environnement hostile (Ntangmo *et al.*, 2020). L'examen des échantillons en microscopie électronique ont permis de faire une analyse et une caractérisation de certains parasites en particulier des oocystes de *Cryptosporidium* spp. (Figure 66), des œufs d'*Ascaris lumbricoïdes* (figure 66) et d'établir un modèle de la structure de la paroi des oocystes du genre *Cryptosporidium* (figure 68). L'analyse de l'image correspondant à l'oocyste de *Cryptosporidium* enregistré montre un amas au centre qui correspond aux quatre sporozoïtes directement en contact avec le cytoplasme, on observe également un pli (suture) dans la paroi de l'oocyste qui témoignerait de la flexibilité de la paroi de l'oocyste et qui correspond à la zone de la paroi qui céderait lors du dékystement. L'image de l'œuf d'*Ascaris* enregistrée présente 3 couches : une couche externe mamelonnée, ce mamelonnage pourrait résulter de l'érosion dans le milieu extérieur. Cette surface granuleuse présente en microscopie électronique une organisation régulière de fibres protéiques dont l'arrangement confère sa rigidité à l'œuf d'*Ascaris*, une couche intermédiaire de faible épaisseur et une couche interne. Cette particularité de la structure biologique de la paroi des formes de dissémination de *Cryptosporidium* spp. et de celle d'*Ascaris lumbricoïdes*, leurs assurent une survie dans des conditions environnementales défavorables à la plupart des microorganismes et une résistance élevée à la plupart des désinfectants classiquement utilisés dans le traitement de l'eau (Ntangmo *et al.*, 2020).

L'étude de la structure de l'enveloppe des oocystes en général et de celles du genre *Cryptosporidium* en particulier, présente un certain intérêt théorique et pratique dans la lutte pour l'inactivation des microorganismes dans les eaux destinées à la potabilisation.

Les analyses en microscopie optique des échantillons d'eau ont révélé la présence des formes de résistance des protozoaires et d'helminthes intestinaux. Différentes espèces de protozoaires ont été identifiées et sont caractérisés par 2 formes principales. *Cryptosporidium* spp. (109 cell/L), *Entamoeba coli* (62 cell/L) *Cyclospora cayetanensis* (47 cell/L), *Entamoeba histolytica* (31 cell/L), *Isospora belli* (28 cell/L). Différents œufs et larves



d'helminthe intestinaux ont également été observées : *Strongyloides stercoralis* (61 cell/L) ; *Ascaris* spp. (10 cell/L), *Hymenolepis* spp. (3 cell/L), *Ankylostome* spp. (5 cell/L) et *Enterobius* spp. (1 cell/L), *Fasciola* spp. (4 cell/L), *Diphyllobothrium* spp. (2 cell/L). La faible variété d'espèces parasitaires enregistrées pendant l'étude pourrait s'expliquer par la faible anthropisation de ces communes rurales car la variété et l'importante dispersion des protozoaires et des helminthes intestinaux dans l'environnement est sous la dépendance du nombre d'individus et/ou d'animaux infestés. Ces résultats biologiques obtenus révèlent pour ce qui est des protozoaires, une forte abondance des oocystes de *Cryptosporidium* spp. par rapport aux autres groupes. Ceci pourrait s'expliquer par le réservoir du parasite qui est très important, par la présence d'une paroi épaisse stable dans l'environnement, par sa petite taille un diamètre de 4 à 6 µm et l'abondance des oocystes dans les selles qui sont directement infestants et très résistant dans la nature (AEP, 2018). Tandis que les oocystes du genre *Cyclospora* et *Isospora* nécessitent obligatoirement une période de maturation (sporogonie) dans l'environnement pour acquérir leur pouvoir infestant et la contagiosité est minime car seul l'oocyste sporulé est infectant ce qui pourrait expliquer leurs faibles abondances dans les échantillons. Concernant les œufs d'helminthes, on note une large répartition des œufs d'*Ascaris* spp. ceci pourrait s'expliquer par leur grande résistance dans l'environnement, de par leur membrane externe épaisse et mamelonnée ces œufs peuvent perdurer longtemps dans le milieu externe (Bouhoum *et al.* 1997). La faible représentativité du genre *Enterobius* spp. pourrait être liée au fait que les œufs de cette espèce sont difficilement évacués dans l'environnement à travers les selles et y résistent très peu (OMS, 2017).

Sur le plan saisonnier, les densités les plus élevées des formes de résistance des protozoaires, des œufs et des larves d'helminthes sont observées en GSP et en PSP ceci pourrait s'expliquer par le lessivage et le drainage en saison pluvieuse de la matière organique provenant des installations sanitaires de types traditionnelles qui dominent dans ces localités, des animaux en divagation et des troupeaux qui défèquent à l'air libre et dont le destin ultime serait les cours d'eau et les sources non protégées. Des observations similaires avaient été faites par Kouam Kemmogne *et al.*, 2010. A ce propos l'OMS (2017) signale que l'abondance des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires en période pluvieuse est due aux conditions de température, d'humidité, d'oxygène et de rayonnement solaire favorables à leur maturation. Dans le même ordre d'idée Young *et al.*, 2015 déclarent que les fortes précipitations observées en saison pluvieuse entraînent une humidification du sol facilitant ainsi la maturation et la dissémination des œufs et des larves d'helminthes ayant pour conséquence l'augmentation du taux de prévalence. Les faibles densités observées en GSS

seraient donc liées aux fortes températures enregistrées pendant cette période qui auraient réduit l'abondance de ces agents pathogènes et/ou favorisée leur destruction. En effet la dessiccation entraîne la contraction des formes de résistances, qui se manifeste par le plissement de la membrane interne et souvent aussi par celui de la membrane externe. Dans ce cas, la membrane superficielle devient extrêmement fragile ce qui entraîne une forte déformation des oocystes ou provoque une rupture des parois du parasites (Santé Canada, 2017)

Sur le plan spatial, pour ce qui est des eaux de surface, le cours d'eau situé à Obala présente la plus grande densité d'agents parasitaires 183 cell/L (OC2) et 48 cell/L (OC1) respectivement pour les protozoaires et les helminthes, ceci pourrait s'expliquer par la présence des habitations qui canalisent les eaux usées des toilettes dans des rigoles qui se déversent en amont de cette station. Et aussi par la présence d'un marché, d'une poubelle dans les environs et d'un enclos de bœuf à proximité de la station (OC2) (Figure 1 et 23). Le risque péril-fécal est donc plus amplifié par les troupeaux de bétail qui viennent s'abreuver dans cette eau (stations OC2) déposant de ce fait leurs déjections au passage. Avec le lessivage des sols, les oocystes sont transportés sur une longue distance et atteignent les eaux de sources non protégées et peu profondes ce qui expliquerait les fortes charges parasitaires observées au niveau des sources OS2 (83 cell/L et 22 cell/L respectivement pour les protozoaires et les helminthes), NS2 (76 cell/L et 23 cell/L respectivement pour les protozoaires et les helminthes) et AS2 (110 cell/L et 34 cell/L respectivement pour les protozoaires et les helminthes). Les faibles valeurs d'agents parasitaires observées au niveau des puits OP1, OP2, MP1 et MP2 seraient liées au niveau de protection de ces puits (présence de margelle et de couvercle) et à leur profondeur élevée ce qui limite la contamination de la nappe phréatique. Car d'après ANSES (2011) les risques de contamination sont accrus dans les puits de faible profondeur puisque l'eau y est filtrée sur une plus faible épaisseur.

Les protozoaires et les helminthes vivent donc dans tous types de milieux qui sont caractérisés par différents stress environnementaux et par la menace des prédateurs (Fouque, 2013).

### **III.2.3. Variables abiotiques influençant la dissémination des formes de résistance dans l'environnement**

Les variables abiotiques peuvent influencer non seulement sur la croissance des microorganismes présents dans les écosystèmes aquatiques (CI Eau, 2018), mais également sur leur survie et leur pathogénicité (Wang *et al.*, 2014). La température moyenne obtenue est caractéristique des zones tropicales et est sujette à de fortes variations liées au changement

climatique. Cette température est favorable à la prolifération des espèces identifiées car nous avons pu observer des oocystes en cours de sporulation et sporulés de *Cyclospora cayetanensis* et d'*Isoospora belli* et des kystes matures de protozoaires dans les échantillons d'eau (figure 54 à 58). Les températures optimales de développement changent en fonction de l'espèce, en ce qui concerne *Isoospora* la sporulation est plus rapide (moins de 16 h) entre 30 °C et 37 °C et entre 22 °C et 32 °C pour *Cyclospora*. Une augmentation de la température naturelle ou artificielle peut donc avoir une influence sur le développement et la survie des parasites entéropathogènes dans l'environnement (Soares, 2003).

La concentration de ces formes de résistances est beaucoup plus importante pour des minéralisations faibles (Jean-Louis, 1989). La conductivité électrique d'une eau serait donc inversement proportionnelle à l'abondance des helminthes et des protozoaires. Ceci explique la grande diversité des espèces de protozoaires et d'helminthes enregistrée au niveau des eaux de surface et dans les sources OS2, NS2 et AS2 caractérisées par des faibles valeurs de conductivité électrique (14 à 86  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) d'où les corrélations négatives et significatives ( $p < 0,05$ ) observées entre les densités des espèces de protozoaires et d'helminthes identifiées et la conductivité électrique de l'eau et les solides totaux dissout.

Dans l'environnement, les microorganismes s'associent aux particules en suspensions qui facilitent leur dissémination et leur distribution dans les milieux aquatiques. La présence des Matières en suspensions joue un rôle prépondérant dans la dissémination des formes de résistance des protozoaires et des helminthes dans les milieux aquatiques, d'où les corrélations positives et significatives observées entre les MES, la turbidité, la couleur et les éléments parasitaires. De ce fait les Matières en suspensions et la turbidité auraient joué un rôle dans la dissémination des éléments parasitaires. A ce propos Goshko *et al.* (2011) déclarent qu'une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension et favoriser leur distribution dans les milieux aquatiques. Ainsi, la physico-chimie conditionnerait la diversité, la pathogénicité et la morphologie des espèces entériques dans l'environnement.



**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

Dans ce travail, qui visait à étudier la dynamique des formes de résistance des protozoaires et des helminthes intestinaux dans les milieux aquatiques d'Akono, Ngoumou, Obala et Monatélé (région du Centre) deux puits, deux sources et un cours d'eau ont été choisis par localité. L'analyse des variables abiotiques a montré que les eaux (d'Akono, Ngoumou, Obala et Monatélé) sont de qualité acceptable sur le plan écologique, avec des températures moyennes, une bonne oxygénation, une faible minéralisation, une pollution organique faible, mais ne pourraient pas être recommandées pour les usages domestiques. Les bassins versants (l'Akono, l'Ebongo, l'Afamba) sont sujets à une contamination directe par les déjections des troupeaux qui viennent s'abreuver dans ces cours d'eau, des eaux vannes des toilettes situés à proximité du cours d'eau dans certaines localités. Il en ressort que ces cours d'eau sont sujets à des pollutions domestiques, animales et municipales, car ils constituent le réceptacle majeur de déchets et effluents de toutes sortes.

L'examen des échantillons en microscopie électronique à balayage nous a permis de faire une caractérisation de la paroi des oocystes de *Cryptosporidium* spp et d'*Ascaris lumbricoïdes* et d'établir un modèle de la structure de la paroi des oocystes du genre *Cryptosporidium* qui pourrait aider dans la lutte pour l'inactivation des microorganismes dans les eaux destinées à la potabilisation.

L'isolement et l'identification au microscope optique des formes de résistance a permis de recenser deux groupes de parasites : Les protozoaires et les helminthes entériques regroupant les espèces *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora cayetanans*, *Isospora belli*, *Giardia intestinalis*, *Entamoeba coli* et *Entamoeba histolytica* pour les protozoaires entériques. Les helminthes identifiés rassemblent les espèces *Ankylostome* spp., *Ascaris* spp., *Entérobis* spp., *Strongyloïdes stercoralis*, *Diphyllobothrium* spp., *Hymenolepis* spp. et *Fasciola* spp. les oocystes de *Cryptosporidium* spp., les kystes d'*Entamoeba coli* et les larves de *Strongyloïdes* dominant dans les eaux de Ngoumou, d'Akono, d'Obala et de Monatélé et la présence des œufs d'*Enterobuis* spp. dans les échantillons d'eau témoigne d'une contamination fécale récente et montre que ces derniers peuvent également présenter un mode de transmission différent de celui habituellement connu (l'auto infestation ou le contact direct d'homme à homme). La caractérisation de ces formes de résistance a révélé la présence des oocystes non sporulés, en cours de sporulation et sporulés, des jeunes kystes et des kystes matures ce qui montre que la plupart de ces parasites intestinaux passe leur sporogonie ou leur maturation dans l'environnement pour acquérir leur pouvoir infestant. La présence de ces formes de résistance entéropathogènes témoigne de la contamination fécale de ces plans d'eau.

L'étude de l'influence des variables abiotiques sur la distribution des formes de résistance des parasites entériques, leurs caractérisations microscopiques ont permis une connaissance des paramètres environnementaux qui favorisent leur dissémination et qui renforcent leur pouvoir pathogènes, une compréhension de la structure de la paroi de ces parasites entériques, les manifestations cliniques et les complications liées à ces parasites intestinaux, ce qui pourrait faciliter la lutte contre leur prolifération et limiter le risques sanitaire auprès des populations.

Ces résultats apportent un complément d'informations sur la distribution des protozoaires et des helminthes dans les milieux aquatiques en zones rurales. Par ailleurs, la présence des formes de résistance des parasites intestinaux dans ces eaux constitue aussi un risque potentiel d'émergence des maladies d'origine hydrique dans ces communes. La prolifération de ces microorganismes enteropathogènes constituerait un facteur de risque sanitaire pour les populations riveraines et augmenterait de ce fait les coûts de traitement de l'eau.

Fort de ce constat, il est urgent pour les pouvoirs publics, en collaboration avec les chercheurs, de prendre des mesures idoines pour protéger et prévenir une dégradation de ces hydrosystèmes. Par conséquent, il y a nécessité de mettre sur pied un schéma directeur d'aménagement, de prévention, de gestion intégrée des ressources en eau et de protection de ces hydrosystèmes et de veiller à l'application rigoureuse des textes relatifs à la protection de l'environnement. Les populations des zones rurales devraient également changer de mentalités pour adopter un comportement éco-citoyen en utilisant des moyens appropriés pour l'évacuation des ordures et des eaux usées domestiques.

Nous recommandons aux pouvoirs publics de mener des réflexions conjointement avec les populations de ces localités, afin que des initiatives soient prises dans le sens de la protection de l'environnement, de la sensibilisation des populations quant aux comportements éco-citoyens. Aux autorités (Mairies) Mettre sur pied un système de collecte de déchets ; d'étendre le réseau de distribution d'eau potable. Aux populations, le respect des mesures préventives du péri-fécal, la construction des puits et des toilettes conformes aux normes de l'OMS.

Au terme de cette étude, certaines questions ont pu être soulevées, ouvrant ainsi de nouveaux horizons de recherche qui peuvent se résumer en deux points. (1) Réaliser des essais en microcosme sur les moyens efficaces d'éliminer ces formes de résistance dans les eaux destinées à la potabilisation ; (2) poursuivre la caractérisation en microscopie électronique des autres espèces.



