

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*



FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

FACULTY OF SCIENCE

\*\*\*\*\*

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

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT  
*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

**Evaluation de l'efficacité des désinfectants  
commercialisés sur les formes de résistances  
des protozoaires intestinaux en milieu  
aquatique**

**THÈSE**

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

Option : **Hydrobiologie et Environnement**

Par

**TSOMENE NAMEKONG Pierre**

**Matricule 12Q1021**

*Master ès-Sciences*

Devant le jury composé de

**Président :** FOMENA Abraham, Professeur, Université de Yaoundé I ;

**Rapporteur:** AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, Professeur, Université de Yaoundé I ;

**Membres :** NOLA Moïse, Professeur, Université de Yaoundé I ;

FOKAM Zepherin, Maître de Conférences, Université de Bamenda ;

FOTO MENBOHAN Samuel, Maître de Conférences, Université de Yaoundé I.



**Année : 2022**

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail – Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

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



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace – Work – Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
FACULTY OF SCIENCE

\*\*\*\*\*

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

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

## ATTESTATION DE CORRECTION

\*\*\*\*\*

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la **Thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux**, Option : **Hydrobiologie et Environnement**, de Monsieur **TSOMENE NAMEKONG Pierre**, matricule **12Q1021**, soutenance autorisée par la correspondance N° **221713/UIY/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SSP/CB-AP** du Recteur de l'Université de Yaoundé I, en date du **22 juin 2022** sur le sujet intitulé : **« Evaluation de l'efficacité des désinfectants commercialisés sur les formes de résistances des protozoaires intestinaux en milieu aquatique »**, attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation, qui a eu lieu le **mardi 05 juillet 2022** dans la **salle Multimédia** de la **Faculté des Sciences**, ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

Fait à Yaoundé, le..... **08 SEPT 2022** .....

Examineurs

  
Nola Moïse  
Professeur



Le Chef de Département

Le Président du Jury

  
Tomena Abraham  
Professeur

  
Charles Felice  
Bilong Bilong  
Professeur

# LISTE PROTOCOLAIRE

<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 2021/2022**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION 22 septembre 2021**

## ADMINISTRATION

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

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

**VICE-DOYEN / DSSE :** NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

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

**Chef Division Administrative et Financière :** NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*

**Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche DAASR :** AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

<b>1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (37)</b>			
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	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOCHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
17	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
18	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
19	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
20	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
21	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
22	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
23	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
24	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
25	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste

25	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
26	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
27	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	KOTUE TAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
30	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
31	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
32	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
33	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
33	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Assistant	En poste
34	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Assistant	En poste
35	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
36	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
37	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (51)

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

34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste
42	MAPON NSANGO Indou	Assistant	En poste
43	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
44	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
45	FEUGANG YOUMESSI François	Assistant	En poste
46	FOKAM Alvine Christelle Epse KEGNE	Assistante	En poste
47	GONWOOU NONO Legrand	Assistant	En poste
48	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
49	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
50	NWANE Philippe Bienvenu	Assistant	En poste
51	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste

### 3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (31)

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

#### 4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (32)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	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. à la PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UDS</i>
10	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
11	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
12	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
13	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
20	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
21	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
22	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
23	KOUOTOU DAUDA	Chargé de Cours	En poste
24	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
25	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
26	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
27	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINPROFF
28	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
29	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
30	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
31	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
32	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

#### 5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (40)

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/FSE/UYI
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste
5	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP/ Chef de Département</i>
6	WANDJI Jean	Professeur	En poste
7	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DPSAA
8	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
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	KENMOGNE 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	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	C.E/ MINESUP
20	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	C.S/ MINESUP
21	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
22	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
23	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
24	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
25	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
26	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
27	ZONDEGOU MBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste
28	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
29	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
30	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
31	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
32	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
33	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
34	MUNVERA MFIFEN Aristide	Assistant	En poste
35	NONO NONO Éric Carly	Assistant	En poste
36	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Assistante	En poste
37	TCHAMGOUE Joseph	Assistant	En poste
38	TSAFFACK Maurice	Assistant	En poste
39	TSAMO TONTSA Armelle	Assistante	En poste
40	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste

#### 6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (25)

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	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
5	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
6	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
7	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
8	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
10	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
11	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
12	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
13	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	Directeur adjoint Enset. Ebolowa
14	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	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
<b>7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (35)</b>			
1	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	Chef de Département
2	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>Inspecteur MINESUP</i>
3	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
4	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
7	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
8	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef service des programmes &amp; Diplômes/FS/UJI</i>
9	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
10	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste
11	BOGSO ANTOINE MARIE	Chargé de Cours	En poste
12	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
13	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
14	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
15	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
16	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
17	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
18	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
20	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
21	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
22	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
23	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
24	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
25	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargé de Cours	En poste
26	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
29	LOUMNGAM KAMGA Victor	Assistant	En poste
30	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
31	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
32	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
33	OGADOA AMASSAYOGA	Assistant	En poste
34	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
35	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste
<b>8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (21)</b>			
1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste
4	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
7	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
8	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
9	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
10	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
11	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste

12	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
14	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
15	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
16	MEYIN A EBONG Solange	Assistante	En poste
17	MONI NDEDI Esther Del Florence	Assistante	En poste
18	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
19	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
20	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Assistante	En poste
21	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste
<b>9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE (PHY) (44)</b>			
1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. UN</i>
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
6	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
9	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
12	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen FS Univ/Bda
13	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
17	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
22	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
23	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
25	SAIDOU	Maître de Conférences	Chef de centre/IRGM/MINRESI
26	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>
30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
32	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
33	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
34	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
35	MEL'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
36	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
37	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmalima
38	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste

39	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
40	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Assistante	En poste
41	LAMARA Maurice	Assistant	En poste
42	OTTOU ABE Martin Thierry	Assistant	En poste
43	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
44	WANDJI NYAMSI William	Assistant	En poste
<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)</b>			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
3	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NGOS III Simon	Professeur	En poste
6	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
7	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
8	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
9	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
10	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
11	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
12	GHO GOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
13	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
14	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
15	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
16	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
17	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	<i>Chef service Maintenance &amp; du Matériel/UYII</i>
18	TCHAKOUNTE J. épouse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
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	CD/Uma
34	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
36	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
37	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste
41	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
42	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

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

### NOMBRE D'ENSEIGNANTS

DÉPARTEMENTS	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	14 (10)	13 (05)	05 (02)	<b>40 (18)</b>
BPA	15 (01)	8 (06)	18 (05)	10 (03)	<b>51 (15)</b>
BPV	07 (01)	9 (01)	8 (06)	07 (01)	<b>31 (9)</b>
CI	10 (01)	09 (02)	10 (02)	03 (0)	<b>32 (5)</b>
CO	6 (0)	21 (05)	05 (02)	08 (02)	<b>40 (9)</b>
IN	2 (0)	1 (0)	14 (01)	08 (01)	<b>25 (2)</b>
M AT	2 (0)	8 (0)	15 (01)	09 (02)	<b>34 (7)</b>
MIB	3 (0)	5 (03)	06 (01)	06 (02)	<b>20 (6)</b>
PHY	15 (0)	14 (02)	09 (03)	08 (03)	<b>46 (8)</b>
ST	7 (1)	15 (01)	18 (05)	02 (0)	<b>42 (7)</b>
<b>Total</b>	<b>75 (5)</b>	<b>104 (30)</b>	<b>116 (31)</b>	<b>66 (16)</b>	<b>361 (86)</b>

Soit un total de **361 (86)** dont :

- Professeurs **75 (5)**
- Maîtres de Conférences **104 (30)**
- Chargés de Cours **116 (31)**
- Assistants **66 (16)**

( ) = Nombre de Femmes **86**

## DÉDICACE

A

*Mes feu parents NAMEKONG Simon et KUETE Pauline, pour leurs cultures du travail et l'intégrité qu'ils m'ont inculqués dès le bas âge. J'aurais voulu que vous soyez là en ce moment, mais DIEU en a décidé autrement ; à lui soit la gloire.*

## REMERCIEMENTS

Je rends Grâce à DIEU Tout Puissant en Jésus-Christ qui m'a guidé et m'a donné les ressources spirituelles, morales et physiques pour mener à bien ce travail.

A l'issue de ce travail, je tiens très sincèrement à exprimer ma gratitude aux nombreuses personnes qui ont contribué à son aboutissement.

Je dis tout d'abord un grand merci au Professeur AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, mon Directeur de thèse. Son dévouement au travail, sa rigueur scientifique et sa simplicité ont été pour moi des éléments catalyseurs pour effectuer un travail rigoureux, notamment dans l'orientation et la recherche. Merci Professeur pour l'intérêt, la confiance et les encouragements que vous m'avez témoignés durant toutes ces années. J'éprouve à votre égard, un sentiment de profonde considération et une infinie gratitude.

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 importante de leur précieux temps pour apporter leurs observations pertinentes.

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, particulièrement, 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 et ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert. Aux Docteurs NOAH EWOTI Olive Vivien, TAMSA Antoine, TADU Zéphirin et MOUNGANG Marlyse.

Un grand merci au Docteur KAPSO TCHOUANKEP Mireille pour l'aide scientifique qu'elle m'a apportée durant ces travaux. Ma profonde reconnaissance va aussi à l'endroit de tous les aînés de laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, particulièrement aux Docteurs, TCHAKONTE Siméon, TUEKAM KAYO Raoul P., LONSTSI Chrétien, NYAMSI TCHATCHO Nectaire Lié, MADOMGUIA Diane, BIRAM à NGON Eric Belmont, MBOUOMBOUO Mama, CHINCHE Sylvie BELENFE, ASI QUIGGLE Atud, NGAKOMO ANANGA Rose Pulchérie, ENAH Dickson ACHUO, TENKEU Janvier et METSOKENG Claire Stéphane ; à messieurs DZAVI Jean, MVONDO Narcisse, OWONA EDOUA François Désiré, KOUEDEUM KOUPEO Eric, NGUEMA Cedric, NGONG Innocent ANKIAMBOM et POUNTOUGNIGNI Oumarou

Farikou ; à mesdames BANGA MEDJO Pascale, OKOA AMOUGOU Thérèse Nadège et MOUSSIMA YAKA Diane pour les conseils, les encouragements et le soutiens multiformes.

Un merci particulier à Monsieur FOTSEU KOUAM Arnold Landry pour m'avoir accompagné durant mes multiples descentes sur le terrain et pour avoir été là chaque fois que j'avais besoin de lui durant toute cette étude. Mes remerciements vont à l'endroit de tous mes camarades de la promotion « RESILIENCE » particulièrement ceux de l'option Hydrobiologie et Environnement. Il s'agit de : SOB NANGO Paul Bertrand, BOUDEM TSANE Cécile Rita, NANFACK DONGMO Rodrigue, MOANONO Patrick, TAYOU NENGNEM Blandine Laure et NWAHA Mathias qui ont su créer une atmosphère cordiale et m'apporter leur aide scientifique et matérielles chaque fois que besoin se faisait ressentir. Un merci aux Mesieurs ZOMBI Yanick, MESSOE WILLIAM, ACHA Yanick ACHA pour m'avoir accompagné dans les manipulations au laboratoire durant cette étude. Je remercie mes amis NKWAH Alfrede et BIEPI Hervé pour leurs chaleureux accompagnement et encouragement durant toute cette thèse.

Un merci chaleureux à tous les membres des associations : WISDOM NG à travers son leader Dr EZO'O Fabrice ; EMMAUS à travers ses leaders TSE Martial, DONFAMG Franck, TAKOU Mireille, DOWOO Duval, ABENDE Jacquie, YATIO Herman ; AMICALE DES CHERCHEURS pour l'ambiance, l'amour, la solidarité et la fraternité qui ont régné entre nous durant la rédaction de cette thèse. Merci surtout pour l'esprit d'équipe que nous avons su entretenir pendant toute cette période et que cela se poursuive pour le bien de tous.

Je remerci Mes tuteurs TANEGUE NAMEKONG Jeannine Claire et NGNINTEDEM Jean Pierre, pour leur complicité, les conseils de sages qu'ils ne cessent de me prodiguer depuis le bas âge et pour tous les sacrifices consentis à mon éducation.

Je dis merci à ma famille pour l'amour et le soutien multiforme qu'ils m'ont apportés : il s'agit de mes nièces KEUBANG Aurèlie Synthia, TSIA Nikaise et KUETE Laurina ; mes neveux SONKOUÉ Brayel et TSOKENG Arthur et de mes sœurs LONTSI Valentine, YONTA Honorine, TANGA Rosine, KONGANG Pélagie, TIMENE Nadège, KENNE Josiane et mes frères LACTIO Gustave, TIA TEDONGMO Herman, TSOMENE Jean Claude ainsi que tous les autres membres de la famille NAMEKONG.

A toutes ces nombreuses personnes qui de près ou de loin, ont contribué de quelques façons que ce soit à l'aboutissement de ce travail et que je n'ai pas pu citer, je leur adresse mes sincères remerciements. C'est grâce à vos efforts combinés que ce projet a vu le jour et j'espère sincèrement que chacun de vous trouvera ici une satisfaction profonde. Soyez-en bénis.

# SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE .....	i
DÉDICACE.....	x
REMERCIEMENTS .....	xi
LISTE DES FIGURES .....	xv
LISTE DES TABLEAUX .....	xviii
LISTE DES ANNEXES .....	xix
LISTE DES ABREVIATIONS.....	xx
RESUME .....	xxi
ABSTRACT .....	xxiii
INTRODUCTION.....	xxv
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	3
I.1 Généralités sur les milieux aquatiques .....	3
I.2 Pollution des milieux aquatiques .....	3
I.2.1 Pollution physique .....	3
I.2.2 Pollution chimique .....	4
I.2.3 Pollution biologique .....	4
I.3. Généralités sur les eaux usées.....	6
I.3.1 Origine .....	6
I.3.2 Eaux usées agricoles.....	6
I.3.3 Eaux usées domestiques .....	6
I.3.4 Eaux usées industrielles et artisanales .....	7
I.3.5 Eaux usées pluviales.....	7
I.4. Critères d'évaluation de la qualité des eaux .....	7
I.4.1 Variables physico-chimiques .....	7
I.5 Pollution biologique et origine des protozoaires pathogènes dans l'environnement .....	11
I.5.1. Sporozoaires.....	12
I.5.2. Protozoaires flagellés entéropathogènes.....	20
I.5.3. Amibes.....	23
I.5.4 Analyse de la viabilité des parasites.....	25
I. 6. Généralités sur la désinfection des eaux.....	27
I.6.1. Désinfectants synthétiques et physiques.....	28
I.6.2 Désinfectants naturels.....	30
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES .....	34
II.1. Zone d'étude .....	34

II.1.1 Situation géographique.....	34
II.1.2. Stations d'étude.....	36
II.2. Mesure des paramètres physico-chimiques .....	40
II.2.1 Paramètres physiques .....	40
II.2.2 . Paramètres chimiques.....	41
II.3 . Observation des kystes et oocystes des protozoaires .....	43
II.3.1. Méthode de sédimentation.....	43
II.3.2. Méthode par flottation au sulfate de zinc ou technique de Faust modifiée. ....	43
II.3.3 Coloration de Ziehl -Nielsen .....	44
II.3.4. Identification et dénombrement des kystes et des oocystes .....	44
II.3.5 Evaluation de la viabilité des kystes et des oocystes par coloration.....	45
II.4 Technique de traitement des eaux : protocole de manipulation .....	45
II.5 Analyse statistique des variables physicochimiques et biologiques .....	47
II.5.1 Corrélation de rang de Spearman (r).....	47
II.5.2 Tests H de Kruskal-Wallis.....	47
II.5.3 Analyse de Classification Hiérarchique (ACH).....	47
II.5.4 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	48
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	49
III.1. Résultats .....	49
III.1.1 Caractéristiques physicochimiques des échantillons bruts avant désinfection .....	49
III.1.2. Evolution des variables physicochimiques durant les différents tests .....	51
III.1.3. Description morphologique et évolution des variables biologiques avant l'application des désinfectants .....	77
III.2.4 Evolution des variables biologiques après l'application des désinfectants.....	82
III.1.5 Rendement de l'efficacité des différents désinfectants.....	112
III.1.6. Caractérisation statistique variables physico-chimiques et biologiques .....	116
III.2. Discussion .....	127
III.2.1 Caractéristiques physicochimiques des échantillons brutes.....	127
III.2.2 Caractéristiques morphologiques des kystes et oocystes identifié.....	128
III.2.3 Effets des désinfectant sur la viabilité des kystes et oocystes et physicochimique .....	129
III.2.4 Effets des différents désinfectants sur les paramètres biologiques.....	130
III.2.5 Hiérachisation des différents désinfectants utilisés et influence des variables considérées .....	132
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	133
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	134
LISTE DES ANNEXES .....	147

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Ultrastructure des Apicomplexa.....	13
<b>Figure 2</b> : Ultrastructure de <i>Cryptosporidium pavum</i> .....	15
<b>Figure 3</b> : Cycle de vie de <i>Cryptosporidium</i> spp... ..	16
<b>Figure 4</b> : Cycle biologique de <i>Cyclospora cayetanensis</i> .....	18
<b>Figure 5</b> : Cycle de développement de <i>Isospora belli</i> .....	19
<b>Figure 6</b> : Morphologie comparative des espèces d' <i>Isospora</i> spp. décrites.....	20
<b>Figure 7</b> : Cycle de développement de <i>Giardia intestinalis</i> .....	23
<b>Figure 8</b> : Cycle de développement d' <i>Entamoeba histolytica</i> .....	25
<b>Figure 9</b> : Structure de la Quercétine responsable de l'activité anti-parasitaire du Moringa .....	31
<b>Figure 10</b> : Schéma explicatif des différents noms en fonction des degrés d'hybridation du sulfate de calcium .....	31
<b>Figure 11</b> : Carte des points d'échantillonnage dans la ville de Yaoundé.....	37
<b>Figure 12</b> : Carte du point d'échantillonnage de la ville de Douala.....	38
<b>Figure 13</b> : Photos des stations d'échantillonnage .....	39
<b>Figure 14</b> : Photos des différents désinfectants utilisés .....	46
<b>Figure 15</b> : Photo du protocole expérimental .....	46
<b>Figure 16</b> : Courbes de la variation des Matières En Suspension en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	52
<b>Figure 17</b> : Courbes de la variation de la Couleur en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	54
<b>Figure 18</b> : Courbes de la variation de la Turbidité en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	56
<b>Figure 19</b> : Courbes de la variation du pH en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	58
<b>Figure 20</b> : Courbes de la variation de l'Alcalinité en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	60
<b>Figure 21</b> : Courbes de la variation de la Conductivité électrique avant et après chaque traitement .....	62
<b>Figure 22</b> : Courbes de la variation des Solides Totaux Dissous en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	64
<b>Figure 23</b> : Courbes de la variation du Potentiel d'oxydo-reduction en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	66
<b>Figure 24</b> : Courbes de la variation de la Salinité en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	68
<b>Figure 25</b> : Courbes de la variation de l'oxydabilité en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	70
<b>Figure 26</b> : Courbes de la variation des Nitrates en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	72

<b>Figure 27 :</b> Courbes de variation de l'Azote Ammoniacal en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	74
<b>Figure 28:</b> Courbes de variation des Orthophosphates en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	76
<b>Figure 29 :</b> Différents groupes (B) et espèces (A) de protozoaires identifiées pendant l'étude ....	78
<b>Figure 30:</b> Variation spatiale des oocystes de <i>Cryptosporidium</i> spp. (A) et <i>Cyclospora</i> spp.(B) avant l'application des désinfectants.....	78
<b>Figure 31 :</b> Variation spatiale des oocystes d' <i>Isospora</i> spp. (A) et <i>Sarcocystis</i> spp.(B) avant l'application des désinfectants.....	79
<b>Figure 32 :</b> Variation spatiale des kystes de <i>Giardia</i> spp.(A) et <i>Entamoeba histolytica</i> (B) avant l'application des désinfectants.....	80
<b>Figure 33:</b> Variation spatiale des kystes de <i>Entamoeba Coli</i> et <i>Balantidium Coli</i> avant l'application des désinfectants.....	81
<b>Figure 34 :</b> Variation du nombre d'oocystes de <i>Cryptosporidium</i> en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	85
<b>Figure 35:</b> Variation globale des oocystes de <i>Cryptosporidium</i> spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants (B).....	85
<b>Figure 36:</b> Photos de <i>Cryptosporidium</i> spp. observées.....	86
<b>Figure 37:</b> Variation du nombre d'oocystes de <i>Cyclospora</i> spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	88
<b>Figure 38 :</b> Variation globale des oocystes de <i>Cyclospora</i> spp. en fonction des concentrations et des désinfectants.....	89
<b>Figure 39:</b> Photos de <i>Cyclospora</i> spp. ....	89
<b>Figure 40:</b> Variation du nombre d'oocystes d' <i>Isospora</i> spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	92
<b>Figure 41:</b> Variation globale des oocystes d' <i>Isospora</i> spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants (B).....	92
<b>Figure 42 :</b> Photos de <i>Isospora</i> spp. [15-35µm] observées.....	93
<b>Figure 43:</b> Variation du nombre d'oocystes de <i>Sarcocystis</i> spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	96
<b>Figure 44 :</b> Variation globale des oocystes de <i>Sarcocystis</i> spp. en fonction des concentrations et des désinfectants (B).....	96
<b>Figure 45 :</b> Photos de <i>Sarcocystis</i> [12-16µmx10-12] observées.....	97
<b>Figure 46:</b> Variation du nombre de kystes de <i>Giardia</i> spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants.....	100
<b>Figure 47:</b> Variation globale des kystes de <i>Giardia</i> spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B).....	100
<b>Figure 48 :</b> Photos de <i>Giardia</i> spp.[10-15µmx10µm ] observées.....	101

<b>Figure 49:</b> Variation du nombre de kystes de <i>Entamoeba histolytica</i> en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	103
<b>Figure 50 :</b> Variation globale des kystes d' <i>Entamoeba histolytica</i> en fonction des concentrations (B) et des désinfectants (A) .....	104
<b>Figure 51 :</b> Photos de <i>Entamoeba histolytica</i> [10-15µm] observées .....	104
<b>Figure 52:</b> Variation du nombre de kystes de <i>Entamoeba coli</i> en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	107
<b>Figure 53 :</b> Variation globale des kystes d' <i>Entamoeba coli</i> en fonction des concentrations et des désinfectants .....	107
<b>Figure 54 :</b> Photos de <i>Entamoeba coli</i> [14-24µm] observées .....	108
<b>Figure 55:</b> Variation du nombre de kystes de <i>Balantidium coli</i> en fonction de la concentration des différents désinfectants .....	110
<b>Figure 56 :</b> Variation globale des oocystes de <i>Balantidium coli</i> en fonction des concentrations et des désinfectants (A) .....	111
<b>Figure 57 :</b> Photos de <i>Balantidium coli</i> [60µm] observées .....	111
<b>Figure 58:</b> Analyse de classification Hiérarchique montrant les similarités entre les stations d'échantillonnage.....	121
<b>Figure 59:</b> Analyse en composantes principales montrant les similarités entre les stations d'échantillonnage et les variables mesurées .....	122
<b>Figure 60 :</b> Dendogrammes présentant les affinités entre les désinfectants et les concentrations sur tous les effluents en fonction des variables physicochimiques et biologiques. 123	
<b>Figure 61 :</b> Analyse en composantes Principales montrant la caractérisation des concentrations En fonction des variables mesurées.....	123
<b>Figure 62 :</b> Dendogrammes présentant les affinités entre les désinfectants sur l'effluent de la Cité Universitaire (A), Hôpital Général (B), Camp Sic Messa (C), Bois de Singes (D) .....	125
<b>Figure 63 :</b> Représentation de la dispersion des variables biotiques et abiotiques (A) par les désinfectants étudiés (B) .....	126

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I</b>	: Description de quelques formes de résistance des coccidies.....	14
<b>Tableau II</b>	: Espèces de <i>Cryptosporidium</i> .....	16
<b>Tableau III</b>	: Description de quelques formes de résistance des flagellés intestinaux.....	21
<b>Tableau IV</b>	: Description de quelques formes de résistance des amibes intestinaux .....	23
<b>Tableau V</b>	: Classe, cible et mode d'action des différents désinfectants .....	28
<b>Tableau VI</b>	: Variation des paramètres physicochimiques mesurés avant la désinfection .....	50
<b>Tableau VII</b>	: Calcul du pourcentage (%) de viabilité des kystes et oocystes des différents effluents.....	81
<b>Tableau VIII</b>	: Taux d'abattement des différent, kystes et oocystes en fonction des différents désinfectants.....	113
<b>Tableau IX</b>	: Taux d'abattement (%) des différents désinfectants sur quelques variables physicochimiques .....	115
<b>Tableau X</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Chlorure de calcium .....	116
<b>Tableau XI</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'Ammoniac .....	117
<b>Tableau XII</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'hypochlorrite de sodium / Eau de Javel.....	117
<b>Tableau XIII</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Moringa.....	118
<b>Tableau XIV</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Moringa .....	118
<b>Tableau XV</b>	: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Gypse	119

## LISTE DES ANNEXES

<b>Annexe 1</b> : Physicochimie des échantillons traités au Gypse .....	147
<b>Annexe 2</b> : Biologie des échantillons traités au Gypse .....	149
<b>Annexe 3</b> : Physicochimie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée.....	151
<b>Annexe 4</b> : Biologie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée .....	152
<b>Annexe 5</b> : Physicochimie des échantillons traités à l'Eau de Javel .....	154
<b>Annexe 6</b> : Biologie des échantillons traités à l'Eau de Javel .....	156
<b>Annexe 7</b> : Physicochimie des échantillons traités au Chlorure de Calcium.....	158
<b>Annexe 8</b> : Biologie des échantillons traités au Chlorure de Calcium.....	159
<b>Annexe 9</b> : Physicochimie des échantillons traités au Moringa .....	161
<b>Annexe 10</b> : Biologie des échantillons traités au Moringa .....	163
<b>Annexe 11</b> : Physicochimie des échantillons traités à l'Ammoniac.....	164
<b>Annexe 12</b> : Biologie des échantillons traités à l'Ammoniac .....	166
<b>Annexe 13</b> : Correlations physicochimie-biologie des échantillons traités au Gypse .....	168
<b>Annexe 14</b> : Correlations physicochimie-biologie des échantillons traités au Moringa.....	169
<b>Annexe 15</b> : Corrélations physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Eau de Javel .....	169
<b>Annexe 16</b> : Correlations physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée .....	170
<b>Annexe 17</b> : Correlations physicochimie-biologie des échantillons traités au Chlorure de Calcium .....	171
<b>Annexe 18</b> : Correlations physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Ammoniac .....	1711

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ANSES</b>	:	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire alimentation, Environnement
<b>BRGM</b>	:	Bureau de Recherche Géologique et Minière
<b>BS</b>	:	Bois des Singes
<b>CDC</b>	:	Central Diseases Control
<b>CEAEQ</b>	:	Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec
<b>CM</b>	:	Camp sic Messa
<b>CU</b>	:	Cité Universitaire
<b>DAPI</b>	:	Di- Aminido Phenyl Indol
<b>FTU</b>	:	Formazine Turbidity Unit
<b>GPS</b>	:	Global Positioning System
<b>HG</b>	:	Hôpital Général
<b>INC</b>	:	Institut National de Cartographie
<b>IP</b>	:	Iodure de Propidium
<b>MES</b>	:	Matières en suspension
<b>OMS</b>	:	Organisation Mondiale de la Santé
<b>POR</b>	:	Potentiel d'Oxydo-Réduction
<b>Pt.Co</b>	:	Platinum -Cobalt
<b>RT-PCR</b>	:	Real Time Polymerase Chain Reaction
<b>SPSS</b>	:	Statistical Packages for Social Sciences
<b>TDS</b>	:	Total Dissolved Solids
<b>U.C</b>	:	Unité Conventiennelle
<b>USEPA</b>	:	United States Environmental Protection Agency
<b>USP</b>	:	Unité de Salinité Pratique

## RESUME

L'accès à l'eau potable demeure une très grande préoccupation en Afrique sub-saharienne, plus particulièrement dans les agglomérations où les populations sont confrontées à la pollution, à l'insuffisance d'hygiène, d'assainissement et au manque de méthodes appropriées de traitement à l'échelle familiale. De ce fait, l'intégration de procédés chimiques et biologiques de traitement des eaux pourrait être une alternative durable dans l'amélioration de la qualité des eaux de boisson et des eaux déversées dans l'environnement après usage. La présente étude menée de mars 2019 à septembre 2020 porte sur l'évaluation de l'efficacité de plusieurs désinfectants couramment utilisés (le Moringa, le Gypse, l'eau de Javel, le chlorure de calcium, l'ammoniac et de l'eau oxygénée) sur la résistance des formes de dissémination des protozoaires intestinaux dans les eaux usées d'origines diverses en mésocosme au laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement.

Quatre stations d'échantillonnage ont été retenues correspondant à trois types d'effluents (estudiantin, population mixte, hospitalière) pour cette étude soit trois dans la ville de Yaoundé (Cité Universitaire, Camp sic Messa et Hôpital Général) et une dans la ville de Douala (Bois des Singes). La première phase de cette étude qui a duré 05 mois (mars à juillet 2019) a consisté à des séries de tests sur plusieurs désinfectants à utiliser et la gamme de concentration appropriée. La deuxième phase quant à elle s'est déroulée de juillet 2019 à septembre 2020 et a consisté en des prélèvements des échantillons d'eaux usées dans des flacons stériles et leur transport au laboratoire en enceinte réfrigérée pour la quantification des kystes et oocystes de protozoaires à l'aide des protocoles standards. Sur le terrain, les échantillons ont été préalablement tamisés pour éliminer les macroparticules en suspension dans l'eau. Au laboratoire, les kystes et oocystes non viables ont été éliminés par aspiration grâce au pouvoir flottation du n-butanol, le culot obtenu a été soumis aux analyses parasitaires (Faust, sédimentation, Ziehl Nielsen).

Dans 07 Béchers différents (01 témoin et 06 tests) en ayant au préalable 100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L et 600mg/l, 500mL d'échantillons sont introduits. Les échantillons ont été par la suite homogénéisés dans le but de mettre en parfaite contact les désinfectants et les parasites. Ensuite, 5mL de culot ont été prélevés dans chaque échantillon, puis lavés à 2 reprises à l'eau distillée et au Thiosulfate de Sodium afin de neutraliser l'excès de désinfectant dans l'échantillon. Le suivi des paramètres physicochimiques et parasitologiques à différents temps de décantation a permis de déterminer les conditions optimales et d'évaluer l'efficacité des traitements. Il en ressort de ces tests qu'en fonction des caractéristiques abiotiques des eaux, les temps de décantation compris entre 24-36 h sont apparus suffisants pour éliminer la presque totalité des

Matières En Suspension et des colloïdes. Il ressort des analyses physicochimiques que les eaux usées étudiées sont faiblement basiques ( $7,04 \pm 0,7$  U.C), faiblement oxygénées ( $32,4 \pm 14$  %), ces eaux sont riches en Matières En Suspension ( $1233,5 \pm 309,7$  mg/L), en Colorées ( $9211 \pm 8131,3$  PtCo), et Turbides ( $2350 \pm 1117,8$  mg/L). L'analyse parasitologique quant à elle a permis d'identifier 8 espèces : *Cryptosporidium* spp. (17%), *Cyclospora* spp. (5%), *Isospora* spp. (1%), *Sarcocystis* spp. (17%), *Giardia* spp. (5%), *Entamoeba histolytica* (6%), *Entamoeba coli* (47%), *Balantidium coli* (2%).

Au cours du traitement, les faibles valeurs de certains paramètres physicochimiques tels que les teneurs en matières organiques biodégradables exprimée par l'oxydabilité et les valeurs élevées d'autres paramètres comme le pH, la conductivité électrique et des Solides Totaux Dissous ont facilité la réduction des parasites durant le traitement tandis que l'augmentation de la valeur d'autres paramètres physicochimiques tels que les Matières En Suspension, les Solides Totaux Dissous, la turbidité et la Couleur ont eu une action antagoniste. L'abattement parasitologique était en moyenne de l'ordre de 95 % pour *Isospora* spp., 89 % pour *Cryptosporidium* spp., 88 % pour *Cyclospora* spp. et 90 % pour les oocystes de *Sarcocystis* spp., 95% pour les kystes de *Giardia* spp., 96% pour les kystes de *Entamoeba histolytica*, 95,75% pour les kystes de *Entamoeba coli* et 98,5% pour les kystes de *Balantidium coli*.

L'efficacité de chaque désinfectant a varié en fonction de sa concentration et de la nature de l'effluent. Ainsi, l'Eau Oxygénée a agi en produisant les radicaux libres qui ont interagi avec les protéines membranaires et cytoplasmiques facilitant la destruction des kystes et oocystes, l'Eau de Javel a eu des effets semblables, le Gypse a agi en produisant les ions  $Ca^{2+}$  permettant une baisse du pH réduisant le contact avec la paroi kystique et la fragilise, le chlorure de calcium a agi au niveau de la membrane des kystes et des oocystes en détruisant les lipopolysaccharides, ce qui a facilité la perméabilité de la membrane et la rupture de cette dernière et le moringa agit en facilitant la précipitation et l'oxydation de la paroi kystique, ceci grâce au double pouvoir de la Quiercetine. Ces deux dernières ont montré plus d'efficacité que les autres désinfectants. Ces résultats montrent d'une part que les kystes et oocystes des protozoaires intestinaux sont plus résistants aux désinfectants couramment utilisés (Eau de Javel, l'Eau Oxygénée ect) et d'autre part, que le traitement des eaux brutes avec l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* qui est moins toxique que les autres désinfectants améliorent considérablement la qualité des eaux.

Mots clés : eaux usées, traitement, kystes et oocystes de protozoaires, désinfectants, viabilité

## ABSTRACT

Access to safe drinking water remains a major concern in sub-Saharan Africa, especially in urban areas where populations are confronted with pollution, poor hygiene, inadequate sanitation and lack of appropriate treatment methods at the household level. Therefore, the integration of chemical and biological water treatment processes could be a sustainable alternative in improving the quality of drinking water and water discharged into the environment after use. The present study conducted from March 2019 to September 2020 focuses on the evaluation of the efficiency of several commonly used disinfectants (Moringa, Gypsum, Bleach, Calcium Chloride, Ammonia and Hydrogen Peroxide) on the resistance of intestinal protozoan dissemination forms in wastewater of various origins in a mesocosm at the Hydrobiology and Environment laboratory.

Four sampling stations were selected corresponding to three types of effluent based on their origin (student, mixed population, hospital) for this study: three in the city of Yaoundé (Cité Universitaire, Camp des Messas and Hôpital Général) and one in the city of Douala (Bois de Singes). The first phase of this study which lasted 5 months (March to July 2019) consisted of a series of tests on several disinfectants to be used and the appropriate concentration range. The second phase, which took place from July 2019 to September 2020, consisted of taking wastewater samples in sterile bottles and transporting them to the laboratory in a refrigerated chamber for the quantification of protozoan cysts and oocysts using standard protocols. In the field, samples were pre-sieved to remove microparticles suspended in the water. In the laboratory, non-viable cysts and oocysts were removed by aspiration using the flotation power of n-butanol, and the resulting pellet was subjected to parasitological analysis (Faust, sedimentation, Ziehl Nielsen).

In 07 different beakers (01 control and 06 tests) with 100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L and 600mg/l, 500mL of samples were introduced. The samples were then homogenised in order to bring the disinfectants and parasites into perfect contact. Then 5mL of the pellet was taken from each sample and washed twice with distilled water and sodium thiosulphate in order to neutralise the excess disinfectant in the sample. The monitoring of physicochemical and parasitological parameters at different decantation times made it possible to determine the optimal conditions and to evaluate the efficiency of the treatments. These tests showed that, depending on the abiotic characteristics of the water, settling times of between 24-36 h appeared to be sufficient to eliminate almost all the suspended matter and colloids. The physicochemical analysis showed that the wastewater studied is weakly basic ( $7.04 \pm 0.7$  U.C), weakly oxygenated ( $32.4 \pm 14\%$ ), rich in suspended matter ( $1233.5 \pm 309.7$  mg/L), colour ( $9211 \pm 8131.3$  PtCo) and turbidity ( $2350 \pm 1117.8$

mg/L). The parasitological analysis identified 8 species (*Cryptosporidium* spp. 17%, *Cyclospora* spp. 5%, *Isospora* spp. 1%, *Sarcocystis* spp. 17%, *Giardia* spp. 5%, *Entamoeba histolytica* 6%, *Entamoeba coli* 47%, *Balantidium coli* 2%).

During the treatment, the decrease of some physicochemical parameters such as biodegradable organic matter content expressed by oxidability and the increase of other parameters such as pH, electrical conductivity and Total Dissolved Solids facilitated the reduction of parasites during the treatment while the increase of other physicochemical parameters such as Suspended Solids, Total Dissolved Solids, turbidity and Colour had an antagonistic action. Parasitological removal was on average 95% for *Isospora* spp. 89% for *Cryptosporidium* spp. 88% for *Cyclospora* spp. and 90% for *Sarcocystis* spp. oocysts, 95% for *Giardia* spp., 96% for *Entamoeba histolytica*, 95.75% for *Entamoeba coli* and 98.5% for *Balantidium coli* cysts. The efficiency of each disinfectant varied according to its concentration and the nature of the effluent. Thus, oxygenated water acted by producing free radicals which interacted with membrane and cytoplasmic proteins facilitating the destruction of cysts and oocysts, bleach had similar effects, gypsum acted by producing Ca<sup>2+</sup> ions allowing a drop in pH reducing contact with the cystic wall and weakening it, Calcium chloride acted on the membrane of cysts and oocysts by detrusing lipopolysaccharides which facilitated membrane permeability and rupture, and moringa acted by facilitating the precipitation and oxidation of the cystic wall, due to the double power of Quercetin. Out of disinfectants, Calcium chloride and moringa showed more efficiency. These results showed on the one hand that cysts and oocysts of intestinal protozoa are more resistant to commonly used disinfectants (bleach, hydrogen peroxide, etc.) and on the other hand that the treatment of raw water with the aqueous extract of the leaves of *Moringa oleifera*, which is less toxic than other disinfectants, considerably improves the quality of the water.

Key words : wastewater, treatment, protozoan cysts and oocysts, disinfectants, viability

# **INTRODUCTION**

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie. Elle est nécessaire à l'homme pour couvrir ses besoins alimentaires et pour les activités agro-pastorales et industrielles. La qualité de l'eau et sa disponibilité préoccupent les communautés locales et l'opinion internationale, puisque de récentes études scientifiques font état d'un réseau hydrographique mondial menacé par la pollution (Ugwu *et al.*, 2017). La croissance démographique exponentielle que connaissent les pays en développement et leurs conditions économiques difficiles entraînent une urbanisation anarchique difficilement contrôlable (Chippaux *et al.*, 2002) et un approvisionnement difficile en eau potable (Aït Boughrou, 2007). Dans le monde, les parasitoses intestinales constituent un sérieux problème de santé publique. Il a été estimé que plus de trois milliards de personnes sont infestées par les parasites intestinaux dans le monde (Keiser et Utzinger, 2010). Ces parasitoses intestinales, généralement provoquées par les helminthes et les protozoaires intestinaux, restent fréquentes surtout dans les pays à hygiène précaire au rang desquels le Cameroun.

Dans la majorité des métropoles camerounaises, les eaux usées d'origines diverses sont déversées directement dans la nature sans traitement préalable, ceci en raison de l'absence ou du dysfonctionnement des stations d'épuration existantes (Kengne *et al.*, 2020 Tchakonté, 2016). Le traitement des déchets en général et des eaux usées en particulier constitue aujourd'hui, une question environnementale très préoccupante. En effet, dans les pays en développement, les systèmes d'évacuation et d'assainissement des eaux usées sont dramatiques (Montagero *et al.*, 2002). Ces eaux usées sont souvent collectées et déversées dans la nature sans traitement préalable, entraînant la contamination des écosystèmes aquatiques. Or, ces eaux usées non traitées ou mal traitées, constituent des polluants présentant un risque pour la santé publique, les eaux destinées à la consommation et pour les eaux superficielles ainsi qu'une menace à l'équilibre écologique (OMS, 2014). Face à cette situation, la communauté urbaine a opté pour des systèmes d'assainissement de type conventionnel (boues activées, lits bactériens), souvent inadaptés à cause du coût très élevé des installations et des équipements, de l'absence de techniciens qualifiés pour assurer la maintenance, d'où le délabrement du matériel, la surcharge et l'abandon des ouvrages (Nya *et al.*, 2002). Ainsi, l'usage des désinfectants chimiques et biologiques pourrait être un moyen pour la clarification de ces eaux. L'élimination des matières en suspension et la réduction de la matière organique sont des objectifs souvent assurés au cours du procédé conventionnel de la clarification. La coagulation-floculation conditionne le reste du traitement et elle permet, par un processus physico-chimique comprenant l'ajout de sels métalliques (sulfate d'aluminium et de fer) dénommés coagulant. Ces composés font agglomérer les suspensions colloïdales présentes dans

les eaux qu'ils soient d'origine organique ou minérale (Masschelein, 1996) et les particules plus importantes qui sont aptes à sédimenter. Or de nombreuses maladies hydriques sont contractées lors de la consommation des eaux mal traitées, ceci dû à la résistance que présentent certains pathogènes comme les kystes et oocystes des protozoaires intestinaux. Vu l'importance grandissante de la place de la cryptosporidiose dans la pathologie néonatale des jeunes ruminants (Bourgouin, 1996) et l'absence d'un traitement thérapeutique spécifique efficace (Chartier, 2000), ont conduit certains chercheurs à orienter beaucoup plus leur lutte en utilisant des moyens sanitaires que thérapeutiques. Ainsi, plus d'une cinquantaine de substances chimiques ont été testées contre les cryptosporidies aussi bien en médecine vétérinaire qu'humaine (Akam, 2004) sans donner toutefois des résultats encourageants. De plus aux États-Unis, l'estimation des oocystes totaux retrouvés dans les eaux de surface impose les niveaux d'enlèvement et de désinfection aux traiteurs d'eaux. Les coûts additionnels attribués aux ajustements de traitement ont été estimés entre 92 à 133 millions de dollars par année (USEPA, 2005).

De nombreuses études ont déjà été faites sur ces différents groupes d'organismes en Afrique tropical. Au Cameroun de nombreux travaux menés sur les formes de résistances des protozoaires intestinaux ne se sont focalisés que sur leur dynamique dans les différents milieux aquatiques (Ajeegah *et al.*, 2007 ; Ajeegah *et al.*, 2017, Asi *et al.* 2020, Mbouombouo *et al.*, 2020, Asi *et al.*, 2021).

Toutefois, peu d'études se sont intéressées à la recherche des facteurs favorables à la résistance des protozoaires, notamment les doses des désinfectants qui pourraient réduire au maximum leur présence dans l'eau, ainsi que les variables physicochimiques qui pourraient influencer l'action de ces désinfectants. Cette étude a été menée avec pour objectif général d'évaluer l'impact des désinfectants commercialisés sur les formes de résistances des protozoaires intestinaux en milieu aquatique. Il s'est agit plus précisément de déterminer la qualité physicochimique des eaux usées échantillonnées avant et après traitement ; déterminer l'abondance des protozoaires intestinaux identifiés dans ces différents échantillons ; de tester les désinfectants sur les formes de résistance récoltés ainsi que leurs efficacités sur leur abattement et déterminer l'influence des paramètres physicochimiques sur la désinfection.

La présente thèse comprend trois chapitres dont le premier traite de la revue de la littérature, le deuxième présente le matériel et les méthodes utilisés, le troisième chapitre fait état des résultats et de la discussion, suivi d'une conclusion, des recommandations et des perspectives.

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

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

Le milieu aquatique constitue le plus vaste des habitats de la planète. Il joue trois rôles principaux : le rôle de réservoir d'eau, de biodiversité et le rôle de matière. Le milieu aquatique est subdivisé en eaux superficielles et eaux souterraines incluant le milieu interstitiel. Les eaux superficielles comprennent les mers, les océans et les eaux continentales. A l'exception des glaciers non directement utilisables, les eaux souterraines représentent le plus grand réservoir d'eau douce mondial renfermant près de 98 % des eaux douces continentales directement mobilisables (Gilbert *et al.*, 2004). Composante essentielle du cycle de l'eau (Castany, 1988) et de la dimension verticale des hydrosystèmes fluviaux, les eaux souterraines assurent d'importantes fonctions hydrologiques (régulations des régimes hydrologiques des cours d'eau) et écologiques (échanges, d'énergie, d'organismes et de matière) dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Ward, 1998 ; Ward *et al.*, 2000 ; Malard *et al.*, 2003).

Les milieux aquatiques sont essentiels au maintien des activités humaines et aux processus écologiques qui y soutiennent la vie. Cependant, ces milieux sont soumis à des perturbations anthropiques qui sont la cause de leur pollution et leur dégradation (Devidal *et al.*, 2007).

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

La pollution est une altération d'une ou de plusieurs caractéristiques physico-chimiques ou biologiques d'un milieu (Allouche *et al.*, 1999). Pour les milieux aquatiques, elle consiste à jeter, déverser ou laisser écouler dans les cours d'eau directement ou indirectement, des substances quelconques à caractères nocifs pour les organismes vivants et dégradants pour la qualité du milieu. Les formes de pollution peuvent être regroupées en trois grandes catégories qui prennent en compte la nature des polluants. Il s'agit de la pollution physique, la pollution chimique et la pollution biologique (Abdelmadjid, 2006).

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

La pollution physique concerne tous les apports de nature physique susceptibles de dégrader la qualité des eaux. Les agents concernés sont entre autres la température, les matières solides en suspension, la couleur ou la transparence de l'eau et la radioactivité. Les eaux usées d'origine diverses chargées de matières en suspension responsables d'une pollution organique, augmentent la turbidité de l'eau, diminuent sa transparence et réduisent le pouvoir de pénétration de la lumière (Leynaud et Vernel, 1980).

### **1.2.2 Pollution chimique**

La pollution chimique est liée à un apport de substances nocives qui sont déversées accidentellement ou de façon consciente dans les écosystèmes. Ces substances peuvent être des éléments dissous en solution comme les sulfates, les chlorures, le calcium, le magnésium, le potassium, le fluor, les formes d'azote et surtout les métaux lourds (Bouziane, 2000). Ces derniers constituent des éléments ne pouvant pas être dégradés biologiquement. La pollution chimique des eaux est liée aux activités agricoles, industrielles et est responsable des risques sanitaires à moyen et long terme pour les consommateurs (Kreisel, 1991). Les eaux contiennent parfois des substances dissoutes qui altèrent considérablement certaines caractéristiques tels que la couleur, le pH, la Demande Chimique en Oxygène, la Température et la Dureté.

### **1.2.3 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 autres pathogènes constituent des contaminants particuliers des milieux aquatiques. Ces contaminants biologiques 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 ou des eaux industrielles. Dans les eaux souterraines, l'abondance des microorganismes est à la fois tributaire des conditions physicochimiques 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). Mais, la pression anthropique de plus en plus poussée en zones urbaines tend à dépasser la capacité de l'environnement à s'auto-épurer. C'est le cas dans la plupart des grandes métropoles. En effet, en moins d'un siècle, la population de la ville de Yaoundé et Douala est passée de quelques milliers à plusieurs millions d'habitants (Youmbi Tabué *et al.*, 2009). En effet, la population de Yaoundé a doublé d'une décennie à une autre à cause du taux d'accroissement élevé, qui oscille entre 7 et 10% par an. Hormis la croissance naturelle (variant entre 2,8% et 3,3%) résultant de la dynamique de la fécondité et de la mortalité, c'est principalement à l'immigration que la capitale politique du Cameroun doit sa croissance démographique.

En plus de la croissance démographique, Yaoundé est une ville à croissance spatiale rapide. En deux décennies, sa superficie s'est multipliée par quatre, celle de l'espace urbanisé a varié de 1740 ha en 1980 à 15900 ha en 2001 (Youmbi Tabué *et al.*, 2009). Cette forte urbanisation s'est étendue même aux espaces inconstructibles comme les marécages inondables, les fonds de vallées, et les pentes à plus de 15%.