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abul k., Andrew H. 2009. Les bases de l'immunologie fondamentale et clinique. *Revue Elsevier*, 19 (1): 81-97.
- Adam D. 2001. Biology of *Giardia lamblia*. *Clinical. Microbiology. Revue*. 14 (3),447-475
- Adou-Bryn D., Kouassi M., Brou J., Ouhon J., Assoumou A. 2001. Prévalence globale des parasitoses à transmission orale chez les enfants à Toumodi (Côte d'Ivoire). *Médecine d'Afrique Noire*, 48 (10) : 394-398.
- AEP (Alimentation en Eau Potable). 2018. L'écologie de l'eau. A quoi sert l'eau ? Rapport d'enquête d'utilité publique portant sur l'alimentation en eau Potable de la Commune d'Andelot-Bancheville. Décret, 415 :1-4.
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2011. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments, 4 p.
- Aït Boughrous A. 2007. *Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech*. Thèse de Doctorat d'État, Faculté des Sciences. Université Cadi Ayyad Semlalia, Marrakech, Maroc 236 p.
- Ajeegah A. 2017. Water as a weapon of international confrontations. Harmattan ; Cameroun Environnement, Nature, Écologie-Géographie Afrique Subsaharienne Cameroun, 220 p.
- Ajeegah A., Enah A., Foto S. 2017. A Study of the Morphological Structure of Chironomidae (Diptera) in a Tropical Urban Polluted Water System, *International Journal of Sciences*, 3 (6):1-9.
- Ajeegah A. Asi A., Nola M. 2016. Bioqualité Des Formes De Dissémination Des Protozoaires Flagellés Entériques Dans Les Eaux Souterraines (Sources Et Puits) En Zone Anthropisée (Yaoundé-Cameroun). *European Scientific Journal*, 12 (33): 1857 – 7881.
- Ajeegah A., Foto S., Talom N., Ntwong M., Tombi J., Nola M., Njine T. 2014. Propriété Physico-Chimique et Dynamique D'abondance des Formes de dissémination des helminthes intestinaux dans les eaux usées et de surface à Yaoundé (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 1 (1): 44-63.
- Ajeegah A., Njine T., Bilong F., Foto Menbohan S., Wouafo M., Nola M., Di Giovanni D., Huw S. 2010. Seasonal Distribution of Enteric Opportunistic *Cryptosporidium* spp. Oocysts and *Giardia* spp. Cysts in a tropical Water Basin, Cameroun. *WATER*, 12 (1): 44 – 57.



- Alexander C., Jones B., Inverarity D., Pollock J. 2014. Genotyping of Giardia isolates in Scotland: a descriptive epidemiological study. *Epidemiology Infection*, 142 :1636–1639.
- Allan D. 2004. Landscape and rivers cape: the influence of land use on stream ecosystems. *Annals Review of Ecological Systems*, 35: 257-284.
- Allouche F., Lamri D., Zahf F. 1999. « *Surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de contamination niveau des trois communes*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en biologie, Université de sidi bel Abbes 72 p.
- Ambassa P. 1980. *Profils épidémiologiques et thérapeutiques des ankylostomoses urbaines et rurales au Cameroun. Essai thérapeutique au flubendazole*. Thèse de Doctorat de médecine, Université de Yaoundé, 64 p.
- Aminata N. 2006. *Contribution à l'étude des parasitoses intestinales à l'institut de pédiatrie sociale de Pikine-Guediawaye*. Thèse Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 78 p.
- Ananya M., Mandal M. 2004. Evaluation de la capacité d'élimination des oeufs d'helminthes dans les eaux usées par la technique des boues activés. *Medical Life Sciences*, 6 (1) : 11 - 19.
- Angelier E. 2000. Ecologie des eaux courantes. *Techniques et Documentation Paris*, 199 p.
- Anofel (Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie). 2014. *Etude des bilharzioses et risques sanitaires liés à l'eau et à l'alimentation*. Université Médicale Virtuelle Francophone, 24 p.
- Anofel (Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie). 2019. *Detection of parasites in the environment*. Université Médicale Virtuelle Francophone, 19 p.
- APHA (American Public Health Association). 1998. Standard method for examination of water and wastewater, 20th edition, Washington, DC, 1150 p.
- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 21<sup>e</sup> edition, 1522 p.
- APHA/AWWA/WEF 2012. Infectivity of *Cryptosporidium* in cell culture. Dans: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22e Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC. 9711D.

- Arrignon, J. 1998. Aménagement piscicole des eaux douces. 5<sup>e</sup> édition paris. *Lavoisier Techniques et Documentation*, 590 p.
- Baldursson S., Karanis P. 2011. Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks. *Water Research*, 45 (6) : 6603–6614.
- Barbot V. 2012. *Implication des levures du genre Candida et des amibes libres dans le risque infectieux lié à l'eau-contexte des soins dentaires*. Thèse de doctorat en Physiologie, biologie des organismes, populations et interactions. Université de Poitiers, 92 p.
- Beauchamp G., 2006. New technologies and new teaching: a process of evolution In changing teaching and learning in the primary school. *Open University press*, 81-91.
- Belosevic M., Faubert G.M., MacLean J.D. 1989. Disaccharidase activity in the small intestine of gerbils (*meriones unguiculatus*) during primary and challenge infections with *Giardia lamblia*, *Gut*, 30:1213-1219.
- Ben I., Drancourt M. 2010. Surviving within the amoebal exocyst: The *Mycobacterium avium* complex paradigm. *Biomedical Microbiology*, 10 (1) : 99.
- Beugnet F., Bourdoiseau G., Villeneuve V. 2000. La giardiose des carnivores domestiques. *L'Action Vétérinaire*, 1 : 2-7.
- Bern C., Hernandez B., Lopez B., Arrowood J., de Merida M., Klein E. 2000. The contrasting epidemiology of *Cyclospora* and *Cryptosporidium* among out patients in Guatemala. *American Journal Tropical Medecine and Hygiene*, 63: 231-235.
- Bernander R., Palm E., Svard G. 2001. Genome ploidy in different stages of the *Giardia lamblia* life cycle. *Cellular Microbiology*, 3: 55-62.
- Berryman D. 1990. *Sélection des nouveaux indicateurs de la qualité des cours d'eau du Québec*. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité de l'eau des cours d'eau, 77 p.
- Billen G., Garnier J., Servais P., Brion N., Ficht A., Evens., Berthe T., PaulinM. 1999. L'estuaire de la seine. L'oxygène untémoin du fonctionnement microbiologique. Fascicule Seine-Aval. Ifremer, eds. 32p.
- Billen G., Garnier., Rousseau V. 2005. Nutrient fluxes and water quality in the drainage network of the Scheldt basin over the last 50 years. *Hydrobiologia*, 540: 1–3: 47–67.
- Bouhoum K., Amahmid O., Habbariet K H., Schwartzbrod J. 1997. Devenir des oeufs d'helminthes et kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées da Marrakech (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, 10 (2) : 217 - 232
- Boutin C., Boulal M., Boulanouar M., Coineau N., Ghlala A., Merzoug D., Messouli M., Yacoubi-khebiza M. 2011. Importance, dans les zones arides et semi- arides, de la

- biodiversité des faunes aquatiques souterraines. *Actes du Séminaire International sur la biodiversité faunistique en zones arides et semi –arides*. 18 p.
- Bouyer S., Imbert C., Daniault G., Cateau E., Rodier H. 2007. Effect of caspofungin on trophozoites and cysts of three species of *Acanthamoeba*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 59 (1):122-124.
- Boreham F., Upcroft A., Upcroft P. 1990. Changing approaches to the study of *Giardia* epidemiology: 1681–2000. *International Journal for Parasitology*, 20(4): 479–487.
- Bourée P., 2003, Cestodes intestinaux : *Hymenolepis nana*, *Diphyllobothrium latum*. *EMC Biologie médicale*, 1p.
- Bourée P., Milundu J., Dahane N. 2009. Une cause mal connue de diarrhée : l'isosporelors des journées nationales d'infectiologie. *Revue du praticien-Medecine Generale*, 19 : 1220-1222.
- Bourée P., 2013. Parasitoses intestinales infantiles. *Journal de pédiatrie et de puériculture*, 26 : 268-278.
- Bourée P., 2017. Diffusion de *Fasciola hepatica*. *Médecine Santé Tropical*, 27(2) : 145.
- Boutin C., Boulal M., Boulanouar M., Coineau N., Ghlala A., Merzoug D., Messouli M. Yacoubi M. 2011. Importance, dans les zones arides et semi- arides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. *Actes du Séminaire International sur la biodiversité faunistique en zones arides et semi –arides*. 18 p.
- Bucrep, 2011. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH). Rapport technique d l'analyse des données. Volume 1, tome 8, 110 p.
- Burkhart N., Burkhart G. 2005. Assessment of frequency, transmission, and genitourinary complications of enterobiasis (pinworms). *International Journal of Dermatology*, 44 (10) : 837 - 40.
- Braeckman U., Provoost P., Gribsholt B., Van Gansbeke D., Middelburg J., Soetaert K., Vincx M., Vanaverbeke J. 2010. Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation. *Marine Ecology Progress*, 399: 173–186.
- Brown J., Cursons T., Keys A., Marks M., Miles M. 1983. The occurrence and distribution of pathogenic free-living amoebae in thermal areas of the North Island of New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 17(2): 59-69.
- Brown M., Nuorti J., Breiman F., Hathcock L., Fields S., Lipman B., Llewellyn C., Hofmann J., Cetron M. 1999. A community outbreak of Legionnaires disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure. *International Journal of Epidemiology*, 28(2) : 353-359.

- Brunet S., 2008, *Analyse des mécanismes d'action antiparasitaire de plantes riches en substances polyphénoliques sur les nématodes du tube digestif des ruminants*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 175p.
- Campbell D., Faubert M. 1994. Comparative studies on *Giardia lamblia* encystation in vitro and in vivo. *Journal for Parasitology*, 80 : 36-44.
- Caumes L., Chevalier B., Klotz F. 2002. Oxyures et oxyuroses. *Encyclopédie Médecine Chirurgie Maladies infectieuses*, 5 p.
- Cavalier-Smith T. 2003. Protist phylogeny and the high-level classification of protozoa. *European Journal Protistology*, 39 : 338–348.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec). 2007. Détermination des Orthophosphates dans l'eau : méthode calorimétrique automatisée à l'acide ascorbique. MA. 3030-P1.0, *Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec* (MDDEPQ), 3 : 12 p.
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). 2009. Laboratory identification of parasites of public health concern – Parasites & health. 185 p.
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). 2004. Surveillance for waterborne-disease outbreaks associated with drinking water. Rep., 53 : 23– 45.
- Chauve C. 2007. Cours de parasitology D2-D3. Laboratoire de parasitologie Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon 25 p.
- Chouinard H. 2010. L'intégrité écologique des cours d'eau : analyse de méthodes de suivi et proposition d'une méthode adaptée au Parc National d'Ifrane. Faculté des Sciences, Université de Sherbrooke, M.E.I/M.Env., 126 p.
- CI Eau (Centre d'Information sur l'Eau). 2018. L'eau et la transition écologique. *Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau* (FP2E) France, 89 p.
- Clifton C., Evans R., Hayes S., Hirji R., Puz G., Pizarro C. 2010. Water and Climate Change: Impacts on groundwater resources and adaptation options. Water working notes. Note N°. 25.
- Corliss O. 2002. Biodiversity and biocomplexity of the protists and an overview of their resisting bacteria in a drinking water treatment plant, *Environmental Microbiology*, 10 (10): 2728-2745.
- Coudert P., Dreyfuss G. 2010. Biologie et cycles parasitaires. Actualités pharmaceutiques. *Science Direct*, 49 (500) : 18-22.
- Cook., Gordon C., Zumla., Alimuddin I. 2009. Les maladies tropicales de Manson. 22<sup>e</sup> édition Elsevier, 1515-1519.

- Corliss O. 1959.-An illustrated key to the higher groups of the ciliated Protozoa, with definition of terms. *Journal of Protozoology*, 6:265-281.
- Das K., Sachdeva S., Misra A., Ghoshal C. 2006. Malabsorption syndrome due to various causes is associated with antroduodenal hypomotility. *Indian Journal of Gastroenterology*, 25 (2): 58-61.
- De Ley P., Blaxter M. 2004. A new system for Nematoda: combining morphological characters with molecular trees, and translating clades into ranks and taxa. *Nematology Monographs and Perspectives*, 2: 633 - 653.
- De Ley P., Decraemer W., Eyuaem A. 2006. Introduction: Summary of present knowledge and research addressing the ecology and taxonomy of freshwater nematodes. *Freshwater nematodes : Ecology and taxonomy*, 30 p.
- Delphine T. 2015. *La contamination parasitaire liée à la consommation de viandes, de poissons et de végétaux dans les pays industrialisés*. Thèse de Doctorat/PhD Sciences pharmaceutiques. Université de Lorraine, 133 p.
- De Marsily G. 2015. L'eau, une ressource renouvelable convoité et inégalement répartie. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 22 (2) : 12p.
- Denis C., Rondelaud D., Darde L. 1996. Douve du foie : Un réservoir animal de parasites important. *Revue du Praticien - Médecine Générale*, 332 :31-37
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D. 2010. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss Journal*, 8(0): 101-112.
- Desoubeaux G., Hai Duong T. 2011. Parasitoses intestinales cosmopolites. *Option/Bio*, 22(456) :11-16.
- Desportes I., Darty A. 2005. *Microsporidia, Isospora and Sarcocystis infections*. EMC. *Maladies Infectieuses 2* : 178-196.
- Devidal S., Richard C., Pouet F., Thomas O. 2007. *Solutions curatives pour la restauration des lacs présentant des signes d'eutrophisation, rapport interne, Observatoire de l'environnement et du développement durable*, Université de Sherbrooke, Québec, 51 p.
- De Villers J., Squilbin M. & Yourassowsky C., 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. 16 p

- Divoux E., Szajner S., Le Moal G., Vennisse N., Faucher J., Dupuis A. 2006. Mise au point sur le traitement de la cryptosporidiose : intérêt du nitazoxamid. *Journal de Pharmacie Clinique*, 25 (4) : 197-205.
- Dorine T., Noel V., Claude N, Maurice E., Samuel C. 2019. Accès à l'eau potable et à l'assainissement. *The Pan African Medical Journal*, 33 : 244
- Dragesco J. 1966. Ciliés libres de Thonon et de ses environs. *Profisfologica*, 2 :59-95.
- Dragesco J. 1973. Quelques donnees hologiques sur les cilies libres de l'Afrique. *American Zoology*, 13 : 231-232.
- Dupuy M., Mazoua S., Berne F., Bodet C., Garrec N., Herbelin P., Menard-Szczebara F., Oberti S., Rodier H., Soreau S., Wallet F., Hechard Y. 2013. Efficiency of water disinfectants against *Legionella pneumophila* and *Acanthamoeba*. *Water Ressources*, 45(12): 1087-1094.
- Durand F., Brenier P., Pelloux H. 2005. Parasitoses digestives : lambliaise, taeniasis, ascaridiose, oxyurose, amibiase, hydatidose. *Corpus Médical-Faculté de Médecine de Grenoble*, 15 p.
- Dussart H., Defaye D. 1995. Copepoda: Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the microinvertebrates of the continental waters of the world, *Academic Publishing*, 276 p.
- Eblin G., Soro M., Sombo P., Aka N., Kambiré O., Soro N. 2014. Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Adiaké (Sud Est côtier de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, n° 17: 193-214.
- Edlind D., Cha E., Prah N., Katiyar K. 1993. Domain V de l'ARNr à grande sous-unité de *Giardia lamblia* : structure de la boucle de la peptidyl transférase d'un eucaryote à ramification précoce et corrélation avec la sensibilité aux antibiotiques. *Gène*, 124 (1) : 67-74.
- Euzéby J. 2004. Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire, Editions médicales internationales/ Lavoisier, Paris, 815 p.
- Fatmé M., Helmieh A., Jalal H. 2019. Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha. *Journal Scientifique Libanais*, 20 (1): 10-34.
- Feachem G., Bradliy J., Garelick H., Marda D. 1983. Sanitation and disease: Health aspects of excreta and wastewater management. *Journal Water Pollution and Control*, 54 : 259-266.

- Foulquier A., 2009. *Écologie fonctionnelle dans les nappes phréatiques : liens entre flux de matière organique, activité et diversité biologiques*. Thèse de Doctorat PhD. Université Claude Bernard Lyon 1. 268 p.
- Fouque E., Trouilhe M.C., Thomas V., Hartemann P., Rodier M.H., Hechard Y. 2013. Cellular, biochemical, and molecular changes during encystment of free-living amoebae. *Eukaryotic Cellular*, 11(1) : 382-387.
- Foussard V., Etcheber H. 2011. Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la seine, de la Loire et de la Gironde ; Rapport CR1 CNRS, Université de Bordeaux. 71 p.
- Foto S., Njiné T. 1991. Influence de la pollution organique sur la diversité des peuplements de ciliés de deux cours d'eau urbains au Cameroun. *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I. Série Sciences Naturelles et Vie*, 281-294.
- Foto S. 2012. *Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : Essai de biotopologie*. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, 179 p. + annexes.
- Frenkel K., Dubey P. 1974. Rodents as vectors for feline coccidia *Isospora felis* and *Isospora rivolta*. *Journal Infectious Disease*, 125 : 69 - 72.
- Gameson A., Wheeler A. 1977, Restoration and recovery of the Thames estuary. University Press of Virginia, 531 p.
- Gaudiot C. 2000. Contamination parasitaire chez l'homme par l'alimentation. Thèse de doctorat, Université Henry Poincare, Nancy I, 101 p.
- Ghislain D. 2006. Les eaux continentales. Edition. *EDP Sciences* 17: 328 p.
- Gilli E. 2004. Objet, méthodes et applications. *Hydrogéologie* 4 : 29 p.
- Ginet R., Decou V. 1977. Initiation à la biologie et à l'écologie souterraine. Edit. Univ. J. P Delarge Paris, 345 p.
- Gordon G., Bubnis B. 2000. Environmentally friendly methods of water disinfection: the chemistry of alternative disinfectants. *International Journal of Energy*, 37 (4): 37-40.
- Goshko M., Minnigh H., Pipes W., Christian R. 2011. Relationships between standard plate counts and other parameters in water distribution systems. *Journal American Water Works Association*, 75(11): 568-571.
- Griebler C., Avramov M. 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*, 34: 355-367.

- Griebler C., Stein H., Kellermann C., Berkhoff S., Brielmann H., Schmidt S., Selesi D., Steube C., Fuchs A., Jurgen H., Hahn B. 2010. Ecological assessment of groundwater ecosystems. *Ecological Engineering*, 36: 1174–1190.
- Gupta S., Aitken K., Falah M., Singh B. 1994. Cloning of *Giardia lamblia* heat shock protein HSP70 homologs: Implications regarding origin of eukaryotic cells and of endoplasmic reticulum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91: 2895-2899.
- Hartemann P., Daval M., Hautemaniere A. 2009. Risques sanitaires liés à l'eau et à l'alimentation. Toxi-infections alimentaires. *Revue Praticien*, (59) : 685-687.
- Hecky E. 2000. A biogeochemical comparison of lakes Superior in Malawi, and the limnological consequences of an endless summer. *Ecosystem Health and Management*, 3(3): 23-33.
- Holt G., Kreing R., Sneath A., Staley T., Willians T. 2000. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9 : 78 p.
- IFMT (Institut Francophone de Médecine Tropicale). 2004. Rapport du séminaire sur les helminthiases transmises par le sol, 3-6.
- INC (Institut National de Cartographie). 2016. Carte topographique de la région du Centre au 1/200000. Ngoumou, Akono, Obala et Monatélé : 2 p.
- IRD., Institut Français. 2015. L'eau au Cœur de la science. 5 p
- INS (Institut National de Statistique), 2013. Statistique annuelle 2013, Yaoundé-Cameroun.
- Jean-Louis S., 1989. *Œufs d'helminthes et environnement : le modèle œufs d'Ascaris*. Thèse de Doctorat en Chimie et Microbiologie de l'Eau. Université de Metz, 160 p.
- Jodra S., Perrier R. 2007. Le Monde vivant : les protozoaires, 1552 p.
- Jullian E., Hirbe A., Ker N., Liu Z. 2005. Qualité de l'eau du bassin versant de l'Ardèche. *IUP Génie de l'Environnement*, (4) :149 p.
- Juliette V., Marianne S., Catherine Y. 2005. *Qualité physico-chimique des eaux de surface : cadre général*. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. Observatoire des Données de l'Environnement, 16 p.
- Kapso M., 2018. *Dynamique d'abondance des amoebidés dans les milieux aquatiques à Yaoundé (Cameroun)*. Thèse de Doctorat/PhD, Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I, 213 p.
- Karanis P., Kourenti C., Smith H. 2007. Waterborne transmission of protozoan parasites: a Worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal Water Health*, 5(1): 1–38.



- Kengne M., Endamana D., Soh L., Nya J. 2002. Réutilisation des eaux usées pour l'agriculture urbaine dans la ville de Yaoundé. Visite d'Etude et Atelier International sur la réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine : un défi pour les municipalités en Afrique de l'Ouest. Rapport final, Ouagadougou - Burkina Faso, 116 - 123.
- Koh W., Clode L., Monis P., Thomson C. 2013. Multiplication of the waterborne Pathogen *Cryptosporidium parvum* in an aquatic biofilm system. *Parasites Vectors*. 6: 270 p.
- Kouam Kenmogne G., Rosillon F., Mpakam G., Nono A. 2010. Enjeux sanitaire, socioéconomiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun). *VertigO- La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*, 10 (2) : 23 p.
- Krometis A., Characklis W., Sobsey D. 2009. Identification of particle size classes inhibiting protozoan recovery from surface water samples via U.S. Environmental Protection Agency method 1623. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (20): 6619-6621.
- Kruger D., Schneck P., Gelderblom H. 2000. Helmut Ruska and the visualisation of viruses. *The Lancet*, 9216 (335) : 1713-1717.
- Kuvarina N., Leander S., Aleshin V., Mylnikov P., Keeling J., Simdyanov G. 2002. The phylogeny of colpodellids (Alveolata) using small subunit RNA gene sequences suggest they are the free-living sister group to Apicomplexans. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 49 : 498-504.
- Lacasse D. 2004. Introduction à la microbiologie alimentaire. Edition Saint-Martin, Québec, 771 p.
- Lacoste R. 2009. *Les parasites intestinaux chez le macaque crabier (Macaca fascicularis) : Etude expérimentale et recommandations pour la diagnose et la gestion des Rhizoflagelles et des ciliés*. Thèse pour le Doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil/Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 237 p.
- Lagrange M. 2005. Isosporose chez le patient infecté par le VIH. *Antibiotiques*, 7 (2) : 111-116.
- Landfear M. 2011. Nutrient Transport and pathogenesis in selected parasitic Protozoa. *Eukaryotic Cell*, 10 (4) : 483-493.
- Leconte M. 2013. *Le point sur la cryptosporidiose des Ruminants et les risques zoonotiques*. Thèse pour le Doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil/Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 240 p.

- Legendre P., Legendre L. 1998. Numerical Ecology, 2e édition, Elsevier, 853 p.
- Lévêque C., Balian V. 2005. Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream? *Hydrobiologia*, 542: 25-26
- Levine D., Corliss O., Cox E., Deroux G., Grain J., Honisberg M. 1980. A newly revised classification of the Protozoa. *Journal for Protozoology*, 27: 37-58.
- Li X., Atwill R., Dunbar A., Tate W. 2010. Effect of daily temperature fluctuation during the cool season on the infectivity of *Cryptosporidium parvum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 76 (4): 989–993.
- Lopez N., Deblonde T., Hartemann P. 2010. Les effluents liquides hospitaliers. *Hygiene's*, 18 (6) : 405-410
- Lou S., Koga M., Higo H., Fugino T., Yamane Y., Abe K., Makita H. 1989. A human infection of the cestode, *Diphyllobothrium nihonkaiense*. *Journal for Parasitology*, 80 (9): 446–50.
- Mace M., Norris K., Fitter H. 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecological Evolution*, 27(1): 19–26.
- Mansfield S., Gajadhar A. 2004. *Cyclospora cayetanensis*, a food and waterborne coccidian parasite. *Veterinary Parasitology*. 126 (2): 73-90.
- Marc A., Dubochet J., Lepault J., Alasdair W. 1984. Cryo-electron microscopy of viruses. *Nature*. 308 (5954) : 32-36.
- Marc Y., Maloney J., Keselman A., Li E., Menegas S., Staniorski C., Steven S. 2019. Proliferation of Resident Macrophages is Dispensable for protection during *Giardia duodenalis* infections. *HHS Public Access*, 3 (8): 412-421
- Marciano F., Cabral G. 2003. *Acanthamoeba* spp. as agents of disease in humans. *Clinical Microbiology Reviews*, 16 : 273-307.
- Margat J. 2008. Les eaux souterraines dans le monde. Orleans/UNESCO. 178p.
- Margat J., Vazken A. 2014. Allons-nous manquer d'eau.1 : 128p
- Maurice L., Bloomfield J. 2012. Stygobitic Invertebrates in Groundwater-A Review from a Hydrogeological Perspective. *Freshwater Reviews*, 5 (1): 51-71.
- Michael S., Ian S., Litay R., Robert A., Claire N.W., Albania G., Mark C. 2004. Relationship between Macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. *Water Research*, 38: 863-874.
- Moore B., Obornik M., Janouskovec J., Chrudimsky T., Vancova M., Green H., Wright

- Mortimer H. 1956. The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage saturation. *Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatique*, 6: 1-20.
- Moore B., Obornik M., Janouskovec J., Chrudimsky T., Vancova M., Green H., Wright W., Davies W., Bolch S., Heiman K., Slapeta J., Hoegh-Guldberg O., Logsdon M., Carter A., 2008. A photosynthetic alveolate closely related to apicomplexa parasites. *Nature*, 451: 959-963.
- Maillard V., Loret F., Jousset M., Greub G. 2008. Biodiversity of amoebae and amoebae isolations, competitors, ecologic interactions, and the flagellate-empty habitat hypothesis. *Environmental Microbiology*, 31 (1) : 8-15.
- Mailles A., Capek I., Ajana F., Schepens C., Ilef D., Vaillant V., 2006. Commercial watercress as an emerging source of fascioliasis in Northern France in 2002 : results of an outbreak investigation. *Epidemiology Infection*, 21 (1) : 1-4
- Maggenti A. 1981. General Nematology. *Springer-Verlag*, 63-65.
- Miegeville M. 2006. Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments *Cyclospora cayetanensis*. *Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA)*, 1-4.
- Meisler M., Rutherford I., Bican E., Ludwig H., Langston H., Hall S., Rhinehart E., Visvesvara S. 1985. Susceptibility of *Acanthamoeba* to surgical instrument sterilization techniques. *American Journal of Ophthalmology*, 99:724-725.
- Messouli M., Boutin C. 2005. Retention of staphylococci and total coliforms during waste water percolation through equatorial soil in central Africa: the role of the soil column near soil surface and that closely above groundwater table. *Water, Air and Soil Pollution*, 171 (4) : 253-271.
- MINAT (Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation) 2017. Plan Communal de Développement de la Commune de Monatele, 155 p.
- MINAT (Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation) 2017. Plan Communal de Développement de la Commune de Ngoumou, 251 p.
- MINAT (Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation) 2013. Plan Communal de Développement de la Commune d'Obala, 181 p.
- Nana Nkemegni G., 2017. *Biodiversité de la stygofaune dans les hauts plateaux bamoun (Ouest Cameroun)*, Thèse de Doctorat/Ph.D, Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I, 153p.

- Nisbet M., Vernaux J. 1970. Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, 6(2) :161-190.
- Nguendo B., Salem G., Bruneau C. 2008. Epidémiologie géographique des maladies diarrhéiques à Yaoundé (Cameroun). 1 : 89 p.
- Nola M., Njiné T., Tailler R. 1999. Approche calorimétrique des eaux des nappes de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 31 : 9-13.
- Nola M., Njine T., Zebaze Togouet S. H., Foto Menbohan S., Monkiedje A., Servais P., Messouli M. et Boutin C., 2005. Retention of staphylococci and total coliforms during waste water percolation through equatorial soil in central Africa: the role of the soil column near soil surface and that closely above groundwater table. *Water, Air and Soil Pollution*, 171 (4): 253-271.
- Nola M., Nougang E., Noah V., Mougang M., Krier F. 2012. Detection of pathogenic *Escherichia coli* strains in groundwater in the Yaoundé region (Cameroon, Central Africa). *Water and Environment Journal*, 27 (6): 328-337p
- Nozais P., Detry A., Danis M. 2005. Traité de parasitologie : cryptosporidioses, coccidioses et blastocystose. *Edition Pradel. Paris*. 18: 287-289p
- Norf H., Foissner W. 2010. A new flagship peritrich (Ciliophora, Peritrichida) from the River Rhine, Germany: *Apocarchesium arndtin.* sp. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 57 (3): 250-264.
- Ntangmo T., Temgoua E., Njine T. 2020. Persistence de *E. coli*, des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires contenus dans les eaux usées urbaines d'arrosage sur les cultures maraîchères à Dschang, Ouest du Cameroun. *International Journal Chemical Sciences*, 13 (5) :81-90.
- Olofinlade O., Adeonigbag O., Karowe M. 2020. The diagnosis value of electron microscopy in Human immunodeficiency virus-positive patients with gastrointestinal disease. *Scandinavian Journal Gastroenterol*, 35 (3) 29-32.
- OMS. 2017. Number you should know. Reaching a billion and Ending Neglected tropical diseases. A gate way to universal DXhealth coverage. *5th progress report on the London declaration on NTDs*, 9 p.
- OMS. 2011. Relevé épidémiologique hebdomadaire, *WHO Library Cataloguing-in Publication*, 31 : 325-340.