La production des déchets connaît également une augmentation considérable. En effet, la pollution urbaine résulte des rejets d'eaux usées, des déchets domestiques non traités ou des débordements des réseaux d'égouts. Les rejets urbains proviennent des différents usages domestiques de l'eau tels que les eaux ménagères provenant des salles de bains, des cuisines ; des eaux de lavages chargées de détergents ; de graisses, de solvant et de débris organiques ; les eaux vannes provenant des toilettes chargées de matières organiques azotées et de germes fécaux. A ces principaux rejets s'ajoutent les rejets industriels, commerciaux et artisanaux ainsi que les eaux pluviales, lessivant les toits et le bitume chargées en produits minéraux et organiques.

Le taux de couverture en assainissement liquide au Cameroun varie considérablement en fonction des sources utilisées. Il s'agit d'un système qui englobe la collecte, le transport et le traitement des excréta, des eaux vannes, des eaux grises et des eaux industrielles (MINEE, 2011). Les infrastructures font référence aux équipements d'assainissement individuel améliorés, tels que les latrines raccordées à une fosse septique ou à un réseau d'égouts ; et aux équipements d'assainissement semi-collectif et collectif (traitement par boue activée ou lagunage). Trois types de réseaux constituent le système d'assainissement pluvial : le réseau primaire constitué par les cours d'eau, le réseau secondaire composé par des caniveaux construits le long des voiries urbaines qui transportent les eaux de pluie vers le réseau primaire, et le réseau tertiaire constitué de rigoles construites dans les parcelles privées.

Devant la difficulté de faire remonter les déchets vers les voies principales, des services de pré-collecte des déchets ont été mis en place par des associations de quartiers. Il s'agit de collecter contre paiement les déchets des ménages situés dans des zones à accès réduit, et de les regrouper au niveau d'un site desservi par la société Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM) (Wéthé *et al.*, 2003). Les populations éloignées de l'ensemble du circuit de collecte jettent leurs déchets dans des caniveaux destinés à la collecte des eaux pluviales quand ils existent, ou dans le plan d'eau le plus proche.

### **I.3. Généralités sur les eaux usées**

#### **I.3.1 Origine**

Une eau est considérée comme « usée » lorsque son état et sa composition sont modifiés par les actions anthropiques, de manière à ce qu'elle soit difficilement utilisable pour tous ou pour certains usages, auxquels elle devrait servir à l'état naturel. De manière générale, une eau usée encore appelée eau résiduaire est une eau qui a subi une détérioration après usage (Kengne, 2008). D'après Rodier *et al.* (2009), On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et des eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. Suivant l'origine des substances polluantes on distingue quatre catégories d'eaux usées (Bekouche et al., 2016).

#### **I.3.2 Eaux usées agricoles**

L'intensification de l'agriculture s'accompagne fréquemment d'une augmentation de l'érosion des sols, d'une augmentation des charges sédimentaires dans l'eau et d'une utilisation excessive (ou abusive) d'intrants agricoles (les pesticides et les engrais par exemple) afin d'augmenter la productivité. Lorsque l'utilisation de tels produits dépasse la capacité d'assimilation des systèmes agricoles, elle entraîne une augmentation de la charge de polluants dans l'environnement. L'utilisation excessive de l'eau d'irrigation augmente également les flux retours d'eaux usées d'origine agricole dans les masses d'eau sous la forme de percolation profonde en direction des aquifères et de ruissellement vers les eaux de surface.

#### **I.3.3 Eaux usées domestiques**

Elles sont constituées d'une part des eaux vannes encore appelées « eaux noires » issues des toilettes et chargées des matières organiques azotées, de germes fécaux, des parasites, des virus et d'autre part des eaux grises provenant des ménages (lavabo, lessiveuse, baignoire, ...) et des rejets issus essentiellement des activités ménagères. Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protéides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ; des eaux contenant

principalement des détergents ; des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ; des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganismes.(FAO, 2003). Les eaux usées domestiques sont porteuses de pollution organique (Mizi, 2006)

### **I.3.4 Eaux usées industrielles et artisanales**

Les déchets industriels sont ceux caractéristiques de l'activité industrielle. Dans l'industrie, l'eau peut être utilisée à diverses fins. Elle peut participer au processus industriel proprement dit, être utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets, pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures (Miss, 2017). Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. (Rodier, 2009)

### **I.3.5 Eaux usées pluviales**

Elles peuvent, aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air, puis, en ruisselant ce dernier transporte la matière organique et des nombreux parasites.

## **I.4. Critères d'évaluation de la qualité des eaux**

### **I.4.1 Variables physico-chimiques**

#### **I.4.1.1 Température et Matières en suspension**

La température de l'eau (°C), est un paramètre essentiel dans la caractérisation de la qualité de l'eau. Elle affecte la densité et la viscosité de l'eau, la solubilité des gaz et en particulier de l'oxygène, ainsi que la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (Hecky, 2000). Par ailleurs, la température de l'eau croît proportionnellement avec la profondeur (Ginet et Decou, 1977). Le métabolisme et le taux de croissance dans un environnement ne sont optimaux que lorsque les organismes se trouvent à une température appropriée ; celle-ci est variable selon les espèces. Le métabolisme et le taux de croissance sont réduits par de grandes amplitudes thermiques (Bouyer, 2008 ; Thomas, 2012). Les températures élevées de l'eau

(comprises entre 25 et 37°C) stimulent la croissance des microorganismes qui, par l'intermédiaire des déchets métaboliques, affectent les caractères organoleptiques de l'eau, notamment le goût et la couleur (OMS, 2004).

Les Matières en Suspension (MES) varient avec le type de bassin versant, la nature des terrains traversés, la saison et les apports éventuels des effluents (Rodier, 1996). La turbidité augmente avec les MES ; elle réduit la quantité de lumière qui pénètre dans la colonne d'eau et par conséquent, diminue la productivité des végétaux autotrophes planctoniques (Dajoz, 2000). Les MES peuvent diminuer les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à l'aération de l'eau et ralentir son épuration. La teneur et la composition en matières minérales et organiques des eaux souterraines sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie et des rejets. La turbidité est liée à la présence de particules diverses, d'argile, de colloïdes et du plancton. Elle peut être favorisée par la pluviométrie.

#### **I.4.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH) et Salinité**

Le potentiel d'hydrogène (pH) de l'eau indique son degré d'acidité ou d'alcalinité (Chapman *et al.*, 1996). Le pH est l'un des premiers indicateurs d'une altération chimique de la qualité des eaux. Il varie avec la nature géologique du lit et du bassin versant, celle des apports d'effluents industriels ou domestiques, mais aussi avec l'activité biologique (Jullian *et al.* 2005). Ses variations sont inversement proportionnelles à la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> dissous. 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).

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 (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) et anions (Cl<sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 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 préférendum (hormis les espèces euryhalines supportant de grandes amplitudes de salinité) (Foussard et Etcheber, 2011). Si la salinité varie, la survie des organismes sera fonction de leur tolérance.

#### **I.4.1.3 Conductivité électrique et Potentiel d'oxydo-réduction (POR)**

La conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et les solides totaux dissous (TDS en  $\text{mg}/\text{L}$ ), sont des variables chimiques et physiques qui renseignent sur le degré de minéralisation du milieu (Bazin, 1996). La pollution des eaux se traduit par une augmentation de la conductivité et des TDS et donc, une augmentation de la teneur en sels dissous (Zébazé Togouet, 2004). La conductivité électrique est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous, et sa mesure constitue une bonne indication du degré de minéralisation d'une eau.

Le potentiel d'oxydo-réduction, ou potentiel rédox d'une eau (POR en millivolts (mV)), est une mesure qui indique le degré auquel certaines concentrations ioniques dans l'eau peuvent oxyder ou réduire d'autres substances ioniques ou non. Une mesure positive du potentiel rédox de l'eau indique que cette eau est un agent oxydant. Plus la mesure est élevée, plus l'eau est oxydante. Une mesure négative du potentiel rédox de l'eau indique que cette eau est un agent réducteur (Rodier *et al.*, 2009). Il existe dans la nature des zones polluées par l'évacuation de certains déchets dans l'environnement ou à proximité de certaines usines par exemple. Afin de déterminer l'origine et donc de localiser la source de cette pollution, il est parfois nécessaire d'étudier les « zones d'accepteurs d'électrons », qui sont un véritable traçage du gradient de pollution. En effet, selon l'éloignement de la source polluante, on observe différents paliers de pollution en fonction des microorganismes présents et pouvant être mesurés par le potentiel redox dans chacun de ces paliers (APHA, 2005). Le potentiel redox varie en fonction des microorganismes présents ; plus on s'éloigne de la source de pollution, plus on note la présence d'accepteurs d'électrons. Le potentiel redox augmente donc en s'éloignant de la source polluante (ou diminue en se rapprochant de celle-ci) (Pankow et James, 1991).

#### **I.4.1.4 Nitrates, Nitrites, Azote ammoniacal et Orthophosphates**

Dans les hydrosystèmes, l'azote se trouve sous formes d'azote organique, d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), 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 urbains et industriels, le rejet d'eaux usées domestiques et le 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 Njiné, 1991). La teneur en nitrates croît généralement de la source à l'embouchure d'un cours d'eau avec un processus d'enrichissement par des apports latéraux successifs et une accumulation des matières organiques endogènes progressivement minéralisées.

Les orthophosphates ou « phosphore réactif » représentent la forme de phosphore biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Une concentration élevée en orthophosphates dans les eaux naturelles est l'indice d'une pollution par les eaux vannes et effluents industriels contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques (INRA, 2005). Les fortes teneurs en orthophosphates entraînent généralement des blooms algaux avec pour conséquence une réduction de l'éclairement dans la colonne d'eau, l'anoxie nocturne, les variations diurnes de pH et à long terme, l'eutrophisation (Devidal *et al.*, 2007). Le dosage des orthophosphates, forme de phosphore directement assimilable par les organismes, permet d'apprécier le degré de pollution des eaux. L'enrichissement actuel des eaux souterraines en phosphate résulte de l'utilisation des engrais phosphatés et des détergents phosphatés. Ginet et Decou (1977) tendent à lier l'accroissement des teneurs en phosphore à la dégradation de la qualité des eaux souterraines puisque l'ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ne représente qu'une faible partie du phosphore total des eaux souterraines, la majeure partie étant associée aux matières en suspension et aux matières organiques dissoutes.

#### **I.4.1.5. Oxydabilité**

L'oxydabilité (mg/L d' $\text{O}_2$ ) 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.4.1.6. Alcalinité et oxygène dissous**

L'alcalinité (mg/L) d'une eau ou Titre Alcalimétrique Complet (TAC) correspond à la présence d'ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), d'ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ). Plus il y'en a, plus l'eau est alcaline, moins il y'en a, plus elle est acide. La dureté de l'eau

dépend de la teneur en calcium et en magnésium de l'eau. Les variations de cette composante sont à rapprocher de celles des degrés de minéralisation des eaux, d'oxydation des composés organiques et de la teneur en anhydre carbonique (Levêque et Balian, 2005). Les eaux provenant des terrains calcaires et surtout des terrains gypseux présentent des duretés très élevées, tandis que celles qui s'écoulent sur les terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux affichent des duretés très faibles (Rodier, 1996).

L'oxygène dissous (mg/L ou % de saturation) est une variable aussi bien chimique que biologique dont la teneur a une signification propre relative à la qualité biologique du support aqueux. Les conditions d'équilibre écologique normales exigent un minimum de saturation en oxygène de 75%, la situation devenant critique en deçà de 50% (Foto Menbohan et Njiné, 1991). Rodier (1996) souligne que la teneur en oxygène dissous varie de façon subsidiaire avec celles des matières organiques fermentescibles, des hydrocarbures ainsi qu'avec le nombre d'organismes et de germes aérobies.

La teneur en O<sub>2</sub> 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 (Gibert *et al.*, 2004). A côté de ces paramètres physico-chimiques qui permettent d'évaluer la qualité de l'eau, il existe des communautés biologiques depuis les macroinvertébrés aux bactéries en passant par les protozoaires et le phytoplancton inféodées aux milieux aquatiques qui permettent également d'apprécier de façon pertinente l'état de santé des hydrosystèmes.

### **I.5 Pollution biologique et origine des protozoaires pathogènes dans l'environnement**

Les protozoaires ("protozoa" du grec ancien *proto*= premier et *zoa*= animal) sont des organismes eucaryotes unicellulaires hétérotrophes. De taille généralement microscopique, les protozoaires colonisent tous les milieux aquatiques (eaux douces, saumâtres, salées) et le milieu biologique. Ils sont hétérotrophes et ingèrent leur nourriture par phagocytose ou au moyen d'un cytopharynx. Ceux de nature parasite ou commensaux survivent dans l'environnement grâce aux formes de résistance qu'ils développent, notamment des kystes, d'oocystes et de sporocystes qui assurent leur dissémination et leur permet de résister aux différents stress environnementaux (Petithory *et al.*, 1998). Les protozoaires peuvent être répartis en quatre sous-embranchements à savoir : les Actinopodes caractérisés par leurs pseudopodes filiformes et rayonnants, les Ciliés ou infusoires qui possèdent des cils locomoteurs répartis suivant des

stries ; les Sporozoaires qui sont des parasites intracellulaires ne présentant pas d'organes locomoteurs différenciés et les Sarcocystidophora qui possèdent des pseudopodes ou des flagelles, ou l'un et l'autre successivement.

Les protozoaires entériques sont des parasites souvent présents dans l'intestin des humains et d'autres mammifères. Comme les bactéries et les virus entériques, ils peuvent se retrouver dans l'eau à la suite d'une contamination directe ou indirecte par les fèces d'humains ou d'autres animaux. Ces microorganismes sont transmissibles par l'eau potable ; ils ont été mis en cause dans plusieurs éclosions de maladies d'origine hydrique en Amérique du Nord et ailleurs dans le monde (Schuster *et al.*, 2005 ; Karanis *et al.*, 2007 ; Baldursson et Karanis, 2011). La capacité de ce groupe de microorganismes à produire des kystes et des oocystes extrêmement résistants aux stress environnementaux et aux désinfectants à base de chlore couramment utilisés a favorisé leur propagation et a renforcé leur pouvoir pathogène.

### **I.5.1. Sporozoaires**

Les Apicomplexa ou Sporozoaires sont des protozoaires, tous parasites des métazoaires, dont ils colonisent les cellules ou tissus épithéliales, sanguins ou digestifs. Ils sont dépourvus d'appareils locomoteurs à l'état adulte (figure1).

#### **I.5.1.1 Systématique des sporozoaires (Lacos, 2009)**

**Embranchement** : Apicomplexa ;

**Classe** : Conoidasida ;

**Sous classe** : Coccidiasina ;

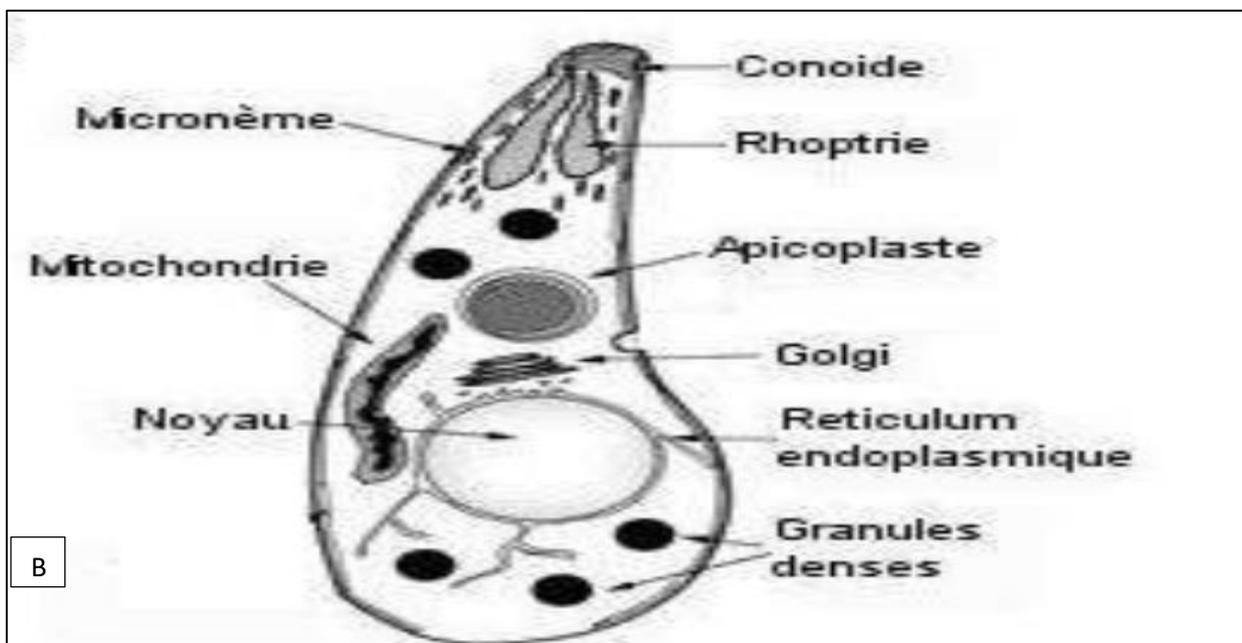
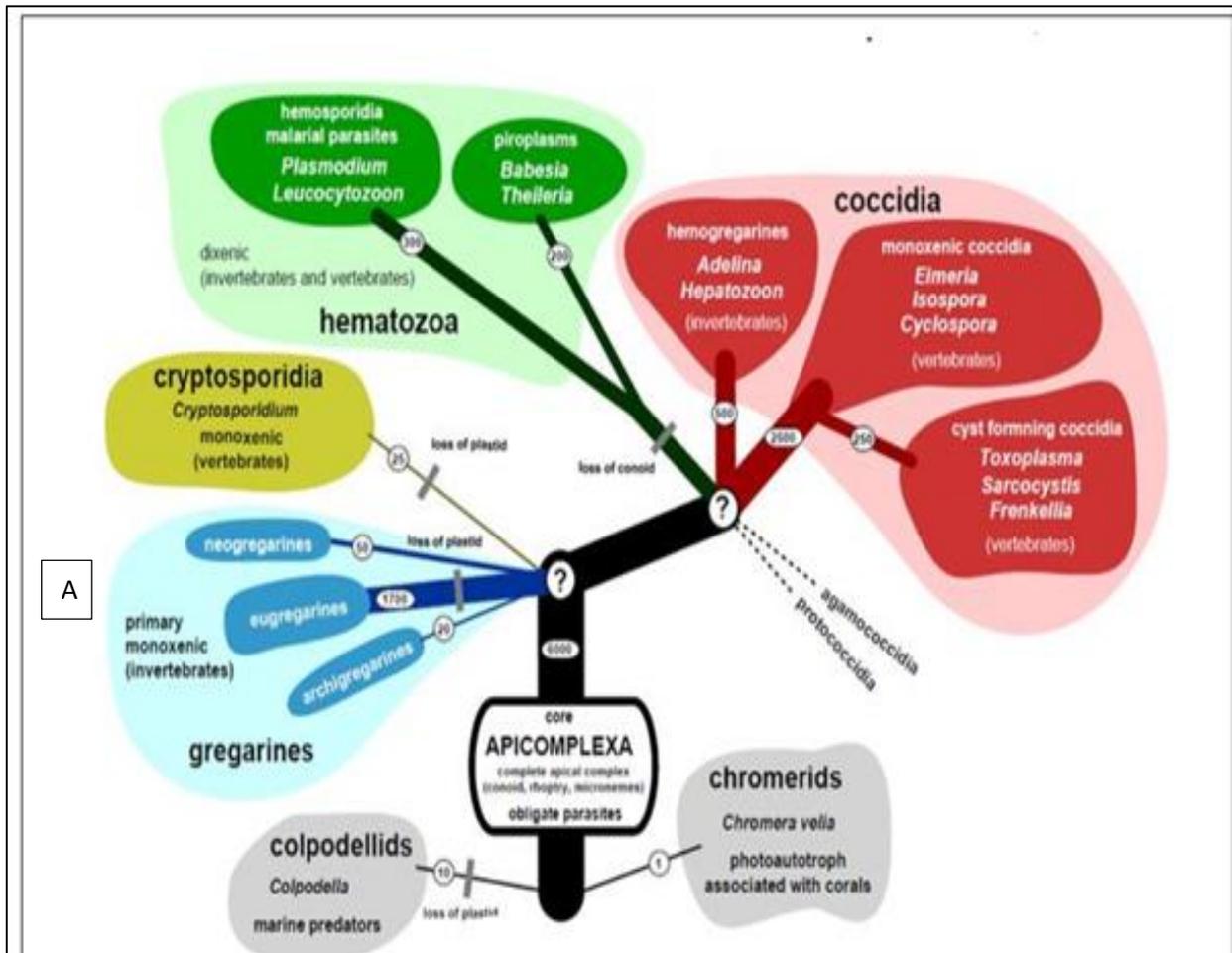
**Ordre** : Eucoccidiorida ;

**Sous ordre** : Eimeriorina ;

**Familles** : Cryptosporidiidae ; Eimeriidae ; Sarcocystidae ;

**Genres** : *Cryptosporidium* ; *Cyclospora* ; *Isospora* ; *Sarcocystis* ;

**Espèces** : *Cryptosporidium parvum* ; *Cyclospora cayetanensis* ; *Isospora belli* ; *Sarcocystis hominis*.



**Figure 1** :Ultrastructure des Apicomplexa : A= Systematique, B= Adulte (Hayette, 2017).E : 1/0,006

## I.5.1.2. Morphologie et cycle de développement de quelques sporozoaires entéroparasites

### I.5.1.2.1 Morphologie

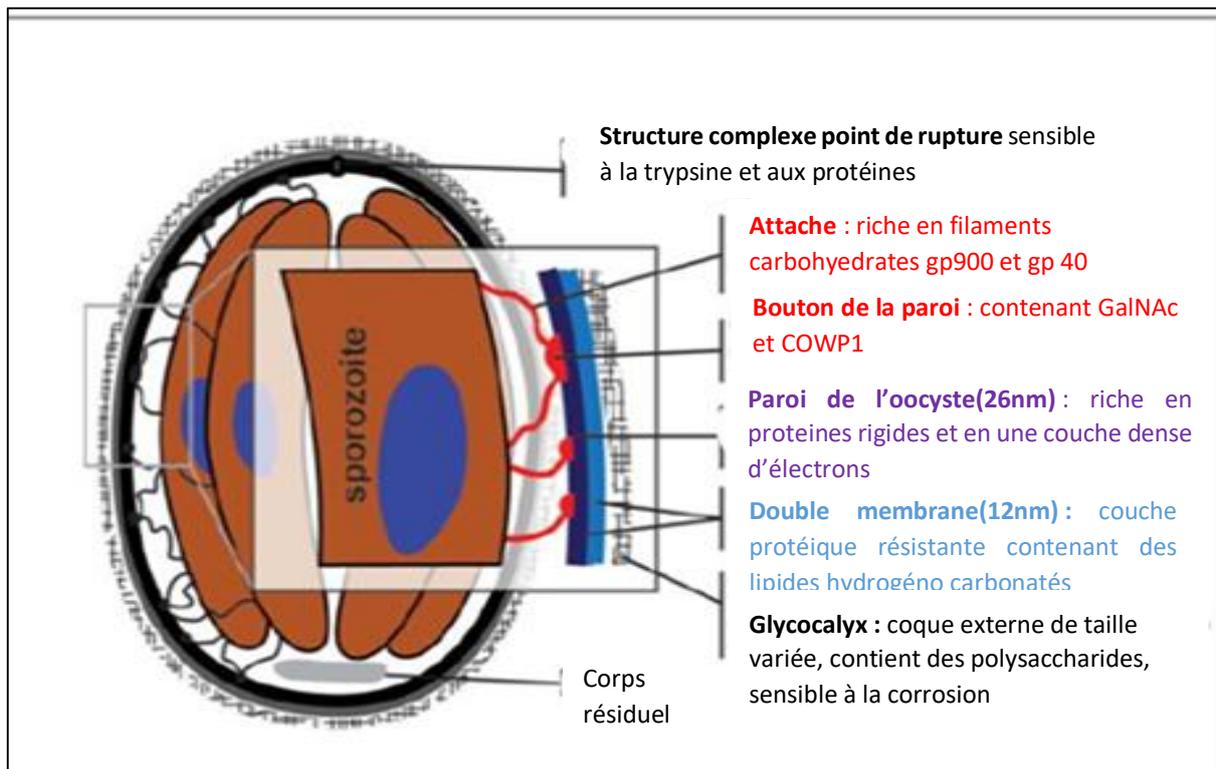
Les oocystes des sporozoaires entéroparasites sont acido-alcool-résistants et se distinguent par leur taille, forme, contour, contenu qui sont mises en évidence au microscope. Ces caractères morphométriques sont présentés dans le tableau I ci-après.

**Tableau I :** Description de quelques formes de résistance des coccidies (Institut National de la Santé Publique, 2014).

Espèces	Formes de résistance	Tailles (µm)	Coques	Contenus	Maladies	Manifestations
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Oocyste	4-6	Paroi épaisse double	4 sporozoïtes, pas de sporocyste	Cryptosporidiose	Déshydratation, gastroentérites
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Oocyste	8-10	Paroi double, lisse, non réfringente	2 sporocystes contenant chacun 2 sporozoïtes	Cyclosporo- se	Douleurs abdominales, Nausées et vomissement
<i>Isospora belli</i>	Oocyste  Oocyste, sporocyste	20- 33	Mince, lisse, peu réfringente	1 à 2 sporocystes contenant 4 sporozoïtes 2 sporocystes contenant chacun 4 sporozoïtes	Isosporose	Amaigrissement, Coliques, Diarrhée chronique
<i>Sarcocystis</i> spp.		9-15	Mince		Sarcocystose	Diarrhée non sanglante

### I.5.2.2 Description du cycle de développement d'un sporozoaire (*Cryptosporidium* spp.)

*Cryptosporidium* est un protozoaire parasite de l'embranchement des Apicomplexa, capable de provoquer chez l'Homme et plusieurs autres espèces de vertébrés une maladie diarrhéique grave appelée cryptosporidiose (figure 2)



**Figure 2** : Ultrastructure de l'oocyste de *Cryptosporidium parvum* (Hayette, 2017) E:1/0,0008

Tyzzler (1907) a été le premier à décrire *Cryptosporidium* ; après avoir isolé l'organisme des glandes gastriques de souris, il l'a nommé *Cryptosporidium muris*. Tyzzler (1912) a découvert un second isolat, qu'il a nommé *C. parvum*, dans l'intestin de la même espèce de souris. Cette espèce a depuis été renommée *C. tyzzeri* (Ryan *et al.*, 2014). Sa pathogénicité pour les humains a été reconnue pour la première fois en 1976 chez un enfant de trois ans auparavant en bonne santé. Un deuxième cas a été observé deux mois plus tard chez un sujet immunodéprimé par une pharmacothérapie (Meisel *et al.*, 1976). Depuis, d'autres cas de cryptosporidioses touchant la population entière ont été décrits, telle que l'épidémie d'origine hydrique survenue en 1993 à Milwaukee (Etats-Unis) qui a touché 403 000 personnes. A l'heure actuelle, 26 espèces valides de *Cryptosporidium* sont reconnues (tableau II) et sont capables de causer des infections aux humains et animaux, mais *C. parvum* est un des plus connus. L'oocyste constitue le stade extracellulaire et environnemental.

De forme sphérique, il mesure de 4 à 6  $\mu\text{m}$  et est protégé par une enveloppe extérieure, qui lui permet de survivre longtemps dans le milieu externe. *Cryptosporidium parvum* présente un cycle évolutif monoxène complexe (Figure 3), constitué de cycles sexués et asexués qui se produisent dans un seul hôte. Le stade infectieux (oocyste) entoure de sa « paroi » quatre parasites individuels. Après l'ingestion de l'oocyste, la paroi s'ouvre et les parasites sont

relâchés. Ce processus est appelé dékystement (l'action d'un organisme qui échappe de son « enveloppe »). Les parasites pénètrent alors les cellules qui couvrent la partie inférieure de l'intestin grêle et commencent à se développer. Après la reproduction de ces parasites, deux types d'oocystes sont produits : des oocystes à paroi mince qui commencent un autre cycle d'infection et des oocystes à paroi épaisse qui sont libérés dans l'environnement par les fèces et peuvent alors infecter d'autres êtres vivants (Santé Canada, 2017).

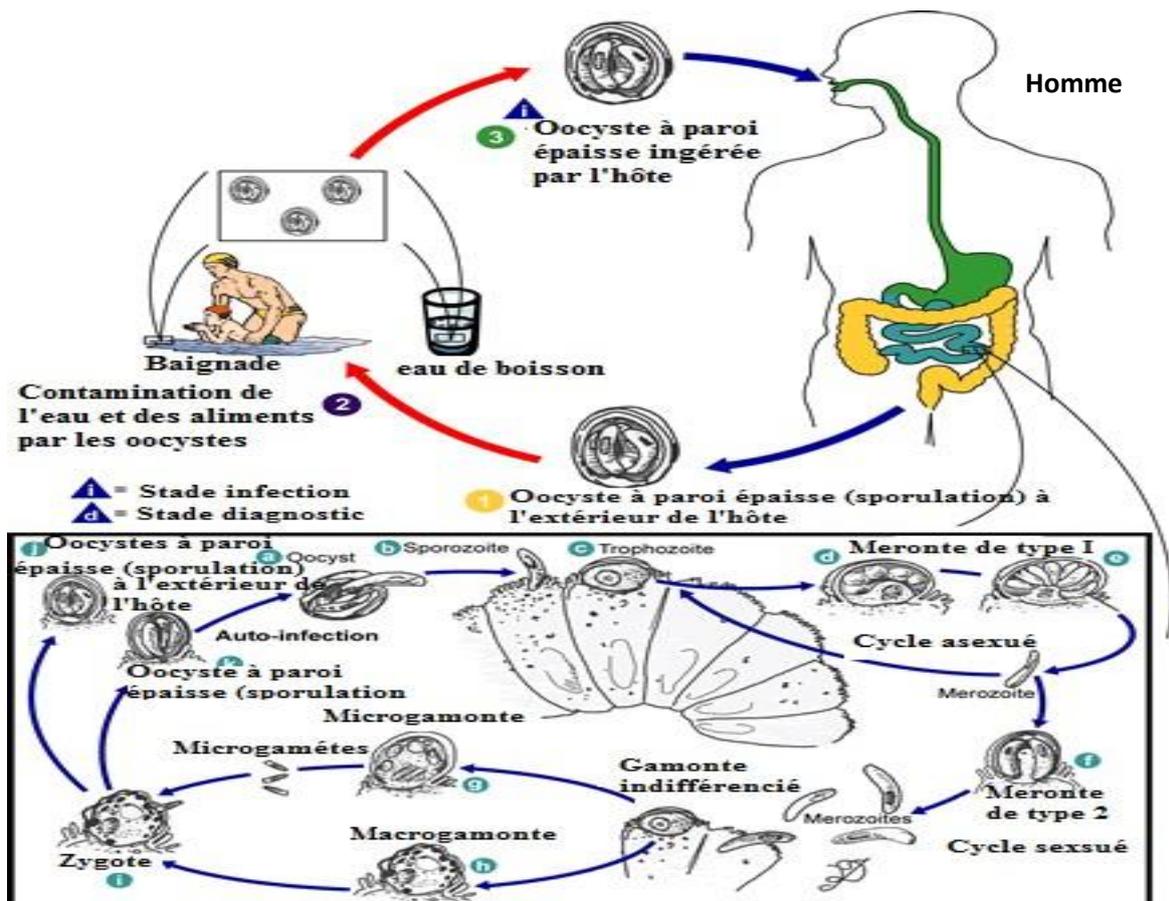


Figure 3 : Cycle de développement de *Cryptosporidium* spp. (CDC, 2019).

Tableau II : Différents espèces de *Cryptosporidium* (Ryan *et al.*, 2014)

Espèce (génotype)	Principaux hôtes	Préoccupation pour la santé humaine <sup>a</sup>
<i>C. andersoni</i>	Bovins	+
<i>C. baileyi</i>	Volaille	-
<i>C. bovis</i>	Bovins	+
<i>C. canis</i>	Chiens	++
<i>C. cuniculus</i>	Lapins	++
<i>C. erinacei</i>	Hérissons et chevaux	+
<i>C. fayeri</i>	Marsupiaux	+

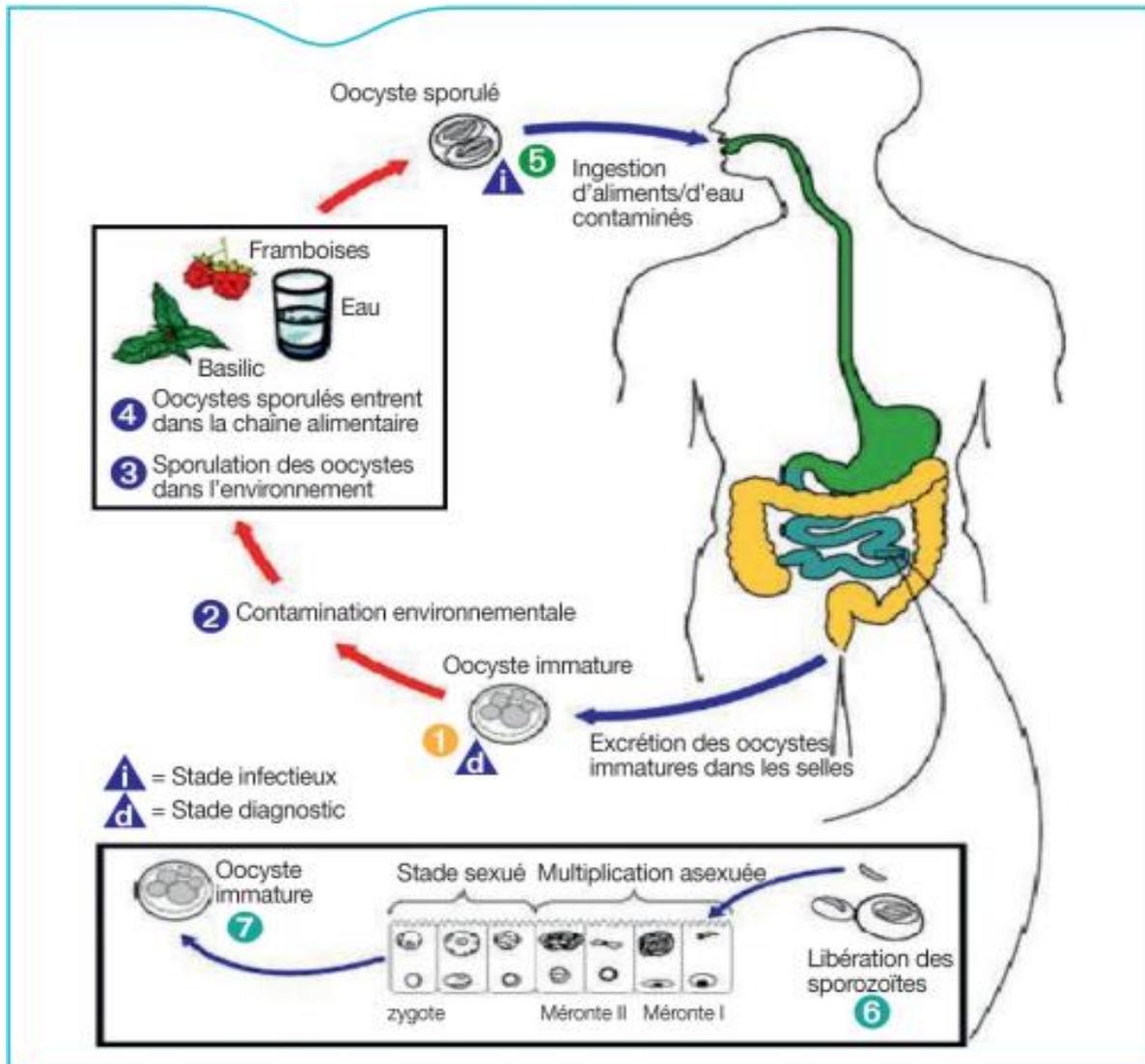
<i>C. felis</i>	Chats	++
<i>C. fragile</i>	Crapauds	-
<i>C. galli</i>	Roselins, poulets	-
<i>C. hominis</i> (génotype H, I ou 1)	Humains, singes	+++
<i>C. macropodum</i>	Marsupiaux	-
<i>C. meleagridis</i>	Dindons, humains	++
<i>C. molnari</i>	Poissons	-
<i>C. muris</i>	Rongeurs	+
<i>C. parvum</i> (génotype C, II ou 2)	Bovins, autres ruminants, humains	+++
<i>C. ryanae</i>	Bovins	-
<i>C. scrofarum</i>	Porcs	+
<i>C. serpentis</i>	Reptiles	-
<i>C. suis</i>	Porcs	+
<i>C. tyzzeri</i>	Rongeurs	+
<i>C. ubiquitum</i>	Ruminants, rongeurs, primates	++
<i>C. varanii</i>	Lézards	-
<i>C. viatorum</i>	Humains	++
<i>C. wairi</i>	Cobayes	-
<i>C. xiaoi</i>	Moutons, chèvres	-

<sup>a</sup> La mesure dans laquelle l'espèce est préoccupante pour la santé humaine n'est basée que sur la fréquence de la détection dans les cas de cryptosporidiose chez l'humain : +++ cause le plus fréquemment la maladie chez l'être humain; ++ cause la maladie chez l'être humain, mais rarement; + cause la maladie chez l'être humain, mais il n'y a eu que de très rares cas (très faible risque); - n'a jamais été isolée chez l'être humain.

### I.5.2.3 Description du cycle de développement d'un sporozoaire (*Cyclospora* spp.)

*Cyclospora cayetanensis* est l'agent de la cyclospore. Il n'y a pas de réservoir animal connu actuellement. Le seul réservoir semble être l'Homme. Les principales sources environnementales du danger, *via* l'élimination fécale des oocystes, sont l'eau et les végétaux en contact du sol ou irrigués par aspersion. Depuis 1990, une soixantaine d'épidémies de cyclospore d'origine alimentaire (et trois d'origine hydrique) ont été rapportées, dont la plupart aux USA (dont une survenue de mi-juin à août 2013 avec 643 cas recensés dans 25 états) et au Canada (de 3 à 1475 cas) (ANSES 2014). C'est un parasite unicellulaire appartenant à l'ordre des Coccidies, phylum *Apicomplexa*. *C. cayetanensis* est un parasite intracellulaire dont le cycle biologique de type monoxène (1) n'est pas complètement caractérisé. Celui-ci débute par l'ingestion d'oocystes matures et sporulés c'est-à-dire renfermant chacun deux sporocystes contenant chacun deux sporozoïtes infectants. Sous l'action des sucs digestifs, les sporozoïtes sont libérés dans la lumière intestinale et pénètrent les entérocytes de l'intestin

grêle. La multiplication asexuée produit des mérontes de type 1 et 2. Ces derniers peuvent évoluer vers un stade sexué, avec la formation des gamètes mâles (microgamétogonie) ou femelles (macrogamétogonie). La fusion des gamètes donne naissance à un oocyste (8 à 10  $\mu\text{m}$ ) immature excrété dans les selles à la mort de l'entérocyte. Le parasite ne devient infectieux qu'après une maturation dans le milieu extérieur dépendant de la température (une à deux semaines si la température est comprise entre 23 et 27°C), l'oocyste acquérant alors sa forme dite sporulée (Figure 4).

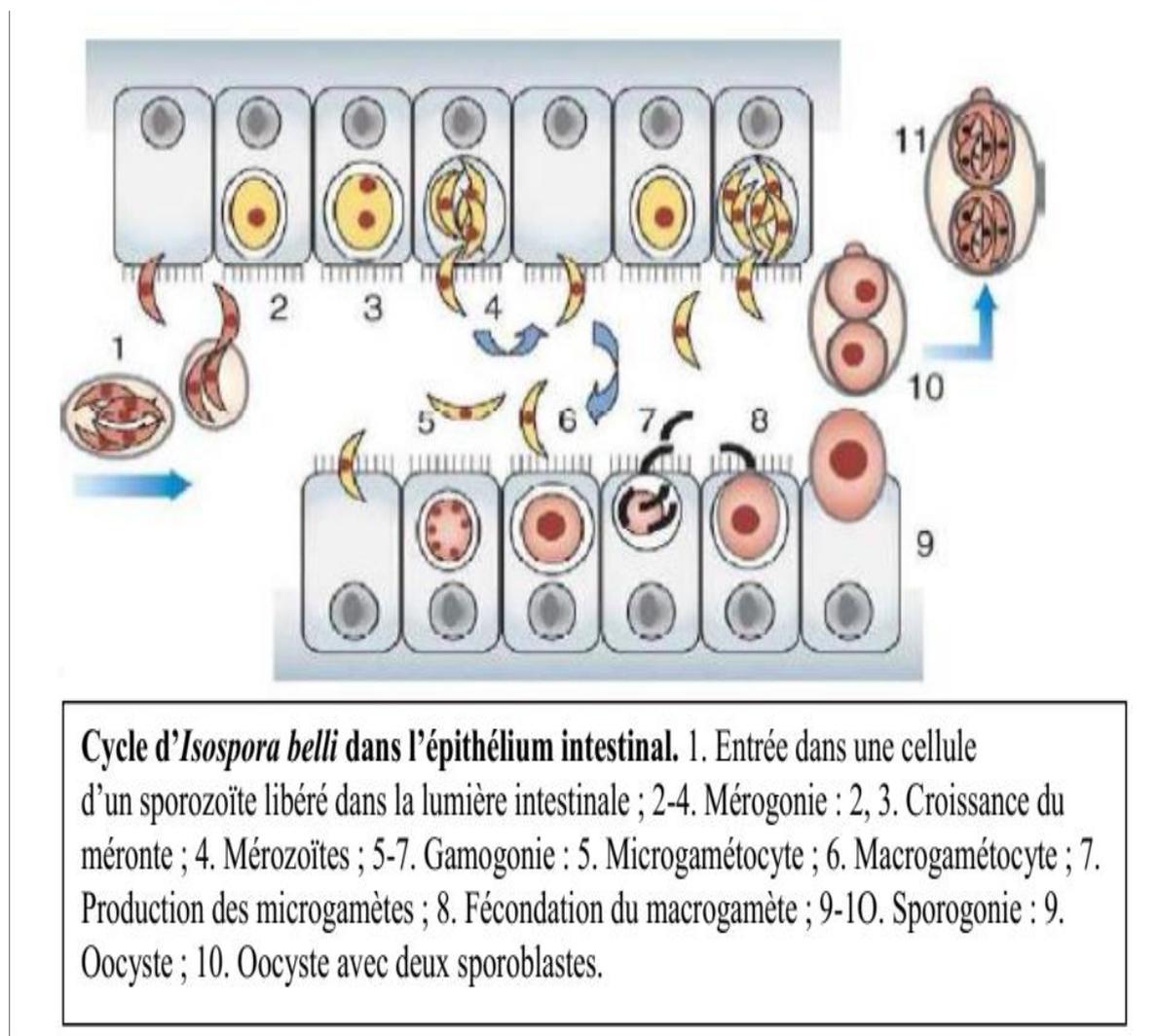


**Figure 4 :** Cycle de développement de *Cyclospora cayentanensis* (CDC, 2017)

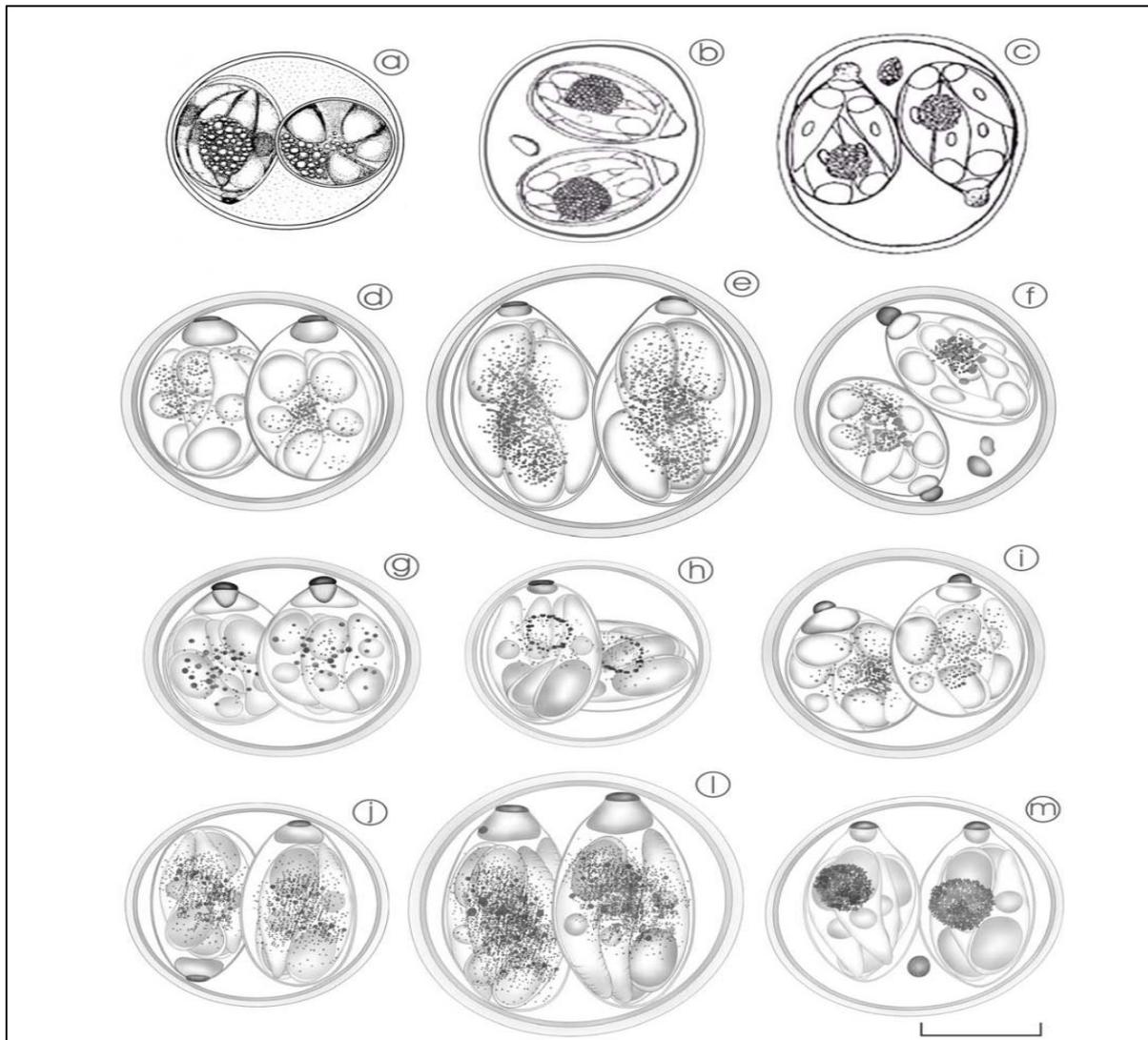
#### I.5.2.4. Description du cycle de développement d'un sporozoaire (*Isospora* spp.)

L'isosporose est une parasitose opportuniste de l'intestin due à un protozoaire intracellulaire strictement humain du nom *d'Isospora belli*. Cette maladie est endémique dans les pays tropicaux et subtropicaux. Elle se manifeste par une diarrhée chronique et récidivante.