- OMS. 2004. Directives de qualité pour l'eau de boisson, critères et d'hygiène et documentation à l'appui. *Organisation Mondiale de la Santé*, (2) : 2-1050.
- OMS. 2002. Directives de la qualité pour l'eau de boisson, critères d'hygiènes et documentation à l'appui. *Organisation Mondiale de la Santé*, 214 p.
- OMS. 1993 : Revised classification system for HIV infection and expanded surveillance case definition for AIDS among adolescents and adults. *Organisation Mondiale de la Santé*, 41 : 17 p.
- Ouro-Boya B.S. 2004. *Evaluation de l'état d'une eau de rivière par l'analyse multidimensionnelle utilisant des paramètres caractéristiques de la matière organique dissoute*. Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 216 p.
- Ortega R., Sanchez R. 2010. Update on *Cyclospora cayetanensis*, a Food-Borne and Waterborne Parasite. *Clinical Microbiology Reviews*, 23 (1): 218-234.
- Plutzer J., Törökne A., Karanis P. 2010. Combination of ARAD microfiber filtration and LAMP methodology for simple, rapid and cost-effective detection of human pathogenic *Giardi duodenalis* and *Cryptosporidium* spp. in drinking water. *Letter in Applied Microbiology*, 50 :82–88.
- Poinard G. 2010. Perspectives paléogéographiques dans l'ambre dominicain, *Annales de la Société entomologique de France*, 46 : 23-52
- Puytorac D., Grain J., Mignot P. 1987. Précis de protistologie. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris, 296 p.
- Parry D. 2004. Protozoan grazing of freshwater biofilms. *Advances in Applied Microbiology*, 54: 167-196.
- Pawlowski S., Schad A., Stott J. 1993. Infestation et anémie ankylostomiennes. Méthodes de lutte. *Organisation Mondiale de la Santé*, 98 p.
- Piscart C., Genoel R., Dolédec S., Chauvet E., Marmonier P. 2009. Effects of intense agricultural practices on heterotrophic processes in streams. *Environmental Pollution*, 157: 1011-1018.
- Qiu Z. 2013. Comparative assessment of storm water and nonpoint source pollution best management practices in suburban watershed management. *Water*, 5 : 280-291.
- Railliet R., Lucet A. 1890. Observations sur quelques coccidies intestinales. *Journal de la Société de Biologie*, 9 (1) : 660-661 p.
- Ramade F. 2005. *Eléments d'écologie : Ecologie appliquée*. 4 : 864p.
- Ramade F. 2007. *Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications*. Edition TEC & Doc, Paris, 618 p.

- Ramirez E., Sreevatsan S. 2006. Development of a sensitive detection system for *Cryptosporidium* in environmental samples. *Veterinary Parasitology*, 136 (4) : 201–213.
- Ramsar H. 2010. Gestion des eaux souterraines : Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides. *Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides*, 11(4). 145P
- Relman A., Schmidt M., Gajadhar A. 1996. Molecular phylogenetic analysis of *Cyclospora*, the human intestinal pathogen, suggests that it is closely related to *Eimeria* species. *Journal Infectious Diseases*, 173: 440-500.
- Roberts S., Janovy J. 2005. Foundations of Parasitology, 7 p
- Rodier.J. 1996. L'analyse de l'eau : Chimie, physico-chimie, Bactériologie, Biologie, 8 : 1383 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. 2009. Analyse de l'eau. 9<sup>e</sup> édition. Paris, Dunod, 1526p.
- Rohingam D. 2008. *Fréquence des parasitoses intestinales dépistées à la Société de Laboratoire d'Analyses Biomédicales de Guinée (SOLABGUI)*. Thèse de Doctorat, Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, 32 p.
- Santé Canada 2017. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique – *Giardia et Cryptosporidium*, 108 p.
- Santos.O., Silva D., Souza J., Anunciação E., Lacerda.E., Vilanova C., Garciazapata A. 2010. Environmental monitoring of opportunistic protozoa in rivers and lakes in the neotropics based on yearly monitoring. *Water Quality of Exposition Health*, 2 : 97-104.
- Schorter S. 2001. La Capacité auto épuratrice des cours d'eau : Application des connaissances scientifiques à leur gestion ; ENGRET centre de Montpellier. Synthèse Technique, Note Technique. *Office Internationale De L'Eau*, 31 p.
- Schuster F.L., Visvesvara G.S. 2004b. Opportunistic amoebae : challenges in prophylaxis and treatment. *Drug Resistance Updates*, 7 : 41–51.
- Schuster J., Ellis G., Robertson J., Charron F., Aramini J., Marshall J., Medeiros T. 2005. Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada. *Journal Public Health*, 96 (4) :254–258.
- Shu H., Wildhaber T., Siretskiy A. 2012. Modes distincts d'accessibilité de l'AND dans la chromatine végétale. *Nature Communication*, 3 (1281): 9 p.

- Shuval I., Adin B., Fattal E., Rawitz., Yekutiél P. 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions. *World Bank Technical Paper Number 51*
- Sintès S. 2007. *Les protozoaires ou protistes animaux*. Le Labo de Sonia, cours de biologie, 2 p.
- Smith V. 2007. *Cyclospora*. Ch 10 In: Simjee S Foodborne Diseases. *Humana Press, Totowa*, 277-301.
- Soares A. 2003. Epidémiologie des épidémies alimentaires à *Cryptosporidium parvum* Thèse vétérinaire N°88/03. Université Claude Bernard Lyon, p : 53-54.
- Solacroup F. 2001. Le système d'évaluation de la qualité biologique (SEQ-Bio) des cours d'eau. *Revue de l'Agence de l'Eau*, N°81, 3 p.
- Suchel J B. 1987. Les climats du Cameroun, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux III, 1186 p.
- Susan P., Montgomer K., Frank O., Richards J. 2018. Principles and practice of pediatric infectious diseases, 5: 1688 p.
- Svard G., Hagblom P., Palm E. 2003. Giardia lamblia: a model organism for eukaryotic cell differentiation. *FEMS Microbiology Letters*, 218 (1): 3-7.
- Tamatcho P., Fotsing R., Njiné T., Nola M., Djogo P. 2009. Quelques facteurs déterminant la distribution des bactéries du genre *Vibrio* dans l'environnement aquatique de Yaoundé, Cameroun. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 5(2); 96-103.
- Temgoua E., Bitom B., Djeuda T., Yongue R. 2003. Habitation, agricultural practices and degradation of the soil in urban area: the case of Ngoa-Ekélé and Oyomabang district of Yaoundé Cameroon. *Research report, University of Yaoundé I*.
- Tchakonté S. 2016. *Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun)*. Thèse de Doctorat/Ph.D, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé 1, 220 p.
- Ter Braak F., Smilauer P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Window user's guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Micro-computer Power, Ithaca, New York, USA, 351 p.
- Tchuem Tchuemté L., Southgate R., Vercruyse J. 2001. La bilharziose et les géohelminthiases dans l'Arrondissement de Makénéné, province du Centre, Cameroun. *Le Bulletin de Liaison et de Documentation de l'OCEAC*, 34 : 19-22.

- Thomas V., Loret F., Jousset M., Greub G. 2012. Biodiversity of amoebae and amoebae-resisting bacteria in a drinking water treatment plant. *Environmental Microbiology*, 10: 2728–2745.
- Thompson A., Hopkins M., Homan L., 2000. Nomenclature and genetics groupings of *Giardia* infecting mammals. *Parasitology Today* 16 (5). 210-213.
- Torgerson P., Claxton J. 1999. Epidemiology and Control. In *Fasciolosis*. CABI Publishing, Wallingford, 1 (625) : 113-149.
- Tuffery G. 1980. Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes ; Révélateurs biologiques de la pollution. La pollution des eaux continentales ; Incidence sur les biocénoses aquatiques, pp 243-280.
- Tuekam P. 2013. *Essai de biotypologie faunistique des eaux souterraines de quelques localités des régions du Centre et Littoral du Cameroun : influence de quelques facteurs abiotiques*. Thèse de Doctorat/PhD, Faculté des Sciences. Université de Yaoundé I, 291 p.
- Tumwine K., Kekitiinwa A., Nabukeera N., Akiyoshi E., Rich M., Widmer G. 2003. *Cryptosporidium parvum* in children with diarrhea in Mulago Hospital, Kampala, Uganda. *American Journal Tropical Medecine and Hygiene*, 68 (5): 7-10.
- Van Dyke I., Ong L., Prystajecy A., Isaac-Renton L., Huck M. 2012. Identifying host sources, human health risk and indicators of *Cryptosporidium* and *Giardia* in a Canadian watershed influenced by urban and rural activities. *Journal of Water Health*, 10 (2) :311–323.
- Vaessen V., Brentführer R. 2015. L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique. *Manuel de formation*, 20 p
- Van Dyke I., Ong L., Prystajecy A., Isaac-Renton L., Huck M. 2012. Identifying host sources, human health risk and indicators of *Cryptosporidium* and *Giardia* in a Canadian watershed influenced by urban and rural activities. *Journal Water Health*, 10 (2) : 311–323
- Verneaux J.1973. *Cours d'eau de Franche-Comté. Recherche sur le réseau hydrographique du Doubs Essai de biotypologie*. Thèse d'Etat Université. Fr. Comté, Besançon, 260 p.
- Vilaginès R. 2003. Eau, environnement et santé publique. *Lavoisier*, 236 p.
- Waki K., Oi H., Takahashi S. 1986. Successful treatment of *Diphyllobothrium latum* and *Taenia saginata* infection by intraduodenal Gastrografin' injection. *Lancet*, 6 (2) : 11-24.



- Wang Y., Bernhardt S., Wrigh P. 2014. Urban stream denitrifier communities are linked to lower functional resistance to multiple stressors associated with urbanization. *Hydrobiologia*, 726: 13-23.
- Ward I., Deplazes P., Regli W., Rinder H., Mathis A. 2002. Detection of eight *Cryptosporidium* genotypes in surface and waste waters in Europe. *Parasitology*, 124 (4) :359–368.
- Wéthé J., Radoux M., Tanawa E. 2003. Assainissement des eaux usées et risques sociosanitaires et environnementaux en zones d’habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *Revue en Science de l’Environnement*, 5 (4) : 23 - 25.
- WWAP (Le Programme mondial des Nations Unies pour l’évaluation des ressources en eau) /ONU-Eau. 2018. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2018 : Les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l’eau. Paris, UNESCO. 172 p
- Xiao M., Limor J. 1999. Genetic diversity within *Cryptosporidium parvum* and Related *Cryptosporidium* species. *Applied Environment Microbiology*, 65 (33) :86-91.
- Xiao L. 2010. Molecular epidemiologie of cryptosporidiosis: an update. *Exp. Parasitol*, 124 : 80-89.
- Young, I., Smith A., Fazil A. 2015. A systematic review and meta-analysis of the effects of extreme weather events and other weather-related variables on *Cryptosporidium* and *Giardia* in fresh surface waters. *Journal of Water Health*, 13 (1) :1–17.
- Youssef G., Driss B. 2007. Charge parasitaire des eaux usées brutes de la ville de Kénitra (Maroc). *Journal Européen d’Hydrologie*, 8 (3) : 123 - 145.
- Zébazé H., Boutin C., Njiné T., Kemka N., Foto S. 2009. First data on the groundwater quality and aquatic fauna of some wells and springs From Yaounde (Cameroun). *European Journal of Water Quality*, 40: 51-74.
- Zébazé H., Tuekam P., Boutin C., Nola M., Foto S. 2011. Impact de la pression anthropique sur l’eau et la faune aquatique des puits et sources de la région de Yaoundé (Cameroun, Afrique Centrale). *Bulletin de la Société d’Histoire Naturelle de Toulouse*, 147 : 27–41.
- Zeng X., Muhammad S., Yongjiu D., Robert D. 2013. Coupling of the Common Land Model to the NCAR Community Climate. *Journal of Climate*, 15 : 23p.





**ANNEXES**

**ANNEXE 1** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité de Ngoumou (Temp= température ; Cond= conductivité électrique, STD= Solides totaux dissous, Coul= couleur, MES= matières en suspensions, Turb=Turbidité, Alca=alcalinité, O<sub>2</sub>=oxygène, CO<sub>2</sub>=dioxyde de carbone, NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>=Nitrate, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>=Orthophosphates, Oxyd= Oxydabilité, Sal= Salinité, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=Azote ammoniacal, Res=résistivité)

Station	Période	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	STD (mg/L)	MES (mg/L)	Coul (Pt-Co)	Turb (mg/L)	pH (uc)	Alca (mg/L)	O <sub>2</sub> (%sat)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Oxyd (mg/L)	Sal (usp)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Res (Ω/cm)
NS1	PSP	27	135	67	10	34	21	6,55	3	69,16	20,25	4	4,9	0,012	2,3	0,065	0,175	7912
	PSS	24	142	71	6	32	9	6	5	57,67	15,8	1	0,16	0,006	1,7	0,07	0,7	7435
	GSP	26	172	86	7	4	18	6,4	2	59,3	29,9	1,8	1,23	0,077	1,7	0,08	0,76	5848
	GSS	27	169	85	3	19	7	6,2	7	66,66	28,2	1,9	2,3	0,014	0,9	0,08	0,04	5917
	Max	27	172	86	10	34	21	6,55	7	69,16	29,9	4	4,9	0,077	2,3	0,08	0,76	7912
	Min	24	135	67	3	4	7	6	2	57,67	15,8	1	0,16	0,006	0,9	0,065	0,04	5848
	Moy	26	154,5	77,25	6,5	22,25	13,75	6,28	4,25	63,19	23,53	2,17	2,14	0,027	1,65	0,073	0,41	6778
	EC	1,41	18,73	9,67	2,88	13,86	6,83	0,23	2,21	5,57	6,65	1,28	2,03	0,03	0,57	0,0075	0,36	1052,5
NS2	PSP	26	74	37	9	141	17	5,85	4	55,51	16,7	2	3,15	0,0085	2,5	0,035	0,375	13655
	PSS	23	85	43	11	45	5	6,3	4	46	18,5	0,7	1	0	1,5	0,03	0,09	11825
	GSP	26	78	39	4	5	1	6,1	2	49,97	22,8	1	0,7	0,008	1,6	0,04	0,36	12820
	GSS	26	78	39	15	57	30	5,8	3	59,83	23,8	0,8	2,6	0,008	2	0,04	0,16	12680
	Max	26	85	43	15	141	30	6,3	4	59,83	23,8	2	3,15	0,0085	2,5	0,04	0,375	13655
	Min	23	74	37	4	5	1	5,8	2	46	16,7	0,7	0,7	0	1,5	0,03	0,09	11825