Les sporozoïtes libérés dans la lumière du tube digestif pénètrent dans les cellules épithéliales, plusieurs cycles se déroulent dans les entérocytes en fournissant des mérozoïtes de forme allongée. Puis, à l'intérieur de nouveaux entérocytes, les mérozoïtes subissent la différenciation sexuelle (macrogamétocytes et microgamétocytes) les macrogamètes seront fécondées par les microgamètes. Le résultat de la fécondation sera l'oocyste qui est expulsé de la cellule hôte et libéré dans le milieu extérieur. La maturation de l'oocyste (sporogonie) se poursuivra à l'extérieur et aboutira à l'individualisation successive dans l'oocyste de 2 sporocystes contenant chacun 4 sporozoïtes (Figure 5). Plusieurs espèces d'*Isospora* ont déjà été décrites par plusieurs auteurs (Figure 6)



**Figure 5 :** Cycle de développement de *Isospora belli* (Mohamdi, 2015).E :1/0,02



**Figure 6** : Morphologie comparative des espèces d'*Isospora* spp. décrites : *Isospora thraupis* (Lainson, 1994) (a), *I. andesensis* Templar *et al.* (2004) (b), *I. iridomisi* Metzelaars *et al.* (2005) (c), *I. tiesangui* (d), *I. marambaiensis* (e), *I. sepetibensis* (f), *I. cadimi* (g), *I. navanrroi* (h), *I. ramphoceli* (i), *I. sanhaci* (j), *I. sayacae* (k), *I. silvasouzai* (l), *I. silvasouzai* (m). E : 1/0,006

## I.5.2. Protozoaires flagellés entéropathogènes

### I.5.2.1 Systématique (Lacoste, 2009)

**Embranchement** : Sarcomastigophora ; **Sous-embranchement** : Mastigophora ; **Classe** : Zoomastigophorea ; **Ordres** : Diplomonadida, Retortamonida, Trichomonadida ; **Familles** : Hexamitidae, Chilomastigidae, Enteromonadidae, Trichomonadidés ; **Genres** : *Giardia*, *Chilomastix*, *Retortamonas*, *Enteromonas*, *Trichomonas* ; **Espèces** : *Giardia intestinalis* / *Giardia duodenalis* / *Giardia lamblia*, *Chilomastix mesnili*, *Retortamonas intestinalis*, *Enteromonas hominis*.

## I.5.2.2 Morphologie et cycle de développement de quelques protozoaires flagellés intestinaux

### I.5.2.2.1 Morphologie des kystes

Les kystes de protozoaires flagellés se distinguent par leur taille, forme, contour, contenu mis en évidence au microscope. Les caractères morphométriques, les degrés de résistance et la pathogénicité sont présentés dans le tableau III.

**Tableau III :** Description de quelques formes de résistance des flagellés intestinaux (Lacoste 2009)

Espèces	Forme	Taille (µm)	Coque	Contenu	Maladies	Manifestations
<i>Giardia intestinalis</i>	Kystes	10-15	Double, paroi mince et réfringente	2 ou 4 noyaux, 1 axostyle, flagelles groupés en forme de « S », 1 corps parabasal	Giardiose	Diarrhée aqueuse, troubles digestifs, nausées, douleurs abdominales, mal absorption
<i>Enteromonas hominis</i>		6-8	Très mince, peu nette, peu réfringente	1 à 4 noyaux disposés aux extrémités du kyste	non pathogènes	Asymptomatique
<i>Retortamonas intestinalis</i>		4-6	Epaisse, réfringente	1 noyau allongé entouré d'un flagelle en « U »		Asymptomatique
<i>Chilomastix mesnili</i>		6-10	Epaisse, très nette, très réfringente	1 gros noyau excentré, reliquats flagellés	Chilomastiose	Diarrhée aqueuse

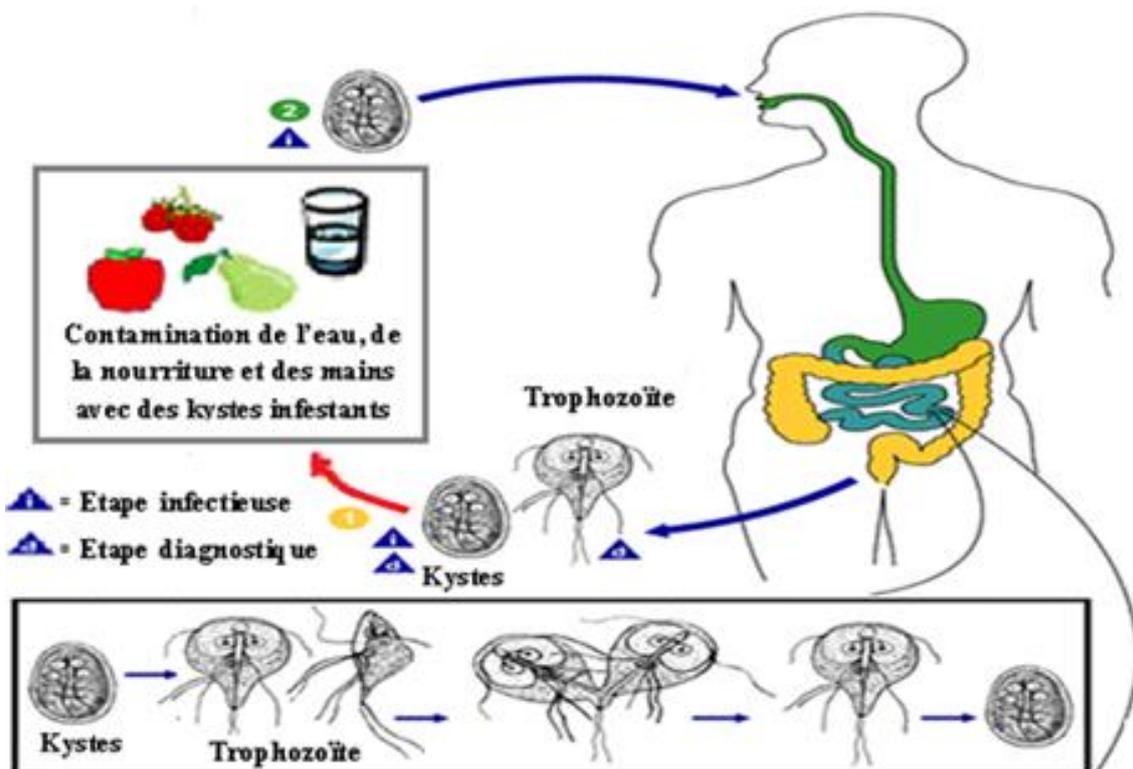
### I.5.2.2 Description du cycle de développement d'un flagellé (*Giardia intestinalis*)

De toutes les formes de flagellés, *Giardia intestinalis* présente une forme infectieuse connue, et est responsable de la *Giardiose* (Lacoste, 2009). Parasite cosmopolite, *G. intestinalis* est un protozoaire flagellé de l'intestin (duodénum) de l'Homme et de certains animaux. Il a été découvert pour la première fois dans des selles humaines en 1681, par Antonie van Leeuwenhoek (Boreham *et al.*, 1990). Le genre *Giardia* a été initialement séparé en 6 espèces selon leur hôte d'origine, mais le peu de différence morphologique a limité leur classification en trois espèces principales : *Giardia intestinalis* (homme et autres grands mammifères), *Giardia agilis* (amphibiens) et *Giardia muris* (rongeurs) (Byrne, 2001). La forme végétative de

*G. intestinalis* se trouve au niveau du duodénum, à la surface de la muqueuse, dans le liquide de tubage duodénal. C'est le seul flagellé qui vit dans le duodénum. Il est également le seul flagellé à posséder une symétrie bilatérale (Petithory *et al.*, 1998).

Le kyste est une forme de résistance et de dissémination de *G. intestinalis* émis dans les selles dont l'abondance peut atteindre  $7 \times 10^8$  kystes par jour chez un adulte (Santé Canada, 2017). Le kyste nouvellement formé a deux noyaux, il est ovoïde avec une extrémité plus large, tandis que le kyste mûr a quatre noyaux est ovale et représente la forme infectieuse de l'espèce. Il mesure entre 10 et 15  $\mu\text{m}$  de long sur 8 et 9  $\mu\text{m}$  de large. Il est pourvu d'une double paroi d'épaisseur 0,3-0,5  $\mu\text{m}$ . Sa paroi est mince, assez réfringente, possède un axostyle et les flagelles groupés en faisceaux dans l'axe du kyste formant un "S" (Nozais *et al.*, 1996).

Le cycle de *Giardia* est simple, monoxène, faisant alterner la phase de multiplication des trophozoïtes et le stade kystique (Figure 7). Les kystes mûrs, quadrinucléés, ingérés sont libérés sous l'action des sucs gastriques et chaque kyste donne naissance à deux formes végétatives flagellées au niveau du duodénum après dékystement. Elles se multiplient activement par simple fission binaire longitudinale et vivent collées à la surface de toute la muqueuse intestinale à l'aide de leur ventouse centrale appelée disque adhésif (Golvan, 1983). D'autres trophozoïtes progressent dans le tube digestif et s'enkystent (Thompson *et al.*, 1999). Les kystes formés sont expulsés à l'extérieur avec les fèces et sont susceptibles d'infecter un sujet sain après ingestion.



**Figure 7** : Cycle de développement de *Giardia intestinalis* (CDC, 2007 modifié).

### I.5.3 Les Amibes

Les amibes constituent le sous-embranchement des Rhizopodes. Ils sont pour la plupart des organismes libres, caractérisés par leur aptitude à émettre des pseudopodes locomoteurs et préhensiles. Il existe cependant un certain nombre d'amibes parasitant le tube digestif de l'Homme, dont la plupart sont non pathogènes, mais dont il convient de connaître l'existence. Les amibes ont été décrites pour la première fois par August Johann Rosel Von Rosenholf en 1757. Le nom amibe a été ensuite donné depuis le grec « amoibè », signifiant changement. On distingue plusieurs espèces d'amibes qui peuvent être libres ou parasites. Elles utilisent des pseudopodes (extensions protoplasmiques semi-permanentes ou transitoires, se formant à partir de la surface du corps) pour se déplacer et aussi pour piéger et enfermer leurs proies dans des vacuoles alimentaires. Les espèces *Entamoeba hartmanni*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba polecki*, *Endolimax nana* et *Pseudolimax butschlii* sont généralement considérées comme non pathogènes et colonisent le gros intestin de l'Homme. Par contre, *Entamoeba histolytica* est considérée comme pathogène (Tableau IV). Les kystes et les trophozoïtes de ces espèces sont libérés dans le milieu extérieur via les fèces. Les prékystes et les kystes matures de presque toutes les amibes se caractérisent par la présence des inclusions cytoplasmiques appelées corps chromatoïdes ou cristalloïdes (Dobell, 1919 ; Epshtein, 1931).

#### I.5.3.1. Systématique des amibes entéropathogènes (Lacoste, 2009)

Les amibes intestinales constituées de 9 espèces caractérisées par la taille, la forme, le nombre de noyau et le contenu cytoplasmique. ces espèces sont décrites dans le tableau IV.

**Embranchement** : Sarcomastigophora ; **Sous-embranchement** : Sarcodina ; **Classe** : Lobosasidea ; **Ordre** : Amoebida ; **Familles** : Entamoebidae et Monocercomonadidae ; **Genres** : *Entamoeba*, *Pseudolimax*, *Endolimax*, *Dientamoeba* ; **Espèces** : *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba hartmani*, *Entamoeba polecki*, *Endolimax nana*, *Pseudolimax butschlii*, *Dientamoeba fragilis*

**Tableau IV** : Description de quelques formes de résistance des amibes intestinales (Lacoste 2009)

Espèce	Forme	Taille (µm)	Paroi	Contenu	Maladies	Manifestations de la maladie
<i>Entamoeba histolytica</i>		12-15	Epaisse	1 à 4 noyaux, 1 vacuole, cristalloïdes	Amibiase	Diarrhées sanglantes, atteinte hépatiques et neurologiques

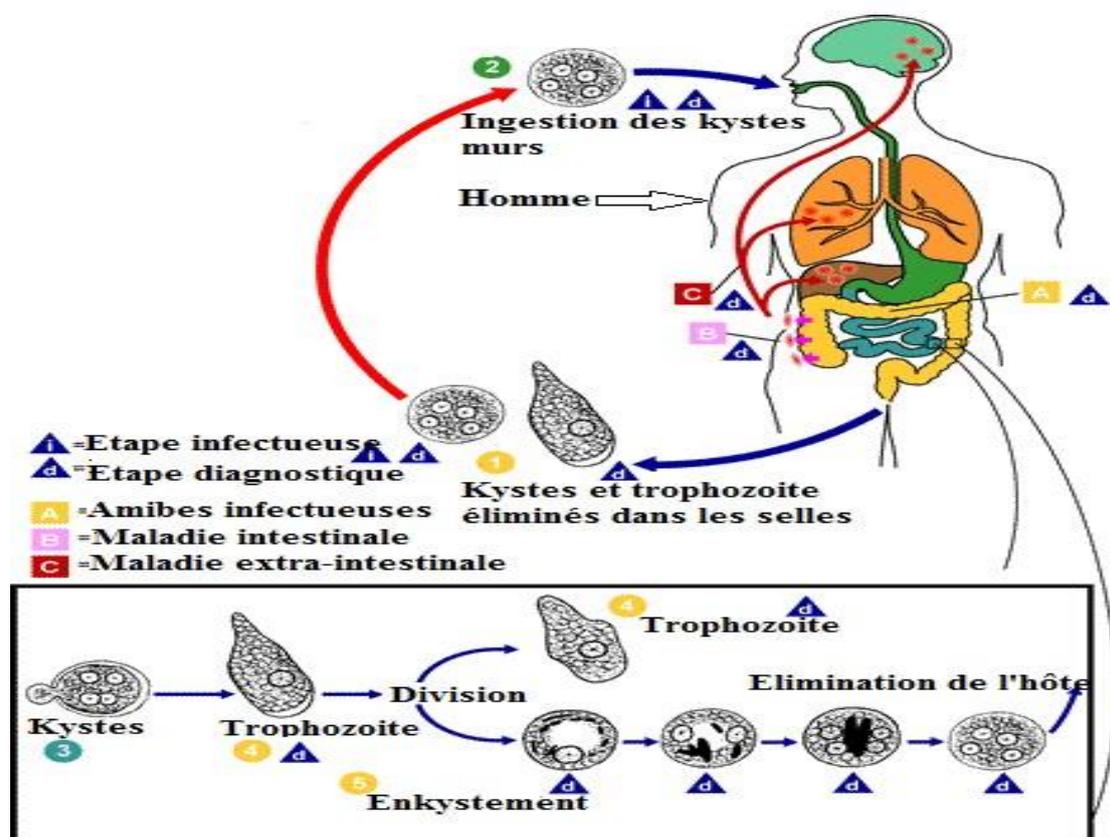
<i>Entamoeba coli</i>	Kyste	16-28	Double paroi très réfringente	1 à 8 noyaux, 1 vacuole, cristalloïdes	Non pathogènes	Asymptomatiques
<i>Entamoeba hartmani</i>		6-8	Epaisse	1 à 4 noyaux, 1 vacuole		
<i>Entamoeba polecki</i>		10-12	Epaisse et réfringente	1 à 2 noyaux, 1 vacuole, Bâtonnets chromatidiens		
<i>Endolimax nana</i>		6-8	Mince et peu réfringente	1 à 4 noyaux		
<i>Pseudolimax butschlii</i>		9-12	Epaisse, nette et réfringente	1 noyau, vacuole		
<i>Blatocystis homonie</i>		3-5				

### 1.5.3.2 Cycle de développement des amibes : cas d'*Entamoeba histolytica*

*Entamoeba histolytica* se présente sous 2 formes végétatives : la forme « minuta » non pathogène et la forme « histolytica » pathogène et sous une forme kystique qui assure la survie et la dissémination du parasite dans le milieu extérieur. Les kystes sont généralement sphérique Le cytoplasme est lisse et peut contenir jusqu'à 4 noyaux à maturité. La contamination se fait par ingestion des kystes mûrs contenus dans les aliments et l'eau souillés. Une fois dans l'organisme, le kyste mûr se transforme en trophozoïte qui se fixe sur la paroi et peut migrer vers d'autres organes tels que le foie et les poumons. Après plusieurs divisions certains vont s'enkyster et être rejetés hors de l'organisme avec les fécès (Figure 5).

Les kystes d'*Entamoeba histolytica* sont excrétés dans les matières fécales et y resteront jusqu'à ce qu'ils soient dans un hôte où ils vont éclore. Une fois que l'hôte a ingéré le kyste, le dékystement, ou éclosion se produit dans l'intestin grêle. Puis il y a multiplication et maturation en trophozoïtes et migration. 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). Les trophozoïtes passés dans les selles sont rapidement détruits une fois à l'extérieur. S'ils sont ingérés, ils ne survivraient pas à l'exposition à l'environnement gastrique. Dans de nombreux cas, les trophozoïtes restent confinés à la lumière intestinale (Figure 8) des individus qui sont des porteurs asymptomatiques, libérant des kystes dans leurs selles. Chez certains patients, les trophozoïtes envahissent la muqueuse intestinale

(B : amibiase intestinale) ou, à travers le sang, des sites extra-intestinaux tels que le foie, le cerveau et les poumons (C : amibiase extra-intestinale). Il a été établi que les formes invasives et non invasives représentent deux espèces distinctes, respectivement *E. histolytica* et *E. dispar*. Ces deux espèces sont morphologiquement indiscernables à moins que *E. histolytica* soit observée avec des globules rouges ingérés (érythrophagocytose). La transmission peut également se produire par l'exposition à la matière fécale pendant le contact sexuel (dans ce cas, non seulement les kystes, mais aussi les trophozoïtes pourraient être infectieux) (Brown *et al.*, 1999).



**Figure 8 :** Cycle de développement d'*Entamoeba histolytica* (CDC, 2007).

## I.5.4 Analyse de la viabilité des parasites

### I.5.4.1 Viabilité par des colorants

Après quantification des éléments parasitaires, une goutte de safranine et du rouge neutre sont ajoutées à chaque échantillon. Quelques minutes après, 50 µL de solution sont transférées sur une lame de microscope pour le comptage. Lorsqu'ils sont encore en vie, ils sont

colorés par le réactif ; les kystes et oocystes sont alors dit viables et peuvent causer des infections (Kpoda *et al.*, 2015). Par contre les kystes et oocystes non viables sont incolores.

Diverses méthodes de coloration, fondées sur l'absorption ou la non absorption de deux colorants observables au microscope à fluorescence : le Di Aminido Phenyl Indol (DAPI) et l'iodure de propidium (IP), ont été mises au point pour évaluer la viabilité des kystes et des oocystes (Robertson *et al.*, 1998 ; Iturriaga *et al.*, 2001). Les kystes et les oocystes peuvent être répartis en trois catégories : a) viables (inclusion du DAPI, exclusion de l'IP) ; b) non viables (inclusion du DAPI et de l'IP) ; et c) quiescents ou dormants (exclusion du DAPI et de l'IP, mais pouvant être viables). En général, une bonne corrélation est observée entre le DAPI et l'IP et le dékystement *in vitro* (Campbell *et al.*, 1992). Neumann *et al.* (2000a) ont montré l'existence d'une forte corrélation entre l'intensité de la coloration par le DAPI et l'IP et l'infectiosité pour les animaux d'oocystes de *C. parvum* fraîchement isolés. Ces colorants, conjugués à des anticorps marqués par fluorescence (utilisés pour le tri de cellules par fluorescence), ont aussi été utilisés avec succès pour déterminer la viabilité et l'infectiosité des kystes et des oocystes dans des échantillons d'eau, parce que leurs spectres fluorescents ne chevauchent pas celui des anticorps (Belosevic *et al.*, 1997 ; Neumann *et al.*, 2000b).

#### **I.5.4.2 Viabilité par culture**

On peut estimer la viabilité (mais non l'infectiosité) des kystes et des oocystes en les soumettant à des conditions semblables à celles qui existent dans l'intestin afin de stimuler le dékystement (c.-à-d. la libération des trophozoïtes et des sporozoïtes). Les divers facteurs et les conditions de dékystement varient considérablement et peuvent être à l'origine d'observations divergentes. Si les kystes et les oocystes parviennent à la phase de dékystement, ils sont considérés comme viables. Il est possible de dékyster en utilisant de l'acide et des enzymes telles que la trypsine, puis de cultiver ce protozoaire dans un milieu TYI-S-33 (Diamond *et al.*, 1978 ; Rice et Schaefer 1981). Pour cela l'échantillon est prélevé à l'aide d'une pipette pasteur et déposé sur une lame et observés directement au microscope. Les kystes et les oocystes observés sont directement prélevés à l'aide d'une micropipette pasteur etensemencé sur le milieu de culture contenant un comprimé d'antibiotique qui a pour rôle d'éliminer les bactéries dans le milieu. Tout s'effectue à côté de la flamme du bec bensen pour éviter la contamination.

### **I.5.4.3 Viabilité par Réaction en chaîne de la polymérase après transcription inverse et par Génotypage**

La Real Time Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) peut également être appliquée à la détection directe de kystes et d'oocystes viables dans des concentrés d'eau (Kaucner et Stinear, 1998). La RT-PCR amplifie une molécule cible, soit l'acide ribonucléique messager (ARNm). Puisque seuls les organismes viables produisent de l'ARNm, cette méthode expérimentale peut se révéler utile pour évaluer la viabilité des kystes et des oocystes. Les méthodes de génotypage, comme l'analyse du polymorphisme de taille des fragments de restriction et le séquençage de l'ADN, ont beaucoup été utilisées au cours des dernières années pour déterminer quelles espèces sont présentes dans les échantillons d'eau positifs (Ruecker *et al.*, 2012, Xiao *et al* 2004).

### **I.5.4.4 Viabilité par infectiosité des animaux**

La méthode la plus directe pour évaluer la viabilité et l'infectiosité des kystes et des oocystes consiste à inoculer un animal susceptible et à surveiller l'élimination des kystes et des oocystes et tout autre signe histologique d'évolution de la maladie (APHA 2012). Mais elle n'est pas pratique, puisqu'elle est coûteuse à réaliser et que la plupart des laboratoires d'analyse ne disposent pas de colonies d'animaux. Cette méthode n'est pas non plus assez sensible pour la surveillance environnementale (Rochelle *et al.*, 2002, Delaunay *et al* 2000).

## **I. 6. Généralités sur la désinfection des eaux**

Il a été constaté que la résistance des organismes est principalement liée à la composition de la membrane cytoplasmique qui est à la fois un obstacle physique et chimique. Les désinfectants, pour être efficaces, doivent donc être en mesure de s'attaquer à la membrane cytoplasmique ou au contenu de la cellule. Ces modes d'action sont basés sur les interactions moléculaires entre les désinfectants et les composantes cellulaires en présence. Il faut noter que la membrane cytoplasmique possède une partie qui aime l'eau (polaire), dite hydrophile, et une partie composée de lipides, dite hydrophobe, (qui n'aime pas l'eau ou non polaire). Cette dernière nécessite l'utilisation de désinfectants qui attaquent les graisses (lipides). Il existe trois modes d'action possibles des désinfectants : destruction de la membrane cytoplasmique, réduction des échanges avec le milieu extérieur et destruction par oxydation du matériel cellulaire (Santé Canada, 2017).

### I.6.1. Désinfectants synthétiques et physiques, mécanisme de désinfection

L'activité des biocides ou des désinfectants peut être affectée par plusieurs facteurs liés à la qualité physicochimique, l'état physiologique des microorganismes (protozoaires) le temps de contact, la concentration de la solution désinfectante, le type de désinfectant, la capacité du biocide à diffuser à travers la membrane de la cellule cible, la qualité des effluents et du type de pathogène (WEF,1996). Les désinfectants les plus utilisés sont décrits avec leur mode d'action dans le tableau V.

Les facteurs tels que l'origine, la préexposition à des désinfectants ou les processus de stress et de reviviscence ont une grande influence sur l'efficacité réelle de la désinfection et sur son évaluation. En 1972, Carson *et al* avait montré que les germes pathogènes provenant de milieux naturels étaient systématiquement plus résistants à différents désinfectants que les souches qui avaient été cultivées pendant un grand nombre de générations au laboratoire.

**Tableau V** : Classe, cible et mode d'action des différents désinfectants (Hôpital Universitaire de Genève, 2007)

Classes	Exemples	Cible et mode d'action	Remarques
<b>Alcools</b>	Ethanol, isopropanol	Dénaturation des protéines cytoplasmiques et membranaires, inhibition de la synthèse des acides nucléiques et des protéines	Présence d'eau nécessaire à l'activité (utilisation d'alcool 70°)/ baisse de l'activité par matière biologique
<b>Aldehydes</b>	Formaldehyde	Alteration de la paroi cellulaire, inhibition de la synthèse des acides nucléiques et des protéines	Baisse de l'activité par matière biologique
<b>Ammoniums quaternaires</b>	Benzalkonium	Liaison aux acides gras et groupe phosphates de la membrane cellulaire fuite de constituants cellulaires et lyse de la cellule	Baisse de l'activité par matières biologiques, savons et oxydants
<b>Biguanides</b>	Chlorhexidine	Liaison aux acides gras et groupes phosphates de la membrane cellulaire fuite de constituants cellulaires, coagulation du cytosol	Baisse de l'activité par matières biologiques et savons
<b>Halogenes chlores et iodes</b>	Hypochlorite de sodium (Javel, Dakin) PVP-iode	Destruction des protéines membranaires et chromosomiques (halogénéation)	Baisse de l'activité par matière biologique et savons/dégradation par rayon UV
<b>Oxydants</b>	Peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)	Production de radicaux libres qui interagissent avec les lipides, protéines et ADN	Baisse de l'activité par matières biologiques

La durée nécessaire pour qu'un désinfectant inactive un organisme définit son temps de contact. On évalue ce temps en laboratoire, lorsqu'un désinfectant est appliqué sur une surface, on doit donc suivre les recommandations du fabricant. Souvent, le temps de contact lors des désinfections n'est pas respecté en raison de l'ignorance de l'importance de ce paramètre.

Le même problème est posé lorsqu'un désinfectant est appliqué sur une surface. Il est nécessaire de laisser un temps pour que le désinfectant puisse réagir avec les salissures afin de pouvoir le déloger. La concentration est également un facteur clé, en effet l'inactivation des microorganismes isolés des eaux usées est souvent rapporté à la concentration utilisée (Amoeh *et al.*, 2017)

Trois classes de désinfectants sont actifs sur les kystes et les oocystes (Santé Canada, 2017) : les halogènes qui inhibent la synthèse enzymatique, modifient les protéines structurales et détruisent les protéines membranaires et chromosomiques ; les oxydants qui produisent des radicaux libres qui interagissent avec les lipides, les protéines et l'ADN et les aldéhydes (formaldehydes) qui altèrent la paroi cellulaire et inhibent la synthèse de l'acide nucléique et des protéines.

Cinq (5) désinfectants sont couramment utilisés pour le traitement de l'eau potable : le chlore libre, la monochloramine, l'ozone, le dioxyde de chlore et la lumière UV. À l'exception de la lumière UV, qui utilise la radiation électromagnétique, ce sont tous des agents oxydants. Les désinfectants chimiques rendent les microorganismes inactifs en détruisant ou en endommageant la structure de leurs cellules, leur métabolisme, leur biosynthèse et leur croissance, alors que la lumière UV endommage l'acide nucléique des pathogènes, ce qui empêche leur réplication et les rend par conséquent incapables d'accomplir des cycles infectieux.

Le chlore libre est le produit chimique le plus souvent utilisé pour la désinfection primaire, parce qu'il est facile de s'en procurer, qu'il est relativement peu coûteux et qu'il fournit un résidu qui peut aussi être utilisé pour la désinfection secondaire afin de maintenir la qualité de l'eau dans le réseau de distribution. Les concentrations ou les temps de contact doivent cependant être relativement élevés pour que le chlore libre rende *Giardia* inactif et il ne peut inactiver *Cryptosporidium* aux doses et aux temps de contact en général utilisés pour le traitement de l'eau (Korich *et al.*, 1990).

L'ozone et le dioxyde de chlore sont des désinfectants efficaces contre *Giardia* et *Cryptosporidium* et d'autres protozoaires, mais ils sont d'habitude plus coûteux et plus difficiles à appliquer, en particulier pour les petits systèmes. L'ozone se dégradant rapidement après avoir été appliqué, il ne fournit pas de résidu et ne peut être utilisé pour la désinfection secondaire. Le dioxyde de chlore n'est pas recommandé non plus pour la désinfection secondaire parce qu'il se dégrade relativement vite (Santé Canada, 2008).

## I.6.2. Désinfectants naturels et leur mécanisme de désinfection

### I.6.2.1. Moringa

*Moringa* appartient à la famille mono-générique des arbustes et arbres des Moringaceae qui comprend 13 espèces avec *Moringa oleifera* comme espèce la plus connue (Foidl *et al.*, 2001 ; Mahmood *et al.*, 2010).

Règne : Plantae (présence d'une paroi cellulaire contenant la chlorophylle)

Sous-règne : Tracheobionta (présence des tissus vasculaires xylème et phloème)

Classe : Magnoliopsida (plante à graine)

Ordre : Capparales (plantes à fleur)

Famille : Moringaceae (production des fruits à 3 valves)

Genre : *Moringa* (fleurs actinomorphes ou zygomorphes)

Espèce : *Moringa oleifera* (folioles tripennées mesurant)

*Moringa oleifera* est l'une des espèces les plus prometteuses en ce qui concerne leur haut pouvoir antioxydant, teneur élevée en micronutriments et photochimie.

- Les feuilles de *Moringa Oleifera* sont une bonne source de nutrition et d'exposition antitumorale, activités anti-inflammatoires, anti-ulcères, anti-athérosclérotiques et anticonvulsives (Dan Malam *et al.*, 2001 ; Dahiru *et al.* 2006 ; Chumark *et al.* 2008).

- Les feuilles de *Moringa oleifera* peuvent être consommées fraîches, cuites ou stockées sous forme de poudre sèche pendant plusieurs mois, (Fahey 2005; Arabshahi-D, *et al.*, 2007).

- Les feuilles fraîches sont cueillies, séchées, broyées en poudre et ensuite stockées plus tard comme aromatisant ou additif alimentaire. Les feuilles de *Moringa* contiennent dix fois la teneur en vitamine A des carottes, 17 fois la teneur en calcium du lait, 15 fois la Teneur en potassium des bananes, 25 fois la teneur en fer des épinards, 9 fois la teneur en protéines du yaourt et beaucoup plus de vitamine C que dans les oranges (Manzoor *et al.* 2007).

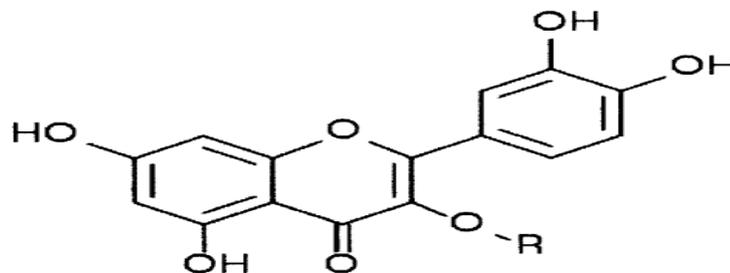
En dehors de ces substances synthétiques, des études ont montré l'efficacité de certaines substances organiques et minérales en tant que coagulant. Au regard de l'état de pauvreté des populations rurales au Cameroun, les méthodes viables pour le traitement des eaux, outre leur performance, doivent être simples, accessibles et de moindre coût. D'après Folkard et Sutherland (2002), les technologies associées au traitement de l'eau doivent être aussi simples que possible, robustes et abordables à installer et à entretenir dans les pays en développement. Ainsi, plusieurs études (Faby et Eleli, 1993 ; Jahn, 1988 ; Kabore, 2011) ont montré l'efficacité

du *Moringa oleifera* dans la clarification des eaux et l'élimination des microorganismes pathogènes.

Les agents actifs de la coagulation du *Moringa oleifera* seraient les protéines. Or, les graines contiennent 36,7% de protéines. J.L Pousset(2005) indiquait que l'action floculente est due à une protéine cationique soluble d'un poids moléculaire de 13 kilodaltons. Il s'agit de la Quercétine et de la Kamférol.

La figure 9 ci-contre donne la configuration de la molécule de Quercétine, conforme à la formule brute de Chevreul. Le radical R est un glucide (glucose, galactose, ou hydrogène dans le quercétol, ou autre). La Quercétine est donc constituée d'une partie cyclique (les hexagones)

, et de la partie glucidique R, d'où le nom de glucoside, ou hétéroside.

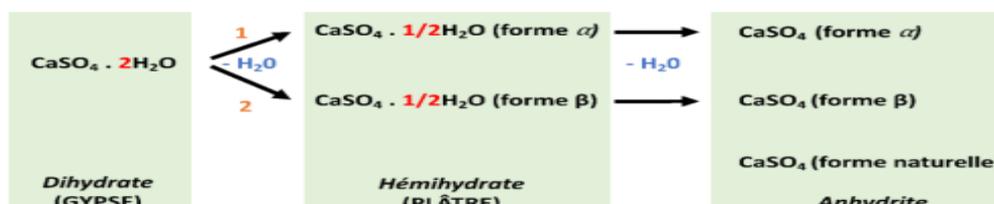


**Figure 9** : Structure de la Quercétine responsable de l'activité anti-parasitaire du Moringa

### I.6.2.2. Gypse

Le gypse est une roche sédimentaire dite évaporitique qui se forme au niveau des lagunes : de l'eau salée se retrouve piégée et s'évapore rapidement, entraînant des dépôts de calcium et de sulfate. D'un point de vue chimique, on classe cette roche dans les sels.

Le gypse est une forme naturelle hydratée du sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ), qui se forme par dépôts de roches sédimentaires. Il peut également être synthétisé en laboratoire. Selon son degré d'hydratation, le sulfate de calcium voit son appellation dans le langage courant changer



**Figure 10** : schéma explicatif des différents noms en fonction des degrés d'hydratation du sulfate de calcium.

Les gisements de gypse sont principalement utilisés dans le secteur du bâtiment pour la fabrication de plâtre. Effectivement, le gypse présente naturellement de bonnes propriétés en matière d'isolation thermique et acoustique, de résistance au feu et de régulation hygrométrique, qui sont particulièrement recherchées pour l'habitat. Le gypse présente également des bonnes propriétés qui rendent son utilisation intéressante pour l'industrie agroalimentaire.

En outre le gypse est aussi utilisé dans l'alimentation animale en tant que complément alimentaire ; et également en pharmacologie, en tant qu'excipient (substance autre que la molécule active permettant de faciliter la prise du médicament ).

Finalement, le gypse est aussi présent dans le domaine de la médecine comme substitut osseux et en dentisterie lors de réalisation de modèles d'étude ou bien dans la pâte à empreinte. Le sulfate de calcium ou gypse (forme dihydratée), ou encore plâtre (forme hémihydrate réhydratée) est un additif alimentaire utilisé dans l'agroalimentaire. Il est donc soumis à une législation rigoureuse. Son code est E516. Ayant les mêmes fonctions et utilisations que le chlorure de calcium (E509), il est intéressant de comparer ces deux additifs alimentaires. Ce sont des supports d'additifs alimentaires qui permettent d'incorporer des colorants ou des arômes dans les aliments. Ils ont aussi pour rôle de réguler l'acidité, et sont également employés comme agents raffermissants, séquestrants ou stabilisants de par les charges négatives de  $\text{SO}_4^{2-}$  et Cl (Mateau, 1993).

Ils sont par ailleurs utilisés dans le traitement des farines ainsi que pour la purification des eaux de brasseries grâce à leur pouvoir flocculant du sulfate de calcium est autorisé dans l'alimentation biologique, et est notamment très utilisé aux Etats-Unis (Mateau, 1993). Il n'y a pas de valeur maximale estimée pour la Dose Journalière Admissible et aucune personne n'est décrite comme étant « à risque ». Le degré de pureté relevant d'une exigence particulière, l'utilisation du gypse peut représenter une contrainte pour les industriels. Dans la littérature, l'apport de calcium pur recommandé par personne s'élève à 1000 mg/jour.

En pratique, cette dose est difficilement atteignable. Ainsi, la quantité de gypse incorporée dans l'alimentation peut être très grande sans être nocive pour la santé. Au

Canada, l'utilisation de sulfate de calcium dans la fabrication du pain est réglementée à 5000 ppm, tandis qu'en France aucune limite n'est trouvée (Santé Canada, 2018). En boulangerie, le gypse est utilisé pour enrichir en calcium le pain et la farine. De plus, il participe à la texture de la pâte et à la qualité du produit. Cependant, mis en excès, celui-ci peut altérer la qualité du produit. En brasserie, le sulfate de calcium est également utilisé puisque les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  influent sur l'amertume du Houblon et permettent une baisse du pH (cependant ce n'est pas aussi efficace que le bicarbonate). De plus, les ions  $\text{Ca}^{2+}$ , permettent une baisse du pH, et favorisent ainsi la précipitation des protéines et aident à la stabilisation. La bière devient plus limpide, et donc plus vendable d'après les attentes du consommateur. Enfin, le gypse permet de baisser le pouvoir giclant par précipitation de l'acide oxalique. Les doses incorporées en brasserie vont de 10 à 100 mg/L (Beertime, 2018).

Le sulfate de calcium peut être répandu en agriculture comme engrais pour les cultures. Il est alors une source de calcium et de sulfate pour les plantes. Néanmoins, il est nécessaire qu'il soit d'une pureté minimale de 50% pour avoir une activité optimale et ne pas apporter trop d'éléments extérieurs dans les sols. Un autre avantage du gypse en agriculture est celui de la conservation de la teneur azotée dans le sol. Le sulfate de calcium agit sur les bactéries dénitrifiantes en les éliminant, grâce à cela, les plantes ont accès à plus d'azote contenu dans le sol. Mais là ne s'arrête et pas les intérêts du gypse, car il peut aussi corriger la salinité (alcalinité) des sols, grâce à la floculation des argiles, l'allègement et l'aération du sol. Ces propriétés entraînent une meilleure perméabilité et traduit le risque d'érosion (Mateau, 1993). Enfin le gypse a des propriétés dans le traitement des eaux. En effet, il clarifie les eaux troubles, lors de son injection sous forme de solution saturée. S'en suit une complexation qui est ensuite éliminée (Suez, 2019).

# **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

## **II.1. Zone d'étude**

L'étude s'est déroulée dans les villes de Yaoundé et Douala qui sont les plus grandes métropoles du Cameroun qui font face aux problèmes de gestion des eaux usées.

### **II.1.1 Situation géographique**

La région de Yaoundé est située sur la bordure Ouest du plateau Sud-Camerounais, en zone équatoriale, entre 3°45' et 3°59' N ; 10°94' et 11°58' E, (Tanawa *et al.*, 2002) et à 250 Km de la côte atlantique (Bachelier, 1959). Ce plateau a une altitude moyenne de 750 m et présente une surface ondulée où on observe une alternance de collines et de vallées gorgées d'eau (Apouamoun Yiagnigni, 2006).

Qualifiée de "ville aux sept collines", Yaoundé se développe dans un site en collines et vallées, sur un plateau qui varie entre 700 et 800 mètres d'altitude, couronné de massifs montagneux aux formes arrondies culminant entre 1000 et 1300 mètres (Temgoua *et al.*, 2003). Cela crée un paysage très contrasté, essentiellement marqué par trois unités morphologiques qui se partagent la ville : les sommets d'interfluves, les pentes et les fonds de vallées inondables (Temgoua *et al.*, 2003). Bordée à l'Ouest par une barrière montagneuse, la ville de Yaoundé a suivi un développement orienté du Nord-Ouest vers l'Est et le Sud. L'influence de ce relief collinaire sur l'urbanisation se manifeste de deux principales manières. Premièrement ces hauts reliefs, constituent une véritable barrière à l'avancée du front urbain. Deuxièmement, ces hauts reliefs ne sont pas partout inhospitaliers et inconstructibles. Il reste en effet certaines zones intra ou péri-montagneuses où le risque d'une densification urbaine démesurée est bien présent. Les zones de fortes pentes (supérieure à 20%) posent le problème de l'instabilité des terrains.

La zone est constituée de sols ferralitiques, les mouvements de terrain sont souvent aggravés par l'action humaine qui, décapant le couvert végétal, accroît le ruissellement diffus. A l'opposé des sommets d'interfluve, les vallées occupent près de 20 % de la superficie totale de Yaoundé, elles sont reliées bout à bout et forment un couloir de 30 km de long sur 20 km de large, soit 600 km<sup>2</sup>. Ces zones présentent une consistance pédologique quasi nulle. Elles sont constituées de sols hydromorphes retenant jusqu'à 45 g d'eau pour 100 g de terrain. Leur urbanisation nécessite des aménagements particulièrement coûteux : remblais, construction des murs de protection des berges, etc. L'action de ce relief très contrasté est amplifiée par un climat très pluvieux et un réseau hydrographique dense (Onguene Mala, 1993).

La ville de Douala, capitale économique du Cameroun, est située en zone tropicale humide, au fond du golfe de Guinée, le long de l'estuaire du fleuve Wouri. D'une superficie d'environ 38700 ha, cette ville s'étend entre 03°58' et 04°07' de Latitude Nord, et entre 09°34' et 09°49' de Longitude Est. Elle présente une morphologie de plaine étalée avec des altitudes variant entre 1,6 et 39 m (Olivry, 1986). Selon Suchel (1972), la ville de Douala a un climat tropical humide de type côtier nord, caractérisé par deux saisons dont une longue saison pluvieuse qui s'étend sur 9 mois (de mars à novembre) et une courte saison sèche qui ne dure que 3 mois (de décembre à février). Les précipitations y sont abondantes et régulières avec des valeurs moyennes annuelles variant entre 2596 mm et 5328 mm. Quant aux températures, elles sont relativement élevées avec une moyenne mensuelle d'environ 28 °C et une amplitude thermique moyenne de 2,4 °C. Le mois de février est généralement le plus chaud avec des températures moyennes de l'ordre de  $29 \pm 2,54$  °C, alors que le mois d'août est le plus frais, avec une moyenne  $26 \pm 0,18$  °C (DNM, 2012). L'humidité relative moyenne annuelle est constamment élevée et se situe autour de 80 %, avec des valeurs moyennes mensuelles oscillant entre 79 et 88 % pendant la saison des pluies, et entre 77 et 81 % pendant la saison sèche (Olivry, 1986).

#### **II.1.1.1. Géologie**

Les sols de la région de Yaoundé dérivent d'un matériau quartzo-feldspathique plus ou moins micacé (Apouamoun Yiagnigni, 2006). Les sols rencontrés dans cette région ont trois caractéristiques majeures : ferrallitiques, hydromorphes et peu évolués (Onguene Mala, 1993). Les sols ferrallitiques présentent deux variantes : les sols ferrallitiques rouges et les sols ferrallitiques jaunes. Les sols ferrallitiques rouges, localisés sur les sommets des interfluves, sont très épais (plus de 15 m), argileux et acides ( $\text{pH} < 5,5$ ). Leurs principaux minéraux constitutifs sont : la kaolinite, l'hématite, la goethite, le quartz et la gibbsite (Onguene Mala, 1993). Quant aux sols ferrallitiques jaunes, localisés en bas des pentes, ils sont argileux, très riches en fer, poreux et présentent un horizon bariolé avec une faible teneur de quartz. Les sols hydromorphes sont rencontrés généralement dans les vallées marécageuses et sont très souvent peu évolués à cause du renouvellement par les inondations et les transports par l'érosion.

#### **II.1.1.2 Hydrographie**

Le climat est qualifié de « Yaoundéen » (Tanawa *et al.*, 2002). Il est caractérisé par l'abondance de précipitations à caractère bimodal atteignant parfois 1650 mm/an, et une température moyenne de 23°C. Ce climat comprend quatre saisons réparties comme suit : une

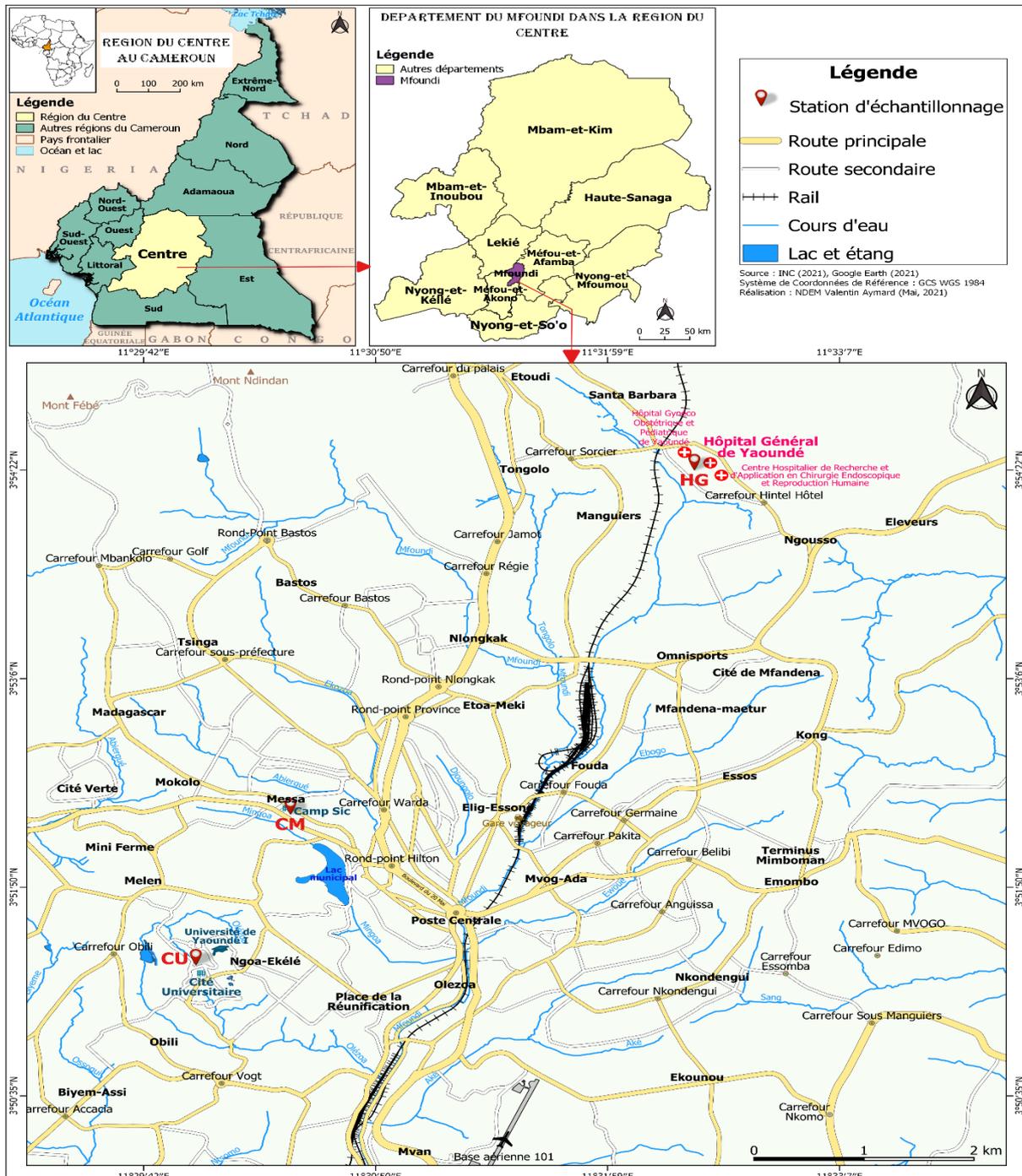
grande saison sèche qui s'étend de mi-novembre à mi-mars, une petite saison de pluies qui va de mi- mars à fin juin, une petite saison sèche qui couvre la période allant de juillet à mi- août et une grande saison de pluies qui s'étend de mi-août à mi- novembre. Les températures varient de 18°C à 28°C en saisons humides et de 16°C à 31°C en saison sèche (Suchel, 1972). Cette intense activité pluviométrique alimente un réseau hydrographique très dense, dont le principal cours d'eau est le Mfoundi qui prend sa source sur les flancs du mont Fébé. Il coule d'Ouest en Est suivant le relief. Grossi du Tongolo et du Ntem (affluents) venus du Nord, le Mfoundi se dirige vers le Sud (Franqueville, 1984). Les autres affluents du Mfoundi sont l'Ekozoa, l'Abiergue, le Mingoa, le Djoungolo. D'autres cours d'eaux sont présents à l'Est de la ville, il s'agit par exemple de l'Ebogo, l'Ewoué, l'Odza et le Nkié. Yaoundé est ainsi abondamment irriguée par un vaste réseau hydrographique qui quadrille telle une toile d'araignée.

Constitué d'environ 25% de zones à risque (pentes, marécages et vallées inondables), le milieu naturel de Yaoundé présente de nombreuses contraintes à l'occupation humaine. La forte croissance démographique des deux dernières décennies n'a pas facilité l'aménagement de ce site accidenté, aboutissant à un paysage urbain atypique. A ce problème de sol accidenté, s'ajoute les problèmes d'accès, de ravitaillement et d'approvisionnement en eau potable. En effet, l'approvisionnement en eau potable est devenu un problème majeur sur l'ensemble du territoire national à cause du manque d'investissement dans le secteur depuis plusieurs décennies (Temgoua *et al.*, 2003). Le taux d'accès à l'eau de la population est de 75% en milieu urbain. L'approvisionnement se fait principalement par le réseau d'adduction en eau potable mais les problèmes récurrents de coupures ont favorisé le développement des points d'eau complémentaires d'approvisionnement comme les puits, les sources, les rivières et les eaux pluviales, sans distinction entre les catégories sociales, ceci sans se soucier de la qualité. D'où l'intérêt d'accentuer les recherches sur les différentes sources potentielles de pollution qui sont les eaux usées qui contaminent ces eaux afin d'orienter les responsables sur les meilleures méthodes de traitement et de préservation pour un rendement plus efficace et durable.

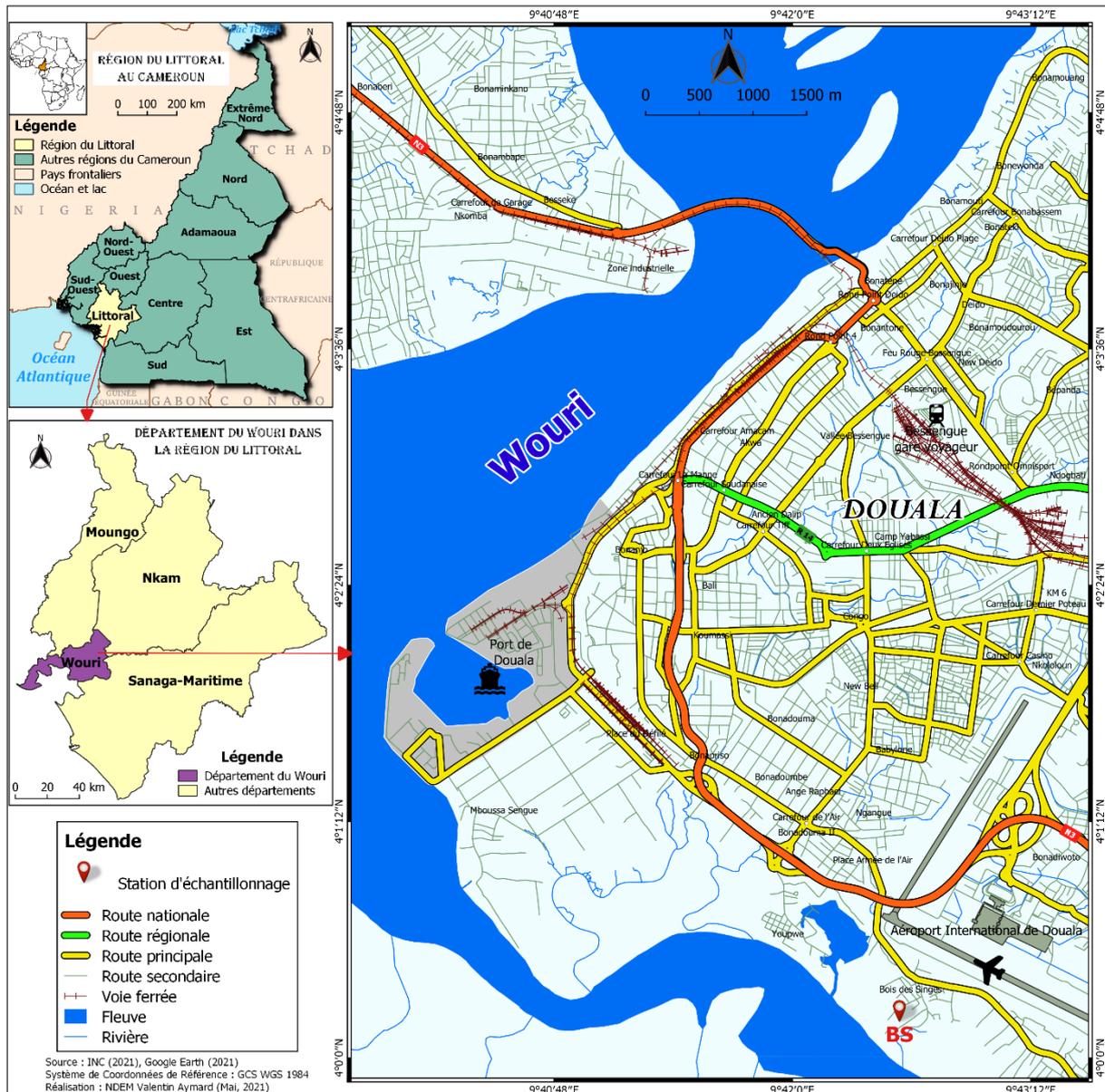
### **II.1.2. Stations d'étude**

Pour cette étude, 04 stations d'échantillonnage ont été retenues. Ces points de prélèvement ont été choisis en fonction des critères tels que le type d'effluent lié aux activités anthropiques riveraines, la quantité d'effluent déversée directement dans l'environnement, la proximité des cours d'eau, voire l'abondance en charges parasitaires. Les points échantillonnés ont donc été sélectionnés selon leur potentiel à contenir des oocystes et Kystes. Sur la base de

ces critères, 03 stations ont été choisies à Yaoundé à savoir Hôpital Générale de Yaoundé (HG), Camp Sic Messa (CM) et la Cité Universitaire de Yaoundé 1(CU). L'ensemble de ces points de prélèvement sont consignés sur la figure (11). Le quatrième site a été choisi au Bois de Singe(BS) de Douala figure (12)



**Figure 11 :** Carte des points d'échantillonnage dans la ville de Yaoundé (Institut Nationale de Cartographie 2021)



**Figure 12 :** Carte du point d'échantillonnage de la ville de Douala (Institut Nationale de Cartographie, 2021)

### II.1.2.1. Cité Universitaire (CU)

De coordonnées géographiques  $3^{\circ}51'367''$  N et  $011^{\circ} 32'636$ E, et d'altitude 772 m. cette cité est la plus grande au Cameroun de par sa capacité elle abrite des milliers d'étudiants qui génèrent une grande quantité d'eau usées et matière fécale. Ces eaux sont raccordées à un canal souterrain qui permet de les acheminer vers une station de traitement de type lit bactérien, cette station est actuellement non fonctionnelle et ces eaux se retrouvent directement dans la nature sans traitement. Les échantillons ont été prélevés à 50 mètres de la cité à l'intérieur de l'université dans le champ de cannes à sucre, au niveau d'un canal prévu pour l'aération des eaux (Figure 12A).

### II.1.2.2 Camp Sic Messa Yaoundé (CM)

De coordonnées géographiques 3°52'293'' N et 011° 30'429E, et d'altitude 748 m. ce Camp sic regroupe plus de 2500 personnes. Les eaux usées sont dirigées vers une station de traitement des eaux de type ependage souterraine. Les échantillons destinés aux analyses ont été prélevés au niveau d'un canal d'aération des eaux usées avant leur arrivée à la station de traitement des eaux (Figure 12D)

### II.1.2.3 Hôpital Général de Yaounde (HG)

De coordonnées géographiques 3°52'382'' N et 011° 30'421''E, et d'altitude 756 m. Cet Hôpital dispose un site de dessiccation du matériel physique. Mais les eaux usées sont directement déversées dans l'environnement à travers un canal construit en bétons, situer directement derrière l'hôpital. Les échantillons destinés aux analyses ont été prélevés au niveau du canal ou le canal est saturé et les eaux se déversent (Figure12C).

### II.1.2.4 Bois Des Singes de Douala (BS)

De coordonner géographique N 04 00 19,7 E 009 42 53,8 a 7m d'altitude ce site est marqué par la présence abondante des populations. Ce site est situé derrière l'aéroport international de Douala lieu ou toutes les boues de vidanges de la ville de Douala sont déversées, plus de 400.000 litres de boues de vidanges y sont déversées par jour, les échantillons destinés aux analyses ont été prélevés dans le bassin plus bas (Figure13B)



**Figure 13:** Photos des stations d'échantillonnage (A=Point de rejet Cité Universitaire ;B= Point de rejet Bois de Singes ; C= Point de rejet Hôpital Général ;D= Point de rejet Camp sic Messa) ; Echelle :1/25

## **II.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, l'humidité, le potentiel d'oxydoréduction, la conductivité électrique, la salinité, le pH, les STD, les gaz dissous, les formes d'azote, de phosphore et la quantité de matière organique.

### **II.2.1. Paramètres physiques**

#### **II.2.1.1. 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.2.1.2. 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 relevées et exprimées en mg/L.

#### **II.2.1.3. Turbidité**

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

#### **II.2.1.4. 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. Paramètres chimiques**

#### **II.2.2.1 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 est 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.2.2.2. 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 de 250mL 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> a été 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.2.2.3. 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 1/10<sup>e</sup>

#### **II.2.2.4. Potentiel d'oxydoréduction**

Le potentiel d'Oxydoréduction (POR) a été mesuré à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839. La mesure s'effectue en plongeant l'électrode correspondante au 2/3 dans l'eau pendant quelques minutes. Les résultats sont exprimés en millivolt (mV).

#### **II.2.2.5. Conductivité électrique**

La conductivité électrique exprimée en μS/cm a été mesurée à l'aide de l'électrode d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839.

#### **II.2.2.6. 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.2.2.7. 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.2.2.8. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les mesures de la teneur de l'eau en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) se sont faites au spectrophotomètre HACH DR 3900. Les nitrates ont été mesurés sur 10 mL d'échantillon avec comme réactif le Nitruver V à la longueur d'onde = 507 nm. Les résultats ont été exprimés en mg/L de  $\text{NO}_3^-$ .

#### **II.2.2.9. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )**

Les teneurs en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) ont été mesurées sur 10 mL d'échantillon avec comme réactif le Nitruver III à la longueur d'onde = 500 nm. Les résultats ont été exprimés en mg/L de  $\text{NO}_2^-$ .

#### **II.2.2.10. Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )**

La concentration en azote ammoniacal (exprimée en mg/L de  $\text{NH}_4^+$ ) 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 = 425 nm.

#### **II.2.2.11. Orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

Les teneurs en orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 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  $\text{PO}_4^{3-}$  à la longueur d'onde = 530 nm.

#### **II.2.2.12. 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  $\text{HCO}_3^-$  ont été obtenus par la formule ci-après :

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

### II.2.2.13. 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  $\text{KMnO}_4$  N/80 ont été ajoutés. Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erlenmeyer a été refroidi à l'eau courante, puis 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 25% et 20 mL de sel de Mohr y ont été ajoutés successivement. L'échantillon décoloré a ensuite été titré au  $\text{KMnO}_4$  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  $\text{O}_2$  s'obtient par la formule ci-dessous :

$$\text{Oxydabilité (mg/L de O}_2) = \frac{(q - q^0)}{2} \times 3,95$$

avec

$q$  = descente de burette de l'échantillon

$q_0$  = descente de burette du témoin

## II.3. Observation des kystes et oocystes des protozoaires

Les échantillons destinés pour l'observation des kystes et oocystes des protozoaires sont prélevés à l'aide des flacons stériles en polyéthylène de 1 L puis transportés au laboratoire. Ces échantillons sont ensuite laissés au repos à température ambiante pendant 24 heures pour sédimentation puis le surnageant est versé et le volume du culot est recueilli et mesuré. L'observation des kystes et oocystes est faite au microscope optique inversé et au grossissement 40 X.

### II.3.1. Méthode de sédimentation

Après homogénéisation du culot, 5 mL de l'échantillon (témoins et tests) sont prélevés et introduits dans un tube à essai. Le mélange obtenu est porté à la centrifugation à 1500 tours/min pendant 5 min à l'aide d'une centrifugeuse après le surnageant est versé et le culot est prélevé et observé entre lame et lamelle.

### II.3.2. Méthode par flotaison au sulfate de zinc ou technique de Faust modifiée.

Cette méthode permet la flottation des kystes. Après homogénéisation du culot, 5 mL de l'échantillon sont prélevés et introduits dans un tube à essai. A cela sont ajoutés 3 mL de sulfate de zinc à 33 % (densité spécifique de 1,18) et le mélange obtenu est porté à la centrifugation à

500 tours/min pendant 4 à 5 min à l'aide d'une centrifugeuse. Ensuite, préleve à l'aide d'une pipette la couche superficielle du surnageant et étale entre lame et lamelle pour observation.

### II.3.3 Coloration de Ziehl Nielsen

Méthode adaptée pour la détection des coccidies. A 5 mL de l'échantillon, 3 mL d'une solution de sulfate de zinc 33 % ont été ajoutés à pour favoriser la flottaison des oocystes, puis l'ensemble a été centrifugé à 500 trs/min pendant 10 minutes. Une goutte du surnageant a été prélevée à l'aide d'une micropipette et déposée sur une lame porte-objet. Après séchage à l'air des lames portant l'échantillon pour favoriser l'adhésion des oocytes, une fixation a été effectuée à l'aide du méthanol suivi d'une coloration à la fuchsine basique. Les lames ont ensuite été rincées à l'eau puis à l'acide sulfurique 2 %. Par la suite, une contre-coloration au vert de malachite a été effectuée suivie d'un dernier rinçage à l'eau. Les lames sont prêtes pour les observations.

### II.3.4. Identification et dénombrement des kystes et des Oocystes

Les kystes et Oocystes ont été identifiés à l'aide des planches de l'OMS (1994 et 2019). Les mesures des dimensions ont été faites grâce au micromètre que porte l'un des oculaires du microscope. Le volume intégral (Vx) du culot est noté. Après homogénéisation du culot, un volume précis (Vy) est prélevé et utilisé pour l'identification. La portion finale de chaque tube est répartie sur des lames, puis le nombre d'organismes (cellules) est compté. Le nombre total de cellules obtenu dans l'échantillon est calculé en multipliant la valeur obtenue sur toutes les lames par la fraction Vx/Vy et le résultat est enfin ramené au litre, .Le nombre (X) de kyste et Oocystes parasites dans 1 L d'échantillon est calculé en utilisant la formule suivante (Ajeegah *et al.*, 2010) :

$$X = \frac{y.Vx}{Vy}$$

Avec : Vx= volume du culot dans 1 L d'échantillon, Vy= volume du culot utilisé pour observation, y= nombre de kystes observés dans Vy.

Pour évaluer l'effet des désinfectants sur les différents kystes, oocystes et sur les variables physicochimiques, le taux d'abattement a été calculé selon la formule suivante :

Taux d'abattement(%)=  $\frac{Ni-Nf}{Ni} \times 100$  Avec Ni= valeur avant application du désinfectant et Nf =valeur après application du désinfectant.

### **II.3.5 Evaluation de la viabilité des kystes et des oocystes par coloration**

Après quantification des éléments parasitaires, une goutte de safranine ou de rouge neutre est ajoutée à chaque échantillon. Quelques minutes après, 50 µL de solution est déposée sur une lame de microscope pour le comptage. Lorsqu'ils sont encore en vie, ils sont colorés en rouge par le réactif ; les kystes et oocystes sont alors dit viables et peuvent causer des infections (Kpoda *et al.*, 2015). Par contre, les kystes et oocystes non viables sont incolores.

### **II.4 Technique de traitement des eaux : protocole de manipulation**

Cette manipulation vise à déterminer sur un échantillon donné l'efficacité comparé d'un désinfectant en fonction des doses injectées et du temps de contact. Une fois sur le terrain prélever 20L d'échantillon, puis filtrer au travers de deux filtres de 100µm et 80µm de porosité pour éliminer les macro particules, ensuite les échantillons filtrés sont transportés au laboratoire dans les conditions recommandées par Rodier *et al* (2009).

Au laboratoire, les kystes et oocystes non viables ont été éliminés par aspiration grâce au pouvoir de flottation du n-butanol. Nous avons sélectionné six désinfectants (Figure 14), après plusieurs essais avec une dizaine de désinfectants. Il s'agit de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel), l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), le Moringa, le Gypse, le chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) et l'ammoniac.

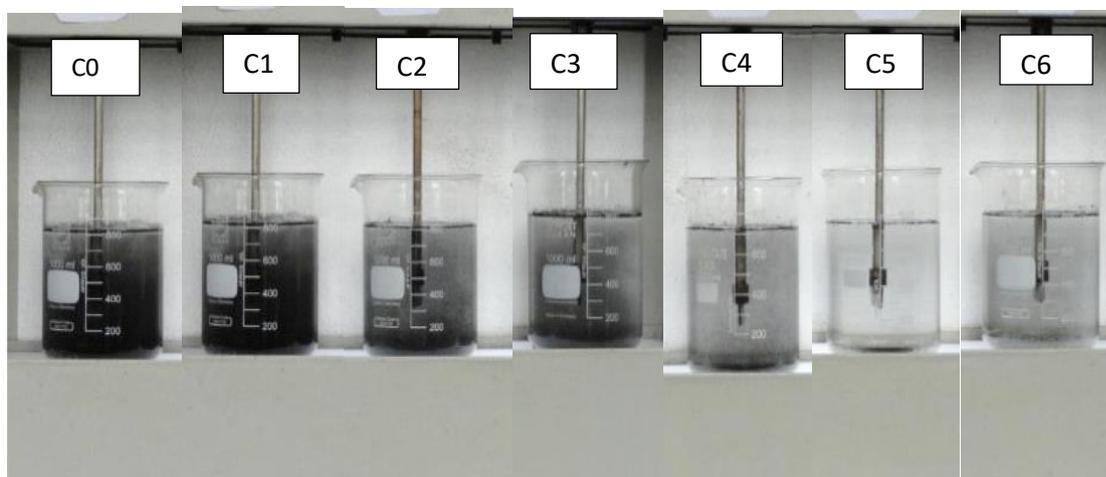
Ce test consiste à mesurer différentes masses de désinfectants solides à l'aide d'une balance sensible et différents volumes de désinfectants liquides que l'on mélange à 0,5 L d'échantillon. Le Bécher témoin contient uniquement 0,5 L d'eau de l'échantillon. Ainsi, six concentrations ont été choisies après plusieurs essais 100mg /l noté C1,200mg/l noté C2, 300mg /l noté C3, 400mg/l noté C4,500mg/l noté C5 ,600mg/l noté C6 et le témoin noté Te ou C0 (Figure15).

L'ensemble est porté sur un agitateur magnétique, puis laissé à température ambiante pendant 24 et 36 heures (temps de contact). Après ce temps les paramètres physicochimiques de chaque milieu son mesurés. Ensuite, 5mL du culot des échantillons sont prèlevés, rincés deux fois à l'eau distillée et au thiosulphate de Sodium afin de neutraliser l'excès de désinfectant dans l'échantillon ; puis l'ensemble est traité selon plusieurs techniques de concentrations (Faust, Sédimentation, Ziehl -Nielsen), 10 µl du culot sont prèlevés, puis étalés sur une lame porte objet et colorés par les tests de coloration (rouge neutre, Safranine et Ziehl-Neelsen). L'objectif de cette procédure est d'apprécier d'une part, les changements morphologiques

éventuels de l'aspect des oocystes désinfectés et d'autre part, de quantifier le nombre d'oocystes et kystes viables.



**Figure 14** : Photos des différents désinfectants utilisés (A= poudre des feuilles de Moringa ; B=l'Eau Oxygénée ; C=Gypse ; D=Eau de Javel ; E=Ammoniac ; F= Chlorure de Calcium )



**Figure 15** : Photo du protocole expérimental (C= concentration)

## **II.5 Analyse statistique des variables physico-chimiques et biologiques**

### **II.5.1 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 26.0 après vérification de la distribution des données.

### **II.5.2 Test H de Kruskal-Wallis**

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (test H) a été utilisé pour vérifier sur les plans spatiaux, 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 physicochimiques mesurés des eaux étudiées. 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.5.3 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 désinfectants 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 R version 3.2.

#### **II.5.4 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. Les composantes principales sont classées par ordre décroissant de la quantité d'information qu'elles expliquent.

En général, les deux à trois premières composantes principales suffisent pour expliquer 60 à 70% de l'information contenue dans la matrice de départ (Ouro-Boya, 2004). Les composantes principales sont obtenues par la diagonalisation d'une matrice qui, suivant la nature des variables initiales, est soit la matrice des corrélations, soit la matrice des covariances (Legendre et Legendre, 1979). 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. Le pourcentage d'information initiale expliquée par chaque composante principale est illustré sous forme d'histogramme. Le logiciel L'ACP a été réalisé à l'aide du logiciel XS-STAT.

# **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

### III.1. RESULTATS

#### III.1.1 Caractéristiques physicochimiques des échantillons bruts avant désinfection

La caractérisation physicochimique des paramètres a porté sur les variables telles que, la température, l'oxygène dissous, le CO<sub>2</sub> dissous, les solides totaux dissous, la conductivité électrique, la résistivité, le potentiel d'oxydoreduction, la salinité, les matières en suspension, les nitrates, les orthophosphates, la turbidité, la couleur, l'azote ammoniacal et le pH (Tableau VI).

Les valeurs de la Température ont très peu varié au cours de cette étude, elles oscillent entre 24°C (Hôpital Général) et 29°C ( Bois de Singe), avec une moyenne de  $26,25 \pm 2,21$ °C. Le taux de CO<sub>2</sub>, mesuré au cours cette étude varie de 23 mg/L à 38 mg/L avec une moyenne de  $30,42 \pm 6,22$  mg/L. Le pourcentage de saturation en oxygène a considérablement varié d'une station à l'autre, la valeur la plus élevée a été obtenue à la station du Camp sic Messa (45%), tandis que la plus faible valeur (16%) a été obtenue à la station (Bois de singe), ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $32,4 \pm 14,92$ % (Tableau VI).

Les valeurs les plus élevées de l'alcalinité (44mg/L), de la couleur (20400 Pt.Co) , de la turbidité (3600FTU) et des nitrate (60mg/L) ont été obtenues à la station Bois de singe tandis que les valeurs les plus faibles de l'alcalinité (10mg/L) et des nitrate (4mg/L) ont été obtenues à la station de Hôpital Général, avec des moyennes respectives de  $22,5 \pm 14,91$ mg/L (Alcalinité) et  $34,8 \pm 28,95$ mg/L (Nitrate). Alors que les faibles valeurs de la couleur (2184 PtCo) et de la turbidité (1120FTU) ont été obtenues à la station Camp sic Messa avec des moyennes respectives de  $9211 \pm 8131,39$  Pt.Co et  $2350 \pm 1117,79$  FTU (Tableau VI).

Les valeurs les plus élevées de la Salinité, les TDS et la Conductivité électrique (0,97 PSU, 955mg/L, 1913µS/cm) ont été obtenues à la station de l'Hôpital Général, alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées à la station de la Cité Universitaire (0,33 PSU, 343mg/L, 685µS/cm). Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de  $0,557 \pm 0,28$ PSU,  $1202 \pm 513,95$ µS/cm,  $600,25 \pm 256,22$ mg/L respectivement pour la salinité, la Conductivité électrique et les TDS. Par contre, les valeurs les plus élevées de la résistivité ont été enregistrées à la station Cité Universitaire (1460 Ohm/cm) et la valeur la plus faible (524 Ohm/cm) a été obtenue à la station Hôpital Général, ces valeurs tournent autour d'une moyenne de  $1036 \pm 406,49$  Ohm/cm (Tableau VI).

Les valeurs plus élevées du pH (8,45 U.C) et de l'oxydabilité (29,62 mg d'O<sub>2</sub>/L) ont été enregistrées à la station Camp sic Messa et les valeurs les plus faibles ont été respectivement

enregistrées à la station de l' Hôpital général pour le pH (7,02) et à la station des Bois de singes pour l'oxydabilité (7,3 mg d'O<sub>2</sub>/L). Avec les moyennes 7,04 ± 0,69 U.C pour le pH et 16,49 ± 9,39 pour l'oxydabilité (Tableau VI).

Les valeurs les plus élevées de l'azote ammoniacal (148mg/L) des orthophosphates (100mg/L) ont respectivement été enregistrées à la station Cité universitaire et à la station Hôpital général. Alors que les valeurs les plus faibles 2mg/l pour l'Azote ammoniacal et 11,4mg/L ont été enregistrées pour les orthophosphates à la station Bois de singes, avec des moyennes respectives 44,8 ± 69,57mg/L et 34,618 ± 43,63mg/L.

**Tableau VI :** Variation des paramètres physicochimiques mesurés avant désinfection

Paramètres	Cité Universitaire	Hôpital Général	Camp sic Messa	Bois de Singe	Moyenne	Min	Max
Température (°C)	25	24	27	29	26,25±2,21	24	29
Oxygène dissous (%)	34	36	45	16	32,4±14,92	16	45
Dioxyde de carbone dissous (mg/L)	23	38	29	31,68	30,42±6,22	23	38
TDS (mg/L)	343	955	542	561	600,25±256,22	343	955
Conductivité (µS/cm)	685	1913	1085	1125	1202±513,95	685	1913
Résistivité (Ohm/Cm)	1460	524	922	1238	1036±406,49	524	1460
Salinité (PSU)	0,33	0,97	0,53	0,4	0,5575±0,28	0,33	0,97
POR (Mv)	-123	-5,8	-347	11	-116,2±165	-347	11
MES (mg/L)	1640	1080	924	1290	1233,5±309,72	924	1640
Couleur (Pt.Co)	9880	4380	2184	20400	9211±8131,39	2184	20400
Turbidité (mg/L)	2920	1760	1120	3600	2350±1117,79	1120	3600
Nitrates (mg/L)	16,2	4	59	60	34,8±28,95	4	60
pH (U.C)	7,05	7,02	8,45	7,11	7,407±0,69	7,02	8,45
Orthophosphates (mg/L)	15,67	100	11,4	11,4	34,618±43,63	11,4	100
Azote ammoniacal (mg/L)	148	4,2	25	2	44,8±69,57	2	148
Alcalinité (mg/L)	16	10	20	44	22,5±14,91	10	44
Oxydabilité (mg/L d'O <sub>2</sub> )	14,81	14,22	29,62	7,3	16,49±9,39	7,3	29,62

Légende : Min= minimum, Max=maximum

### **III.1.2. Evolution des variables physicochimiques durant les différents tests de désinfection**

#### **III.1.2.1. Variation des valeurs des matières en suspensions en fonctions des différents désinfectants**

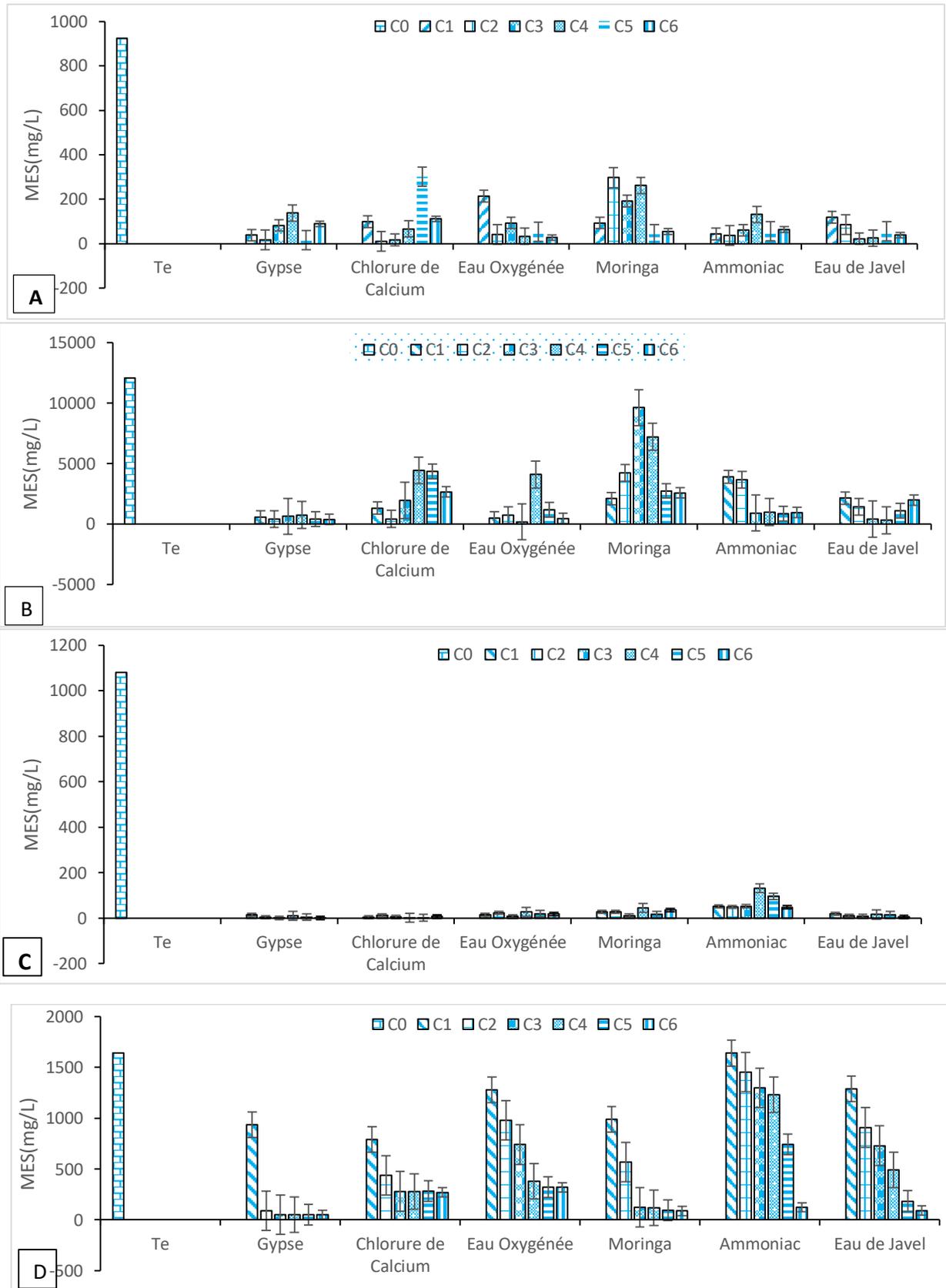
La quantité des matières en suspension présentes dans les échantillons varient en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de 1640mg/l, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires excepté le Gypse, la plus petite valeur (50mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse à la concentration C3 (Figure 16D).

La valeur témoin des matières en suspension obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 1080mg/l, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 50 mg/l. La plus petite valeur (1mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 16C).

La valeur témoin des matières en suspension obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 12090mg/l, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est différent, ces valeurs chutent considérablement à partir de la concentration C2, la plus petite valeur (183mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée à la concentration C3 (Figure 16B).

Contrairement aux trois autres stations, les valeurs des matières en suspension mesurées avant et après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa sont plus bas, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 924mg/l. Après désinfection, la petite valeur (22 mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'eau de Javel (Figure 16A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=168.10^{-5}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C0 ( $p=180.10^{-7}$ ), C 5 et C0 ( $p=839.10^{-7}$ ), C3 et C0 ( $p=958.10^{-6}$ ), C4 et C0 ( $p=996.10^{-5}$ ), C2 et C0 ( $p=119.10^{-4}$ ), C1 et C0 ( $p=351.10^{-6}$ ). De même, il existe une différence significative entre les valeurs des MES obtenues sur l'échantillon des différentes stations ( $p=297.10^{-7}$ ). Ainsi au niveau des stations, le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les stations HG et BS ( $p=0,001$ ), HG et CU ( $p=0,002$ ) et HG et CM ( $p=0,041$ ).



**Figure 16** : Courbes de la variation des Matières En Suspension en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois des Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.2 Variation des valeurs de la Couleur en fonction des différents désinfectants

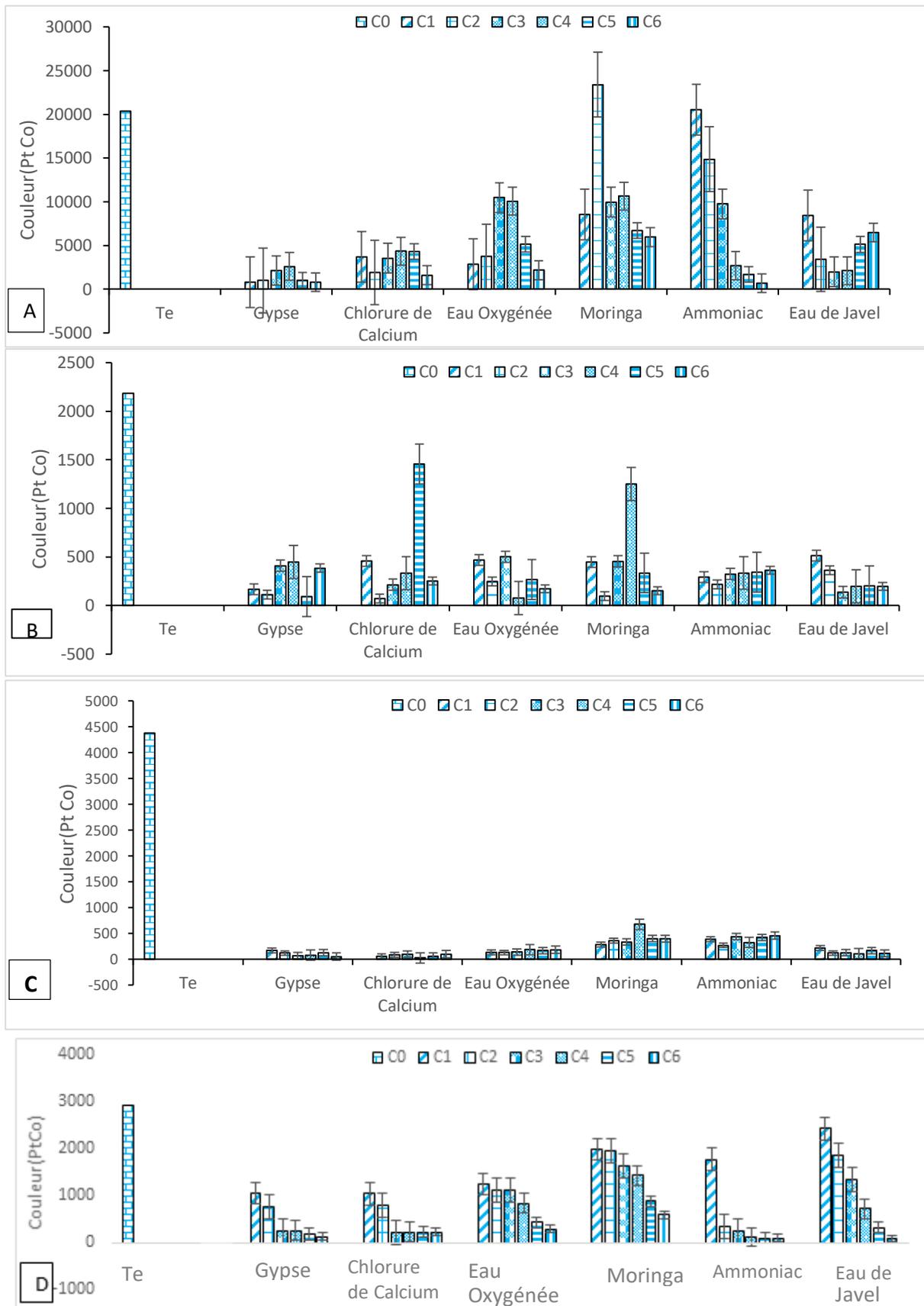
La couleur des échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées, ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de 2920 Pt-Co, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (90 Pt-Co) a été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa C6 (Figure 17D).

La valeur témoin de la Couleur obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 4380Pt.Co. Toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 70 Pt-Co. La plus petite valeur (50 Pt-Co) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 17C).

Contrairement aux trois autres stations les valeurs de la couleur obtenues avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes sont très élevées (20400 Pt-Co), après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est différent avec le plus faible profil après le traitement au Gypse, ces valeurs chutent considérablement, la plus petite valeur 674 Pt-Co à été obtenue sur les échantillons traités à l'Ammoniac à la concentration C6 (Figure 17B).

La valeur témoin de la Couleur obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est 2184 Pt-Co. Après désinfection, la petite valeur (9A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=168.10^{-5}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C0 ( $p=616.10^{-7}$ ), C6 et C3( $p=0,047$ ), C6 et C1 (0,012), C 5 et C0 ( $p=361.10^{-5}$ ), C3 et C0 ( $p=12.10^{-5}$ ), C4 et C0 ( $p=54.10^{-7}$ ), C2 et C0 ( $p=26.10^{-6}$ ), C1 et C0 ( $p=0,001$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs de la couleur obtenues entre les différentes stations ( $p=576.10^{-8}$ ). Le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entrer HG et CU ( $p=0,002$ ), HG et BS ( $p=0,013$ ), CM et CU ( $p=0,0040$ )



**Figure 17** : Courbes de la variation de la Couleur en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Générale ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.3. Variation des valeurs de la Turbidité en fonction des différents désinfectants

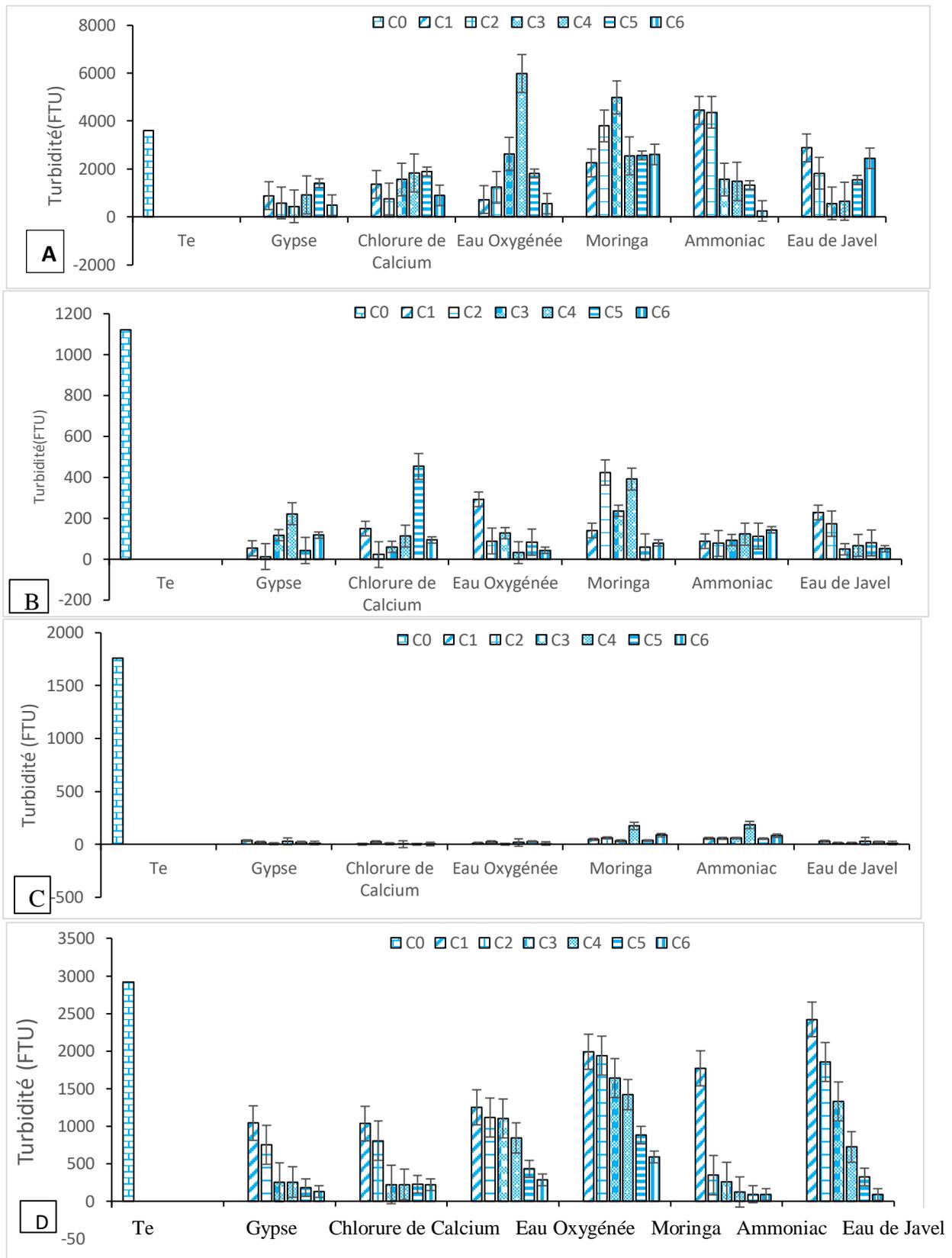
La quantité de matières turbides présentes dans les échantillons varient en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 2920 FTU. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (90 FTU) a été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa à la concentration C5 (Figure 18D).

La valeur témoin de la turbidité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 1760 FTU. Toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 100FTU, excepté les échantillons traités à l'ammoniac. La plus petite valeur (1 FTU) a été obtenue sur les échantillons traités au Chlorure de Calcium à la concentration C6 (Figure 18C).

La valeur témoin de la turbidité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 3600 FTU. Après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est différent, ces valeurs chutent considérablement à partir de la concentration C3 excepté l'échantillon traité à l'eau de Javel. La plus petite valeur (250 FTU) a été obtenue sur les échantillons traités à l'ammoniac à la concentration C6 (Figure 18A).

Contrairement aux trois autres stations les valeurs de la turbidité mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa est plus faible, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 1120 FTU, après désinfection, la petite valeur (42 FTU) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse à la concentration C5 (Figure 18B).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=945.10^{-6}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C2 et C0 ( $p=385.10^{-4}$ ), C3 et C0 ( $p=562.10^{-5}$ ), C4 et C0 ( $p=295.10^{-4}$ ), C5 et C0 ( $p=192.10^{-5}$ ), C6 et C0 ( $p=207.10^{-6}$ ), C1 et C0 ( $p=841.10^{-7}$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs de la turbidité obtenues sur les différentes stations ( $p=223.10^{-9}$ ). Entre HG et CU ( $p=0,006$ ), entre HG et BS ( $p=47.10^{-6}$ ), entre CU et BS ( $p=0,0012$ ), entre CM et BS( $p=0,018$ ).



**Figure 18:** Courbes de la variation de la Turbidité en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Bois de Singes ; B=Camp sic Messa ; C=Hôpital Générale ; D=Cité Universitaire)

#### III.1.2.4. Variation des valeurs du pH en fonction des différents désinfectants

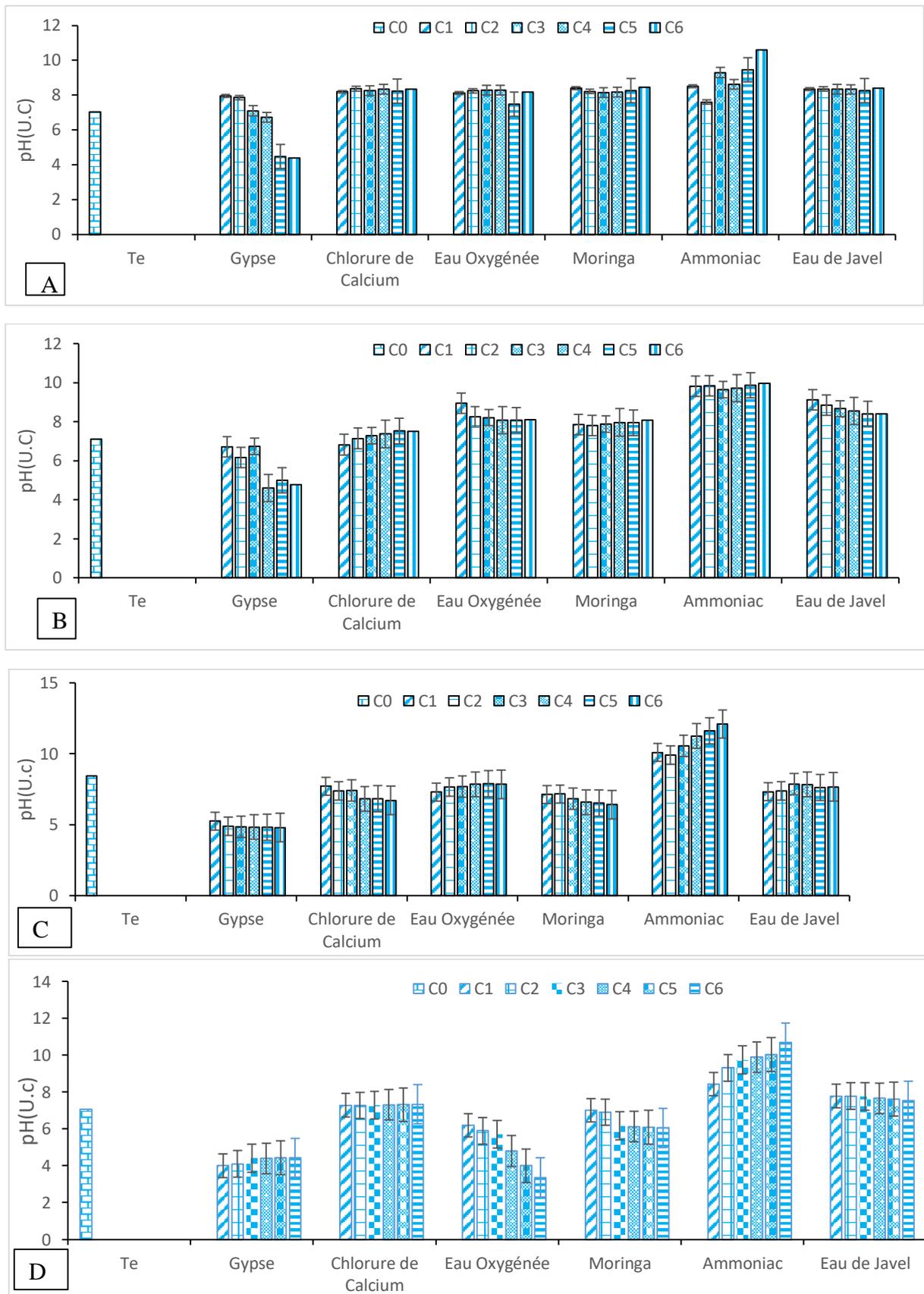
La quantité d'ions  $H^+$  présentes dans les échantillons varie en fonction de la nature de l'effluent, des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 7,05U.C, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (3,36U.C) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'eau oxygénée à la concentration C6 (figure 19D).

La valeur témoin du pH obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Générale est de 7,03U.C, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants ont très peu influencés la variation, excepté les échantillons traités au Gypse. La plus petite valeur (4,35U.C) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (figure 19A).

La valeur témoin du pH obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 7,11 U.C, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, la plus petite valeur (4,6U.C) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (figure 19B).

Similaire aux trois autres stations, les valeurs du pH mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient très peu, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 8,45 U.C, après désinfection, la petite valeur (4,79U.C) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse (figure 19 C).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,916$ ). Mais il existe une différence significative entre les valeurs du pH obtenues sur l'échantillon traité aux différents désinfectants. Le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les échantillons traités au Gypse et au Moringa ( $p=0,001$ ), à l'Ammoniac ( $p=161.10^{-15}$ ), les échantillons traités à l'Eau Oxygénée et l'Ammoniac ( $p=396.10^{-4}$ ), les échantillons traités au Moringa et l'Eau de Javel ( $p=0,018$ ), à l'Ammoniac ( $p=131.10^{-5}$ ), les échantillons traités au Chlorure de Calcium associé et l'Eau de Javel ( $p=0,041$ ) et à l'Ammoniac ( $p=759.10^{-5}$ ). Il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=916.10^{-13}$ ).