	Moy	25,2	78,75	39,5	9,75	62	13,25	6,01	3,25	52,82	20,45	1,12	1,86	0,006	1,9	0,036	0,24	12745
	EC	1,5	4,57	2,5	4,57	57,1	13,073	0,23	0,95	6,083	3,39	0,59	1,19	0,004	0,45	0,004	0,14	749,29
NP1	PSP	25	127	63	6	38	12	5,6	6	78,84	28,9	4	1,65	0,0055	1,8	0,055	0,245	8404,5
	PSS	23	127	64	7	16	7	5,9	4	79,83	20,2	2,2	0,8	0,003	2	0,06	0,19	8791
	GSP	25	134	67	6	4	9	6,4	2	80,47	31,7	0,8	1	0,009	1,9	0,06	1,2	7460
	GSS	26	73	37	1	13	5	5,2	4	78,5	24,5	0,8	2,3	0,019	1,8	0,13	0,09	6221
	Max	26	134	67	7	38	12	6,4	6	80,47	31,7	4	2,3	0,019	2	0,13	1,2	8791
	Min	23	73	37	1	4	5	5,2	2	78,5	20,2	0,8	0,8	0,003	1,8	0,055	0,09	6221
	Moy	24,7	115,25	57,75	5	17,75	8,25	5,7	4	79,41	26,325	1,95	1,43	0,009	1,87	0,076	0,43	7719,1
	EC	1,25	28,35	13,93	2,70	14,43	2,98	0,50	1,63	0,90	5,04	1,51	0,67	0,007	0,095	0,035	0,51	1144,5
NP2	PSP	26	45	23	10	31	5	5,75	7	76,94	12,3	1,95	0,82	0	2,3	0,02	0,13	22065
	PSS	24	45	23	2	9	2	5,9	3	77,13	15,8	6,4	0,6	0,003	1,6	0,02	0,23	22220
	GSP	26	52	26	1	5	1	6,5	2	78,93	22,8	0,2	2	0	1,9	0,02	1,2	19230
	GSS	25	45	23	7	11	8	5,6	4	78,94	19,4	0,6	4,3	0,006	1,3	0,01	0,3	22105
	Max	26	52	26	10	31	8	6,5	7	78,94	22,8	6,4	4,3	0,006	2,3	0,02	1,2	22220
	Min	24	45	23	1	5	1	5,6	2	76,94	12,3	0,2	0,6	0	1,3	0,01	0,13	19230
	Moy	25,2	46,75	23,75	5	14	4	5,9375	4	77,985	17,57	2,28	1,93	0,002	1,77	0,017	0,46	21405
	EC	0,91	3,5	1,5	4,24	11,60	3,16	0,39	2,16	1,09	4,53	2,84	1,69	0,0028	0,42	0,005	0,49	1451,4
NC1	PSP	24	41	20	14	212	30	5,75	3	77,95	14,09	1,7	1,98	0,0045	3,135	0,02	0,235	24500

	PSS	21	31	16	25	200	35	6,3	3	78,1	16,7	0,1	0,5	0,005	2,1	0,01	0,44	31300
	GSP	24	40	20	5	97	27	6,8	2	75	21,1	1	1,6	0	2,3	0,02	1,56	25000
	GSS	24	56	28	18	234	21	6,2	7	85,69	20,2	2,1	1,5	0,01	2,5	0,02	0,47	17990
	Max	24	56	28	25	234	35	6,8	7	85,69	21,1	2,1	1,98	0,01	3,135	0,02	1,56	31300
	Min	21	31	16	5	97	21	5,75	2	75	14,09	0,1	0,5	0	2,1	0,01	0,235	17990
	Moy	23,2	42	21	15,5	185,75	28,25	6,26	3,75	79,185	18,02	1,22	1,39	0,004	2,50	0,017	0,67	24697
	EC	1,5	10,36	5,03	8,34	60,81	5,85	0,43	2,21	4,56	3,23	0,87	0,63	0,004	0,44	0,005	0,59	5437,9
NC2	PSP	24	28	14	12	166	20	5,95	3	89,51	13,18	1,45	1,7	0,0705	5,25	0,01	1,1	35150
	PSS	22	30	15	28	254	57	6,1	5	76,8	7,92	0,5	1,3	0,001	1,8	0,01	0,34	32800
	GSP	24	38	19	20	226	33	6,9	2	77,15	24,6	1,8	2,3	0,003	2,2	0,02	1,3	26300
	GSS	24	45	23	24	188	43	6,2	6	84,28	30,8	2,9	2,4	0,015	3,1	0,01	0,69	22605
	Max	24	45	23	28	254	57	6,9	6	89,51	30,8	2,9	2,4	0,0705	5,25	0,02	1,3	35150
	Min	22	28	14	12	166	20	5,95	2	76,8	7,92	0,5	1,3	0,001	1,8	0,01	0,34	22605
	Moy	23,5	35,25	17,75	21	208,5	38,25	6,28	4	81,93	19,12	1,66	1,92	0,022	3,08	0,01	0,85	29213
	EC	1	7,80	4,11	6,83	39,17	15,64	0,42	1,82	6,11	10,44	0,99	0,51	0,032	1,54	0,005	0,42	5781,2

**ANNEXE 2 : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité d'Akono**

Station	période	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	STD (mg/L)	MES (mg/L)	Coul (Pt-Co)	Turb (mg/L)	pH (uc)	Alca (mg/L)	O2 (%sat)	CO2 (mg/L)	NO3- (mg/L)	NO2 (mg/L)	PO4- (mg/L)	Oxyd (mg/L)	Sal (usp)	NH4+ (mg/L)	Res (Ω/cm)
AS1	PSP	28	209	104	19	157	25	5,56	5	42,54	15,85	4,65	0,785	0,01	1,95	0,095	0,145	4778
	PSS	22	208	104	9	47	21	5,7	5	46,52	22,9	2,7	2,15	0,038	1,4	0,1	0,23	4820
	GSP	26	217	108	5	9	3	6	2	29,62	28,2	1,1	1,93	0,016	1,8	0,1	0,27	4608
	GSS	26	218	109	20	52	12	5,9	7	40,72	35,2	1,4	2,6	0,008	0,6	0,1	0,32	4593
	Max	28	218	109	20	157	25	6	7	46,52	35,2	4,65	2,6	0,038	1,95	0,1	0,32	4820
	Min	22	208	104	5	9	3	5,56	2	29,62	15,85	1,1	0,785	0,008	0,6	0,095	0,145	4593
	Moy	25,5	213	106,25	13,25	66,25	15,25	5,79	4,75	39,85	25,53	2,46	1,86	0,018	1,43	0,098	0,24	4699,7
	EC	2,51	5,22	2,62	7,41	63,47	9,81	0,19	2,06	7,23	8,19	1,61	0,77	0,013	0,60	0,0025	0,073	116,04
AS2	PSP	24,5	54	27	7	194	17	6,25	5	76,55	15,96	1,7	1,67	0,0525	2,1	0,025	0,135	20540
	PSS	22	64	34	11	107	16	6,2	3	56,49	18,5	0,5	2,745	0,003	1,9	0,03	0,3	16440
	GSP	24	37	19	10	180	15	6,6	2	59	26,4	2,4	1,28	0,008	2,4	0,02	0,52	27000
	GSS	24	63	32	24	228	36	6,4	8	68,64	29,9	2,1	1,55	0,007	1,2	0,03	0,58	15910
	Max	24,5	64	34	24	228	36	6,6	8	76,55	29,9	2,4	2,745	0,0525	2,4	0,03	0,58	27000
	Min	22	37	19	7	107	15	6,2	2	56,49	15,96	0,5	1,28	0,003	1,2	0,02	0,135	15910
	Moy	23,6	54,5	28	13	177,25	21	6,36	4,5	65,17	22,69	1,67	1,81	0,017	1,9	0,026	0,38	19972

	EC	1,10	12,50	6,68	7,52	50,98	10,03	0,17	2,64	9,21	6,54	0,83	0,64	0,023	0,50	0,0047	0,204	5121,5
AP1	PSP	26	86	32	8	40	17	5,3	3	90,17	11,45	1,3	1	0,016	1,59	0,04	0,08	11685
	PSS	21	91	45	7	5	4	5,7	3	77,275	19,4	1,4	2,6	0,006	1,8	0,04	0,12	11055
	GSP	21	88	44	8	7	2	6,1	2	77,275	29,9	1,2	1,3	0,003	1,2	0,04	0,1	11360
	GSS	26,5	88	44	7	18	17	5,6	5	94,9	30,8	0,7	3,4	0,004	0,9	0,04	0,09	11315
	Max	26,5	91	45	8	40	17	6,1	5	94,9	30,8	1,4	3,4	0,016	1,8	0,04	0,12	11685
	Min	21	86	32	7	5	2	5,3	2	77,27	11,45	0,7	1	0,003	0,9	0,04	0,08	11055
	Moy	23,6	88,25	41,25	7,5	17,5	10	5,67	3,25	84,90	22,88	1,15	2,07	0,0072	1,37	0,04	0,09	11353
	EC	3,03	2,06	6,18	0,57	16,05	8,12	0,33	1,25	9,01	9,21	0,31	1,12	0,0059	0,40	0	0,017	258,53
AP2	PSP	25,5	141	70	10	41	28	6,15	5	51,25	12,3	0,85	0,7	0,0045	2,05	0,065	0,08	7452
	PSS	21	167	83	11	45	15	6	3	37,93	18,4	2,2	3,56	0,084	1,8	0,08	0,29	6065
	GSP	25	156	78	5	51	17	6,7	2	50,48	26,4	1,2	2,3	0,006	1,2	0,07	0,49	6410
	GSS	25	132	66	9	28	18	6,3	5	45,63	29,9	1,6	2,95	0,008	3,5	0,06	0,06	7705
	Max	25,5	167	83	11	51	28	6,7	5	51,25	29,9	2,2	3,56	0,084	3,5	0,08	0,49	7705
	Min	21	132	66	5	28	15	6	2	37,93	12,3	0,85	0,7	0,0045	1,2	0,06	0,06	6065
	Moy	24,1	149	74,25	8,75	41,25	19,5	6,28	3,75	46,32	21,75	1,46	2,37	0,025	2,13	0,068	0,23	6908
	EC	2,09	15,55	7,67	2,62	9,74	5,80	0,30	1,5	6,12	7,92	0,57	1,23	0,038	0,97	0,008	0,20	793,6
AC1	PSP	24	38	19	8	172	20	6,265	3	82,11	15	2,35	1,79	0,0845	4	0,015	0,455	27290
	PSS	21	35	17	13	129	26	6,2	2	67	18,5	0,8	2,46	0,005	2,1	0,02	0,54	29150



	GSP	23	31	16	11	93	7	6,7	2	74,17	29,9	1,6	1,9	0	1,6	0,01	1,05	32300
	GSS	24	38	19	14	155	25	6,4	5	74,39	22	1,4	2,3	0,011	0,6	0,02	0,36	26300
	Max	24	38	19	14	172	26	6,7	5	82,11	29,9	2,35	2,46	0,0845	4	0,02	1,05	32300
	Min	21	31	16	8	93	7	6,2	2	67	15	0,8	1,79	0	0,6	0,01	0,36	26300
	Moy	23	35,5	17,75	11,5	137,25	19,5	6,39	3	74,41	21,35	1,53	2,11	0,025	2,07	0,016	0,60	28760
	EC	1,41	3,31	1,5	2,64	34,39	8,73	0,22	1,41	6,17	6,37	0,63	0,31	0,039	1,42	0,0047	0,30	2639,2
AC2	PSP	24	31	16	19	267	43	6,11	3	89,11	12,3	2,9	2,975	0,061	3	0,01	0,72	19930
	PSS	21	34	17	13	128	20	6,3	2	76,1	13,2	0,3	2,37	0,011	1,4	0,02	0,53	29750
	GSP	23	26	13	4	70	18	6,7	2	80,98	24,6	0,6	1,9	0	1,6	0,01	0,89	38500
	GSS	24	42	22	7	169	16	6,4	5	84,75	27,3	3	3,2	0,019	3,7	0,02	0,58	23705
	Max	24	42	22	19	267	43	6,7	5	89,11	27,3	3	3,2	0,061	3,7	0,02	0,89	38500
	Min	21	26	13	4	70	16	6,11	2	76,1	12,3	0,3	1,9	0	1,4	0,01	0,53	19930
	Moy	23	33,25	17	10,75	158,5	24,25	6,37	3	82,73	19,35	1,7	2,61	0,02	2,42	0,015	0,68	27971
	EC	1,41	6,70	3,74	6,65	82,95	12,60	0,24	1,41	42,54	7,70	1,44	0,58	0,026	1,10	0,0057	0,16	8101

**ANNEXE 3: Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité d'Obala**

station	période	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	STD (mg/L)	MES (mg/L)	Coul (Pt-Co)	Turb (mg/L)	pH (uc)	Alca (mg/L)	O2 (%sat)	CO2 (mg/L)	NO3- (mg/L)	NO2 (mg/L)	PO4- (mg/L)	Oxyd (mg/L)	Sal (usp)	NH4+ (mg/L)	Res (Ω/cm)
OS1	PSP	27,5	74	36	2	12	6	5,5	5	53,36	28,2	2	3,15	0,518	2,2	0,03	0,32	13610
	PSS	22	161	81	2	4	2	7,3	4	38,65	10,6	0,2	0,47	0	1,7	0,07	0,29	6135
	GSP	20	66	33	1	12	3	6,9	2	38,43	19,4	0	0,01	0	1	0,03	0,07	14930
	GSS	22	103	52	9	48	13	6,7	4	42,08	29,9	1,3	1,95	0,002	1	0,05	0,03	10515
	Max	27,5	161	81	9	48	13	7,3	5	53,36	29,9	2	3,15	0,518	2,2	0,07	0,32	14930
	Min	20	66	33	1	4	2	5,5	2	38,43	10,6	0	0,01	0	1	0,03	0,03	6135
	Moy	22,8	101	50,5	3,5	19	6	6,6	3,75	43,13	22,025	0,87	1,39	0,13	1,47	0,045	0,17	11297
	EC	3,22	43,04	21,97	3,69	19,69	4,96	0,77	1,25	7,021	8,89	0,94	1,43	0,25	0,58	0,019	0,14	3907,5
OS2	PSP	28,5	58	29	19	195	29	5,5	7	78,22	34,3	2,4	5	0,518	2	0,03	0,36	17440
	PSS	25	54	27	2	18	4	6,7	6	64,56	7,04	0,4	0,49	0	1,6	0,01	0,3	18870
	GSP	20	82	41	9	93	21	6,9	4	60,71	24,6	0,1	0,04	0,013	1,2	0,04	0,08	12200
	GSS	23,5	80	40	17	211	30	6,8	3	70,28	30,8	3,7	10,5	0,025	0,7	0,04	0,18	12595
	Max	28,5	82	41	19	211	30	6,9	7	78,22	34,3	3,7	10,5	0,518	2	0,04	0,36	18870
	Min	20	54	27	2	18	4	5,5	3	60,71	7,04	0,1	0,04	0	0,7	0,01	0,08	12200
	Moy	24,2	68,5	34,25	11,75	129,25	21	6,4	5	68,44	24,18	1,65	4,007	0,13	1,37	0,03	0,23	15276