**Figure 19** : Courbes de la variation du pH en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Hôpital Général, B=Bois de Singes, C=Camp sic Messa , D=Cité Universitaire)

### III.1.2.5 Variation des valeurs de l'Alcalinité en fonction des différents désinfectants

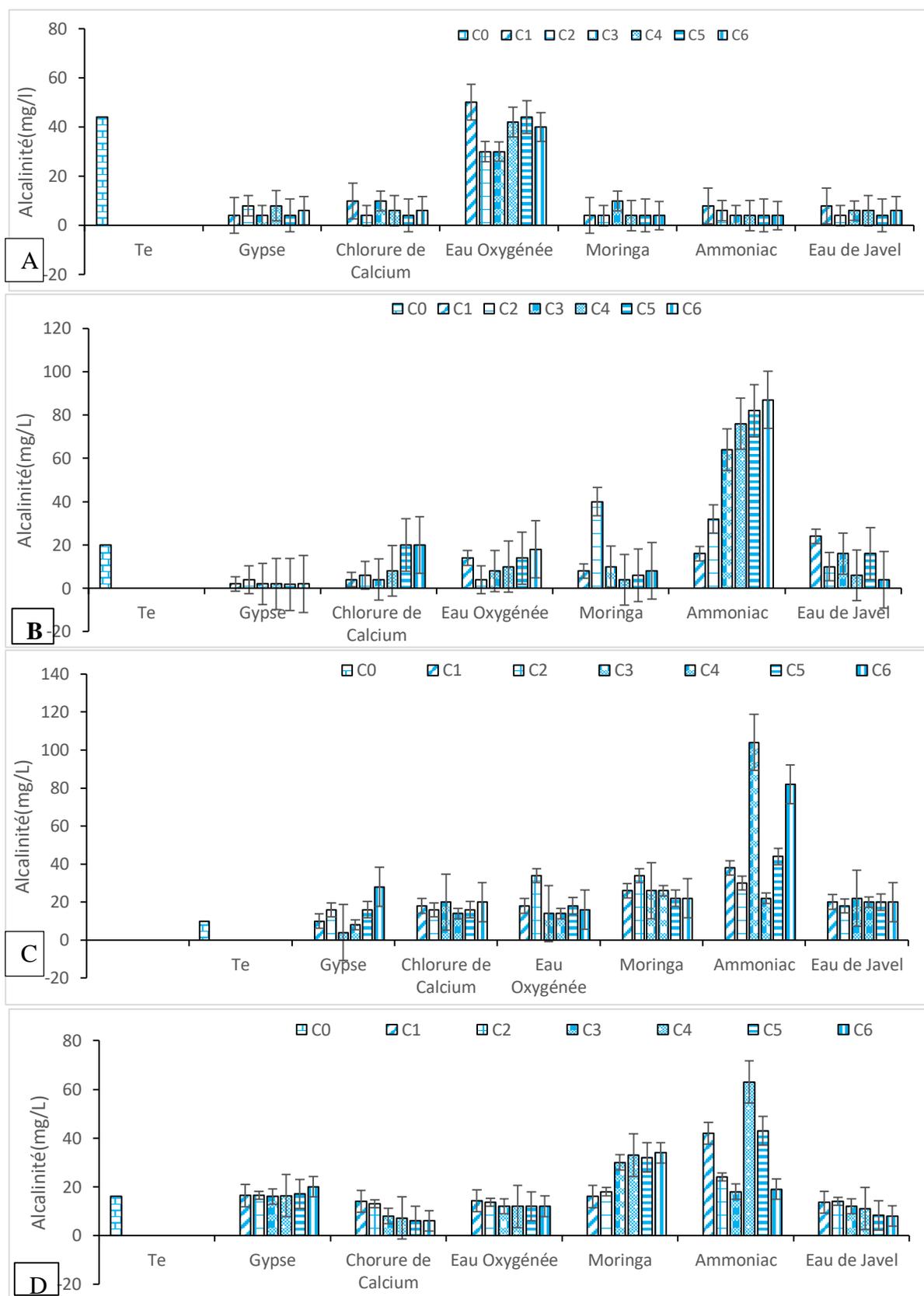
La quantité d'ions alcalins présente dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de 16mg/l. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils différents, la plus petite valeur (6 mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité au Chlorure de Calcium à la concentration C6 (Figure 20D).

La valeur témoin de l'alcalinité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Générale est de 10mg/l. Toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont supérieures à 8mg/l, excepté les échantillons traités au Gypse. La plus petite valeur (4mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C3 (Figure 20C).

La valeur témoin de l'alcalinité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 44 mg/l. Après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire excepté celui traité à l'Eau Oxygénée, ces valeurs chutent considérablement à partir de la concentration C1, la plus petite valeur (4mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Moringa à la concentration C6 (Figure 20B).

Les valeurs de l'Alcalinité mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa ne varient pas considérablement. En effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 20mg/l. Après désinfection, la petite valeur (1,8 mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse à la Concentration C5 (Figure 20A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,364$ ). Par contre il existe une différence significative entre les valeurs de l'Alcalinité obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues sur les échantillons traités ( $p=0003$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les échantillons traités au Gypse et au Moringa ( $p=0,028$ ), à l'Eau Oxygénée ( $p=0,004$ ), à l'Ammoniac ( $p=40.10^{-6}$ ); entre les échantillons traités au Chlorure de Calcium et l'Eau Oxygénée ( $p=0,021$ ), à l'Ammoniac ( $p=47.10^{-5}$ ); entre les échantillons traités à l'Eau de Javel et l'Ammoniac ( $p=0,004$ ). Il existe une différence significative entre les différents stations ( $p=128.10^{-7}$ ).



**Figure 20** : Courbes de la variation de l'Alcalinité en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Générale ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.6. Variation des valeurs de la Conductivité électrique en fonction des différents désinfectants

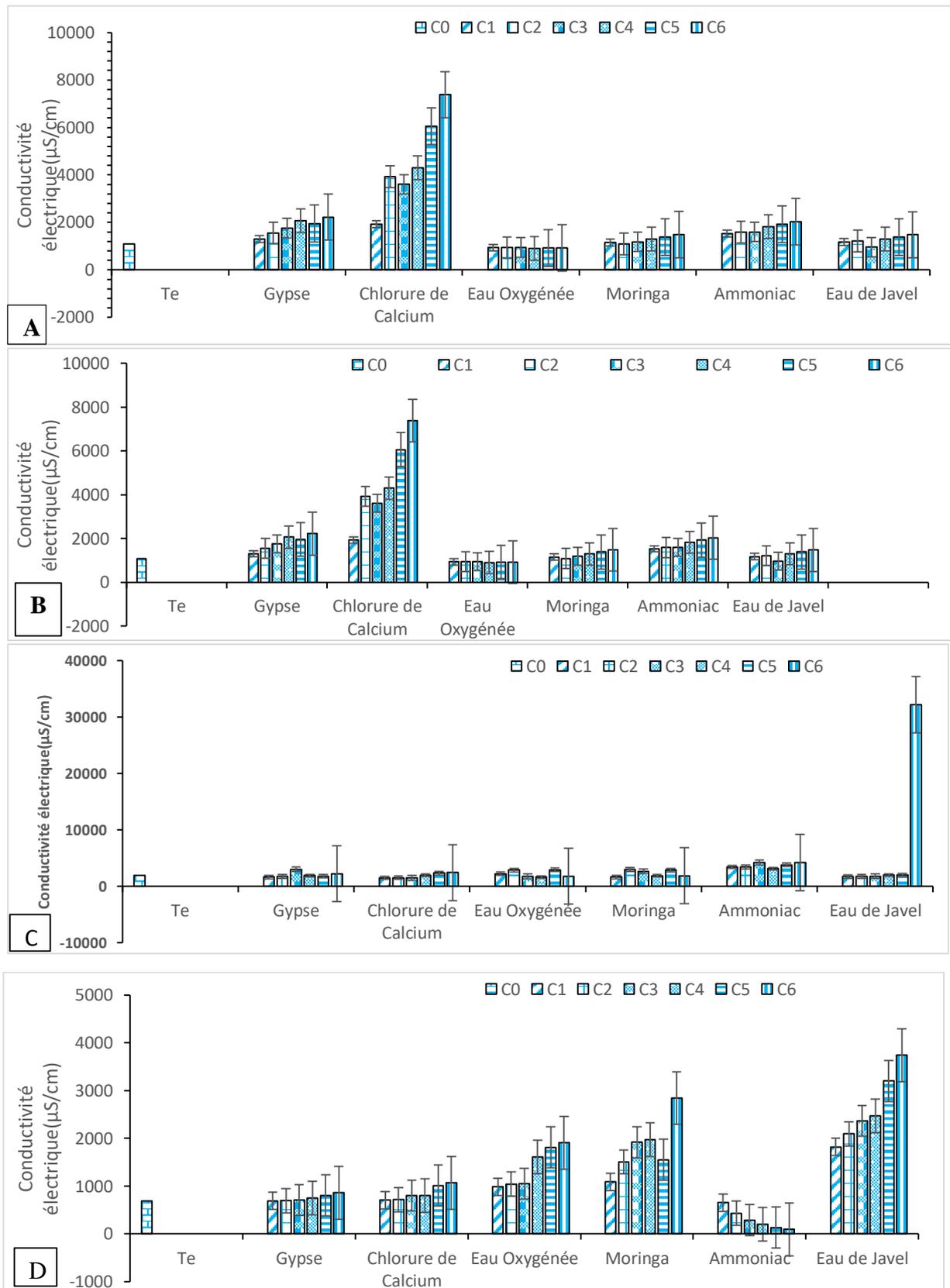
Les valeurs de la Conductivité électrique dans les échantillons varient en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de  $685\mu\text{S}/\text{cm}$ , les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent globalement des profils similaires, la plus petite valeur ( $90\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Ammoniac à la concentration C6 (Figure 21D).

La valeur témoin de la Conductivité électrique obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Générale est de  $1913\mu\text{S}/\text{cm}$ , toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont légèrement supérieures, excepté les échantillons traités à l'eau de Javel qui présentent un pic à la concentration C6. La plus petite valeur ( $1765\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée à la concentration C6 (Figure 21C).

La valeur témoin de la Conductivité électrique obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de  $1085\mu\text{S}/\text{cm}$ , après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, ces valeurs augmentent considérablement à partir de la concentration C2, la plus petite valeur ( $907\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ayant été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée à la concentration C6 (Figure 21B).

Communément aux trois autres stations, les valeurs de la Conductivité électrique mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient considérablement, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de  $1086\mu\text{S}/\text{cm}$ , après désinfection, la petite valeur ( $905\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau Oxygénée à la concentration C4 (Figure 21 A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,031$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C0 et C4 ( $p=0,018$ ). C0 et C5 ( $p=0,005$ ), C0 et C6 ( $p=0,001$ ), C1 et C6 ( $p=0,044$ ), C5 et C1 ( $p=0,00041$ ). De même il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=343.10^{-12}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les stations CU et BS ( $p=0,025$ ), CU et CM ( $p=0,008$ ), CU et HG ( $p=311.10^{-4}$ ). Par contre il n'existe pas une différence significative entre les valeurs de la conductivité obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues sur les échantillons traités.



**Figure 21 :** Courbes de la variation de la Conductivité électrique avant et après chaque traitement (A=Camp sic Messa ; B=Bois des Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.7. Variation des valeurs des Solides Totaux Dissous en fonction des différents désinfectants

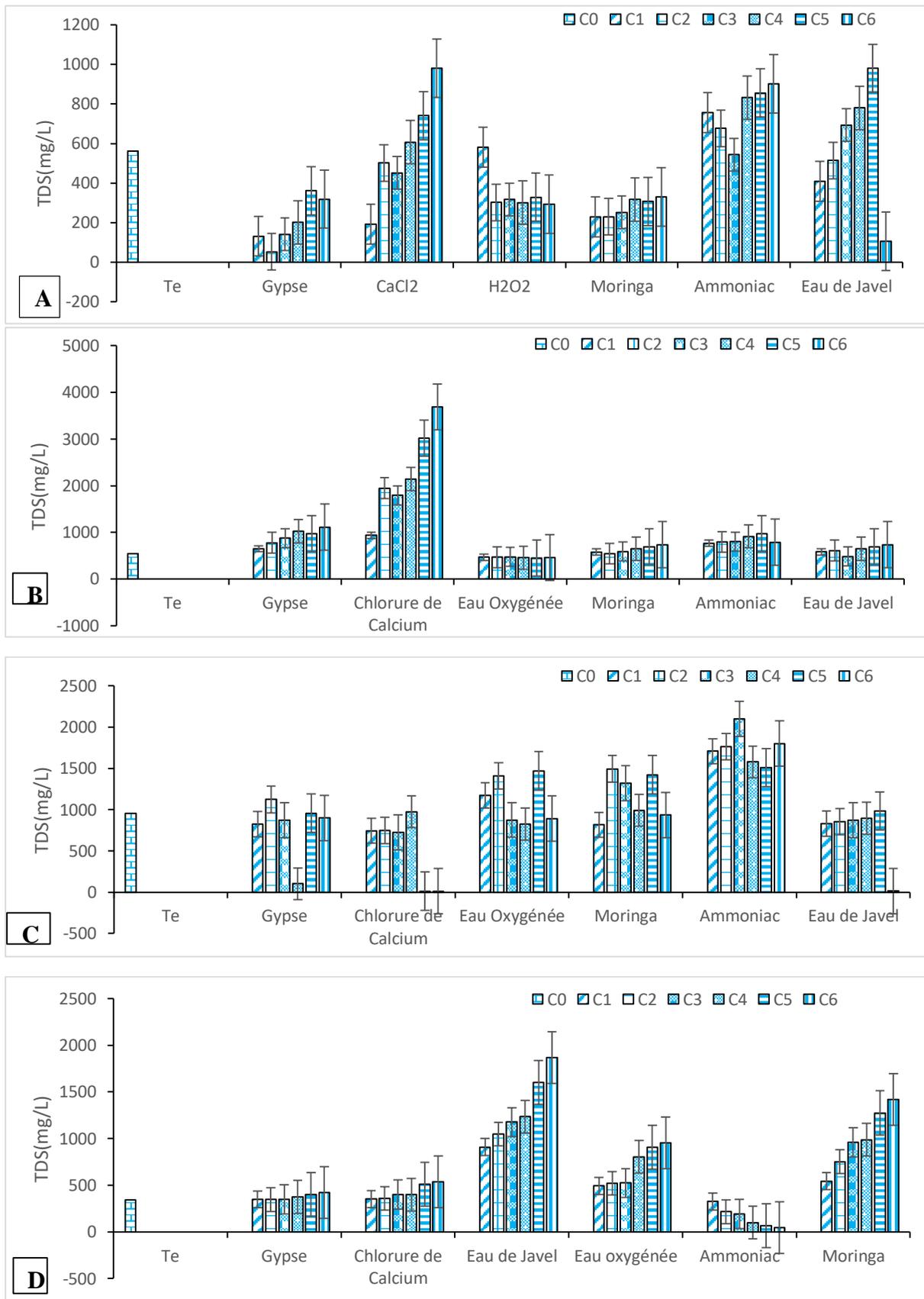
La quantité de solides totaux dissous (STD) présent dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 343mg/l, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires exceptée celle de l'échantillon traité à l'Ammoniac. La plus petite valeur (45mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Ammoniac à la concentration C6 (Figure 22D).

La valeur témoin des STD obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Générale est de 955mg/l, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont supérieures à 900mg/l, exceptée celle des échantillons traités au Chlorure de calcium. La plus petite valeur (15,95mg/L) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau de Javel à la concentration C6 (Figure 22C).

La valeur témoin des STD obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 561mg/l, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, ces valeurs augmentent considérablement à partir de la concentration C2, la plus petite valeur (107m/l) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau de Javel à la concentration C6 (Figure 22B).

Contrairement aux trois autres stations les valeurs des STD mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa ne varient pas considérablement. En effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 542 mg/l, après désinfection, la petite valeur (450 mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau Oxygénée à la concentration C5 (Figure 22 A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,694$ ). De même, il n'existe pas une différence significative entre les valeurs des STD obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues sur les échantillons traités ( $p=0,342$ ). Par contre il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=237.10^{-11}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les stations CU et BS ( $p=0,001$ ), CU et HG ( $p=0,012$ ), CU et CM ( $p=0,015$ ).



**Figure 22** : Courbes de la variation des Solides Totaux Dissous en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Générale ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.8. Variation des valeurs du Potentiel d'Oxydo-Réduction en fonction des différents désinfectants

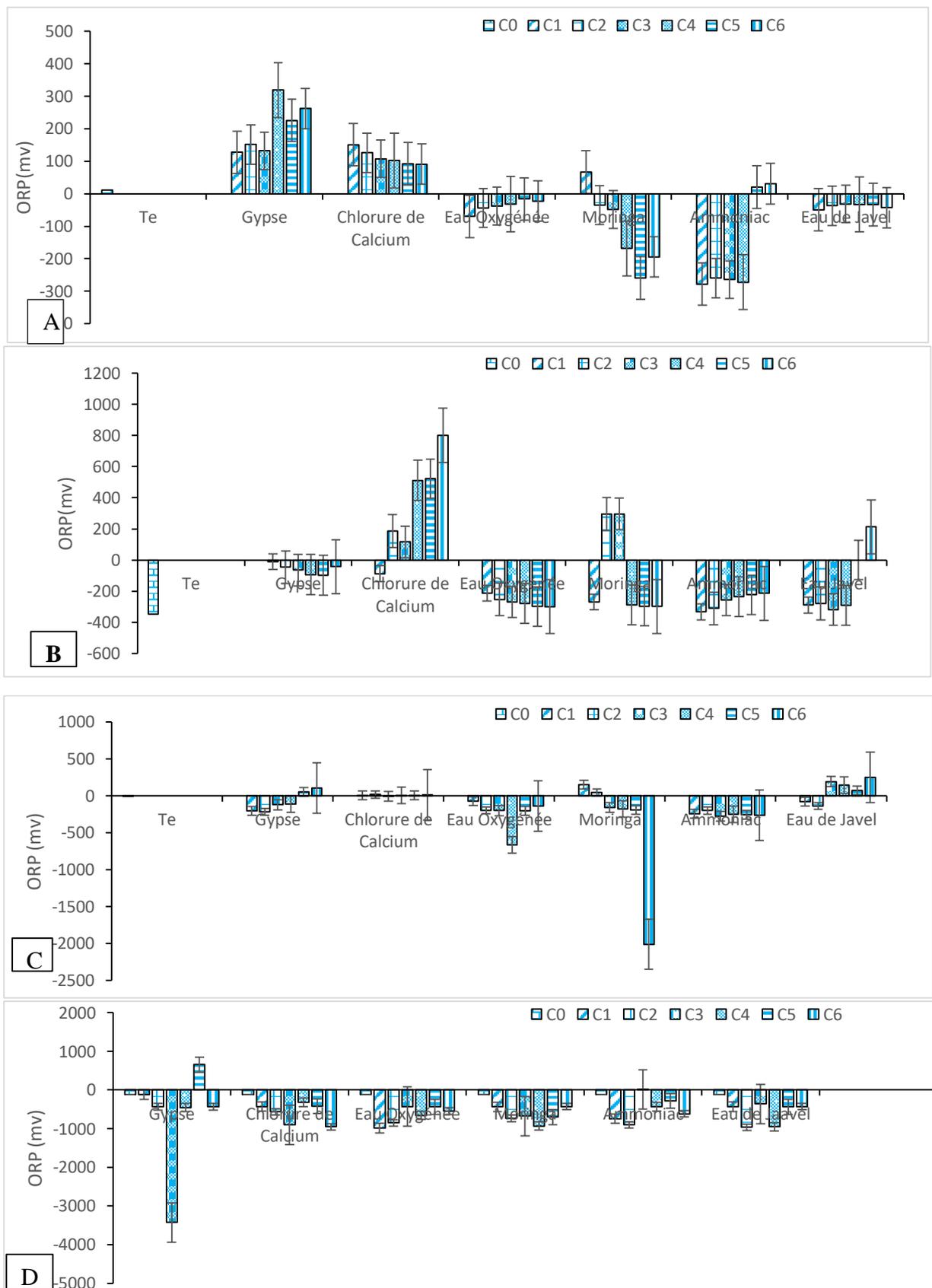
Le potentiel d'Oxydo-Réduction (POR) des échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de -123mv, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires négatifs. La plus petite valeur (-3429 mv) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse à la concentration C6 (Figure 23D).

La valeur témoin du POR obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de -5,8mv toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont négatives, exceptées celles des échantillons traités à l'Eau de Javel. La plus petite valeur (-2010mv) a été obtenue sur les échantillons traités au Moringa à la concentration C6 (Figure 23C).

La valeur témoin du POR obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 11mv. Après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est différent, ces valeurs sont positives pour les échantillons traités au Gypse et au Chlorure de calcium et négatives pour les autres, la plus petite valeur (-271,8mv) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Ammoniac à la concentration C4 (Figure 23B).

Les valeurs de la turbidité mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa ne varient pas considérablement. En effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de -347mv. Après désinfection, la petite valeur (-318mv) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau de Javel à la concentration C4 (Figure 23A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,869$ ). Cependant il existe une différence significative entre les valeurs du POR obtenues sur les échantillons traités ( $p=0,001$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les échantillons traités à l'Ammoniac et le Gypse ( $p=0,0028$ ), au Chlorure de Calcium ( $p=0,0011$ ), entre l'échantillon traité à l'Eau Oxygénée et le Gypse ( $p=0,0032$ ), au Chlorure de Calcium ( $p=0,0012$ ), entre l'échantillon traité au Moringa et le Gypse ( $p=0,019$ ), au Chlorure de Calcium ( $p=0,009$ ). De même Il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=161.10^{-9}$ ).



**Figure 23 :** Courbes de la variation du Potentiel d'Oxydo-Reduction en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois des Singes ; C=Hôpital Générale ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.9 Variation des valeurs de la Salinité en fonction des différents désinfectants

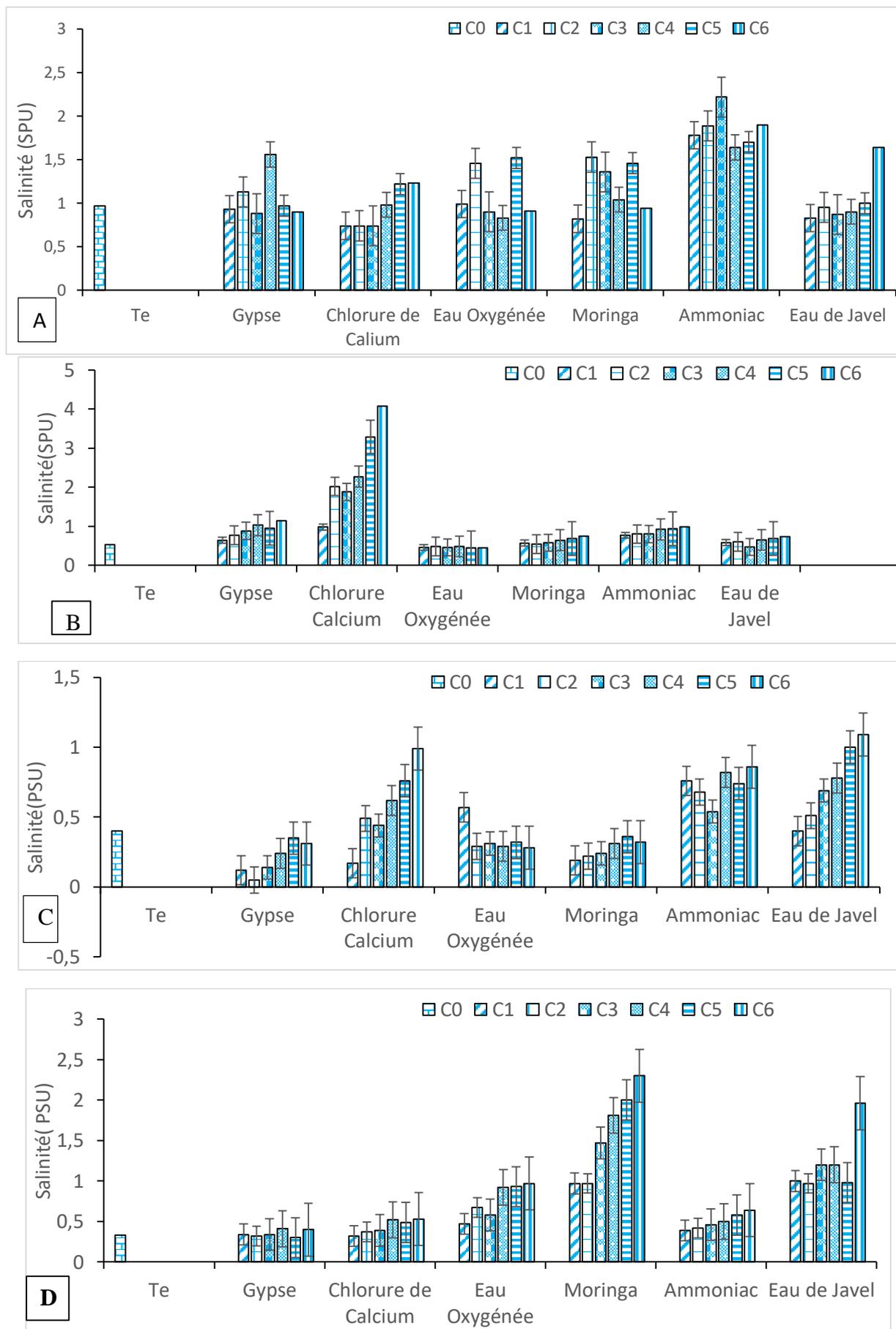
La Salinité des échantillons varie en fonction de la nature de l'effluent, des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 0,33USP, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (0,30USP) a été obtenue sur l'échantillon traité au Gypse à la concentration C5 (Figure 24D).

La valeur témoin de la Salinité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 0,97USP, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants ont très peu influencés la variation, excepté les échantillons traités au Gypse. La plus petite valeur (0,74USP) a été obtenue sur les échantillons traités au Chlorure de calcium à la concentration C6 (Figure 24C).

La valeur témoin de la salinité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 0,4 USP, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, la plus petite valeur (0,1USP) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C4 (Figure 24B).

Similaire aux trois autres stations, les valeurs de la Salinité mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient très peu avec une particularité notée sur les échantillons traités au Chlorure de calcium qui présentent des valeurs doubles par rapport aux autres, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 0,53 USP, après désinfection, la petite valeur (0,45USP) a été obtenue sur les échantillon traités à l'Eau Oxygénée (Figure 24 A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,027$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C0 et C4 ( $p=0,017$ ). C0 et C5 ( $p=0,006$ ), C0 et C6 ( $p=0,002$ ), C1 et C6 ( $p=0,032$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs de la Salinité obtenues sur l'échantillon des différentes stations ( $p=110.10^{-3}$ ). Il n'existe pas une différence significative entre les différents désinfectants ( $p=0,052$ ).



**Figure 24** : Courbes de la variation de la Salinité en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois des Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.10. Variation des valeurs de l'Oxydabilité en fonction des différents désinfectants

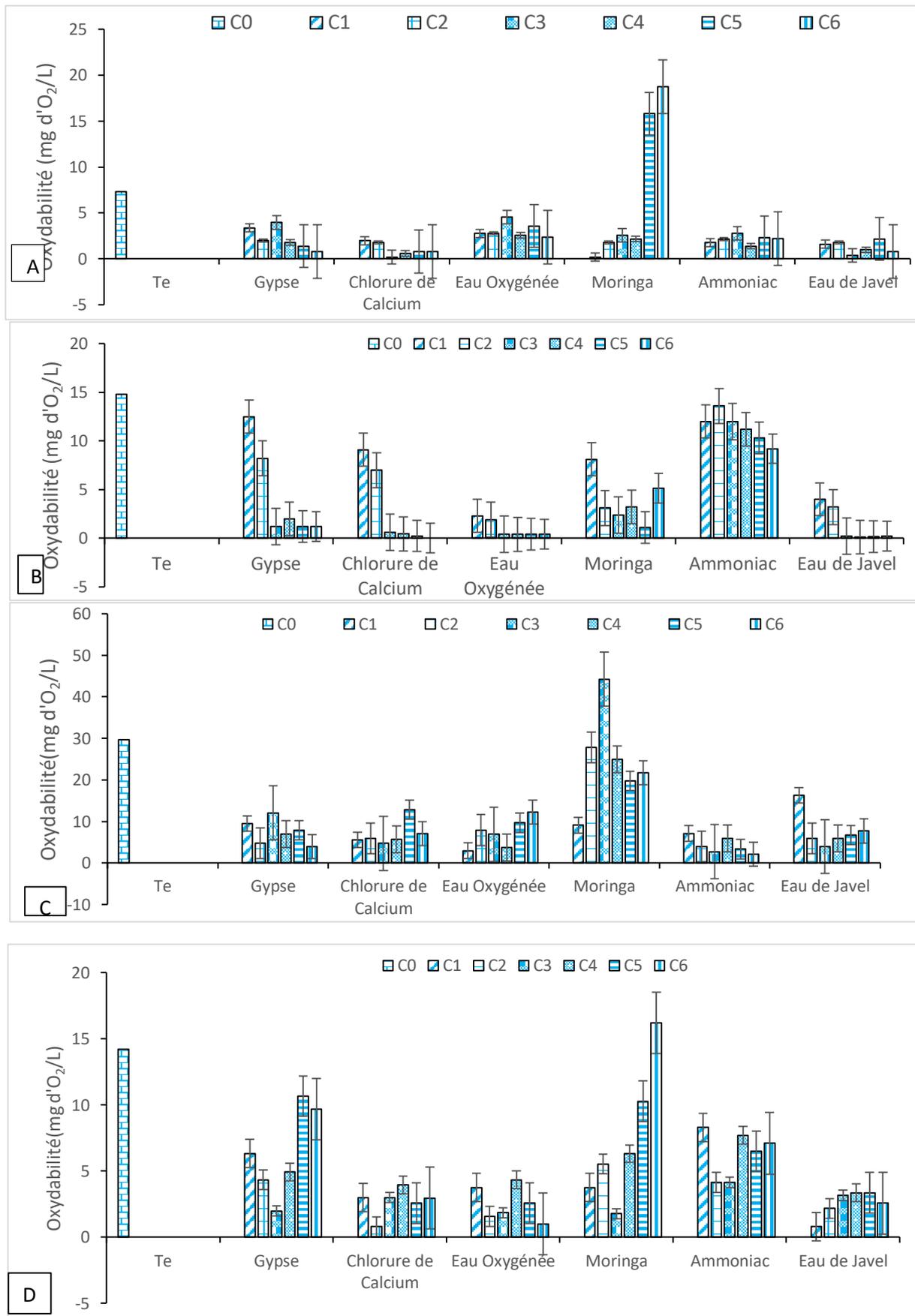
La quantité de matières organiques biodégradables présentes dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 14,81 mg d'O<sub>2</sub>/l les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (0,23 mg d'O<sub>2</sub>/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 25D).

La valeur témoin de l'Oxydabilité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 14,22mg d'O<sub>2</sub>/l, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont différentes. La plus petite valeur (0,8 mg d'O<sub>2</sub>/l) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau de Javel à la concentration C2 (Figure 25C).

La valeur témoin de l'Oxydabilité obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 7,3 mg d'O<sub>2</sub>/l, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, ces valeurs chutent considérablement à partir de la concentration C3 avec une particularité avec les échantillons traités avec le Moringa, la plus petite valeur (0,39mg d'O<sub>2</sub>/l) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau de Javel à la concentration C3 (Figure 25B).

Contrairement aux trois autres stations, les valeurs de l'oxydabilité mesurées avant la désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa est plus élevée, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 29,62 mg d'O<sub>2</sub>/l, après désinfection, la petite valeur (3,32mg d'O<sub>2</sub>/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'ammoniac à la concentration C6 (Figure 25A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=681.10^{-6}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C3 et C0 ( $p=298.10^{-6}$ ), C 4 et C0 ( $p=157.10^{-5}$ ), C6 et C0 ( $p=394.10^{-5}$ ), C2 et C0 ( $p=148.10^{-4}$ ), C5 et C0 ( $p=289.10^{-4}$ ), C1 et C0 ( $p=169.10^{-6}$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs de l'Oxydabilité obtenues sur les échantillons traités aux différents désinfectants( $p=0,005$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre l'Eau de Javel et l'Ammoniac ( $p=0,030$ ), au Moringa( $p=0,002$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Ammoniac ( $p=0,033$ ), au Moringa ( $p=0,002$ ), entre l'Eau Oxygénée et le Moringa ( $p=0,004$ ). Il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=288.10^{-5}$ ).



**Figure 25:** Courbes de la variation de l'Oxydabilité en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.11. Variation des valeurs du Nitrate en fonction des différents désinfectants

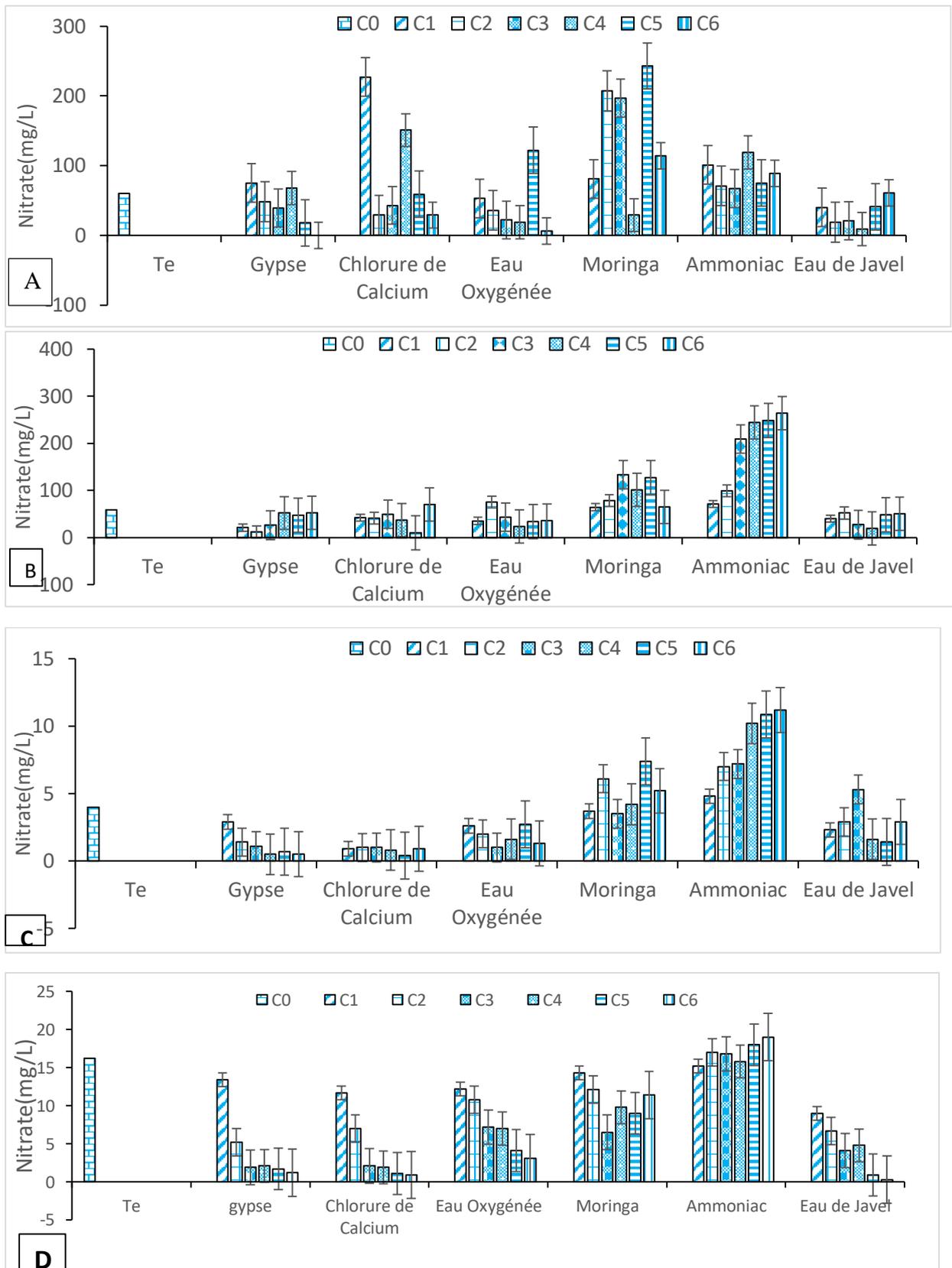
La quantité de Nitrates présentes dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire la valeur témoin enregistrée est de 16,2mg/l, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires excepté celle traités à l'ammoniac, la plus petite valeur (0,29mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau de Javel à la concentration C6 (Figure 26D).

La valeur du témoin des Nitrates obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 4mg/l, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 4mg/l exceptés les échantillons traités au Moringa et à l'Ammoniac. La plus petite valeur (0,5mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 26C).

La valeur témoin des Nitrates obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 60mg/l. Après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire, ces valeurs augmentent considérablement à partir de la concentration C1, la plus petite valeur (0mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 26B).

Contrairement aux trois autres stations les valeurs des Nitrates mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient considérablement mais avec absence des valeurs inférieures à 10mg/l. En effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 59mg/l, après désinfection, la petite valeur (12mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité aux Rayonnements Lumineux (Figure 26 A)

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,793$ ). Par contre il existe une différence significative entre les valeurs des Nitrates obtenues entre les différents désinfectants, le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre le Gypse et le Moringa ( $p=0,009$ ), Ammoniac ( $p=0,001$ ), entre l'Eau de Javel et Moringa ( $p=0,027$ ), Ammoniac ( $p=0,004$ ), entre le Chlorure de Calcium et le Moringa ( $p=0,0030$ ), l'Ammoniac ( $p=0,004$ ), entre l'Eau Oxygénée et l'Ammoniac ( $p=0,008$ ). Il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=130.10^{-16}$ ).



**Figure 26 :** Courbes de la variation des Nitrates en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.12 Variation des valeurs de l'Azote ammoniacal en fonction des différents désinfectants

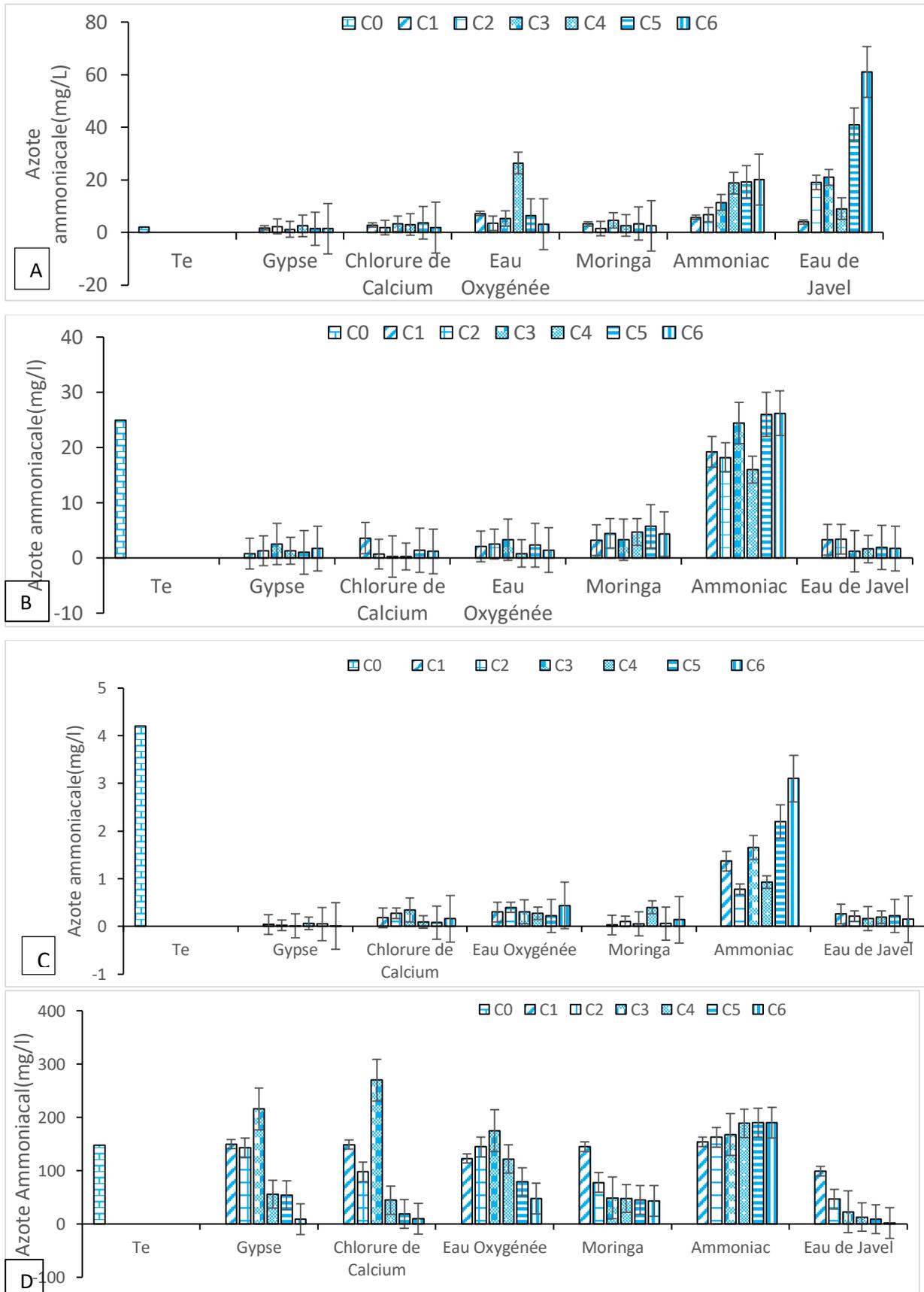
La quantité d'Azote ammoniacal présente dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de 148mg/l, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires exceptés les échantillons traités à l'Ammoniac, la plus petite valeur (2mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau de Javel à la concentration C6 (Figure 27D).

La valeur témoin de l'Azote ammoniacal obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 100mg/l. Toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 2mg/l, excepté des échantillons traités à l'Ammoniac. La plus petite valeur (0,1mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 27C).

La valeur témoin de l'Azote ammoniacal obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 2mg/l, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire excepté celui de l'Ammoniac et de l'Eau de Javel ces valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C2, la plus petite valeur (1,9mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Chlorure de Calcium à la concentration C6 (Figure 27B).

Les valeurs de l'Azote ammoniacal mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient considérablement, en effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 25mg/l, après désinfection, la plus petite valeur (0,8mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau Oxygénée à la concentration C6 (Figure 27A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=0,290$ ). Cependant il existe une différence significative entre les valeurs de l'Azote ammoniacal obtenues sur les échantillons traités aux différents désinfectants ( $p=0,024$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre le Gypse et l'Ammoniac ( $p=0,001$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Ammoniac ( $p=0,004$ ), entre l'Eau de Javel et l'Ammoniac ( $p=0,036$ ), entre le Moringa et l'Ammoniac ( $p=0,038$ ). Il existe également une différence significative entre les différentes stations ( $p=207.10^{-15}$ ).



**Figure 27** : Courbes de variation de l'Azote Ammoniacal en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Bois de Singes ; C=Hôpital Général ; D=Cité Universitaire)

### III.1.2.13. Variation des valeurs des Orthophosphates en fonction des différents désinfectants

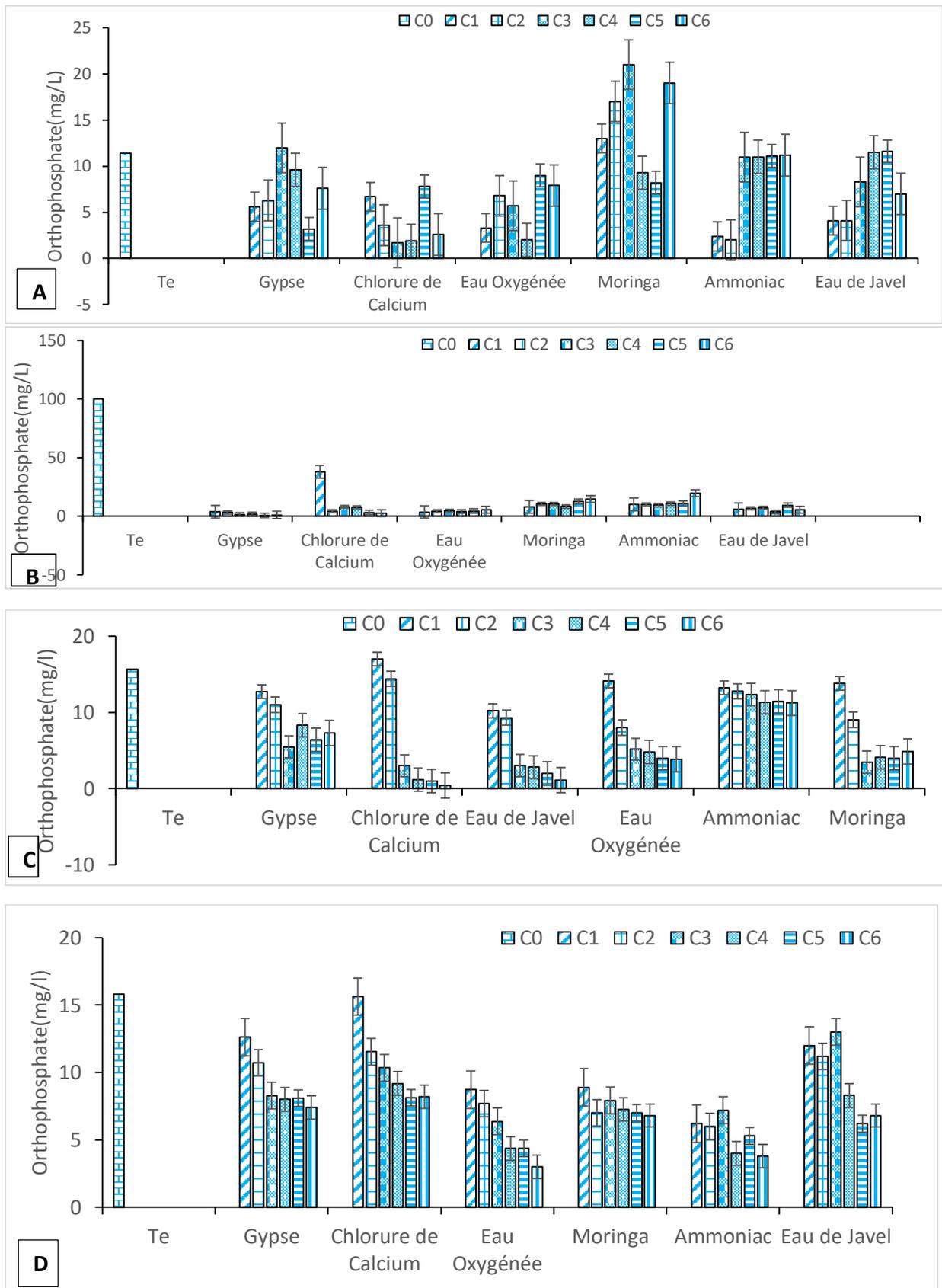
La quantité d'ions Orthophosphates présente dans les échantillons varie en fonction des désinfectants et des concentrations utilisées. Ainsi sur l'effluent de la Cité Universitaire, la valeur témoin enregistrée est de 15,67mg/l, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires, la plus petite valeur (0,39mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité au Chlorure de Calcium à la concentration C6 (Figure 28B).

La valeur témoin des Orthophosphates obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital Général est de 100mg/l, toutes les valeurs obtenues après application des désinfectants sont inférieures à 40mg/l. La plus petite valeur (0,7mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités au Gypse à la concentration C6 (Figure 28C).

La valeur témoin des Orthophosphates avant application des désinfectants sur l'effluent du Bois de singes est de 15,8mg/l, après désinfection, le profil de variation des différents désinfectants est presque similaire. Ces valeurs baissent à partir de la concentration C2, la plus petite valeur (3mg/l) a été obtenue sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée à la concentration C6 (Figure 28D).

Contrairement aux trois autres stations, les valeurs des Orthophosphates mesurées après désinfection sur l'effluent du Camp Sic Messa varient considérablement. En effet la valeur obtenue sur l'effluent témoin avant désinfection est de 11,4mg/l, après désinfection, la petite valeur (2,6mg/l) a été obtenue sur l'échantillon traité Chlorure de Calcium (Figure 28 A).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs obtenues aux différentes concentrations ( $p=210.10^{-7}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C5 et C0 ( $p=380.10^{-7}$ ), C6 et C0 ( $p=660.10^{-7}$ ), C4 et C0 ( $p=709.10^{-7}$ ), C3 et C0 ( $p=937.10^{-5}$ ), C2 et C0 ( $p=227.10^{-4}$ ), C1 et C0 ( $p=32.10^{-6}$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs des Orthophosphates obtenues sur les échantillons traités aux différents désinfectants ( $p=0,016$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre le Gypse et l'Ammoniac ( $p=0,027$ ), le Moringa ( $p=0,018$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Ammoniac ( $p=0,042$ ), le Moringa ( $p=0,029$ ), entre l'Eau Oxygénée et l'Ammoniac ( $p=0,008$ ), le Moringa ( $p=0,005$ ). Il existe une différence significative entre les différentes stations ( $p=0,002$ ).

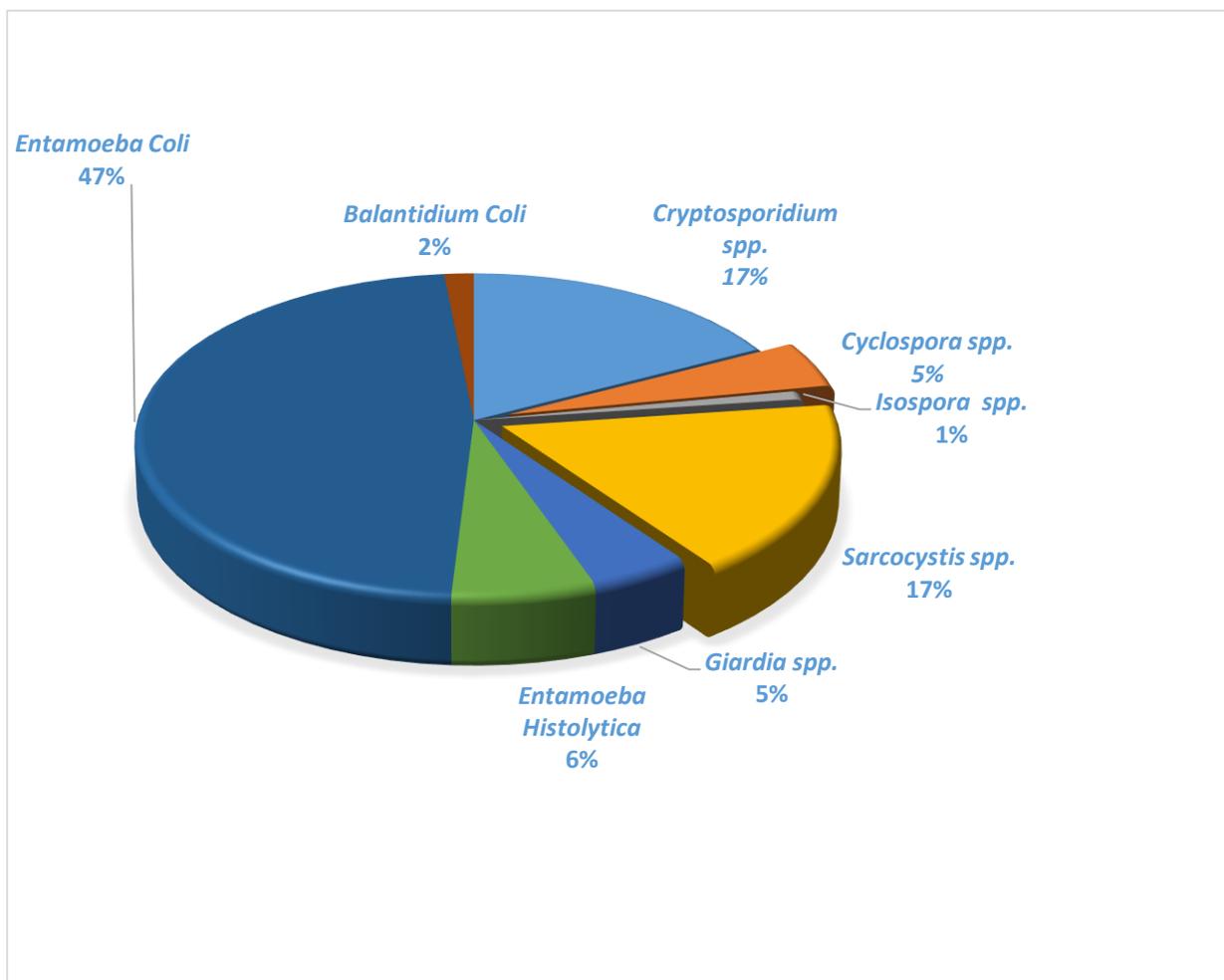


**Figure 28:** Courbes de variation des Orthophosphates en fonction de la concentration des différents désinfectants (A=Camp sic Messa ; B=Cité Universitaire ; C=Hôpital générale ; D=Bois de Singes ;)

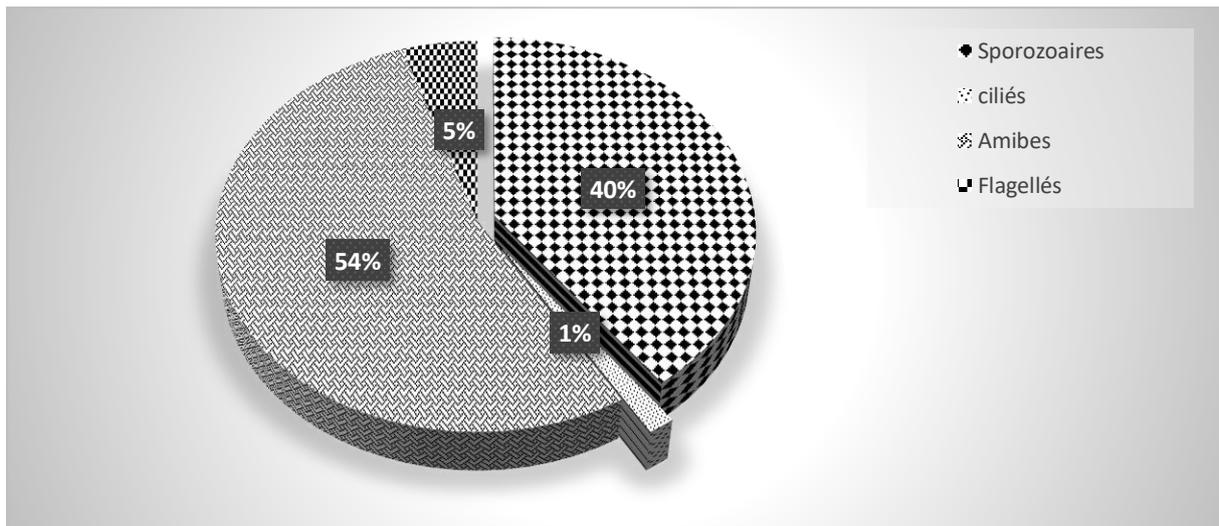
### III.1.3. Evolution des variables biologiques avant et après application des désinfectants

#### III.1.3.1 Evolution des variables biologiques avant application des désinfectants

Les Protozoaires entériques identifiés au cours de cette étude sont représentés par le groupe des amibes (54%), regroupant les espèces telles que : *Entamoeba coli* (47%) et *Entamoeba histolytica* (6%) ; le groupe des sporozoaires (40%) représenté par *Cryptosporidium* spp. (17%), *Cyclospora* spp. (5%), *Sarcocystis* spp. (17%) et *Isospora* spp. (1%). Le groupe de flagellés (5%) qui est constitué uniquement de *Giardia* spp. (5%). Le groupe des Ciliés qui est constitué de *Balantidium coli* (2%) (Figure 29). La moyenne des kystes d'amibes entéropathogènes (*Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*) dans les échantillons étudiés se situe autour de  $477 \pm 617$  kystes/L. Les formes de résistance de *Sarcocystis* spp. sont dans les proportions moyennes respectives de 90 kystes/L. Les tailles varient de 3 à 58  $\mu\text{m}$ .



**Figure 29A** : Espèces de protozoaires identifiées pendant l'étude

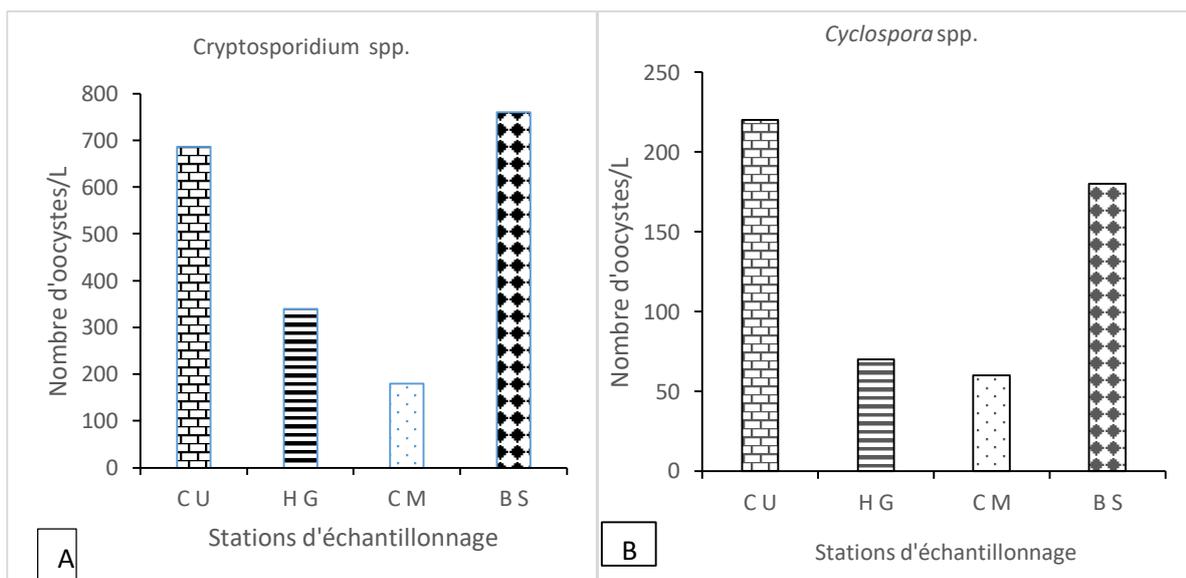


**Figure 29 B:** Différents groupes de protozoaires identifiés

### III.1.3.1 Variation spatiale des oocystes de *Cryptosporidium* spp. et *Cyclospora* spp. avant application des désinfectants

La figure 30A présente la variation des oocystes de *Cryptosporidium* spp. viables aux différentes stations. La plus forte densité a été observée à la station Bois de singe (760 oocystes/L) et la plus petite abondance a été obtenue à la station Camp sic Messa (180 oocystes/L). Dans l'ensemble la densité moyenne des oocystes viables de *Cryptosporidium* spp. est de  $491 \pm 276,83$  oocystes/L.

La figure 30B présente la variation spatiale des oocystes viables de *Cyclospora* spp., la plus grande densité a été obtenue à la station Cité Universitaire (220 oocystes/L) et la plus petite abondance a été obtenue à la station Camp sic Messa (60 oocystes/L). Les densités des oocystes de *Cyclospora* spp. sont autour d'une moyenne de  $132 \pm 79,73$  oocystes/L.

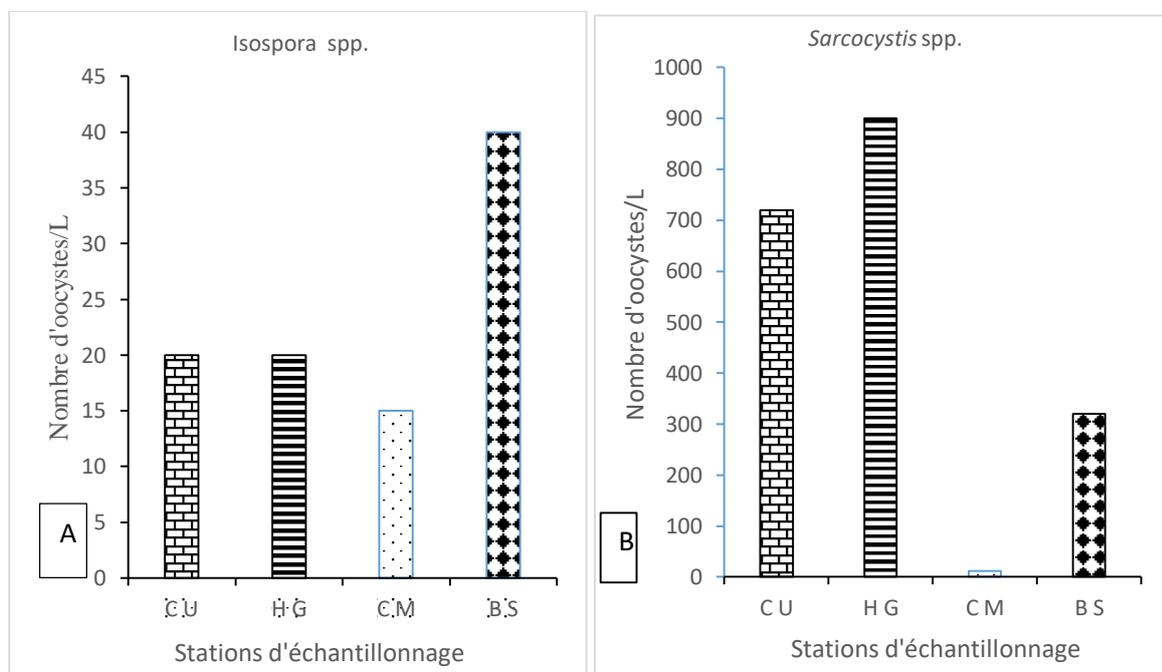


**Figure 30 :** Variation spatiale des oocystes de *Cryptosporidium* spp. (A) et *Cyclospora* spp. (B) avant application des désinfectants

### III.1.3.2 Variation spatiale des oocystes d'*Isospora* spp. et *Sarcocystis* spp. avant application des désinfectants

La figure 31A présente la variation spatiale des oocystes viables de *Isospora* spp. durant l'étude, la plus grande densité a été obtenue à la station Bois des Singes (40 oocystes/L) et la plus faible densité à la station Camp sic Messa, globalement la moyenne des oocystes viables de *Isospora* spp. est de  $23,75 \pm 11,08$  oocystes/L.

La figure 31B représente la variation spatiale des oocystes de *Sarcocystis* spp. durant l'étude, la plus grande valeur a été obtenue à la station Hôpital Général (900 oocystes/L) et la plus petite densité a été obtenue à la station Camp sic Messa. La moyenne globale de la densité des oocystes viables de *Sarcocystis* spp. est de  $488 \pm 399,31$  oocystes/L.



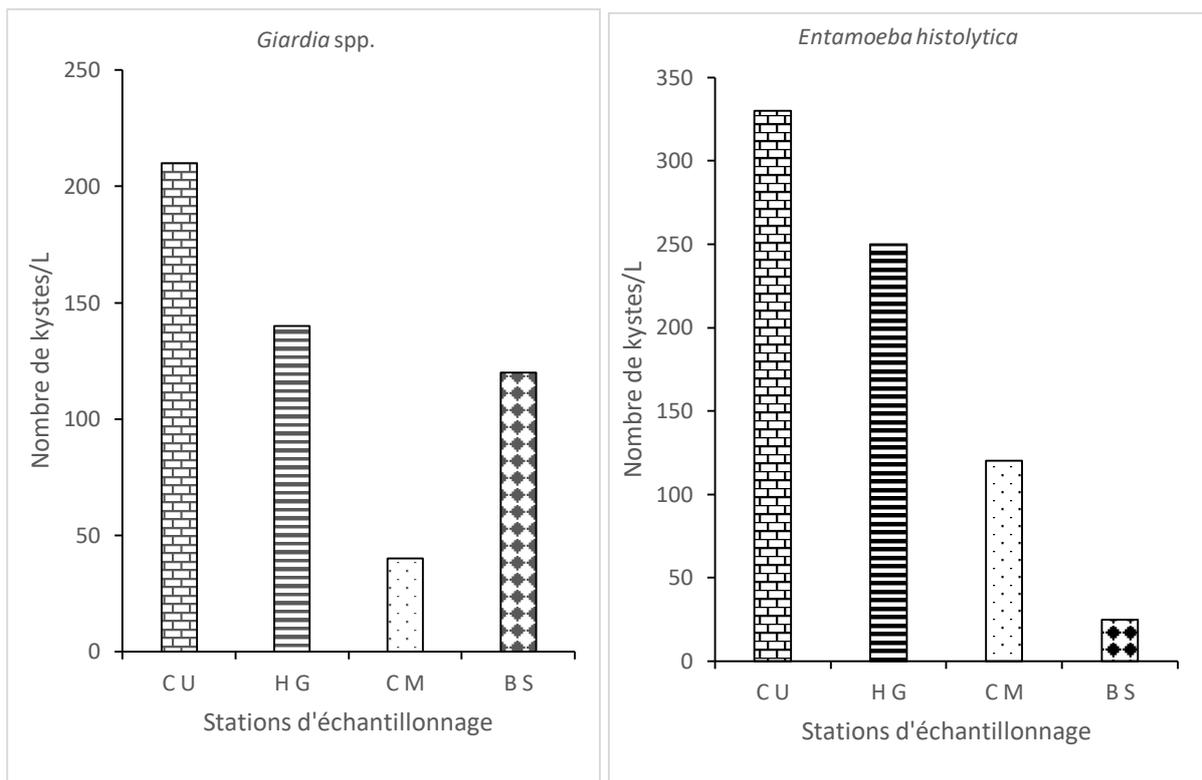
**Figure 31 :** Variation spatiale des oocystes d'*Isospora* spp. (A) et *Sarcocystis* spp. (B) avant application des désinfectants

### III.1.3.3 Variation spatiale des kystes de *Giardia* spp. et *Entamoeba histolytica* avant application des désinfectants

La figure 32A représente les variations spatiales des kystes viables de *Giardia* spp. avant application des désinfectants, la plus grande valeur ayant été obtenue à la station Cité Universitaire (210 kystes/L) et la plus faible abondance a été obtenue à la station Camp Sic

Messa (40 kystes/L), la moyenne globale des kystes de *Giardia* viables durant l'étude est de  $69,94 \pm 127,5$  kystes/L.

La figure 33B qui représente la variation spatiale des kystes viables de *Entamoeba histolytica* avant application des désinfectants montre que la plus grande densité de ces kystes a été obtenue à la station Cité Universitaire (330 kystes/L) et la plus faible densité ayant été obtenue à la station Bois de Singes, ici la moyenne globale des kystes viable de *Entamoeba histolytica* est de  $181,25 \pm 135,42$  kystes/L

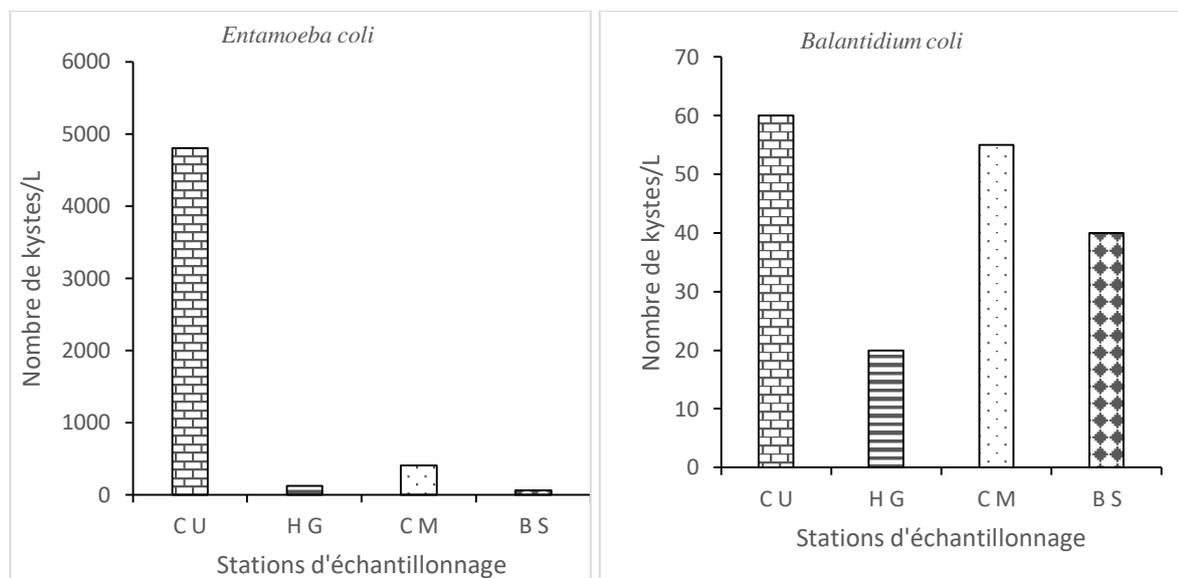


**Figure 32** : Variation spatiale des kystes de *Giardia* spp. (A) et *Entamoeba histolytica* (B) avant application des désinfectants

### III.1.3.4 Variation spatiale des kystes de *Entamoeba coli* et *Balantidium coli* avant l'application des désinfectants

La figure 33A qui montre la variation spatiale des kystes viables de *Entamoeba coli* durant l'étude, permet de noter que la plus forte densité de ces kystes ayant été obtenue à la station Cité Universitaire (4800 kystes/L) et la plus faible densité a été obtenue à la station Bois des Singes (60 kystes /L). La moyenne générale de la densité des kystes viables de *Entamoeba coli* est de  $1345 \pm 2308,09$  kystes/L.

La figure 33B représente la variation des kystes viables de *Balantidium coli* retrouvés dans les échantillons avant application des différents désinfectants, la plus grande densité ayant été obtenue à la station Cité Universitaire (60 kystes/L) et la plus faible à la station Hôpital Général (20 kystes/L). La densité moyenne des kystes viables de *Balantidium coli* est de  $43,75 \pm 17,96$ .



**Figure 33:** Variation spatiale des kystes de *Entamoeba coli* et *Balantidium coli* avant application des désinfectants

### II.1.3.5 Calcul du taux de viabilité des kystes et oocystes retrouvés dans les différents effluents

**Tableau VII:** Calcul du taux (%) de viabilité des kystes et oocystes des différents effluents

Paramètres	C U		taux	H G		taux	C M		taux	B S		taux
	Non viables	viables		Non viables	viables		Non viables	viables		Non viables	viables	
<i>Cryptosporidium</i> spp.	1173	686	36,9%	850	340	28,6%	353	180	33,7%	1584	760	32,4%
<i>Cyclospora</i> spp.	512	220	30%	189	70	27%	162	60	27%	450	180	28,5%
<i>Isospora</i> spp.	50	20	28,5%	53	20	27,4%	43	15	25,8%	133	40	23,1%
<i>Sarcocystis</i> spp.	2250	720	24,2%	2307	900	28%	30	12	28,6%	942	320	25,4%
<i>Giardia</i> spp.	553	210	27,5%	438	140	24,2%	115	40	25,8%	325	120	31%
<i>Entamoeba histolytica</i>	825	330	28,6%	807	250	23,6%	333	120	26,5%	61	25	29%
<i>Entamoeba coli</i>	9231	4800	34,2%	375	120	24,2%	1081	400	27%	140	60	30%
<i>Balantidium coli</i>	223	60	21,2%	140	20	12,5%	184	55	23%	106	40	27,4%

### III.2.4 Evolution des variables biologiques après application des désinfectants

L'analyse de l'effet des désinfectants a été faite sur les oocystes et les kystes de huit espèces à savoir *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora* spp., *Isospora* spp., *Sarcocystis* spp., *Giardia* spp., *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolitica* et *Balantidium coli*. Au cours du processus de désinfection, les modifications des oocystes et kystes ont été observées au microscope optique de marque Yvimen. les désinfectants utilisés agissent de manière variable. Le chlorure de calcium agit au niveau des lipopolysaccharides en dégradant leur surface, ce qui augmente la perméabilité. L'Hypochlorite de sodium pénètre par la paroi cellulaire et s'attaque aux acides aminés essentiels dans le cytoplasme de la cellule. L'Eau Oxygénée réagit sur les phospholipides membranaires et provoque la perte de l'intégrité membranaire. Le Moringa permet l'agrégation des oocystes et kystes de protozoaires qui vont par la suite sédimenter. Il est riche en Quercétine, un antioxydant particulièrement puissant pour l'inactivation des kystes et oocystes des protozoaires. Le Gypse permet une complexation des oocystes et kystes de protozoaires. L'Ammoniac agit par liaison aux acides et groupes phosphates de la membrane cellulaire, ce qui entraîne la suite des constituants cellulaires et la coagulation du cytosol.

#### III.1.4.1. Variation du nombre d'oocystes de *Cryptosporidium* spp.

La figure 34 présente la variation des densités des oocystes de *Cryptosporidium* spp. en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 686 oocystes/L, après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C4, les valeurs les plus élevées (supérieures à 300 oocytes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée. La plus petite densité (0 oocystes/L) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Ammoniac à la concentration C4(Figure 34A).

La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital générale est de 340 oocystes/L, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités à l'Ammoniac dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 45 oocystes/L. La plus petite densité (0 oocystes/L) a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau de Javel à la concentration C5 (Figure 34D).

La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent des Bois des singes est de 760 oocystes/L, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des

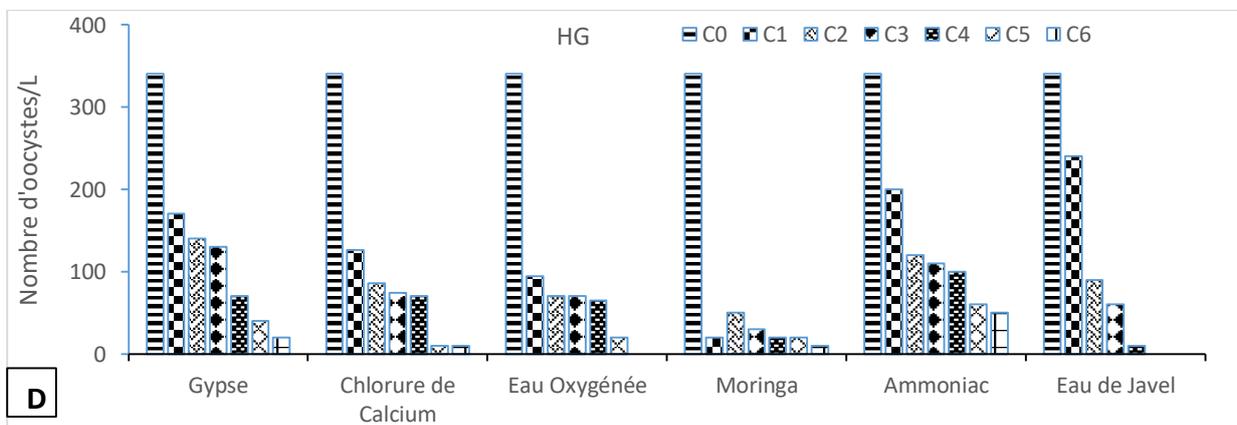
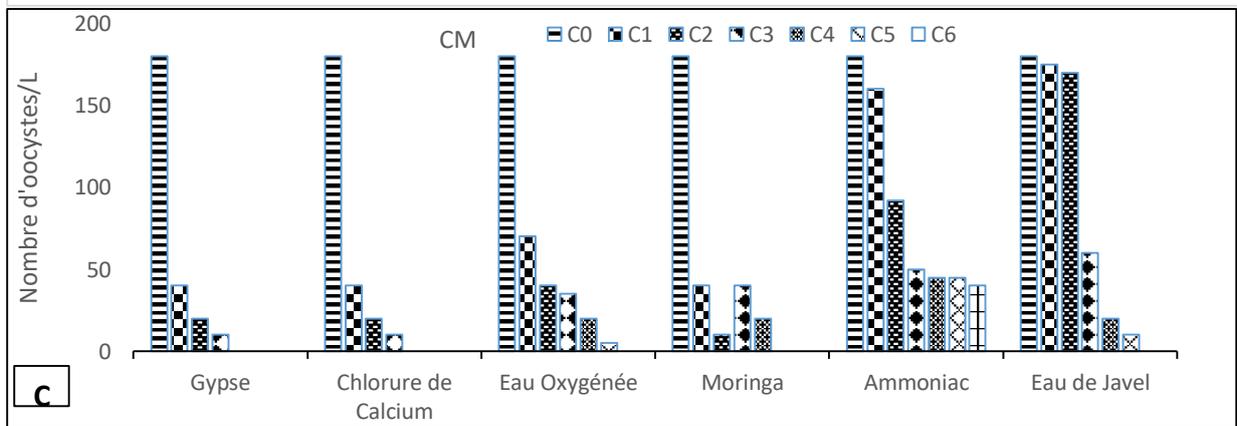
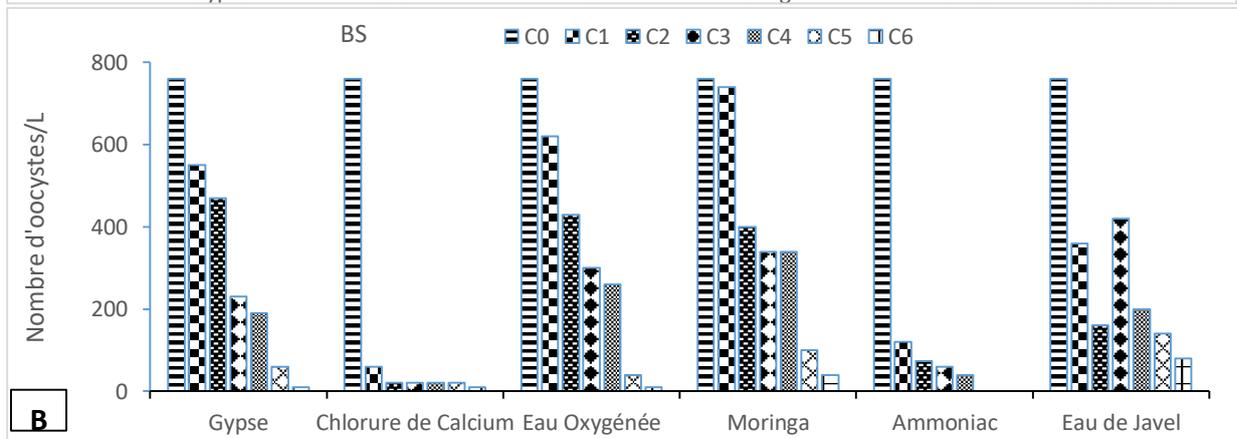
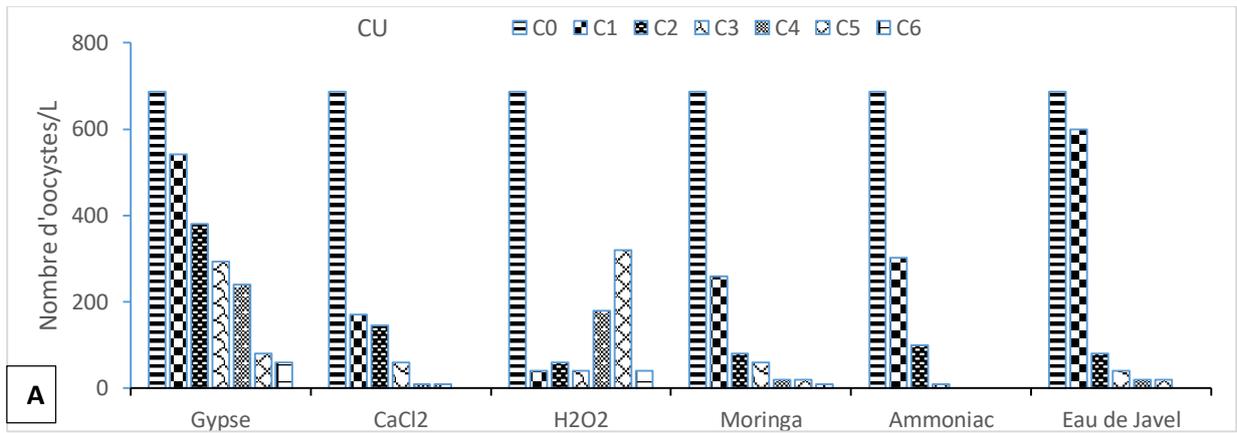
échantillons traités au Chlorure de Calcium et à l'Ammoniac dont les valeurs obtenues après désinfection sont inférieures à 85 oocystes/L directement à partir de C1. Les plus petites valeurs (oocystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités à l'Ammoniac à la concentration C5 (Figure 34 B).

La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 180 Oocystes/L. Les densités des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution croissante des densités en fonction de l'augmentation de la concentration, à l'exception des échantillons traités à l'Ammoniac qui présentent une densité supérieure à 40 oocystes/L après le traitement. Les plus petites densités sont obtenues avec les échantillons traités au Gypse à la concentration C4. La Figure 35 présente une disposition hiérarchique de la densité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenue avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents, les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin, le Chlorure de Calcium et le Moringa, présentent une meilleure efficacité sur la réduction de la viabilité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. par rapport au Gypse et à l'Eau de Javel.

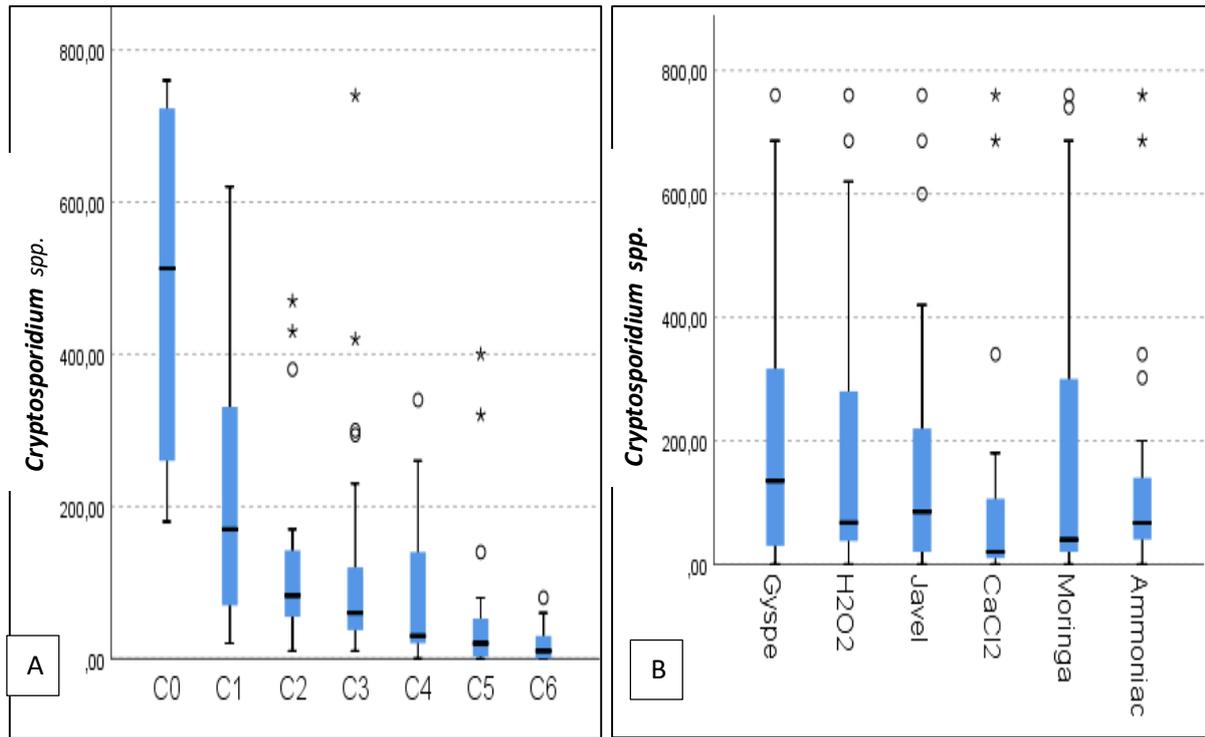
Les modifications morphologiques et la destruction des oocystes sont présentés sur la Figure 36 : en A nous avons la structure normale d'un oocyste qui est faite d'une double paroi et constituer de 4 sporozoïtes, en B nous avons un oocyste viable obtenu sur les échantillons non traités de l'Hôpital Général et en C, D, E et F nous observons la destruction de la paroi et du cytoplasme à la suite du contact avec les désinfectants.

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les densités des oocystes obtenues aux différentes concentrations ( $p=1,11 \cdot 10^{-16}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C4 ( $p=0,007$ ), C6 et C3 ( $p=0,0002$ ), C6 et C2 ( $p=11 \cdot 10^{-6}$ ), C6 et C1 ( $p=125 \cdot 10^{-7}$ ), C5 et C0 ( $p=1,40 \cdot 10^{-11}$ ), C4 et C1 ( $p=0,003$ ), C5 et C2 ( $p=0,003$ ), C5 et C1 ( $p=1,8 \cdot 10^{-5}$ ), C3 et C6 ( $p=1,5 \cdot 10^{-7}$ ), C4 et C5 ( $p=0,0042$ ), C4 et C0 ( $p=5,14 \cdot 10^{-8}$ ), C3 et C1 ( $p=0,045$ ), C3 et C0 ( $p=7,53 \cdot 10^{-6}$ ), C2 et C0 ( $p=1,5 \cdot 10^{-6}$ ), C1 et C0 ( $p=0,013$ ).

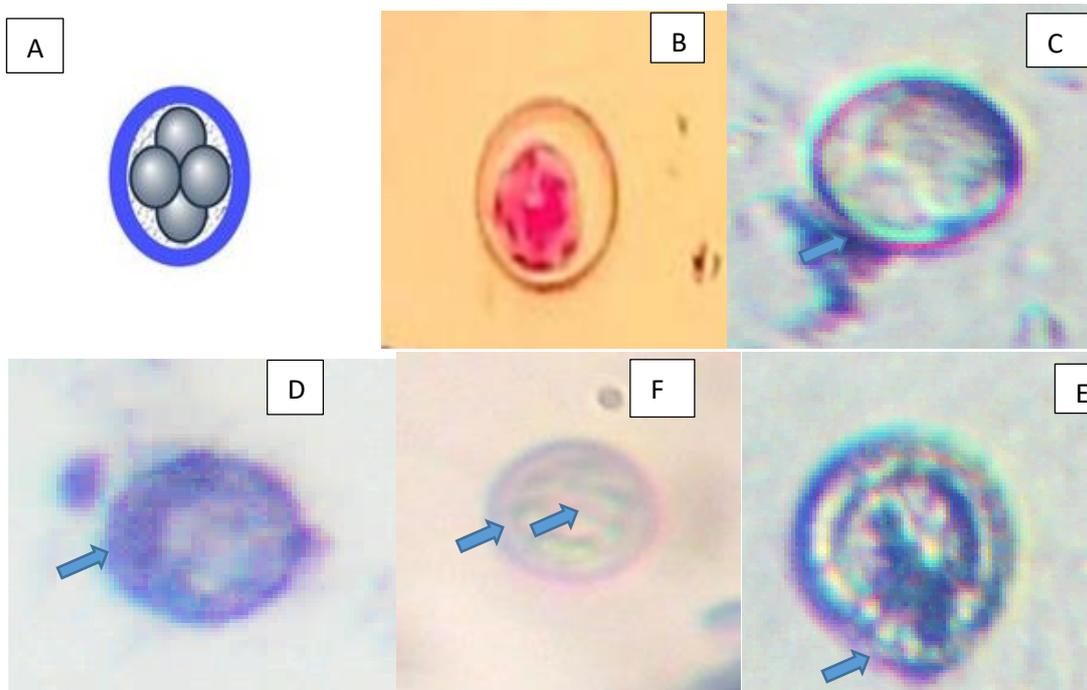
Il existe une différence significative entre les valeurs de la densité des oocystes de *Cryptosporidium* spp. obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,002267$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,002263$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,002267$ ), le Moringa ( $p=0,0018$ ).



**Figure 34 :** Variation du nombre d'ocystes de *Cryptosporidium* en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ; B=Bois de Singes ; C= Camp Messa ; et D= l'Hôpital général



**Figure 35:** Variation globale des oocystes de *Cryptosporidium* spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B)



**Figure 36:** Photos de *Cryptosporidium spp.* [4-6µm] observées (A= double paroi et 4sporozoïtes , B=Co ,HG ; C=C2, CaCl<sub>2</sub> CM ; D= C3, Moringa CU; E=C5, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ,BS ; F=C5 ,Eau de Javel, HG )  
Echelle : 1/0,003

#### III.1.4.2 Variation du nombre d'oocystes de *Cyclospora spp.*

La figure 37 présente la variation des densités des oocystes de *Cyclospora spp.* en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 220 oocystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C4, les valeurs les plus élevées (supérieures à 20 oocystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités au Gypse. La plus petite densité (0 oocystes/L) viable a été obtenue sur l'échantillon traité au Chlorure de Calcium à la concentration C2 (Figure 37A).

La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cyclospora spp.* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital général est de 70 oocystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités au Chlorure de Calcium et à l'Ammoniac dont les valeurs obtenues après désinfection ont directement chuté à partir de la concentration C3 (Figure 37D).

La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cyclospora spp.* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 180 oocystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités à l'Eau de Javel dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 100 oocystes/L. Les plus petites valeurs (oocystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée et au Chlorure de Calcium à la concentration C5 (Figure 37B).

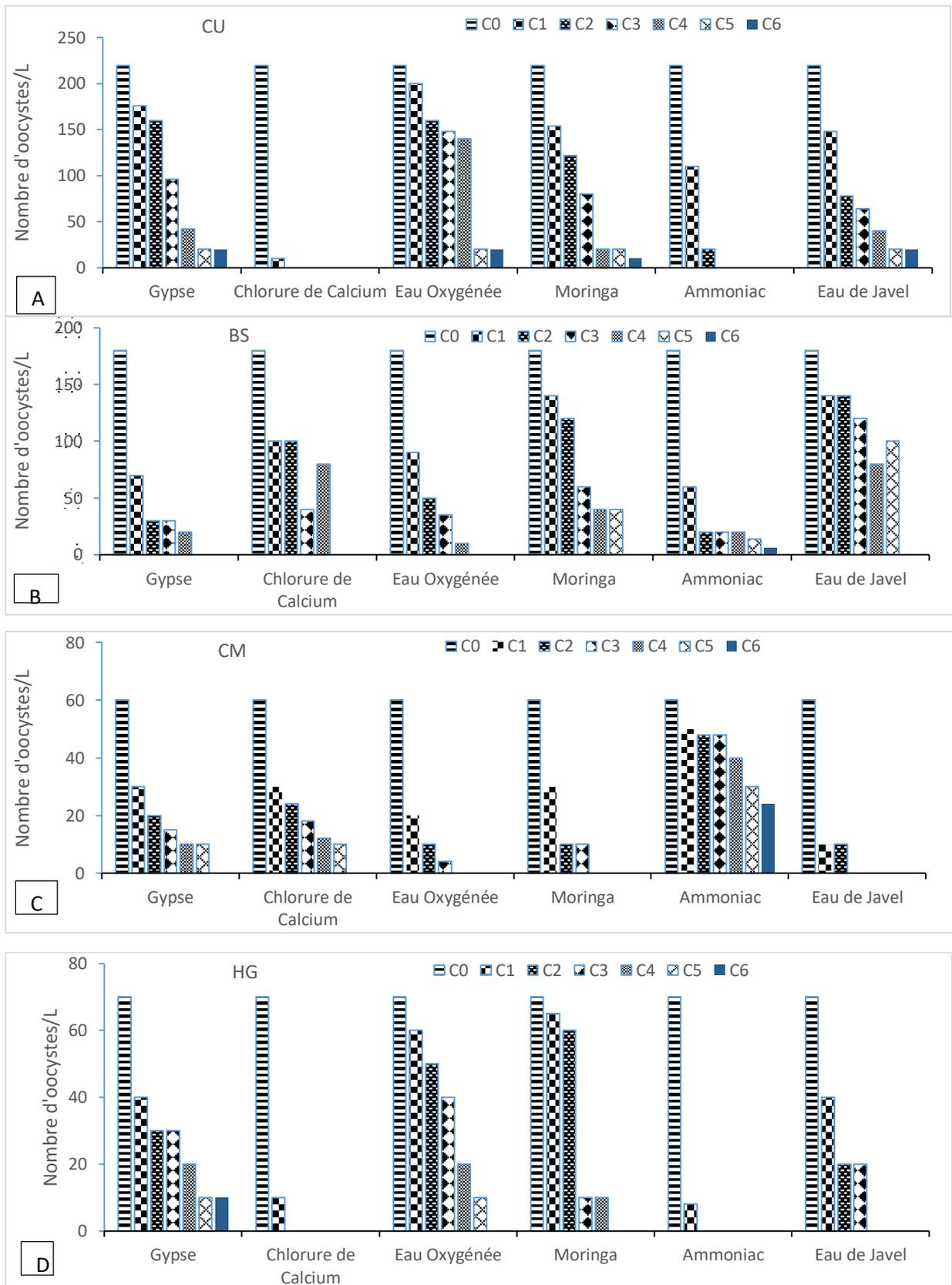
La valeur témoin de la densité des oocystes de *Cyclospora spp.* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 60 oocystes/L, les densités des oocystes de *Cyclospora spp.* obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution croissante des densités en fonction de l'augmentation de la concentration, à l'exception des échantillons traités à l'Ammoniac dont les valeurs de densité obtenues après désinfection sont supérieures à 24 oocystes/L (figure 37C). La figure

38 présente une disposition hiérarchique de la densité des oocystes de *Cyclospora* spp. obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents, les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Chlorure de Calcium présente une meilleure efficacité sur la réduction de la viabilité des oocystes de *Cyclospora* spp. par rapport aux autres désinfectants.

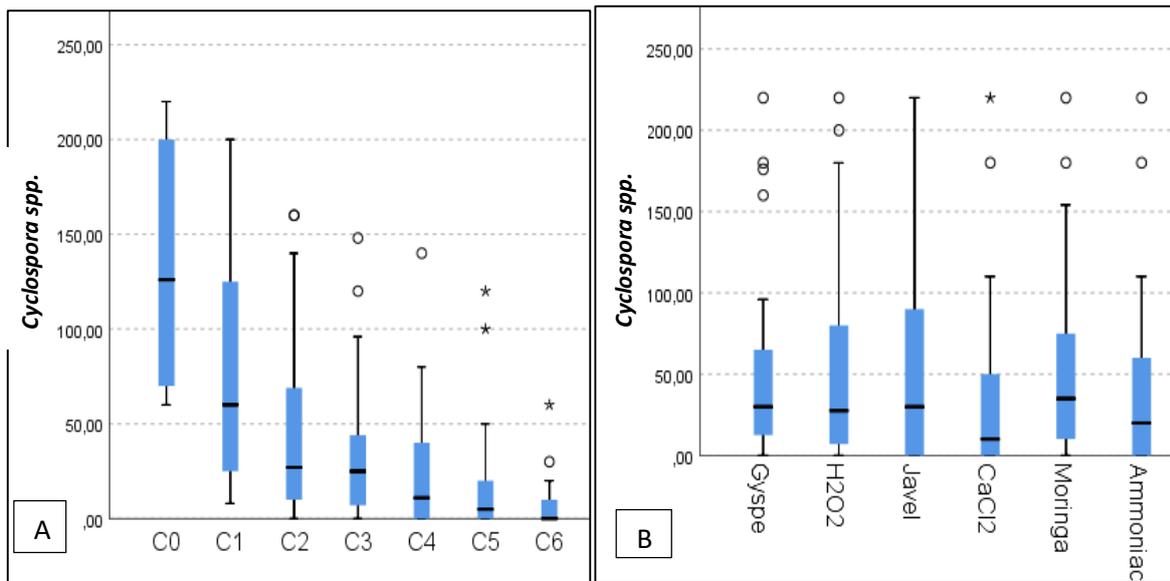
La Figure 39 représente les modifications morphologiques et la destruction des oocystes au contact des désinfectants : en A nous avons la structure normale d'un oocyste de *Cyclospora* qui est faite d'une paroi fine et constituer de 1 spoblaste ce dernier à été obtenu sur les échantillons non traités du Camp sic Messa ; en B nous avons un oocyste oxydé par le moringa a la concentration de C3(300mg/l) , et en C, D, E nous observons la plasmolyse des oocystes avec destruction complete du contenu cytoplasmique et en G la lyse de la paroi à la suite du contact avec les désinfectants.