	EC	3,52	14,54	7,27	7,80	90,73	12,02	0,65	1,82	7,61	12,11	1,70	4,87	0,25	0,55	0,01	0,12	3378,8
OP1	PSP	27,5	572	286	37	157	64	6,7	11	61,48	26,4	4,25	4,65	0,009	2	0,28	0,2	1752
	PSS	20	1505	749	1	5	1	7,7	6	43,99	21,1	11,1	0,55	0,002	1,2	0,71	0,19	662
	GSP	20	924	462	1	19	2	6,1	6	42,89	26,4	0	0,27	0,007	1,6	0,45	0,12	1082
	GSS	23,5	1098	548	2	6	6	8,1	10	44,3	30,8	3,7	4,5	0,003	1	0,54	0,09	934
	Max	27,5	1505	749	37	157	64	8,1	11	61,48	30,8	11,1	4,65	0,009	2	0,71	0,2	1752
	Min	20	572	286	1	5	1	6,1	6	42,89	21,1	0	0,27	0,002	1	0,28	0,09	662
	Moy	22,7	1024,7	511,25	10,25	46,75	18,25	7,15	8,25	48,16	26,17	4,76	2,49	0,0052	1,45	0,49	0,15	1107,5
	EC	3,57	387,78	192,38	17,83	73,77	30,57	0,91	2,62	8,89	3,96	4,62	2,40	0,003	0,44	0,17	0,053	463,5
OP2	PSP	27,5	470	235	11	51	24	6,7	7	88,1	14,1	0,85	1,75	0,045	1,3	0,22	0,47	2125
	PSS	20	493	245	7	13	6	8	8	57,35	5,28	4,2	0,17	0,001	1,4	0,24	0,8	2037
	GSP	20	447	223	39	335	70	8,4	8	58,45	21,1	0,1	0,56	0,035	1,6	0,21	0,49	2237
	GSS	23,5	468	237	89	210	88	8,3	12	61,42	25,5	5,8	10,9	0,007	1,2	0,23	0,25	2165
	Max	27,5	493	245	89	335	88	8,4	12	88,1	25,5	5,8	10,9	0,045	1,6	0,24	0,8	2237
	Min	20	447	223	7	13	6	6,7	7	57,35	5,28	0,1	0,17	0,001	1,2	0,21	0,25	2037
	Moy	22,7	469,5	235	36,5	152,25	47	7,85	8,75	66,33	16,495	2,7375	3,345	0,022	1,375	0,225	0,5025	2141
	EC	3,57	18,80	9,09	37,78	148,74	38,38	0,78	2,21	14,61	8,82	2,71	5,08	0,021	0,17	0,012	0,22	83,39
OC1	PSP	27,5	50	25	22	221	49	6,7	6	78,91	19,4	2,3	6,75	0,017	2,8	0,02	0,66	19805
	PSS	22	59	30	15	88	2	8	4	44,77	3,5	0,9	0,16	0	1,4	0,02	0,54	16670

	GSP	20	61	31	31	257	48	8,1	4	41,21	29,3	0,1	0,2	0,027	1	0,03	0,64	16390
	GSS	23,5	70	35	38	206	68	8,4	6	53,21	23,8	3,3	8,7	0,008	1,9	0,04	0,58	14905
	Max	27,5	70	35	38	257	68	8,4	6	78,91	29,3	3,3	8,7	0,027	2,8	0,04	0,66	19805
	Min	20	50	25	15	88	2	6,7	4	41,21	3,5	0,1	0,16	0	1	0,02	0,54	14905
	Moy	23,2	60	30,25	26,5	193	41,75	7,8	5	54,52	19	1,65	3,95	0,013	1,77	0,027	0,60	16942
	EC	3,17	8,20	4,11	10,08	73,19	28,05	0,75	1,15	17,01	11,09	1,42	4,42	0,011	0,77	0,009	0,055	2059,5
OC2	PSP	27,5	54	27	31	260	49	6,7	6	64,71	32,6	3	8,3	0,013	2,1	0,02	0,8	18735
	PSS	22	53	27	11	89	9	7,8	4	36,41	3,5	0,7	0,12	0	1,2	0,01	0,5	18870
	GSP	21	57	29	24	201	37	7,7	6	35,16	8,8	0,1	0,2	0,018	0,6	0,03	0,57	17540
	GSS	24	71	35	14	127	34	8,2	4	37,27	24,6	1,5	7,25	0,012	1,7	0,04	0,57	14315
	Max	27,5	71	35	31	260	49	8,2	6	64,71	32,6	3	8,3	0,018	2,1	0,04	0,8	18870
	Min	21	53	27	11	89	9	6,7	4	35,16	3,5	0,1	0,12	0	0,6	0,01	0,5	14315
	Moy	23,6	58,75	29,5	20	169,25	32,25	7,6	5	43,38	17,37	1,325	3,96	0,010	1,4	0,025	0,61	17365
	EC	2,86	8,34	3,78	9,20	76,30	16,80	0,63	1,15	14,24	13,54	1,25	4,41	0,0076	0,64	0,012	0,13	2119,3

**ANNEXE 4** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des paramètres physico-chimiques dans les milieux aquatiques de la localité de Monatélé

station	période	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	STD (mg/L)	MES (mg/L)	Coul (Pt-Co)	Turb (mg/L)	pH (uc)	Alca (mg/L)	O2 (%sat)	CO2 (mg/L)	NO3- (mg/L)	NO2 (mg/L)	PO4- (mg/L)	Oxyd (mg/L)	Sal (usp)	NH4+ (mg/L)	Res (Ω/m)
MS1	PSP	29,5	171	85	15	149	16	6,1	8	71,42	23,8	2	3	0,017	1	0,08	0,28	5865
	PSS	26	161	80	3	3	2	6,9	6	60,37	8,8	1,5	0,8	0,002	0,4	0,07	0,07	6289
	GSP	24	165	82	3	50	8	6,9	4	57,68	17,6	0,02	0,1	0,014	0,6	0,08	0,11	6061
	GSS	29	168	79	9	62	23	6,9	5	80,36	31,7	1,7	6,4	0,005	0,9	0,08	0,45	5971
	Max	29,5	171	85	15	149	23	6,9	8	80,36	31,7	2	6,4	0,017	1	0,08	0,45	6289
	Min	24	161	79	3	3	2	6,1	4	57,68	8,8	0,02	0,1	0,002	0,4	0,07	0,07	5865
	Moy	27,1	166,25	81,5	7,5	66	12,25	6,7	5,75	67,45	20,47	1,30	2,57	0,0095	0,725	0,07	0,22	6046,5
	EC	2,59	4,27	2,64	5,74	60,90	9,17	0,4	1,70	10,45	9,68	0,88	2,83	0,0071	0,27	0,005	0,17	180,42
MS2	PSP	29	236	118	9	105	13	6,1	5	68,35	34,3	2,2	2,5	0,511	1,3	0,11	0,27	4232
	PSS	25	203	101	3	4	2	6,7	2	52,37	5,3	2,6	2,3	0,006	0,4	0,1	0,02	4926
	GSP	22	211	106	2	70	10	6,8	2	49,82	17,6	0,03	0,3	0,001	0,2	0,1	0,2	4717
	GSS	27,5	233	116	2	27	9	6,9	6	60,2	24,6	1,1	3,8	0,004	1,1	0,11	0,23	4323
	Max	29	236	118	9	105	13	6,9	6	68,35	34,3	2,6	3,8	0,511	1,3	0,11	0,27	4926
	Min	22	203	101	2	4	2	6,1	2	49,82	5,3	0,03	0,3	0,001	0,2	0,1	0,02	4232
	Moy	25,8	220,75	110,25	4	51,5	8,5	6,62	3,75	57,68	20,45	1,48	2,22	0,13	0,75	0,105	0,18	4549,5

	EC	3,06	16,25	8,09	3,36	44,94	4,65	0,35	2,0615	8,37	12,20	1,15	1,44	0,25	0,53	0,005	0,11	327,5
MP1	PSP	27,5	572	286	37	157	64	6,7	11	70,38	26,4	4,25	4,65	0,009	2	0,28	0,2	1752
	PSS	20	1505	749	1	5	1	7,7	6	53,99	21,1	11,1	0,55	0,002	1,2	0,71	0,19	662
	GSP	20	924	462	1	19	2	6,1	6	52,89	26,4	0	0,27	0,007	1,6	0,45	0,12	1082
	GSS	23,5	1098	548	2	6	6	8,1	10	54,3	30,8	3,7	4,5	0,003	1	0,54	0,09	934
	Max	27,5	1505	749	37	157	64	8,1	11	70,38	30,8	11,1	4,65	0,009	2	0,71	0,2	1752
	Min	20	572	286	1	5	1	6,1	6	52,89	21,1	0	0,27	0,002	1	0,28	0,09	662
	Moy	22,7	1024,7	511,25	10,25	46,75	18,25	7,15	8,25	57,89	26,17	4,76	2,49	0,0052	1,45	0,495	0,15	1107,5
	EC	3,57	387,78	192,38	17,83	73,77	30,57	0,91	2,62	8,34	3,96	4,62	2,40	0,0033	0,44	0,17	0,053	463,53
MP2	PSP	27,5	470	235	11	51	6	6,7	7	87,09	14,1	0,85	1,75	0,045	1,3	0,22	0,47	2125
	PSS	20	493	245	7	13	4	8	8	58,34	5,28	4,2	0,17	0,001	1,4	0,24	0,8	2037
	GSP	20	447	223	39	335	3	8,4	8	59,44	21,1	0,1	0,56	0,035	1,6	0,21	0,49	2237
	GSS	23,5	468	237	89	210	14	8,3	12	63,51	25,5	5,8	10,9	0,007	1,2	0,23	0,25	2165
	Max	27,5	493	245	89	335	14	8,4	12	87,09	25,5	5,8	10,9	0,045	1,6	0,24	0,8	2237
	Min	20	447	223	7	13	3	6,7	7	58,34	5,28	0,1	0,17	0,001	1,2	0,21	0,25	2037
	Moy	22,7	469,5	235	36,5	152,25	6,75	7,85	8,75	67,09	16,49	2,73	3,34	0,022	1,37	0,22	0,50	2141
	EC	3,57	18,80	9,09	37,78	148,74	4,99	0,78	2,21	13,51	8,82	2,71	5,08	0,021	0,17	0,012	0,22	83,39
MC1	PSP	30	60	30	22	175	40	6,6	6	66,67	29	1,8	3,3	0,507	1,5	0,03	0,57	16555
	PSS	25	48	24	12	83	13	7,4	6	51,55	10,6	2,1	0,2	0,001	0,8	0,02	0,12	20410

	GSP	23	45	22	11	139	11	7,4	4	51,33	12,3	0,1	0	0,011	1,6	0,03	1,28	22700
	GSS	28	62	32	9	98	21	8,1	5	58,28	24,6	0,8	6,2	0,018	1,1	0,03	0,15	16120
	Max	30	62	32	22	175	40	8,1	6	66,67	29	2,1	6,2	0,507	1,6	0,03	1,28	22700
	Min	23	45	22	9	83	11	6,6	4	51,33	10,6	0,1	0	0,001	0,8	0,02	0,12	16120
	Moy	26,5	53,75	27	13,5	123,75	21,25	7,37	5,25	56,95	19,12	1,2	2,42	0,13	1,25	0,027	0,53	18946
	EC	3,10	8,5	4,76	5,80	41,56	13,22	0,61	0,95	7,23	9,06	0,92	2,93	0,24	0,36	0,005	0,54	3159
MC2	PSP	30	58	29	29	209	49	6,6	8	77,12	25,5	2,3	4,9	0,51	1,2	0,03	0,48	17325
	PSS	25	40	20	17	85	19	7,3	4	47,67	8,8	2	0,2	0,001	0,6	0,02	0,09	25000
	GSP	24	38	19	50	356	78	7,3	4	49,98	22,8	0,1	0,1	0,036	1,4	0,01	0,81	26300
	GSS	28	59	30	13	105	30	7,7	7	54,26	21,1	1	4,1	0,024	2,8	0,03	0,3	17080
	Max	30	59	30	50	356	78	7,7	8	77,12	25,5	2,3	4,9	0,51	2,8	0,03	0,81	26300
	Min	24	38	19	13	85	19	6,6	4	47,67	8,8	0,1	0,1	0,001	0,6	0,01	0,09	17080
	Moy	26,7	48,75	24,5	27,25	188,75	44	7,22	5,75	57,25	19,55	1,35	2,32	0,14	1,5	0,022	0,42	21426
	EC	2,75	11,29	5,80	16,62	124,04	25,83	0,45	2,061	13,52	7,39	1,001	2,53	0,24	0,93	0,0095	0,30	4906,9

**ANNEXE 5** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans les cours d'eau étudiés

CE	Stations	Saisons	<i>C. spp</i>	<i>C. cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lambliia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
Ebongo	NC1	PSP	147	36	0	66	12	0
		PSS	56	14	0	7	24	10
		GSP	0	0	19	0	26	13
		GSS	32	24	4	4	12	100
		Max	147	36	19	66	26	100
		Min	0	0	0	0	12	0
		Moy	58,7	18,5	5,7	19,2	18,5	30,7
		EC	63,1	15,2	9	31,2	7,5	46,5
	NC2	PSP	90	27	42	9	15	66
		PSS	70	7	0	3	7	0
		GSP	0	0	6	0	26	13
		GSS	52	8	24	52	8	100
		Max	90	27	42	52	26	100
		Min	0	0	0	0	7	0
		Moy	53	10,5	18	16	14	44,7
EC		38,5	11,5	18,9	24,2	8,7	46,6	
Akono	AC1	PSP	18	0	3	0	15	0
		PSS	35	10	7	10	0	0
		GSP	0	13	0	26	65	91
		GSS	25	0	15	0	16	8



		Max	35	13	15	26	65	91
		Min	0	0	0	0	0	0
		Moy	19,5	5,7	6,2	9	24	24,7
		EC	14,7	6,7	6,5	12,2	28,2	44,3
	AC2	PSP	48	6	3	9	99	9
		PSS	98	31	70	21	31	7
		GSP	26	19	26	6	91	13
		GSS	38	21	3	3	22	13
		Max	98	31	70	21	99	13
		Min	26	6	3	3	22	7
		Moy	52,5	19,2	25,5	9,7	60,7	10,5
		EC	31,6	10,2	31,5	7,8	39,8	3
Afamba	OC1	PSP	70	41	8	12,5	6	2
		PSS	14	0	0	14	21	0
		GSP	13	6	13	0	104	0
		GSS	36	51	4	0	118	14
		Max	70	51	13	14	118	14
		Min	13	0	0	0	6	0
		Moy	33,25	24,5	6,25	6,625	62,25	4
		EC	26,7	25,27	5,56	7,67	56,91	6,7
	OC2	PSP	61	69,5	19,5	6	56	0
		PSS	98	7	7	14	77	7
		GSP	0	0	0	0	91	0

		GSS	39	23	43	0	112	4
		Max	98	69,5	43	14	112	7
		Min	0	0	0	0	56	0
		Moy	49,5	24,875	17,375	5	84	2,75
		EC	41,	31,2	18,8	6,6	23,56	3,4
Sanaga	MC1	PSP	96	44	0	3	10	16
		PSS	0	14	7	0	0	0
		GSP	58	19	13	0	6	19
		GSS	11	14	7	7	18	11
		Max	96	44	13	7	18	19
		Min	0	14	0	0	0	0
		Moy	41,25	22,75	6,75	2,5	8,5	11,5
		EC	44,3	14,3	5,31	3,31	7,54	8,34
	MC2	PSP	97	39	4	0	3	10
		PSS	21	28	7	7	28	7
		GSP	32	0	19	32	32	0
		GSS	29	32	19	0	11	0
		Max	97	39	19	32	32	10
		Min	21	0	4	0	3	0
		Moy	44,75	24,75	12,25	9,75	18,5	4,25
EC		35,14	17,11	7,88	15,19	13,77	5,05	