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs des kystes obtenues aux différentes concentrations ( $p=3,30.10^{-14}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C3 ( $p=0,003$ ), C6 et C2 ( $p=3,2.10^{-4}$ ), C6 et C1 ( $p=2,8.10^{-6}$ ), C6 et C0 ( $p=1,87.10^{-13}$ ), C5 et C2 ( $p=0,011$ ), C5 et C1 ( $p=4,2.10^{-7}$ ), C5 et C0 ( $p=2,7.10^{-10}$ ), C4 et C1 ( $p=0,0014$ ), C4 et C0 ( $p=6,7.10^{-8}$ ), C3 et C1 ( $p=0,0307$ ), C3 et C0 ( $p=1,11.10^{-7}$ ), C2 et C0 ( $p=0,0002$ ), C1 et C0 ( $p=0,026$ ). De même il existe une différence significative entre les valeurs de la densité des oocystes de *Cyclospora* spp. obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,007$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,018$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,003$ ), le Moringa ( $p=0,005$ ), l'Ammoniac( $p=0,0052$ ) . Il existe une différence significative entre les densités des oocystes de *Cyclospora* spp. obtenues après traitement au Moringa et au Gypse ( $p=0,0007$ ), entre le Moringa et le Chlorure de Calcium ( $p=0,012$ ), entre le Moringa et l'Hypochlorite de Sodium ( $p=0,015$ ), entre le Moringa et l'Eau Oxygénée ( $p=0,003$ ).

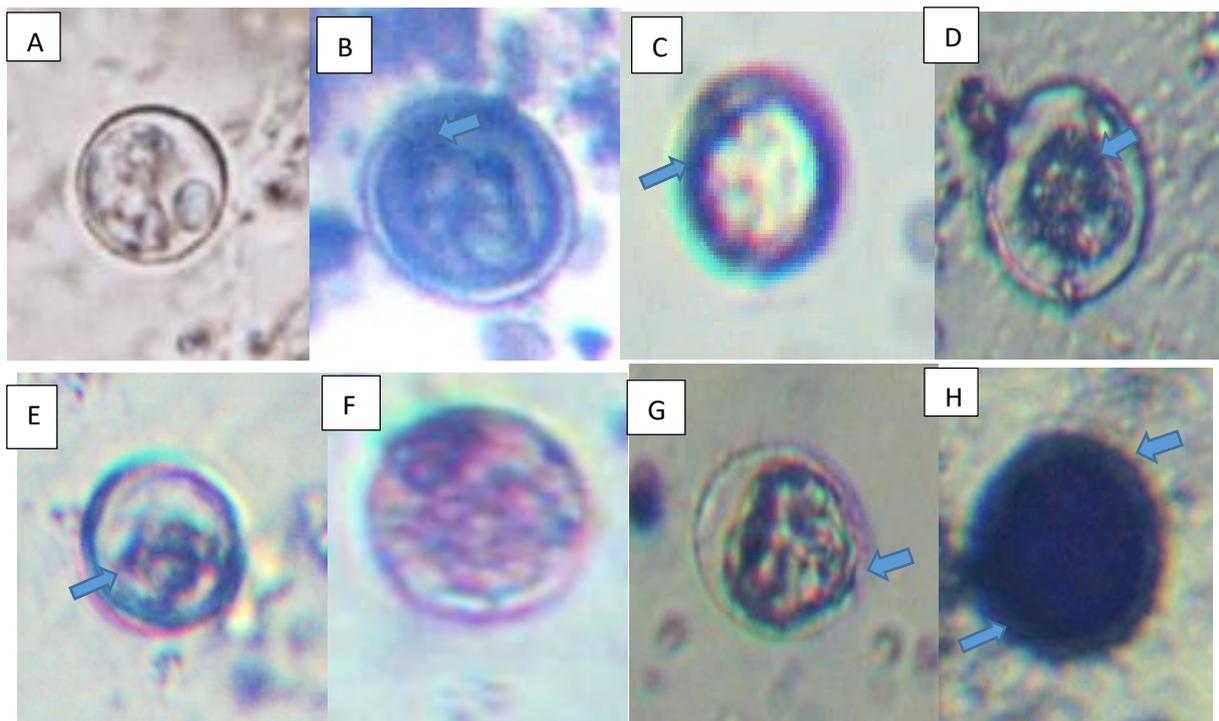
Il existe une différence significative entre les oocystes traités au Chlorure de Calcium et au Gypse ( $p=0,003$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Ammoniac ( $p=0,018$ ), entre le NaClO et le Gypse ( $p=0,002$ ), entre l'Eau Oxygénée et l'Ammoniac ( $p=0,0033$ ). Il existe également une différence significative entre les différentes stations ( $p=6,9.10^{-5}$ )



**Figure 37:** Variation du nombre d’oocystes de *Cyclospora* spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C= Camp Messa ; et D= l’Hôpital général)



**Figure 38 :** Variation globale de la densité des oocystes de *Cyclospora spp.* en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B)



**Figure 39:** Photos de *Cyclospora spp.* [8-10 $\mu$ m] observées (A= C0, CM ; B= C3, Moringa CU ; C= C3, Eau oxygénée, HG; D= C4, Moringa, CM; E= C4, Moringa ,CM ; F=C4,Gypse, CU ; ;G= C5 Eau oxygénée, BS ;H= C4, Eau de javel , HG).Echelle :1/0,005

### III.1.4.3 Variation du nombre d'oocystes d'*Isospora spp.*

La Figure 40 présente la variation des densités des oocystes d'*Isospora spp.* en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la

Cité Universitaire avant désinfection est de 40 oocystes/L, après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C1, les valeurs les plus élevées (supérieures à 10 oocystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités à l'Hypochlorite de Sodium. La plus petite densité (0 oocystes/L) viable a été obtenue sur l'échantillon traité à tous les désinfectants excepté l'Eau Oxygénée à la concentration C1 (Figure 40 A).

La valeur témoin de la densité des oocystes d'*Isospora* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital générale est de 40 oocystes/L, les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités au Gypse dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 10 oocystes/L (Figure 40D).

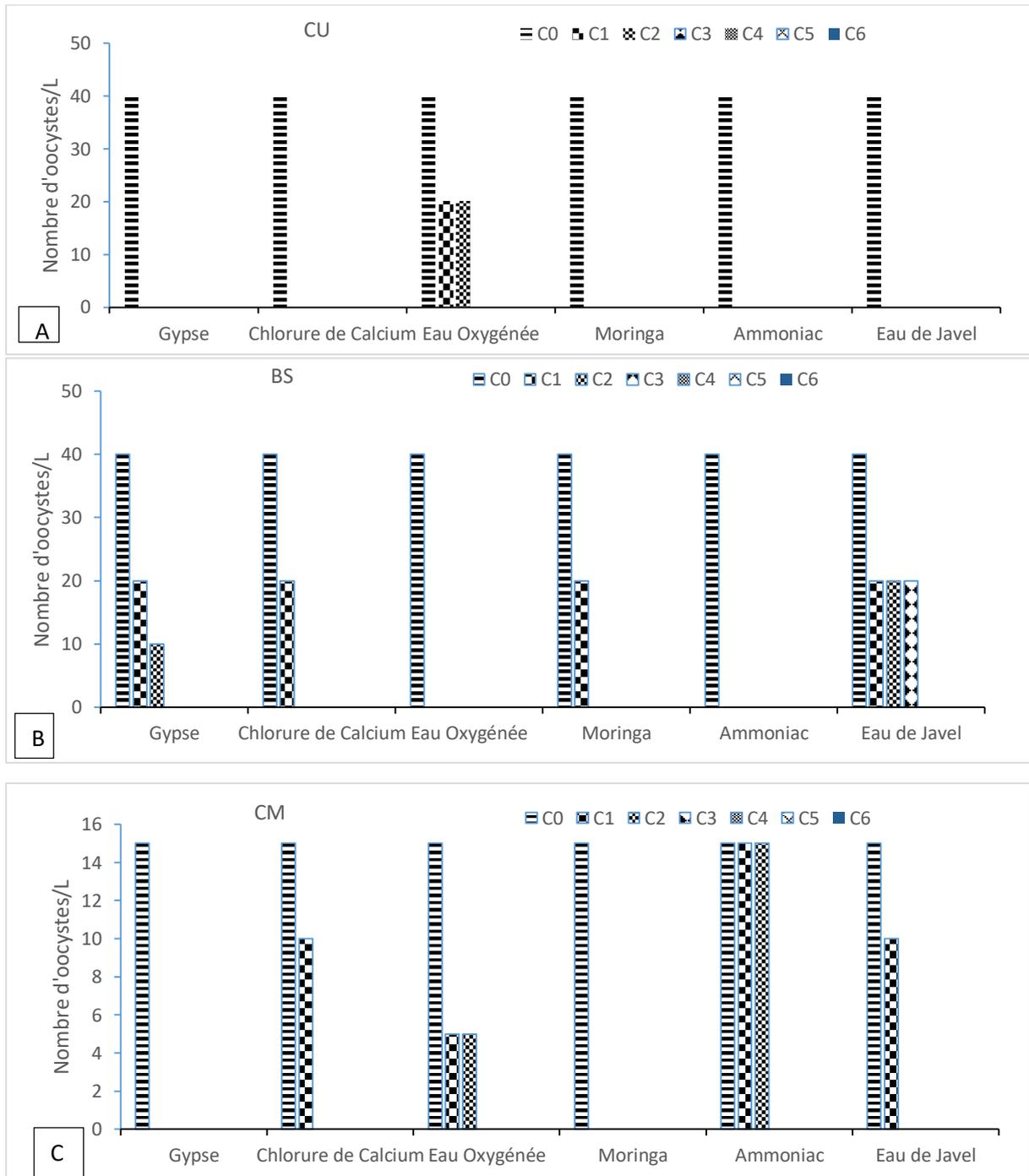
La valeur témoin de la densité des oocystes d'*Isospora* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 45 oocystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités au Gypse et à l'Eau Javel dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 10 oocystes/L à la concentration C3. Les plus petites valeurs (0 oocystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée et à l'Ammoniac à la concentration C1 (Figure 40 B).

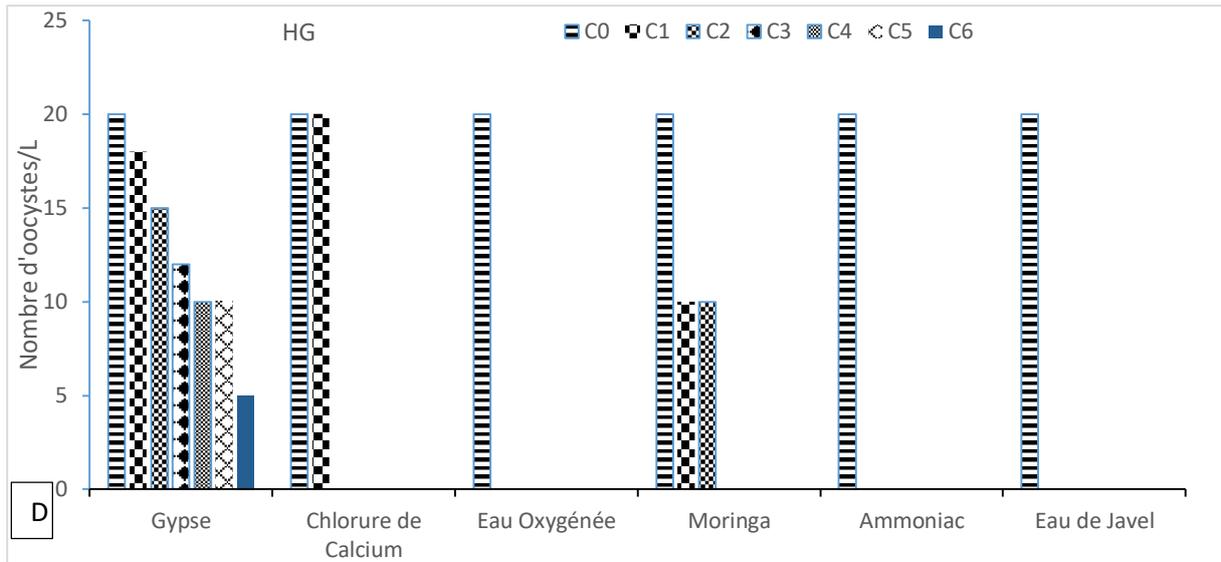
La valeur témoin de la densité des oocystes d'*Isospora* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 15 kystes/L. Les densités des oocystes d'*Isospora* spp. obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution croissante des densités en fonction de l'augmentation de la concentration. Aucun oocyte viable n'a été observé sur les échantillons traités à partir de la concentration C5 pour tous les désinfectants (Figure 40C). La figure 41 présente une disposition hiérarchique de la densité des oocystes d'*Isospora* spp. obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents, les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Chlorure de Calcium, le Moringa, l'Ammoniac et l'Eau Oxygénée présentent une efficacité légèrement meilleure sur la réduction de la viabilité des oocystes d'*Isospora* spp. par rapport aux autres. La figure 42 représente les modifications morphologiques et la destruction des oocystes au contact des désinfectants.

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs des oocystes d'*Isospora* spp. obtenues aux différentes concentrations ( $p=0000$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C1 ( $p=0,001$ ), C6 et C0 ( $p=1,77.10^{-15}$ ), C3 et C1 ( $p=0,0009$ ), C3 et C0 ( $p=2,44.10^{-15}$ ), C4 et C0

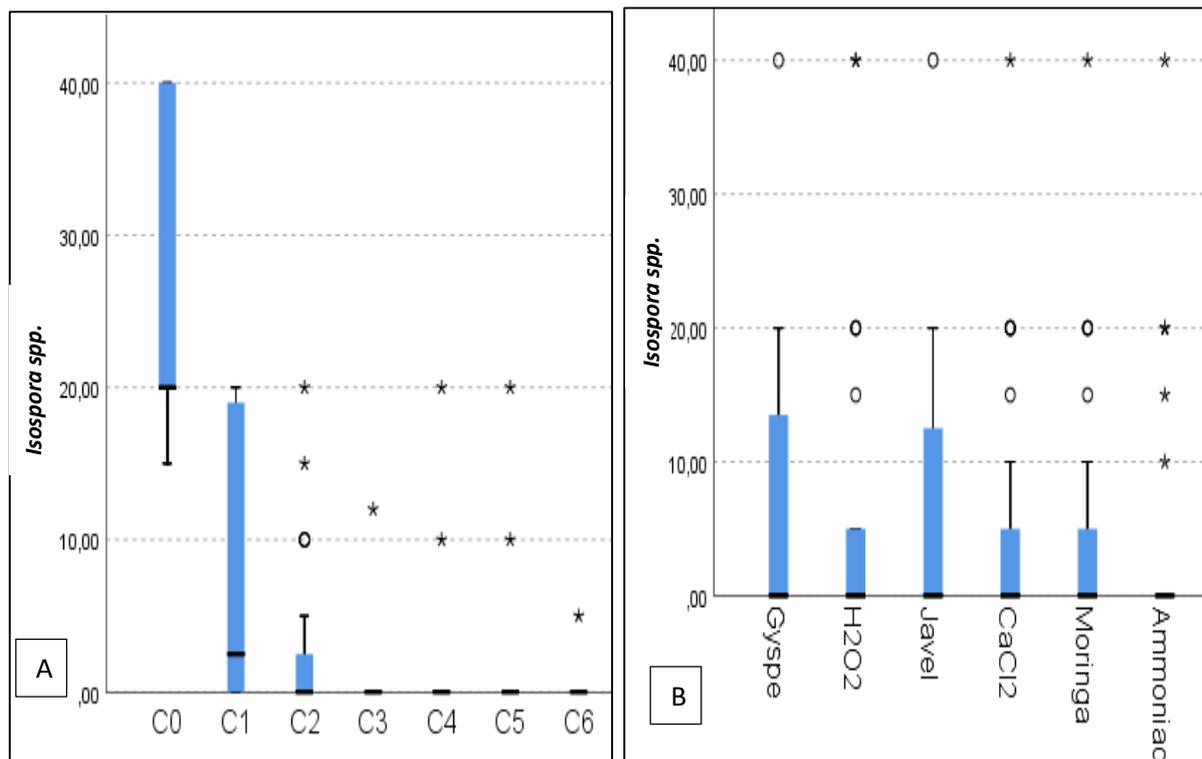
( $p=3,01.10^{-14}$ ), C5 et C0 ( $p=3,11.10^{-14}$ ), C4 et C1 ( $p=0,003$ ), C5 et C1 ( $p=0,003$ ), C2 et C1 ( $p=0,047$ ), C2 et C0 ( $p=4,5.10^{-11}$ ), C1 et C0 ( $p=4,1.10^{-6}$ ).

De même, il existe des différences significatives entre les densités des oocystes d'*Isoospora* spp. obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,0027$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,002263$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,00348$ ), le Moringa ( $p=0,0015$ ), l'Ammoniac ( $p=0,0032$ ). Il existe également une différence significative entre les différents désinfectants ( $p=0,566$ ).

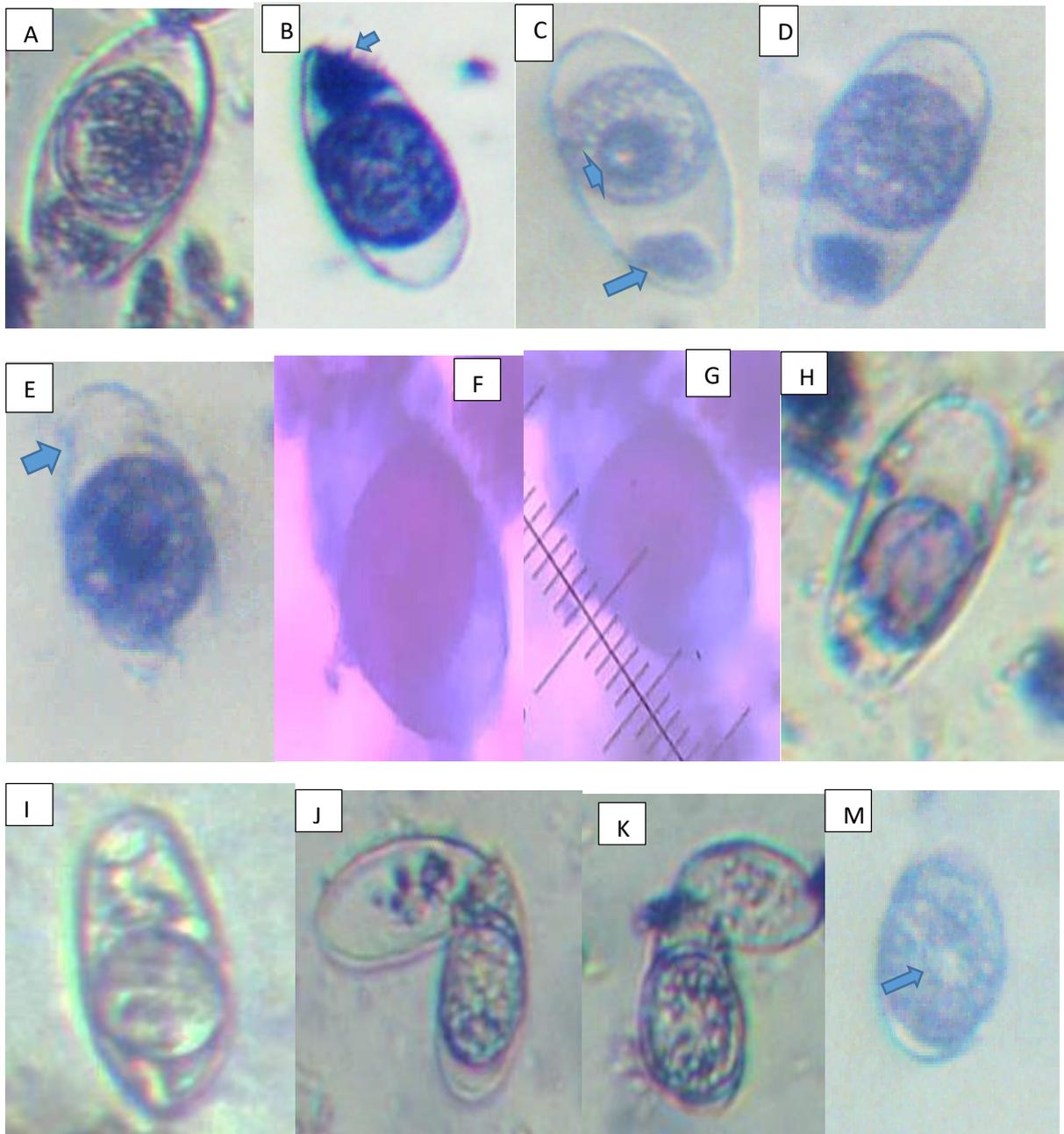




**Figure 40:** Variation du nombre d'oocystes de *Isospora* spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C= Camp sic Messa ; et D= l'Hôpital général)



**Figure 41:** Variation globale des oocystes d'*Isospora* spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants (B)



**Figure 42** : Photos de *Isospora* spp. [15-35µm] observées (A=C0 HG ; B=C2 Eau de Javel CM ; C=C2 Moringa HG ; D=C2 Eau oxygénée CU ; E=C3 Moringa HG ; F=C2 Gypse BS ; G=C5 Gypse BS ; H=C3 Ammoniac CM ; I=C3 Ammoniac CM ; J=C3 Chlorure de Calcium BS ; K=C4 Chlorure de Calcium CM ; M= C4 Moringa HG). E :1/0,006

#### III.1.4.4 Variation du nombre d'oocystes de *Sarcocystis* spp.

La figure 43 présente la variation des densités des oocystes de *Sarcocystis* spp. en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 720 oocystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C1, la valeur la plus élevée (supérieure à 100 oocystes/L) obtenue après désinfection ayant été observée

sur les échantillons traités à l'Hypochlorite de Sodium. La plus petite densité (0 oocystes/L) ayant été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa à la concentration C1 (Figure 43 A).

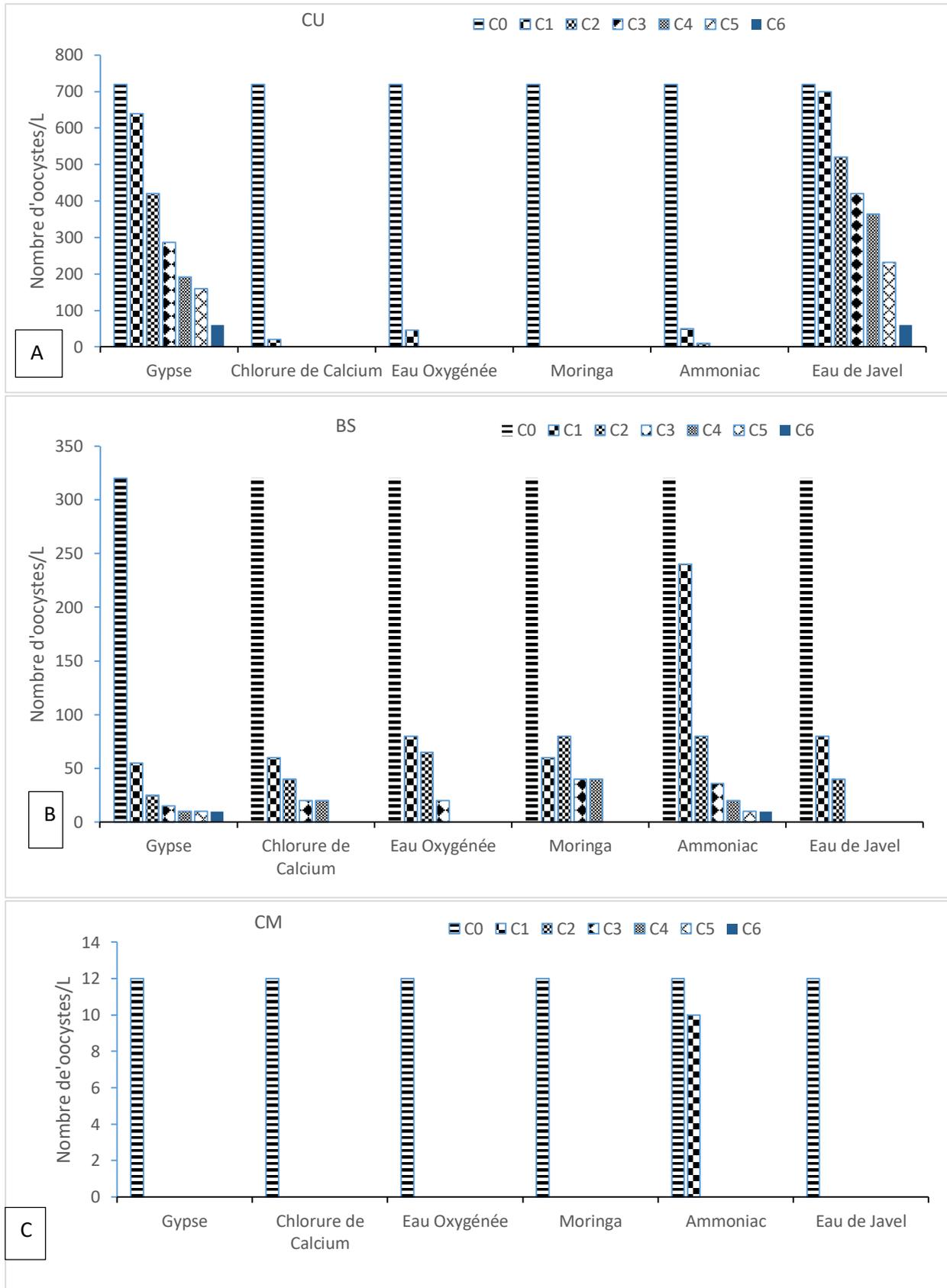
La valeur témoin de la densité des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'Hôpital générale est de 900 oocystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires qui diminuent considérablement dès la concentration C1. (Figure 43D).

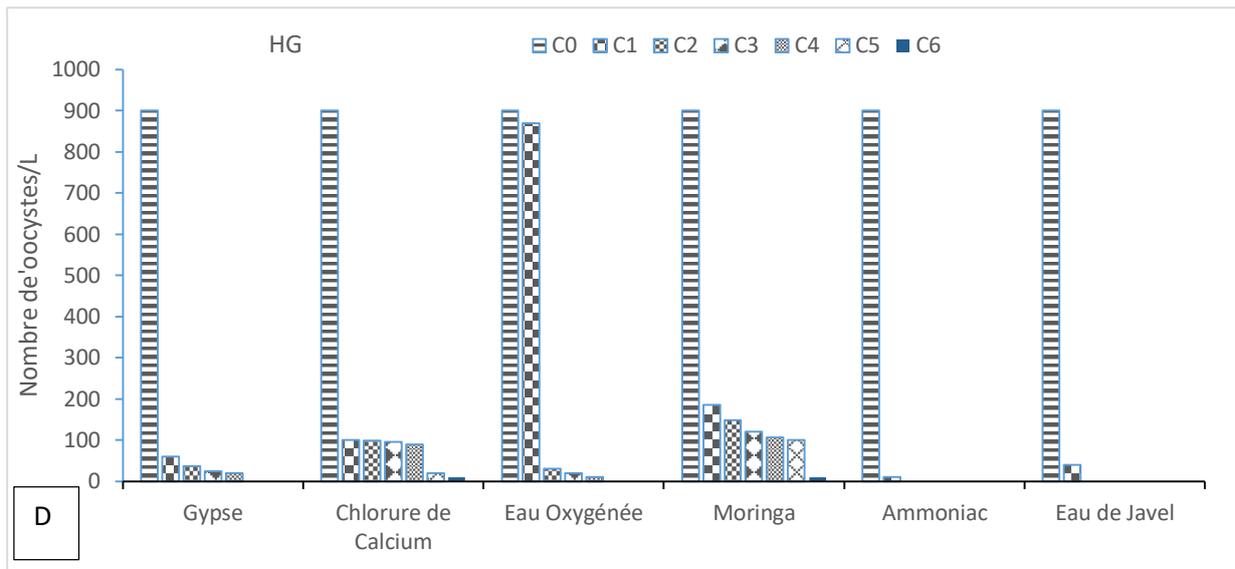
La valeur témoin de la densité des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 320 oocystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires avec un taux d'abattement très élevé à partir de la concentration C1. Les plus petites valeurs (0 oocystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités à l'Hypochlorite de sodium et à l'Eau Oxygénée respectivement à la concentration C3 et C4 (Figure 43 B).

La valeur témoin de la densité des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 12 oocystes/L. Les densités des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution complète dès la concentration C1, de tous les désinfectants (figure 43C). La figure 44 présente une disposition hiérarchique de la densité des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenue avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents. Les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Moringa, le Chlorure de Calcium, excepté l'Eau de Javel et l'Eau Oxygénée qui présentent une même efficacité sur la réduction de la viabilité *des oocystes de Sarcocystis* spp.

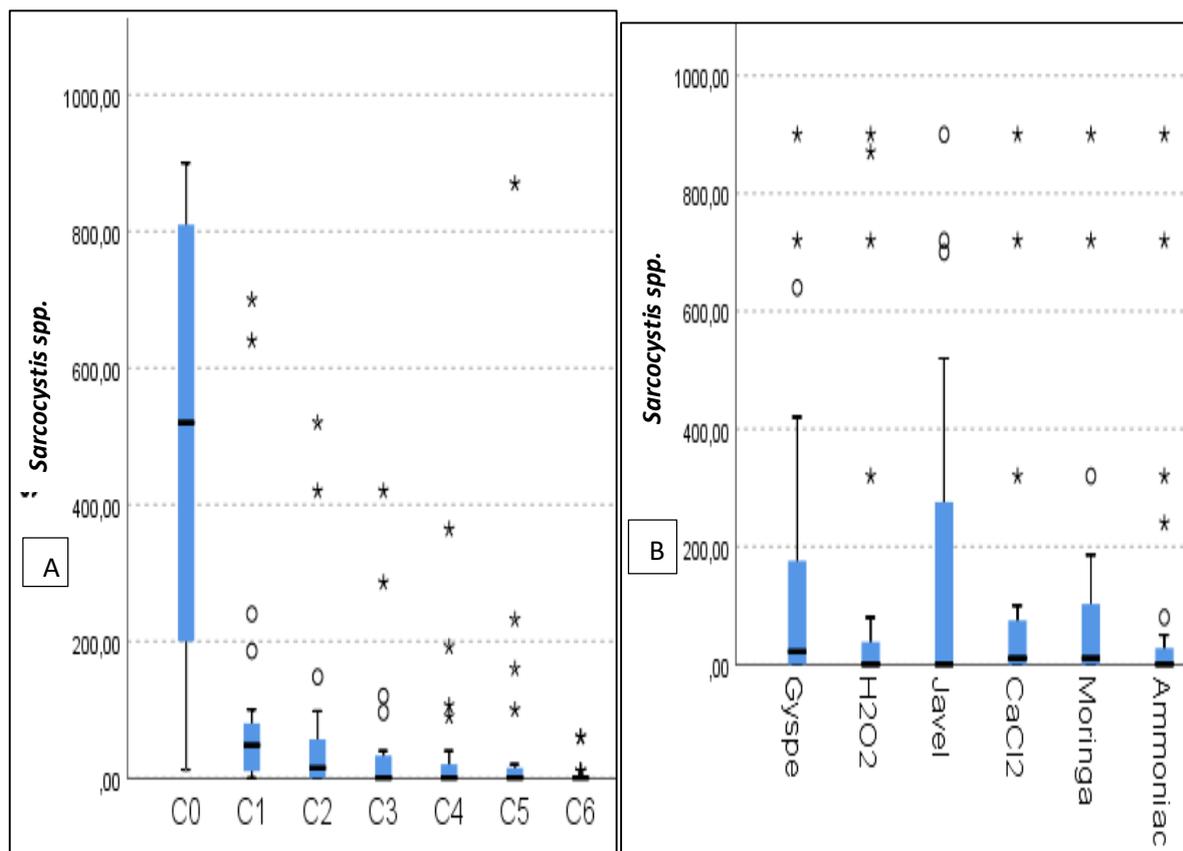
La Figure 45 représente les modifications morphologiques et la destruction des oocystes au contact des désinfectants. Il ya destruction de la paroi au niveau du pôle antérieur à la concentration C3 du Moringa et C4 de l'Eau de Javel (Figure 45C,F). Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les densité des kystes obtenues aux différentes concentrations ( $p=3,16 \cdot 10^{-11}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C2 ( $p=0,018$ ), C6 et C1 ( $p=1,36 \cdot 10^{-6}$ ), C6 et C0 ( $p=1,38 \cdot 10^{-11}$ ), C5 et C1 ( $p=0,005$ ), C5 et C0 ( $p=9,9 \cdot 10^{-9}$ ), C4 et C1 ( $p=0,015$ ), C4 et C0 ( $p=7,7 \cdot 10^{-8}$ ), C3 et C1 ( $p=0,024$ ), C3 et C0 ( $p=2,0 \cdot 10^{-7}$ ), C2 et C0 ( $p=1,1 \cdot 10^{-5}$ ), C1 et C0 ( $p=0,003$ ). De même, il existe une différence significative entre les densités des oocystes *de Sarcocystis* spp. obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,00089$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,00163$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,004167$ ), le Moringa ( $p=0,0005$ ), le Chlorure de Calcium

( $p=0,0001$ ), l'Ammoniac( $p=0,01300$ ). Il existe également une différence significative entre les différentes stations ( $p=2,09.10^{-7}$ )

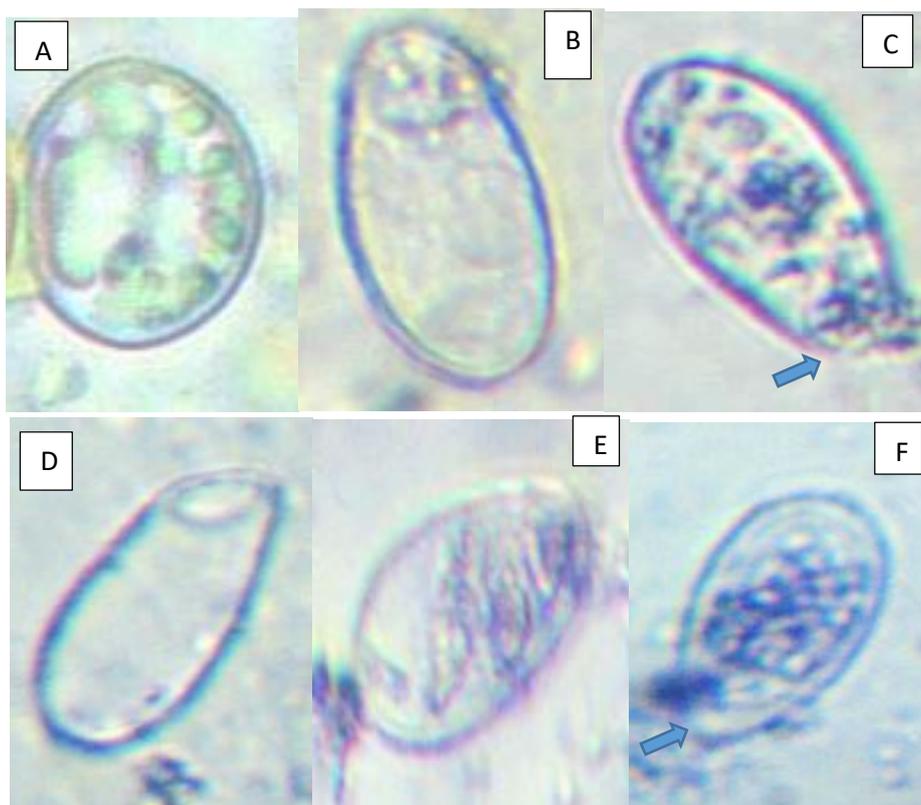




**Figure 43:** Variation du nombre d’ocystes de *Sarcocystis* spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C= Camp Messa ; et D= l’Hôpital Général)



**Figure 44 :** Variation globale des ocystes de *Sarcocystis* spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B)



**Figure 45** : Photos de *Sarcocystis* [12-16 $\mu$ m $\times$ 10-12] observées (A= C2 Ammoniac HG ; B=C3 Eau oxygénée CU ; C=C4 Eau de Javel HG ; D=C4 Chlorure de Calcium BS ; E=C3 Gypse HG ; F=C3 Moringa CM ).E :1/0,003

### III.1.4.5 Variation du nombre de kystes de *Giardia* spp.

La figure 46 présente la variation des densités des kystes de *Giardia* spp. en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 40 kystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C1. Les valeurs les plus élevées (supérieures à 10 kystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités à l'Ammoniac. La plus petite densité (0 kystes/L) a été obtenue sur l'échantillon traité avec du Moringa C1 (Figure 46 C).

La valeur témoin de la densité des kystes de *Giardia* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital général est de 140 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités à l'Ammoniac dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 10 kyste/L (Figure 46B).

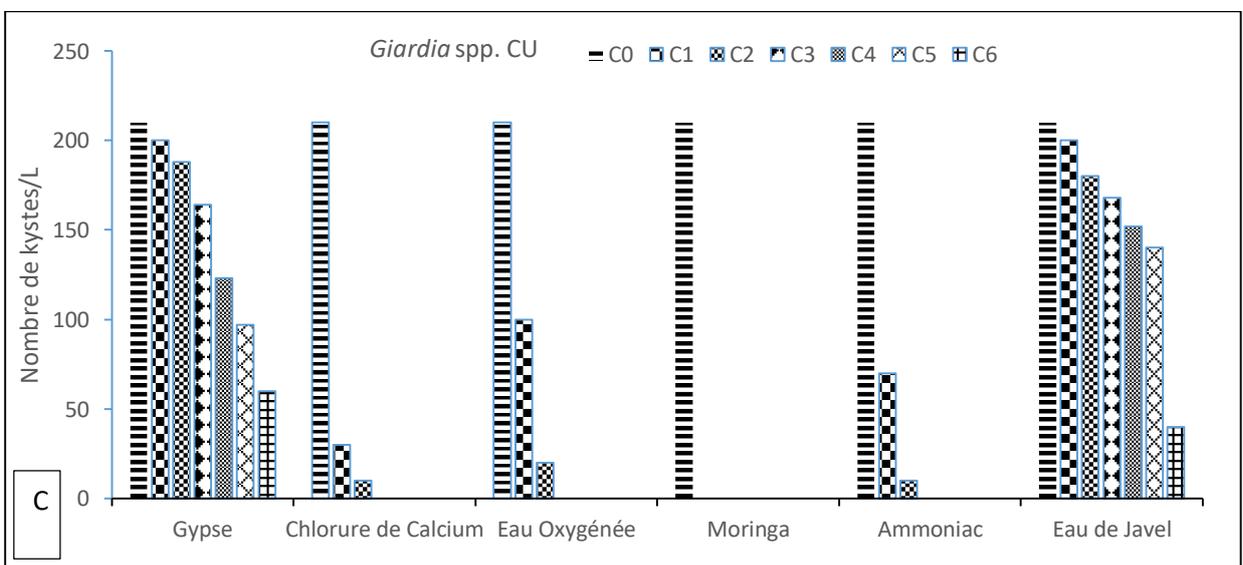
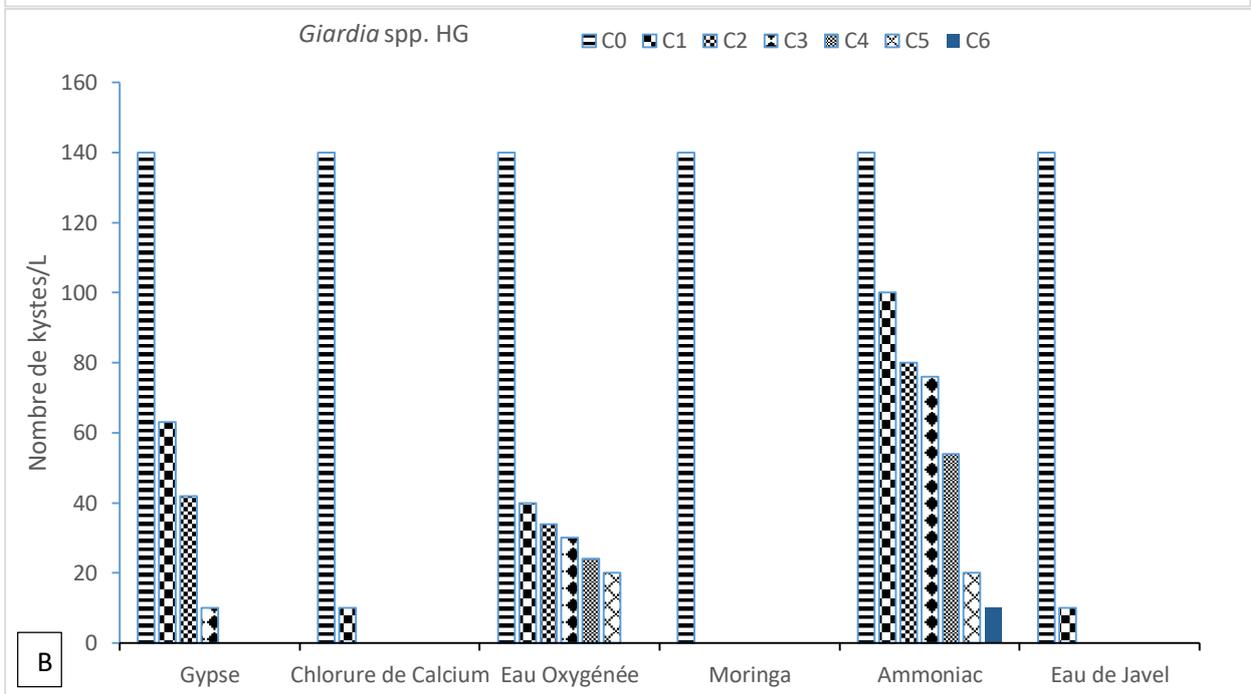
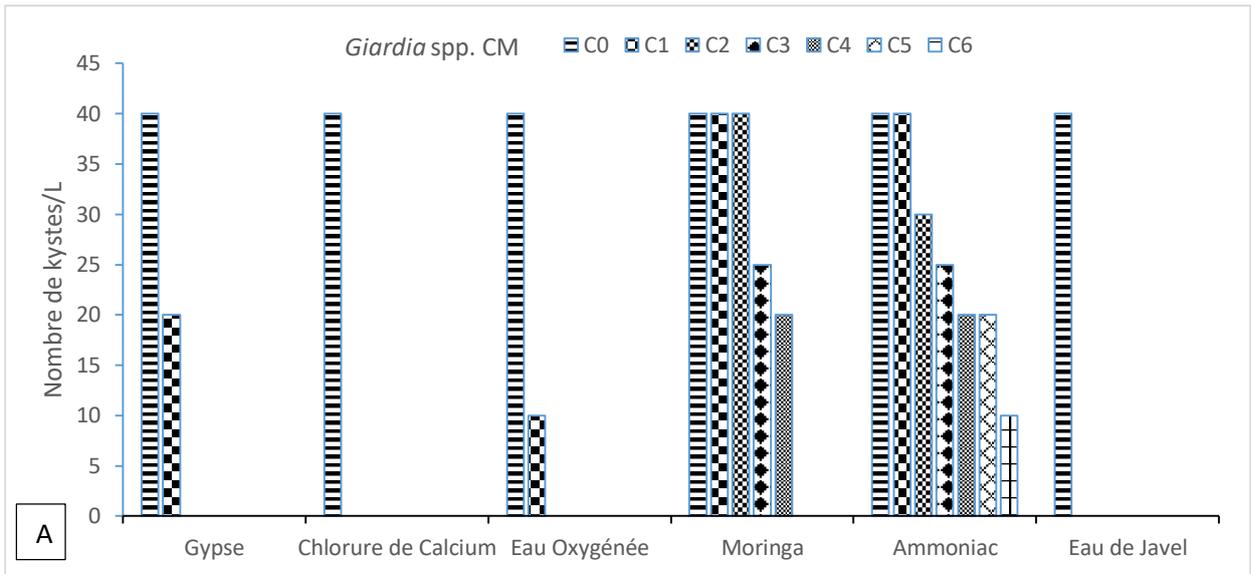
La valeur témoin de la densité des kystes *de Giardia* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 120 kyste/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires. Les plus petites valeurs (0 kystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités au Chlorure de Calcium et au Moringa à la concentration C6 (Figure 46 D).

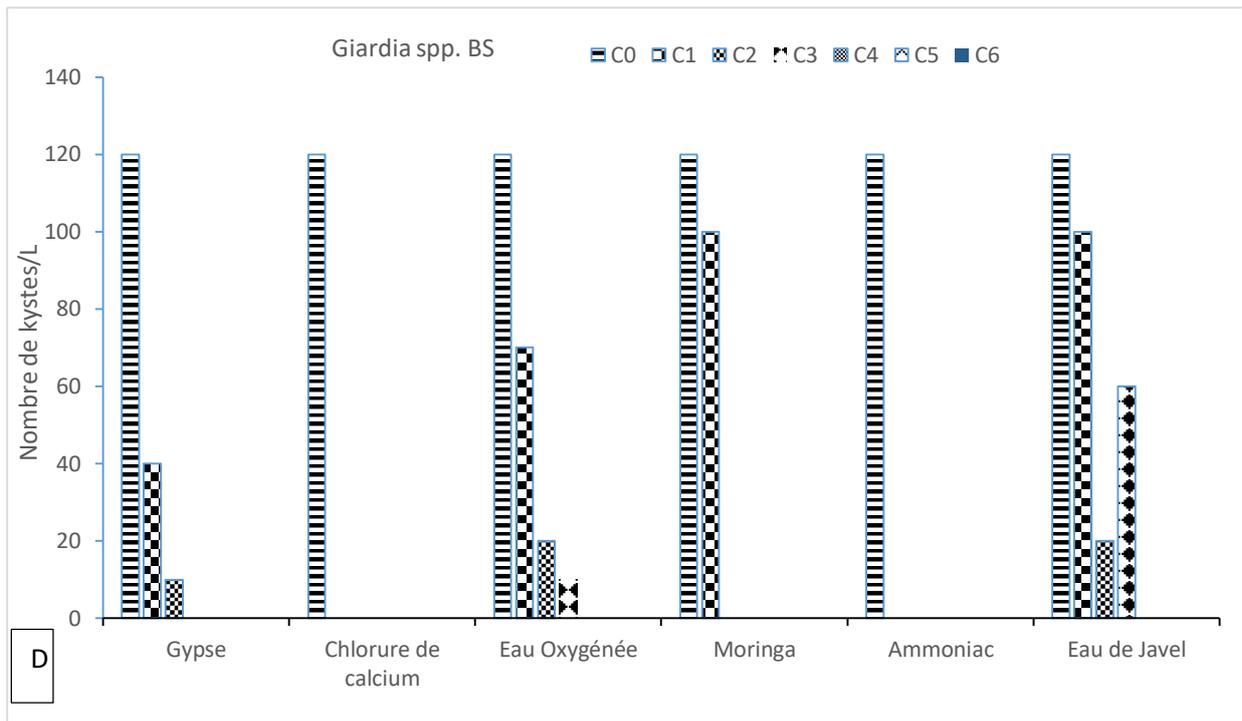
La valeur témoin de la densité des kystes viables *de Giardia* spp. obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 40 kystes/L, les densités des kystes *de Giardia* spp. obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution des densités en fonction de l'augmentation de la concentration, à l'exception des échantillons traités à l'Ammoniac, Chlorure de Calcium et l'Eau de Javel (Figure 46A). La Figure 47 présente une disposition hiérarchique de la densité des kystes *de Giardia* spp. obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents, les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Chlorure de Calcium et le Moringa présentent une meilleure efficacité sur la réduction de la viabilité des kystes de *Giardia* spp. par rapport aux autres. La figure 48 représente les modifications morphologiques et la destruction des kystes au contact des désinfectants.

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs des kystes obtenues aux différentes concentrations ( $p=3,16.10^{-11}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C2 ( $p=0,028$ ), C6 et C1 ( $p=1,1.10^{-4}$ ), C6 et C0 ( $p=3,26.10^{-12}$ ), C5 et C3 ( $p=0,0300$ ), C5 et C1 ( $p=4,9.10^{-4}$ ), C5 et C0 ( $p=4,36.10^{-11}$ ), C4 et C1 ( $p=0,002$ ), C4 et C0 ( $p=3,86.10^{-10}$ ), C3 et C1 ( $p=0,014$ ), C3 et C0 ( $p=2,77.10^{-8}$ ), C2 et C1 ( $p=0,096$ ), C2 et C0 ( $p=1,7.10^{-6}$ ), C1 et C0 ( $p=0,002$ ).