**ANNEXE 6 :** Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans les puits et les sources étudiés.

	Stations	Saisons	<i>C.spp</i>	<i>C.cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lamblia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
Ngoumou	NS1	PSP	16	14	16	14	10	0
		PSS	2	10	3	0	5	0
		GSP	8	8	0	0	4	8
		GSS	9	8	15	27	3	3
		Max	16	14	16	27	10	8
		Min	2	8	0	0	3	0
		Moy	8,7	10	8,5	10,2	5,5	2,7
		EC	5,7	2,8	8,1	12,9	3,1	3,7
	NS2	PSP	24	6	10	10	2	0
		PSS	55	8	3	27	0	0
		GSP	20	8	12	0	4	0
		GSS	36	18	18	12	24	0
		Max	55	18	18	27	24	0
		Min	20	6	3	0	0	0
		Moy	33,7	10	10,75	12,2	7,5	0
		EC	15,7	5,4	6,1	11,1	11,1	0
	NP1	PSP	17	1	1	1	2	1
		PSS	4	1	0	0	3	0
		GSP	2	2	0	0	0	0
		GSS	24	3	25	7	18	6

		Max	24	3	25	7	18	6
		Min	2	1	0	0	0	0
		Moy	11,7	1,7	6,5	2	5,7	1,7
		EC	10,5	0,9	12,3	3,3	8,2	2,8
	NP2	PSP	7	8	0	0	2	0
		PSS	6	1	0	0	0	0
		GSP	0	2	2	0	0	0
		GSS	10	0	7	0	3	1
		Max	10	8	7	0	3	1
		Min	0	0	0	0	0	0
		Moy	5,7	2,7	2,2	0	1,2	0,25
		EC	4,1	3,5	3,3	0	1,5	0,5
Akono	AS1	PSP	32	14	12	6	10	0
		PSS	10	15	0	15	0	0
		GSP	16	4	0	0	0	8
		GSS	18	14	6	0	0	6
		Max	32	15	12	15	10	8
		Min	10	4	0	0	0	0
		Moy	19	11,7	4,5	5,2	2,5	3,5
		EC	9,3	5,1	5,7	7	5	4,1
	AS2	PSP	72	2	0	4	32	39
		PSS	42	10	2	5	10	20
		GSP	8	0	0	0	20	36

		GSS	16	12	14	4	50	34
		Max	72	12	14	5	50	39
		Min	8	0	0	0	10	20
		Moy	34,5	6	4	3,2	28	32,2
		EC	28,9	5,8	6,7	2,2	17,2	8,4
	AP1	PSP	4	0	0	4	6	0
		PSS	14	14	1	0	1	0
		GSP	2	0	2	0	0	0
		GSS	4	2	1	0	1	1
		Max	14	14	2	4	6	1
		Min	2	0	0	0	0	0
		Moy	6	4	1	1	2	0,25
		EC	5,4	6,7	0,8	2	2,7	0,5
	AP2	PSP	17	6	0	0	3	0
		PSS	11	13	1	2	1	0
		GSP	14	7	0	0	0	0
		GSS	3	1	0	1	0	0
		Max	17	13	1	2	3	0
		Min	3	1	0	0	0	0
		Moy	11,2	6,7	0,25	0,75	1	0
		EC	6	4,9	0,5	0,9	1,4	0
Obala	OS1	PSP	28	7	1	0	1	0
		PSS	27	15	2	0	2	0

		GSP	4	2	2	0	2	0
		GSS	14	3	0	0	5	2
		Max	28	15	2	0	5	2
		Min	4	2	0	0	1	0
		Moy	18,2	6,7	1,2	0	2,5	0,5
		EC	11,4	5,9	0,9	0	1,7	1
	OS2	PSP	43	26	1	0	19	4
		PSS	65	25	5	0	10	15
		GSP	52	20	16	0	8	0
		GSS	17	5	3	0	3	0
		Max	65	26	16	0	19	15
		Min	17	5	1	0	3	0
		Moy	44,2	19	6,2	0	10	4,7
		EC	20,2	9,6	6,7	0	6,6	7
	OP1	PSP	34	8	5	1	1	1
		PSS	39	26	0	0	3	3
		GSP	20	0	5	0	10	0
		GSS	35	12	14	0	11	6
		Max	39	26	14	1	11	6
		Min	20	0	0	0	1	0
		Moy	32	11,5	6	0,25	6,2	2,5
		EC	8,2	10,8	5,8	0,5	4,9	2,6
	OP2	PSP	24	3	1	3	0	1

		PSS	3	2	3	0	0	0
		GSP	0	0	0	0	0	0
		GSS	6	6	5	0	3	0
		Max	24	6	5	3	3	1
		Min	0	0	0	0	0	0
		Moy	8,2	2,7	2,2	0,7	0,7	0,25
		EC	10,7	2,5	2,2	1,5	1,5	0,5
Monatéle	MS1	PSP	36	6	3	0	0	0
		PSS	0	0	0	0	0	0
		GSP	16	8	40	8	0	0
		GSS	36	33	20	0	0	2
		Max	36	33	40	8	0	2
		Min	0	0	0	0	0	0
		Moy	22	11,75	15,7	2	0	0,5
		EC	17,4	14,5	18,4	4	0	1
	MS2	PSP	40	10	2	0	3	2
		PSS	15	10	0	0	0	0
		GSP	16	4	4	0	0	4
		GSS	24	60	2	0	0	0
		Max	40	60	4	0	3	4
		Min	15	4	0	0	0	0
Moy		23,7	21	2	0	0,7	1,5	
EC		11,5	26,1	1,6	0	1,5	1,9	

	MP1	PSP	27	19	2	0	44	2
		PSS	0	0	0	3	0	0
		GSP	3	0	0	0	0	0
		GSS	18	4	0	0	0	2
		Max	27	19	2	3	44	2
		Min	0	0	0	0	0	0
		Moy	12	5,7	0,5	0,7	11	1
		EC	12,7	9	1	1,5	22	1,1
	MP2	PSP	32	11	0	0	2	2
		PSS	5	0	3	0	0	0
		GSP	16	3	0	0	0	0
		GSS	7	6	2	0	0	3
		Max	32	11	3	0	2	3
		Min	5	0	0	0	0	0
		Moy	15	5	1,2	0	0,5	1,2
EC		12,3	4,6	1,5	0	1	1,5	



**ANNEXE 7 : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des helminthes entériques dénombrés dans les cours d'eau étudiés.**

CE	Stations	Saisons	<i>Ankylostomes</i> spp	<i>Ascaris</i> spp	<i>Enterobius</i> spp	<i>Strongyloïdes</i> spp	<i>Diphyllobothrium</i> spp	<i>Hymenolepis</i> spp	<i>Fasciola</i> spp
Ebongo	NC1	PSP	8	0	0	8	0	0	0
		PSS	0	0	0	33	0	0	0
		GSP	0	6	0	32	0	0	0
		GSS	0	4	0	8	0	8	0
		Max	8	6	0	33	0	8	0
		Min	0	0	0	8	0	0	0
		Moy	2	2,5	0	20,2	0	2	0
		EC	4	3	0	14,1	0	4	0
	NC2	PSP	8	0	8	8	0	0	0
		PSS	0	7	0	14	0	0	0
		GSP	0	6	0	19	0	0	0
		GSS	12	4	0	8	0	0	0
		Max	12	7	8	19	0	0	0
		Min	0	0	0	8	0	0	0
		Moy	5	4,2	2	12,2	0	0	0
EC		6	3	4	5,3	0	0	0	
Akono	AC1	PSP	6	6	6	6	0	0	0
		PSS	0	4	0	17	0	0	0
		GSP	6	0	0	26	0	0	0
		GSS	0	3	0	9	0	0	0
		Max	6	6	6	26	0	0	0
		Min	0	0	0	6	0	0	0
		Moy	3	3,2	1,5	14,5	0	0	0
		EC	3,4	2,5	3	8,9	0	0	0

	AC2	PSP	0	0	0	30	6	0	12
		PSS	11	0	0	14	0	0	0
		GSP	0	0	0	52	0	13	0
		GSS	3	3	0	22	0	0	0
		Max	11	3	0	52	6	13	12
		Min	0	0	0	14	0	0	0
		Moy	3,5	0,75	0	29,5	1,5	3,2	3
		EC	5,1	1,5	0	16,3	3	6,5	6
Afamba	OC1	PSP	8	4	0	8	0	0	0
		PSS	0	14	0	21	0	0	0
		GSP	6	13	0	110	0	0	6
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	8	14	0	110	0	0	6
		Min	0	0	0	3	0	0	0
		Moy	3,5	7,75	0	35,5	0	0	1,5
		EC	4,1	6,8	0	50,2	0	0	3
	OC2	PSP	4	0	0	8	0	0	0
		PSS	0	14	0	56	0	0	0
		GSP	0	6	0	19	0	0	0
		GSS	0	3	0	8	0	0	0
		Max	4	14	0	56	0	0	0
		Min	0	0	0	8	0	0	0
		Moy	1	5,7	0	22,7	0	0	0
EC	2	6	0	22,7	0	0	0		
Sanaga	MC1	PSP	0	0	0	20	0	0	0
		PSS	0	14	0	56	0	0	0

		GSP	0	0	0	13	0	6	0
		GSS	0	4	0	0	4	0	0
		Max	0	14	0	56	4	6	0
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0	4,5	0	22,2	1	1,5	0
		EC	0	6,6	0	23,9	2	3	0
	MC2	PSP	0	0	0	16	0	0	0
		PSS	0	7	0	56	14	7	0
		GSP	6	6	0	58	0	6	0
		GSS	0	0	0	15	0	0	0
		Max	6	7	0	58	14	7	0
		Min	0	0	0	15	0	0	0
		Moy	1,5	3,2	0	36,2	3,5	3,2	0
		EC	3	3,7	0	23,9	7	3,7	0

**ANNEXE 8 :** Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des helminthes entériques dénombrés dans les puits et les sources étudiés

	Stations	Saisons	<i>Ankylostomes</i> spp	<i>Ascaris</i> spp	<i>Enterobius</i> spp	<i>Strongyloïdes</i> spp	<i>Diphyllobothrium</i> spp	<i>Hymenolepis</i> spp	<i>Fasciola</i> spp
Ngoumou	NS1	PSP	4	4	0	4	0	0	0
		PSS	2	13	0	10	0	0	0
		GSP	0	0	0	8	0	0	0
		GSS	3	0	0	30	0	0	6
		Max	4	13	0	30	0	0	6
		Min	0	0	0	4	0	0	0
		Moy	2,2	4,2	0	13	0	0	1,5
		EC	1,7	6,1	0	11,6	0	0	3
	NS2	PSP	0	12	0	12	4	0	4
		PSS	3	0	0	13	0	0	0
		GSP	0	0	0	4	0	0	0
		GSS	3	0	0	18	0	3	12
		Max	3	12	0	18	4	3	12
		Min	0	0	0	4	0	0	0
		Moy	1,5	3	0	11,75	1	0,75	4
		EC	1,7	6	0	5,7	2	1,5	5,6
	NP1	PSP	0	12	0	12	4	0	4
		PSS	3	0	0	13	0	0	0
		GSP	0	0	0	4	0	0	0
		GSS	3	0	0	18	0	3	12
		Max	3	12	0	18	4	3	12
		Min	0	0	0	4	0	0	0
		Moy	1,5	3	0	11,7	1	0,7	4
		EC	1,7	6	0	5,7	2	1,5	5,6

	NP2	PSP	0	0	0	6	0	0	0
		PSS	0	0	0	3	0	0	0
		GSP	0	0	0	0	0	0	0
		GSS	0	0	0	11	0	0	0
		Max	0	0	0	11	0	0	0
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0	0	0	5	0	0	0
		EC	0	0	0	4,6	0	0	0
Akono	AS1	PSP	0	8	0	12	0	0	0
		PSS	0	0	0	0	0	5	0
		GSP	0	0	0	32	0	0	4
		GSS	0	0	0	10	0	0	0
		Max	0	8	0	32	0	5	4
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0	2	0	13,5	0	1,2	1
		EC	0	4	0	13,4	0	2,5	2
	AS2	PSP	4	12	0	44	4	0	0
		PSS	0	10	0	13	0	0	0
		GSP	0	0	0	36	0	0	0
		GSS	0	2	0	10	0	0	0
		Max	4	12	0	44	4	0	0
		Min	0	0	0	10	0	0	0
		Moy	1	6	0	25,7	1	0	0
EC	2	5,8	0	16,8	2	0	0		
AP1	PSP	0	5	0	7	0	0	0	
	PSS	0	3	0	10	0	0	0	

		GSP	0	0	0	29	0	0	0
		GSS	0	0	0	5	0	0	1
		Max	0	5	0	29	0	0	1
		Min	0	0	0	5	0	0	0
		Moy	0	2	0	12,7	0	0	0,2
		EC	0	2,4	0	11	0	0	0,5
	AP2	PSP	2	2	0	0	0	0	0
		PSS	0	0	0	4	0	0	0
		GSP	0	0	0	24	0	0	0
		GSS	0	0	0	4	0	0	0
		Max	2	2	0	24	0	0	0
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0,5	0,5	0	8	0	0	0
		EC	1	1	0	10,8	0	0	0
Obala	OS1	PSP	0	0	0	0	0	0	0
		PSS	0	0	0	7	0	0	0
		GSP	0	0	0	4	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	0	0	0	7	0	0	0
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0	0	0	3,5	0	0	0
		EC	0	0	0	2,8	0	0	0
	OS2	PSP	0	6	0	16	3	0	0
		PSS	0	0	0	25	0	0	0
		GSP	0	0	0	32	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0

		Max	0	6	0	32	3	0	0
		Min	0	0	0	3	0	0	0
		Moy	0	1,5	0	19	0,7	0	0
		EC	0	3	0	12,5	1,5	0	0
	OP1	PSP	2	3	0	2	0	0	0
		PSS	0	0	0	21	5	0	0
		GSP	0	0	0	8	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	2	3	0	21	5	0	0
		Min	0	0	0	2	0	0	0
		Moy	0,5	0,7	0	8,5	1,2	0	0
		EC	1	1,5	0	8,7	2,5	0	0
	OP2	PSP	1	0	0	4	0	0	0
		PSS	0	0	0	5	0	0	0
		GSP	0	0	0	5	0	0	0
		GSS	0	0	0	5	0	0	40
		Max	1	0	0	5	0	0	40
		Min	0	0	0	4	0	0	0
		Moy	0,2	0	0	4,7	0	0	10
		EC	0,5	0	0	0,5	0	0	20
Monatéle	MS1	PSP	0	0	0	7	0	0	0
		PSS	0	0	0	25	0	0	0
		GSP	0	0	0	28	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	0	0	0	28	0	0	0
		Min	0	0	0	3	0	0	0

		Moy	0	0	0	15,7	0	0	0
		EC	0	0	0	12,5	0	0	0
	MS2	PSP	0	0	0	2	5	0	2
		PSS	0	5	0	25	0	0	0
		GSP	0	0	0	36	0	0	0
		GSS	0	0	0	17	0	0	0
		Max	0	5	0	36	5	0	2
		Min	0	0	0	2	0	0	0
		Moy	0	1,2	0	20	1,2	0	0,5
		EC	0	2,5	0	14,3	2,5	0	1
	MP1	PSP	0	4	0	0	0	0	0
		PSS	0	0	0	8	0	0	0
		GSP	0	0	0	3	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	0	4	0	8	0	0	0
		Min	0	0	0	0	0	0	0
		Moy	0	1	0	3,5	0	0	0
		EC	0	2	0	3,3	0	0	0
	MP1	PSP	0	0	0	4	0	0	0
		PSS	0	0	0	5	0	0	0
		GSP	2	0	0	8	0	0	0
		GSS	0	0	0	3	0	0	0
		Max	2	0	0	8	0	0	0
		Min	0	0	0	3	0	0	0
		Moy	0,5	0	0	5	0	0	0
		EC	1	0	0	2,1	0	0	0



**ANNEXE 9 : Densités moyennes spatiales des protozoaires entériques**

Stations	<i>Cryptosporidium</i> spp	<i>Cyclospora</i> <i>cayetanensis</i>	<i>Isospora</i> <i>belli</i>	<i>Giardia</i> <i>lamblia</i>	<i>Entamoeba</i> <i>coli</i>	<i>Entamoeba</i> <i>histolytica</i>
NP1	11,75	1,75	6,5	2	5,75	1,75
NP2	5,75	2,75	2,25	0	1,25	0,25
AP1	6	4	1	1	2	0,25
AP2	11,25	6,75	0,25	0,75	1	0
OP1	32	11,5	6	0,25	6,25	2,5
OP2	8,25	2,75	2,25	0,75	0,75	0,25
MP1	12	5,75	0,5	0,75	11	1
MP2	15	5	1,25	0	0,5	1,25
NS1	8,75	10	8,5	10,25	5,5	2,75
NS2	33,75	10	10,75	12,25	7,5	0
AS1	19	11,75	4,5	5,25	2,5	3,5
AS2	34,5	6	4	3,25	28	32,25
OS1	18,25	6,75	1,25	0	2,5	0,5
OS2	44,25	19	6,25	0	10	4,75
MS1	22	11,75	15,75	2	0	0,5
MS2	23,75	21	2	0	0,75	1,5
NC1	58,75	18,5	5,75	19,25	18,5	30,75
NC2	53	10,5	18	16	14	44,75
AC1	19,5	5,75	6,25	9	24	24,75
AC2	52,5	19,25	25,5	9,75	60,75	10,5
OC1	19,5	5,75	6,25	9	24	24,75
OC2	52,5	19,25	25,5	9,75	60,75	10,5
MC1	41,25	22,75	6,75	2,5	8,5	11,5
MC2	44,75	24,75	12,25	9,75	18,5	4,25

**ANNEXE 10 : Densités moyennes spatiales des helminthes entériques**

Stations	<i>Ankylostomes</i> spp	<i>Ascaris</i> spp	<i>Enterobius</i> spp	<i>Strongyloïdes</i> spp	<i>Diphyllobothrium</i> spp	<i>Hymenolepis</i> spp	<i>Fasciola</i> spp
NP1	1,5	3	0	11,75	1	0,75	4
NP2	0	0	0	5	0	0	0
AP1	0	2	0	12,75	0	0	0,25
AP2	0,5	0,5	0	8	0	0	0
OP1	0,5	0,75	0	8,5	1,25	0	0
OP2	0,25	0	0	4,75	0	0	10
MP1	0	1	0	3,5	0	0	0
MP2	0,5	0	0	5	0	0	0
NS1	2,25	4,25	0	13	0	0	1,5
NS2	1,5	3	0	11,75	1	0,75	4
AS1	0	2	0	13,5	0	1,25	1
AS2	1	6	0	25,75	1	0	0
OS1	0	0	0	3,5	0	0	0
OS2	0	1,5	0	19	0,75	0	0
MS1	0	0	0	15,75	0	0	0
MS2	0	1,25	0	20	1,25	0	0,5
NC1	2	2,5	0	20,25	0	2	0
NC2	5	4,25	2	12,25	0	0	0
AC1	3	3,25	1,5	14,5	0	0	0
AC2	3,5	0,75	0	29,5	1,5	3,25	3
OC1	3,5	7,75	0	35,5	0	0	1,5
OC2	1	5,75	0	22,75	0	0	0
MC1	0	4,5	0	22,25	1	1,5	0
MC2	1,5	3,25	0	36,25	3,5	3,25	0

**ANNEXE 11** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité de Ngoumou

Stations	Saisons	<i>Cryptosporidium</i> spp	<i>C.cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lamblia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
NS1	PSP	16	14	16	14	10	0
	PSS	2	10	3	0	5	0
	GSP	8	8	0	0	4	8
	GSS	9	8	15	27	3	3
	Max	16	14	16	27	10	8
	Min	2	8	0	0	3	0
	Moy	8,7	10	8,5	10,2	5,5	2,7
	EC	5,7	2,8	8,1	12,9	3,1	3,7
NS2	PSP	24	6	10	10	2	0
	PSS	55	8	3	27	0	0
	GSP	20	8	12	0	4	0
	GSS	36	18	18	12	24	0
	Max	55	18	18	27	24	0
	Min	20	6	3	0	0	0
	Moy	33,7	10	10,75	12,2	7,5	0
	EC	15,7	5,4	6,1	11,1	11,1	0
NP1	PSP	17	1	1	1	2	1
	PSS	4	1	0	0	3	0
	GSP	2	2	0	0	0	0
	GSS	24	3	25	7	18	6

	Max	24	3	25	7	18	6
	Min	2	1	0	0	0	0
	Moy	11,7	1,7	6,5	2	5,7	1,7
	EC	10,5	0,9	12,3	3,3	8,2	2,8
NP2	PSP	7	8	0	0	2	0
	PSS	6	1	0	0	0	0
	GSP	0	2	2	0	0	0
	GSS	10	0	7	0	3	1
	Max	10	8	7	0	3	1
	Min	0	0	0	0	0	0
	Moy	5,7	2,7	2,2	0	1,2	0,25
	EC	4,1	3,5	3,3	0	1,5	0,5
NC1	PSP	147	36	0	66	12	0
	PSS	56	14	0	7	24	10
	GSP	0	0	19	0	26	13
	GSS	32	24	4	4	12	100
	Max	147	36	19	66	26	100
	Min	0	0	0	0	12	0
	Moy	58,7	18,5	5,7	19,2	18,5	30,7
	EC	63,1	15,2	9	31,2	7,5	46,5
NC2	PSP	90	27	42	9	15	66
	PSS	70	7	0	3	7	0
	GSP	0	0	6	0	26	13

	GSS	52	8	24	52	8	100
	Max	90	27	42	52	26	100
	Min	0	0	0	0	7	0
	Moy	53	10,5	18	16	14	44,7
	EC	38,5	11,5	18,9	24,2	8,7	46,6

**ANNEXE 12** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité d'Akono.

Stations	Saisons	<i>C.spp</i>	<i>C.cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lamblia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
AS1	PSP	32	14	12	6	10	0
	PSS	10	15	0	15	0	0
	GSP	16	4	0	0	0	8
	GSS	18	14	6	0	0	6
	Max	32	15	12	15	10	8
	Min	10	4	0	0	0	0
	Moy	19	11,7	4,5	5,2	2,5	3,5
	EC	9,3	5,1	5,7	7	5	4,1
AS2	PSP	72	2	0	4	32	39
	PSS	42	10	2	5	10	20
	GSP	8	0	0	0	20	36
	GSS	16	12	14	4	50	34
	Max	72	12	14	5	50	39
	Min	8	0	0	0	10	20
	Moy	34,5	6	4	3,2	28	32,2
	EC	28,9	5,8	6,7	2,2	17,2	8,4
API	PSP	4	0	0	4	6	0
	PSS	14	14	1	0	1	0
	GSP	2	0	2	0	0	0
	GSS	4	2	1	0	1	1

	Max	14	14	2	4	6	1
	Min	2	0	0	0	0	0
	Moy	6	4	1	1	2	0,25
	EC	5,4	6,7	0,8	2	2,7	0,5
AP2	PSP	17	6	0	0	3	0
	PSS	11	13	1	2	1	0
	GSP	14	7	0	0	0	0
	GSS	3	1	0	1	0	0
	Max	17	13	1	2	3	0
	Min	3	1	0	0	0	0
	Moy	11,2	6,7	0,25	0,75	1	0
	EC	6	4,9	0,5	0,9	1,4	0
AC1	PSP	18	0	3	0	15	0
	PSS	35	10	7	10	0	0
	GSP	0	13	0	26	65	91
	GSS	25	0	15	0	16	8
	Max	35	13	15	26	65	91
	Min	0	0	0	0	0	0
	Moy	19,5	5,75	6,25	9	24	24,75
	EC	14,75	6,75	6,5	12,27	28,29	44,32
AC2	PSP	48	6	3	9	99	9
	PSS	98	31	70	21	31	7
	GSP	26	19	26	6	91	13

	GSS	38	21	3	3	22	13
	Max	98	31	70	21	99	13
	Min	26	6	3	3	22	7
	Moy	52,5	19,25	25,5	9,75	60,75	10,5
	EC	31,63	10,27	31,58	7,88	39,85	3



**ANNEXE 13** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité d'Obala

Stations	Saisons	<i>C.spp</i>	<i>C.cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lamblia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
OS1	PSP	28	7	1	0	1	0
	PSS	27	15	2	0	2	0
	GSP	4	2	2	0	2	0
	GSS	14	3	0	0	5	2
	Max	28	15	2	0	5	2
	Min	4	2	0	0	1	0
	Moy	18,2	6,7	1,2	0	2,5	0,5
	EC	11,4	5,9	0,9	0	1,7	1
OS2	PSP	43	26	1	0	19	4
	PSS	65	25	5	0	10	15
	GSP	52	20	16	0	8	0
	GSS	17	5	3	0	3	0
	Max	65	26	16	0	19	15
	Min	17	5	1	0	3	0
	Moy	44,2	19	6,2	0	10	4,7
	EC	20,2	9,6	6,7	0	6,6	7
OP1	PSP	34	8	5	1	1	1
	PSS	39	26	0	0	3	3
	GSP	20	0	5	0	10	0
	GSS	35	12	14	0	11	6

	Max	39	26	14	1	11	6
	Min	20	0	0	0	1	0
	Moy	32	11,5	6	0,25	6,2	2,5
	EC	8,2	10,8	5,8	0,5	4,9	2,6
OP2	PSP	24	3	1	3	0	1
	PSS	3	2	3	0	0	0
	GSP	0	0	0	0	0	0
	GSS	6	6	5	0	3	0
	Max	24	6	5	3	3	1
	Min	0	0	0	0	0	0
	Moy	8,2	2,7	2,2	0,7	0,7	0,25
	EC	10,7	2,5	2,2	1,5	1,5	0,5
OC1	PSP	70	41	8	12,5	6	2
	PSS	14	0	0	14	21	0
	GSP	13	6	13	0	104	0
	GSS	36	51	4	0	118	14
	Max	70	51	13	14	118	14
	Min	13	0	0	0	6	0
	Moy	33,25	24,5	6,25	6,625	62,25	4
	EC	26,7	25,27	5,56	7,67	56,91	6,7
OC2	PSP	61	69,5	19,5	6	56	0
	PSS	98	7	7	14	77	7
	GSP	0	0	0	0	91	0

	GSS	39	23	43	0	112	4
	Max	98	69,5	43	14	112	7
	Min	0	0	0	0	56	0
	Moy	49,5	24,875	17,375	5	84	2,75
	EC	41,	31,2	18,8	6,6	23,56	3,4

**ANNEXE 14** : Valeurs moyennes par saisons, maximales, minimales et écart-types des protozoaires entériques dénombrés dans la localité de Monatélé

Stations	Saisons	<i>C.spp</i>	<i>C.cayetanensis</i>	<i>I. belli</i>	<i>G.lamblia</i>	<i>E.coli</i>	<i>E. histolytica</i>
MS1	PSP	36	6	3	0	0	0
	PSS	0	0	0	0	0	0
	GSP	16	8	40	8	0	0
	GSS	36	33	20	0	0	2
	Max	36	33	40	8	0	2
	Min	0	0	0	0	0	0
	Moy	22	11,75	15,7	2	0	0,5
	EC	17,4	14,5	18,4	4	0	1
MS2	PSP	40	10	2	0	3	2
	PSS	15	10	0	0	0	0
	GSP	16	4	4	0	0	4
	GSS	24	60	2	0	0	0
	Max	40	60	4	0	3	4
	Min	15	4	0	0	0	0
	Moy	23,7	21	2	0	0,7	1,5
	EC	11,5	26,1	1,6	0	1,5	1,9
MP1	PSP	27	19	2	0	44	2
	PSS	0	0	0	3	0	0
	GSP	3	0	0	0	0	0
	GSS	18	4	0	0	0	2

	Max	27	19	2	3	44	2
	Min	0	0	0	0	0	0
	Moy	12	5,7	0,5	0,7	11	1
	EC	12,7	9	1	1,5	22	1,1
MP2	PSP	32	11	0	0	2	2
	PSS	5	0	3	0	0	0
	GSP	16	3	0	0	0	0
	GSS	7	6	2	0	0	3
	Max	32	11	3	0	2	3
	Min	5	0	0	0	0	0
	Moy	15	5	1,2	0	0,5	1,2
	EC	12,3	4,6	1,5	0	1	1,5
MC1	PSP	96	44	0	3	10	16
	PSS	0	14	7	0	0	0
	GSP	58	19	13	0	6	19
	GSS	11	14	7	7	18	11
	Max	96	44	13	7	18	19
	Min	0	14	0	0	0	0
	Moy	41,25	22,75	6,75	2,5	8,5	11,5
	EC	44,3	14,3	5,31	3,31	7,54	8,34
MC2	PSP	97	39	4	0	3	10
	PSS	21	28	7	7	28	7
	GSP	32	0	19	32	32	0

	GSS	29	32	19	0	11	0
	Max	97	39	19	32	32	10
	Min	21	0	4	0	3	0
	Moy	44,75	24,75	12,25	9,75	18,5	4,25
	EC	35,14	17,11	7,88	15,19	13,77	5,05

## PUBLICATIONS

- 1- Ngakomo A R.P., Ajeegah G.A., Zeinab A E., Ngassam P. 2019. An Ecological Assessment of the Physico chemical and Biological Water Quality in a Sub-Urban Area in Cameroon: Case of the Ngoumou Rural Council. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*; 4 (6): 198-204.
- 2- Ngakomo A R.P., Ajeegah G.A., Zeinab A E., Ngassam P. 2020. Caractéristique Physico-chimique et Dynamique des Formes Environnementales des Coccidies Entériques dans les Eaux de Sources, Puits et Cours D'eau dans La Commune d'Akono (CAMEROUN, AFRIQUE CENTRALE). *Européan Scientific Journal*, 16 (3) : 161-176.