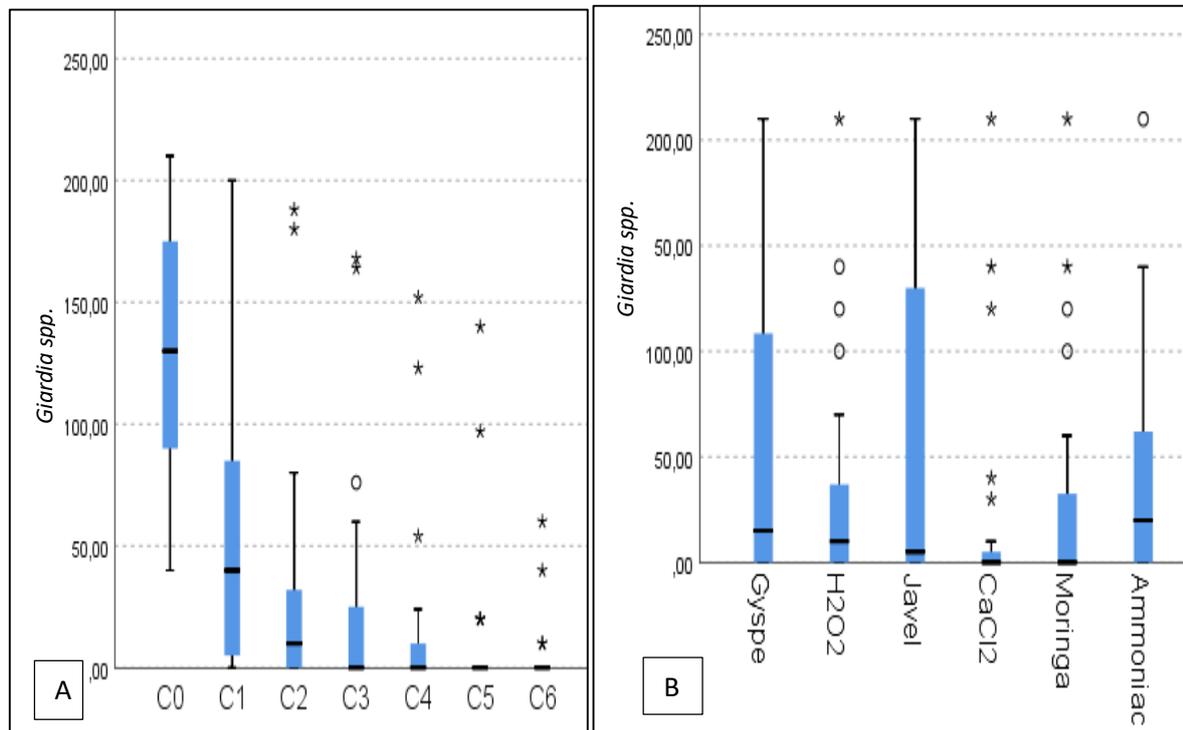
De même, il existe une différence significative entre les densités des kystes de *Giardia* spp. obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,008$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,0037$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,009$ ), le Moringa ( $p=0,0044$ ), l'Eau de Javel ( $p=0,0072$ ), l'Ammoniac ( $p=0,021$ ).

Il existe une différence significative entre les densités des kystes de *Giardia* spp. obtenues après traitement au Chlorure de Calcium et le Gypse ( $p=0,011$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Eau de Javel ( $p=0,024$ ), entre l'Ammoniac et le Chlorure de Calcium ( $p=0,015$ ), entre le Chlorure de Calcium et l'Eau Oxygénée ( $p=0,0015$ ).

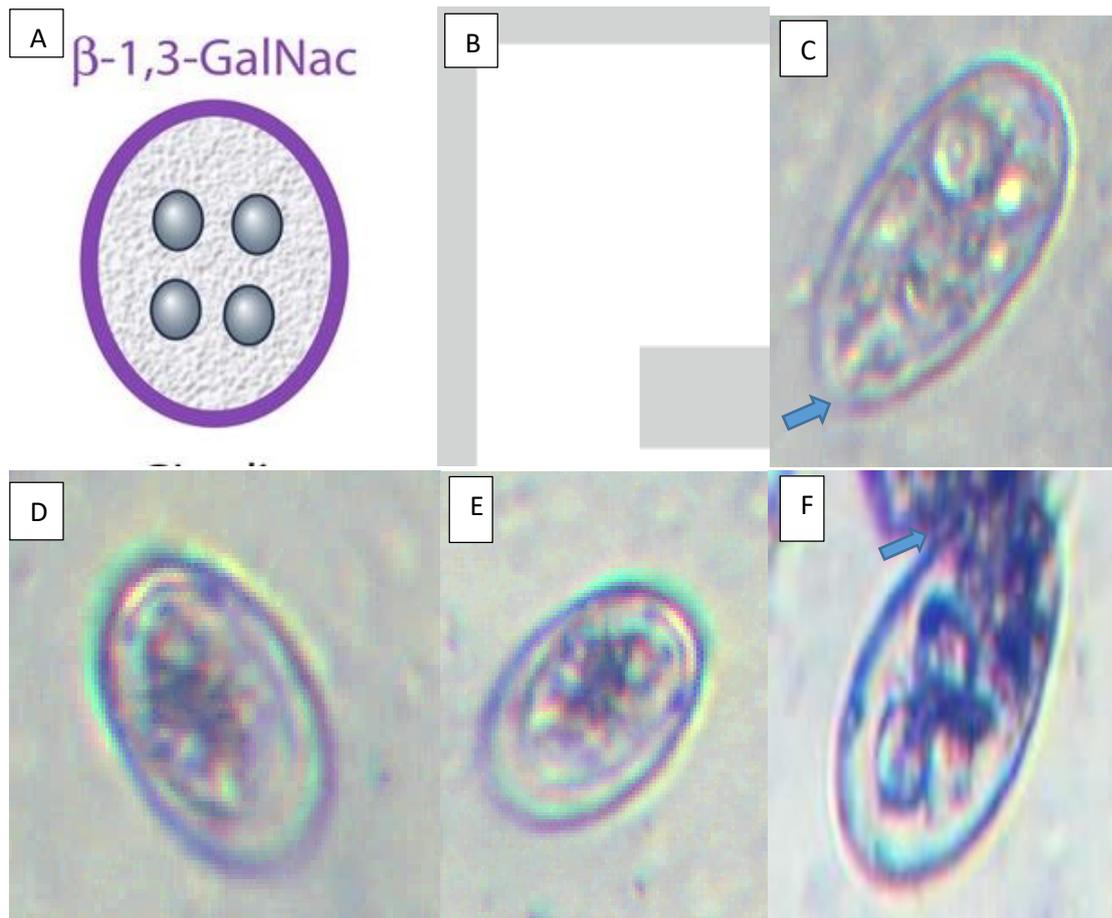




**Figure 46:** Variation du nombre de kystes de *Giardia* spp. en fonction de la concentration des différents désinfectants( A= Camp Messa ; B= l’Hôpital Général ; C=Cité Universitaire et D=Bois de Singes )



**Figure 47:** Variation globale des kystes de *Giardia* spp. en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B)



**Figure 48** : Photos de *Giardia* spp. [10-15 $\mu$ m $\times$ 10 $\mu$ m] observées (A= ultrastucture de la paroi qui est composé de  $\beta$ -1,3-GalNac (protéine très résistante); B=C0 BS; C=C2 chlorure de Calcium HG ; D= C2 Ammoniac CU; E=C4 Gypse CU ; F=C5 Eau de Javel CM )

#### III.1.4.6 Variation du nombre de kystes d'*Entamoeba histolytica*

La Figure 49 présente la variation des densités des kystes d'*Entamoeba histolytica* en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 330kystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C4. Les valeurs les plus élevées (supérieures à 60 kystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités au Gypse et à l'Hypochlorite de Sodium. La plus petite densité (0 kystes/L) de kyste a été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa à la concentration C4 (Figure 49 A).

La valeur témoin de la densité des kystes d'*Entamoeba histolytica* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital général est de 250 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils différents. La plus petite

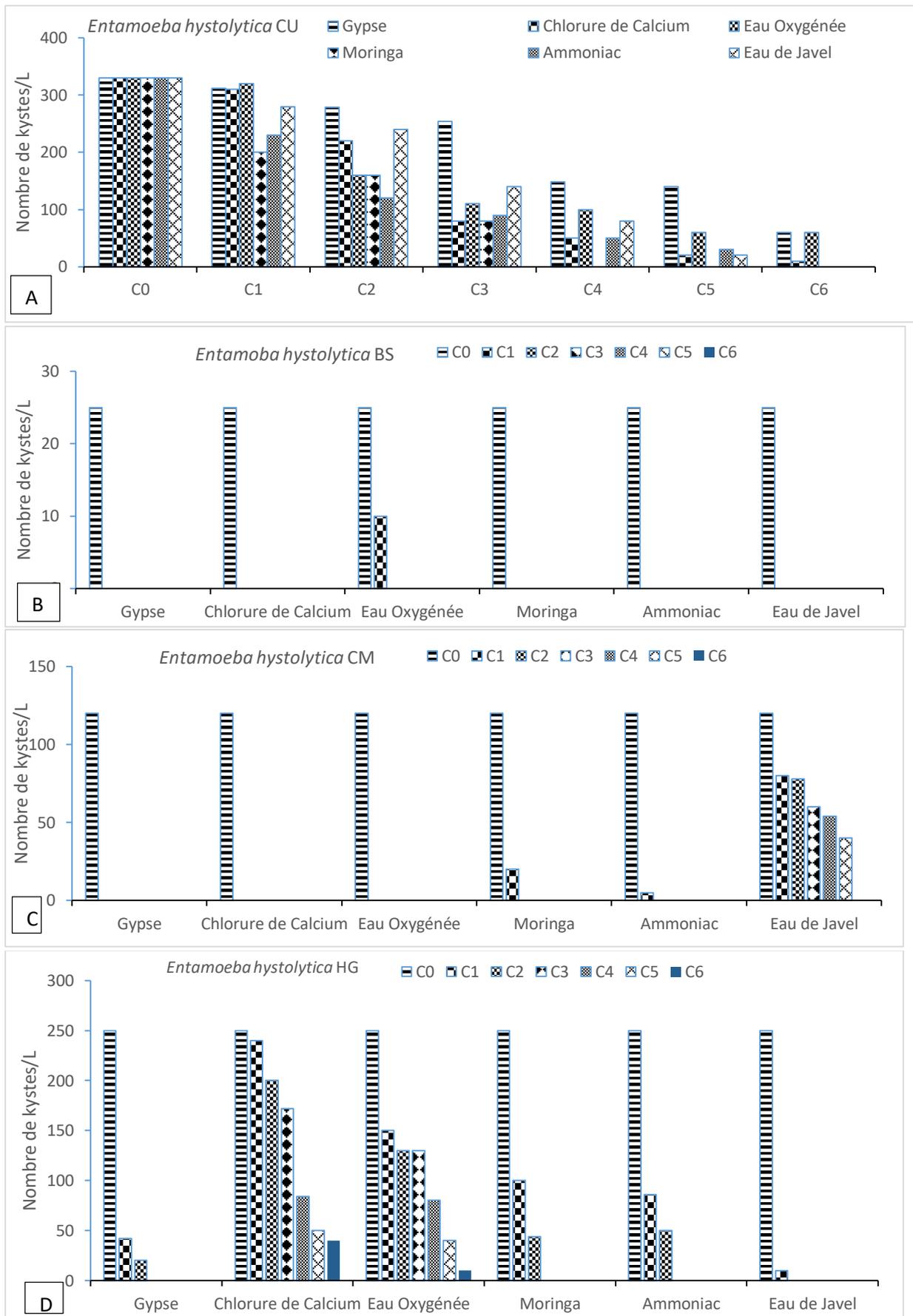
densité (0 kyste/L) viable a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Eau de Javel à la concentration C2 (Figure 49C).

La valeur témoin de la densité des kystes *d'Entamoeba histolytica* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 25 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires où l'absence de kystes est observée dès la première concentration. Les plus petites valeurs (0 kystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités au Moringa et au Chlorure de Calcium à la concentration C1 (Figure 49 B).

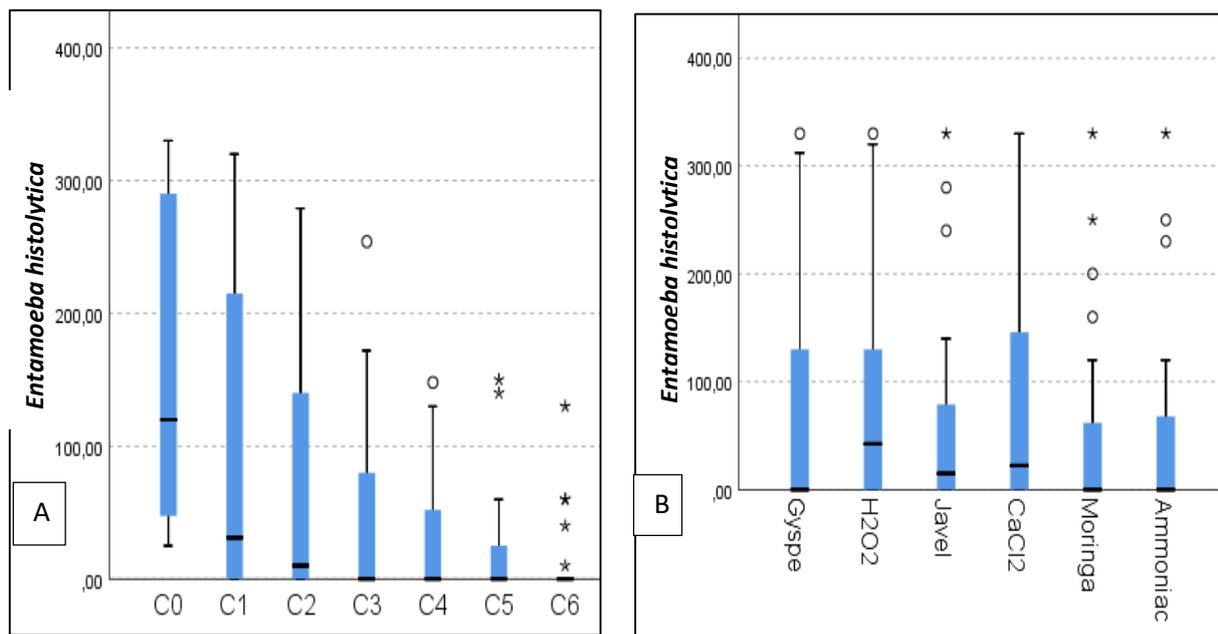
La valeur témoin de la densité des kystes *d'Entamoeba histolytica* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 120kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils différents. La plus petite densité (0 kystes/L) de kystes a été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa à la concentration C1 (figure 49C). La Figure 50 présente une disposition hiérarchique de la densité des kystes *d'Entamoeba histolytica* obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents, les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin, le Moringa et l'Ammoniac présentent une meilleure efficacité sur la réduction de la viabilité des kystes *d'Entamoeba histolytica* par rapport aux Gypse et au Chlorure de Calcium. La figure 51 représente les modifications morphologiques et la destruction des kystes au contact des désinfectants, à la concentration C5 du chlorure de calcium il ya plasmolyse avec destruction des constituant du cytosol (Figure51F).

Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs des kystes *d'Entamoeba histolytica* obtenues aux différentes concentrations ( $p=4,23.10^{-9}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C2 ( $p=0,023$ ), C6 et C1 ( $p=0,001$ ), C6 et C0 ( $p=2,04.10^{-9}$ ), C5 et C1 ( $p=0,009$ ), C5 et C0 ( $p=9,50.10^{-8}$ ), C4 et C1 ( $p=0,018$ ), C4 et C0 ( $p=3,69.10^{-7}$ ), C3 et C1 ( $p=0,048$ ), C3 et C0 ( $p=2,68.10^{-6}$ ), C2 et C0 ( $p=0,0019$ ), C1 et C0 ( $p=0,007$ ).

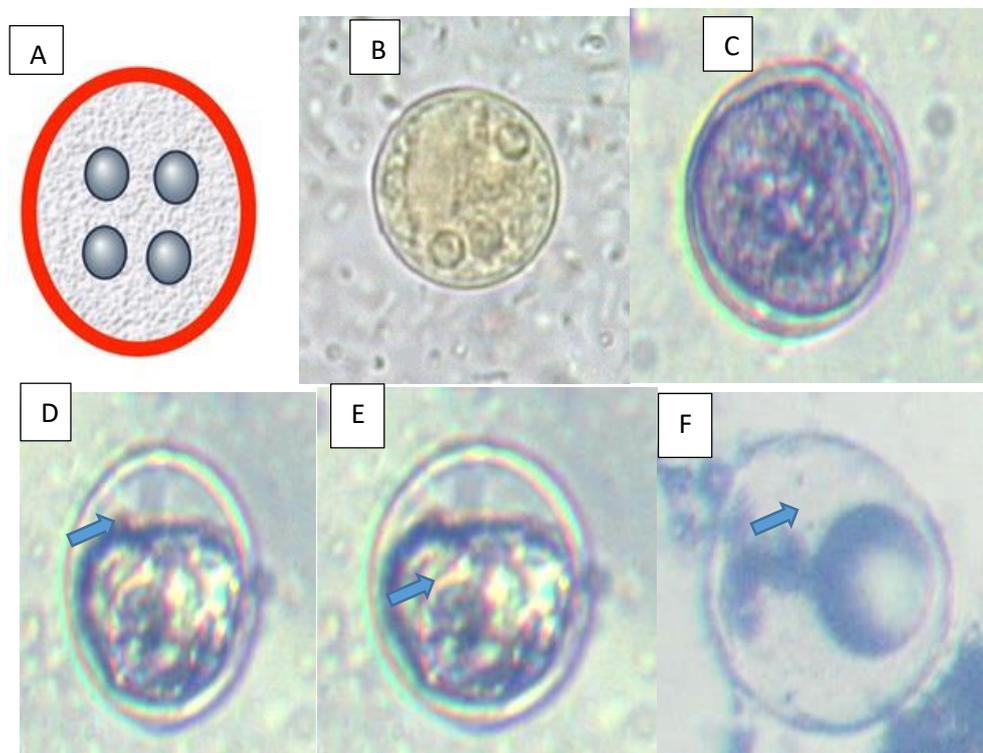
De même, il existe une différence significative entre les valeurs de la densité des kystes *d'Entamoeba histolytica* obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=6,8.10^{-6}$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,0008$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,001$ ), le Moringa ( $p=0,045$ ), l'Ammoniac ( $p=0,006$ ) l'Eau de Javel ( $p=0,003$ ).



**Figure 49:** Variation du nombre de kystes de *Entamoeba histolytica* en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C=Camp Messa ; et D= l'Hôpital général)



**Figure 50** : Variation globale des kystes *d'Entamoeba histolytica* en fonction des concentrations (B) et des désinfectants(A)



**Figure 51** : Photos de *Entamoeba histolytica* [10-15 $\mu$ m] observées (A= ultrastructure de la paroi riche en chitine ; B= C0 GH; C= C2 Gypse CM; D=C3 Eau oxygénée ; E=C3 Eau de Javel ; F= C5 Chlorure de Calcium). E(1/0,005)

### III.1.4.7 Variation de la densité des kystes *d'Entamoeba coli*

La figure 52 présente la variation des densités des kystes *d'Entamoeba coli* en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 4800 kystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C2. Les valeurs les plus élevées (supérieures à 300 kystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités au gypse. La plus petite densité (0 kystes/L) viable a été obtenue sur l'échantillon traité à l'Hypochlorite de Sodium et au Chlorure de Calcium à la concentration C6 (Figure 52 A).

La valeur témoin de la densité des kystes *d'Entamoeba coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital générale est de 120 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités au Moringa et à l'Ammoniac(C1) dont les valeurs obtenues après désinfection ont directement chuté à 0 à la concentration C3 (Figure 52D).

La valeur témoin de la densité des kystes de *d'Entamoeba coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois des singes est de 60 kyste/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires à l'exception des échantillons traités à l'Eau Oxygénée dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 10 kystes/L. Les plus petites valeurs (0 kystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités au Chlorure de Calcium et à l'ammoniac à la concentration C1 (Figure 52 B).

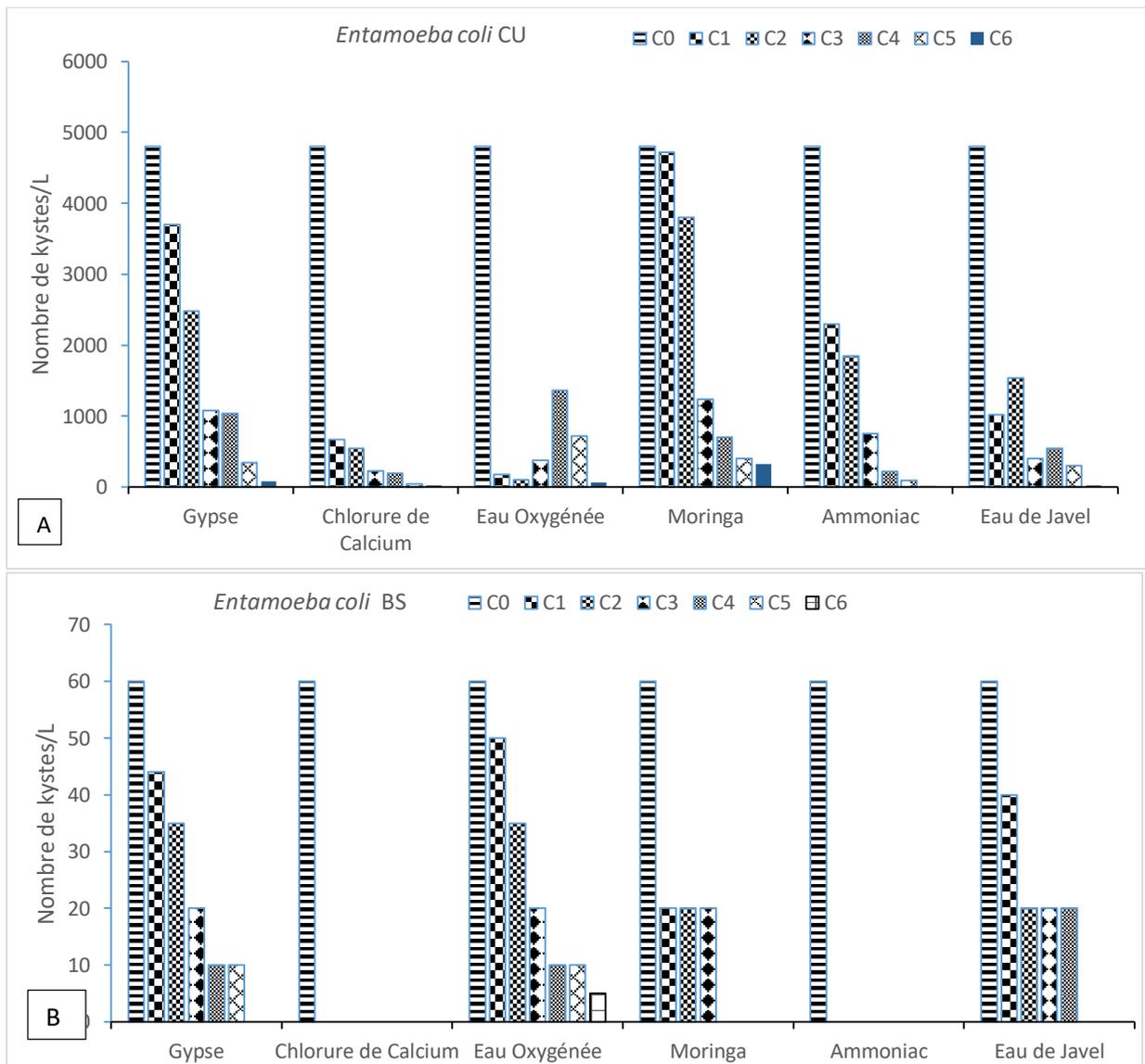
La valeur témoin de la densité des kystes viables *d'Entamoeba coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 400 kystes/L. Les densités des kystes de *d'Entamoeba coli* obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une diminution des densités en fonction de l'augmentation de la concentration (Figure 52C). La figure 53 présente une disposition hiérarchique des densités des kystes *d'Entamoeba coli* obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents. Les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Moringa et le Chlorure de Calcium présentent une efficacité légèrement supérieure sur la réduction de la viabilité des kystes *d'Entamoeba coli* par rapport aux autres. La figure 54 représente les modifications morphologiques et la destruction des kystes au contact des désinfectants. Le moringa à la concentration C5 détruit la paroi et facilite la lyse cellulaire.

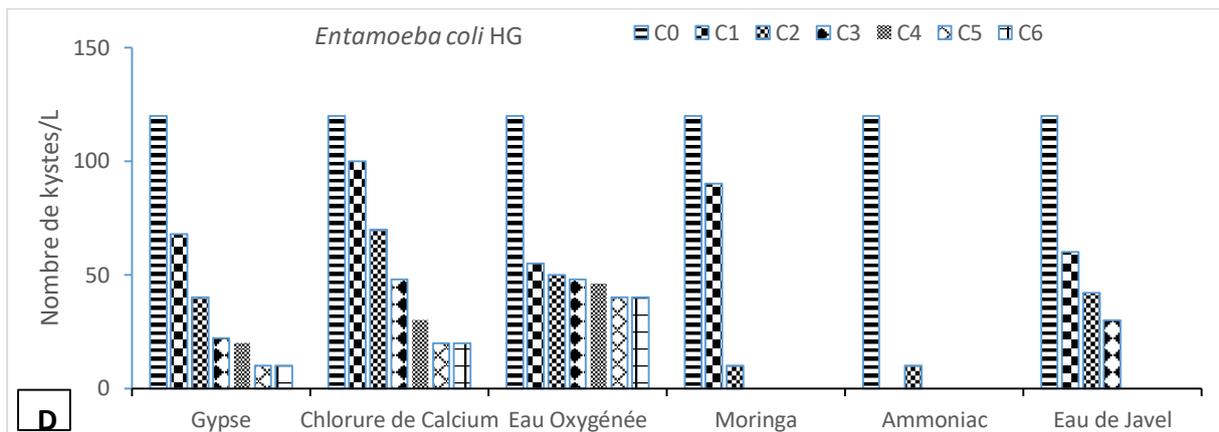
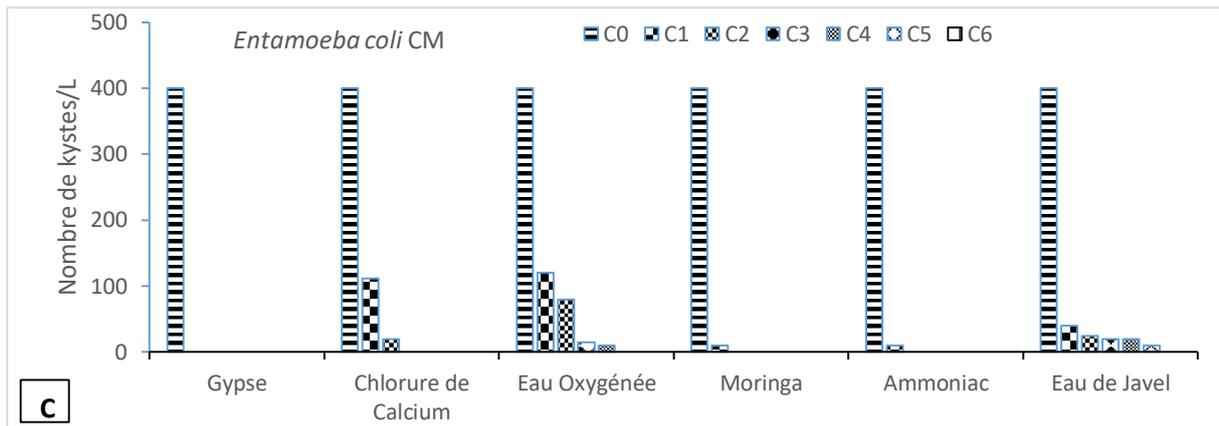
Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les valeurs des kystes *d'Entamoeba coli* obtenues aux différentes concentrations ( $p=6,59.10^{-9}$ ), le

test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C3 ( $p=0,042$ ), C6 et C2 ( $p=0,002$ ), C6 et C1 ( $p=0,0001$ ), C6 et C0 ( $p=1,32.10^{-9}$ ), C5 et C2 ( $p=0,033$ ), C5 et C1 ( $p=0,004$ ), C5 et C0 ( $p=4,83.10^{-7}$ ), C4 et C1 ( $p=0,018$ ), C4 et C0 ( $p=6,41.10^{-6}$ ), C3 et C0 ( $p=5,62.10^{-5}$ ), C2 et C0 ( $p=0,004$ ), C1 et C0 ( $p=0,029$ ).

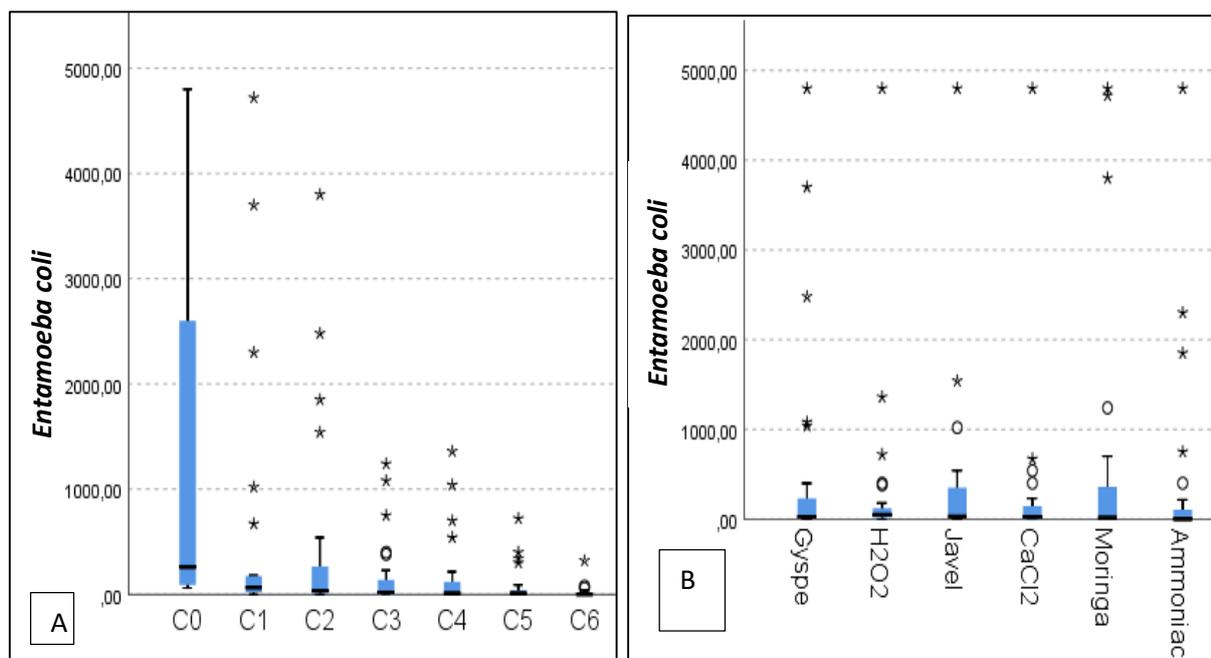
De même, il existe une différence significative entre les valeurs de la densité des kystes d'*Entamoeba coli* obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,002$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,00016$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,0045$ ), l'Ammoniac ( $p=0,015$ ), le Moringa ( $p=0,00036$ ), l'Eau de Javel ( $p=0,0012$ ).

Il existe une différence significative entre les kystes traités au Chlorure de Sodium et au Gypse ( $p=0,0115$ ), entre le Chlorure de Calcium et le moringa ( $p=0,0007$ ), entre l'Eau Oxygénée et l'Eau de Javel ( $p=0,004$ ), entre l'Ammoniac et le Moringa ( $p=4,04.10^{-6}$ ), entre le Chlorure de Calcium et le Gypse ( $p=0,0016$ ).

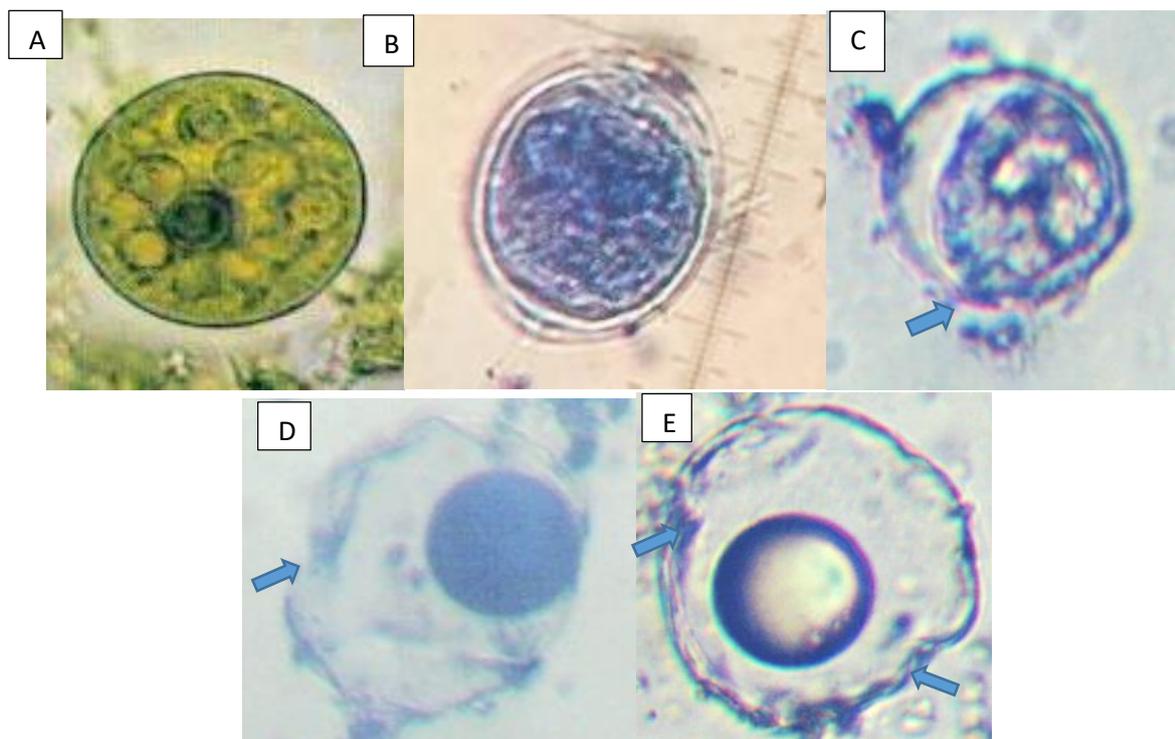




**Figure 52** : Variation de la charge kystique d' *Entamoeba coli* en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C= Camp Messa ; et D= l'Hôpital Général)



**Figure 53** : Variation globale des kystes d' *Entamoeba coli* en fonction des concentrations (A) et des désinfectants(B)



**Figure 54 :** Photos de *Entamoeba coli* [14-24 $\mu$ m] observées (A=C0 HG ; B=C3 Moringa CU ; C=C4 Moringa CU ; D=C6 Eau oxygénée CM ; E= C4 Eau de Javel HG)

### III.1.4.8 Variation du nombre de kystes de *Balantidium coli*

La figure 55 présente la variation des densités des kystes de *Balantidium coli* en fonction des concentrations et des désinfectants utilisés. La valeur témoin enregistrée sur l'effluent de la Cité Universitaire avant désinfection est de 60 kystes/L. Après application des désinfectants, les valeurs diminuent considérablement à partir de la concentration C1. Les valeurs les plus élevées (supérieures à 20 kystes/L) obtenues après désinfection ont été observées sur les échantillons traités au Gypse. La plus petite densité (0 kystes/L) viable a été obtenue sur l'échantillon traité au Moringa, au Chlorure de Calcium et à l'Ammoniac C1 (Figure 55 A).

La valeur témoin de la densité des kystes de *Balantidium coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de l'hôpital générale est de 20 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils presque similaires à l'exception des échantillons traités au Gypse dont les valeurs obtenues après désinfection sont supérieures à 10kystes/L à la concentration C5 (Figure 55D).

La valeur témoin de la densité des kystes de *Balantidium coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent de Bois de singes est de 40 kystes/L. Les valeurs obtenues après application des désinfectants présentent des profils similaires avec absence totale de kystes

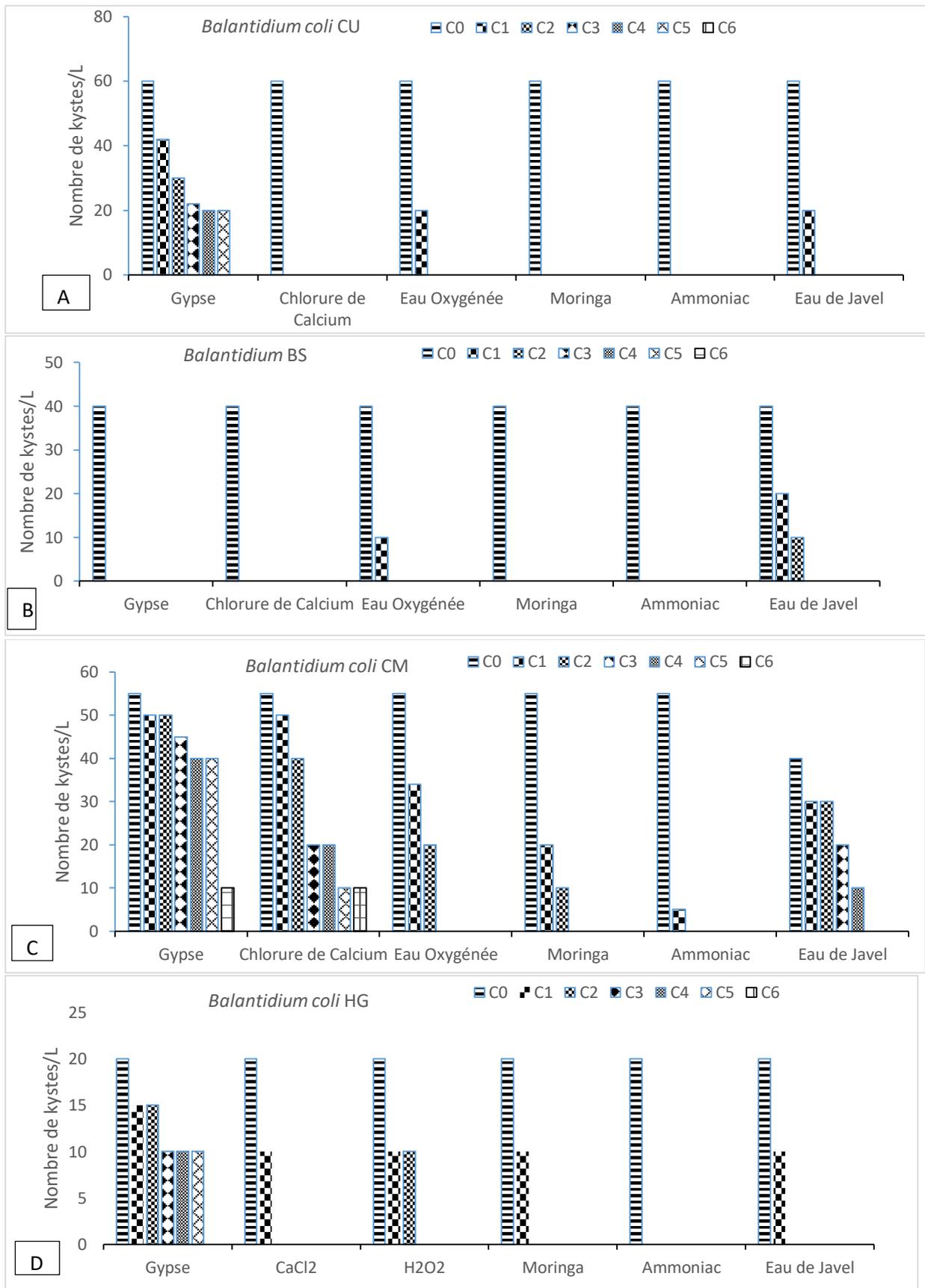
viables dès la première concentration exceptés l'Eau Oxygénée et l'Eau de Javel. Les plus petites valeurs (0 kystes/L) ont été obtenues respectivement sur les échantillons traités au Moringa, au Chlorure de Calcium et à l'Ammoniac à la concentration C1 (Figure 55 B).

La valeur témoin de la densité des kystes de *Balantidium coli* obtenue avant application des désinfectants sur l'effluent du Camp Sic Messa est de 55 kystes/L. Les densités des kystes de *Balantidium coli* obtenues après désinfection présentent des profils similaires, avec une chute totale des densités dès la première excepté l'Ammoniac seconde concentration (Figure 55C). La figure 56 présente une disposition hiérarchique de la densité des kystes viables de *Balantidium coli* obtenues avant et après désinfection pour les quatre types d'effluents. Les valeurs obtenues après désinfection s'écartent significativement de la valeur témoin. Le Moringa, le Chlorure de Calcium, l'Eau de Javel, l'Eau Oxygénée et l'Ammoniac présentent une meilleure efficacité sur la réduction de la viabilité des kystes de *Balantidium coli* par rapport au Gypse. La figure 57 présente les modifications morphologiques et la destruction des kystes au contact des désinfectants. A la concentration C5 du moringa il ya destruction de la paroi à la même concentration avec l'Eau de Javel, il y'a oxydation de toutes les structures.

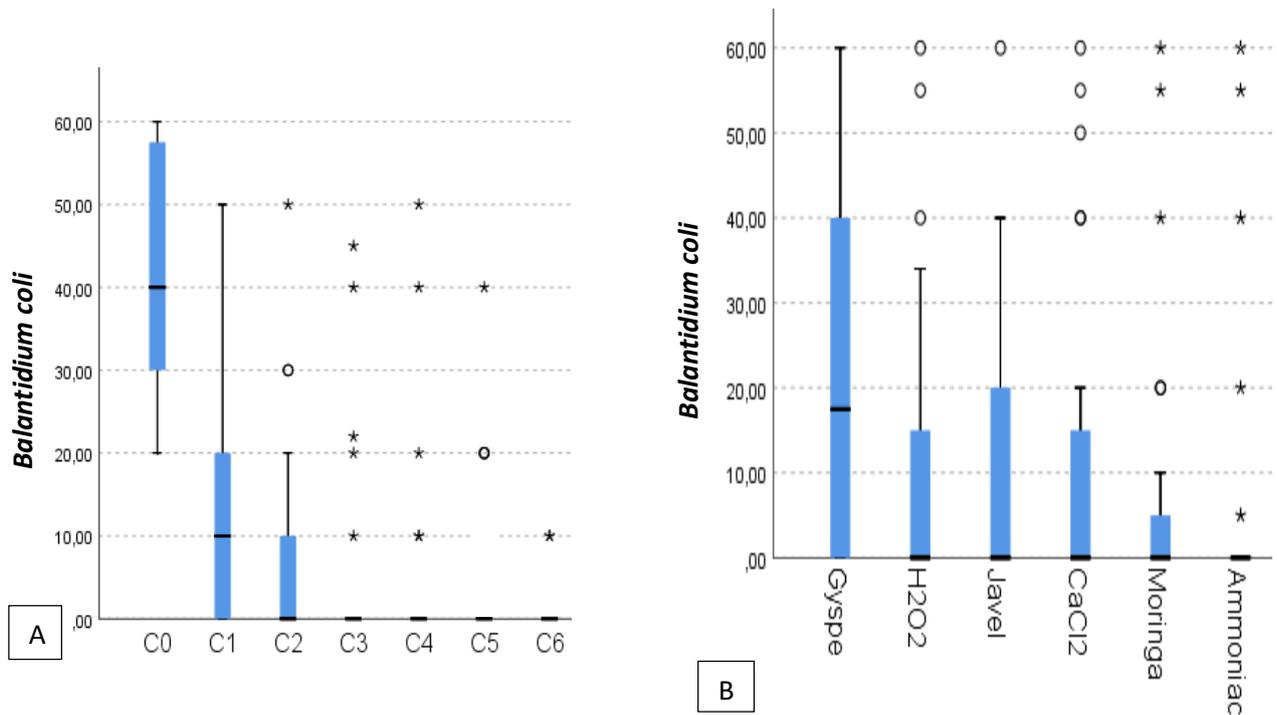
Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il existe une différence significative entre les densités des kystes de *Balantidium coli* obtenues aux différentes concentrations ( $p=6.10^{-5}$ ), le test de Mann-Whitney montre que cette différence existe entre les concentrations C6 et C2 ( $p=0,099$ ), C6 et C1 ( $p=0,00036$ ), C6 et C0 ( $p=3,5.10^{-14}$ ), C4 et C1 ( $p=0,009$ ), C4 et C0 ( $p=3,2.10^{-11}$ ), C3 et C1 ( $p=0,011$ ), C3 et C0 ( $p=5,58.10^{-11}$ ), C5 et C1 ( $p=0,014$ ), C5 et C0 ( $p=1,02.10^{-10}$ ), C2 et C0 ( $p=3,05.10^{-9}$ ), C1 et C0 ( $p=6,0.10^{-5}$ ).

De même, il existe une différence significative entre les densités des kystes *Balantidium coli* obtenues sur l'échantillon témoin et celles obtenues avec le Gypse ( $p=0,003$ ), le Chlorure de Calcium ( $p=0,007$ ), l'Eau Oxygénée ( $p=0,010$ ), l'Ammoniac ( $p=0,045$ ), le Moringa ( $p=0,008$ ), l'Eau de Javel ( $p=0,027$ ). Il existe également une différence significative entre l'Ammoniac et le Gypse ( $p=8.10^{-5}$ ), entre le Moringa et le Gypse ( $p=0,00049$ ), entre l'eau oxygénée et le Gypse ( $p=0,006$ ), entre le Chlorure de Calcium et le Gypse ( $p=0,013$ ), entre l'Eau de Javel et le Gypse ( $p=0,040$ ).

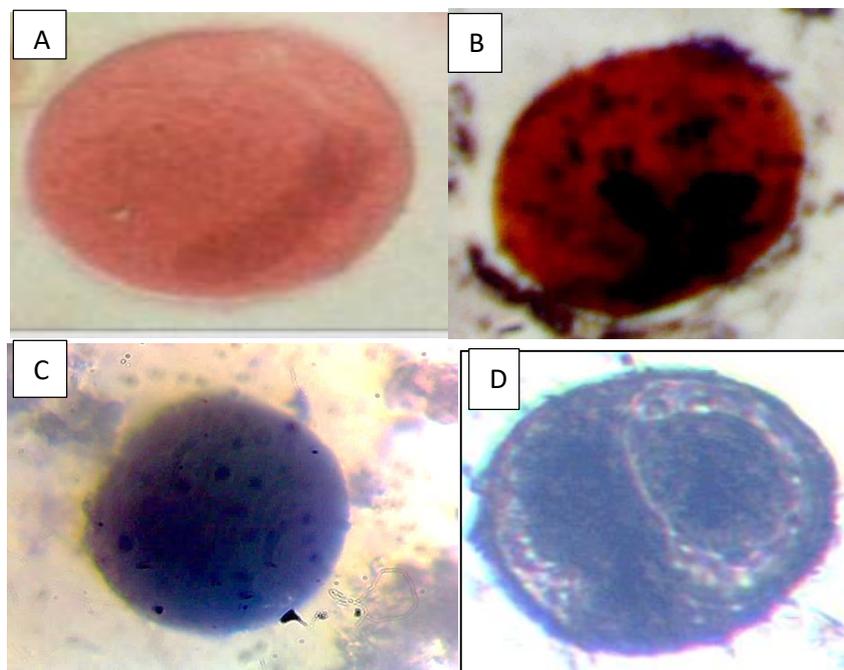
Il existe une différence significative entre les kystes traités au Chlorure de Sodium et au Gypse ( $p=0,011$ ), entre l'Ammoniac et le NaClO ( $p=0,004$ ), entre le Gypse et l'Eau Oxygénée ( $p=0,0015$ ), entre le Chlorure de Calcium et le Moringa ( $p=2,04.10^{-7}$ ).



**Figure 55:** Variation du nombre de kystes de *Balantidium coli* en fonction de la concentration des différents désinfectants ( A=Cité Universitaire ;B=Bois de Singes ;C= Camp Messa ; et D= l'Hôpital Général)



**Figure 56 :** Variation globale des oocystes de *Balantidium coli* en fonction des concentrations (B) et des désinfectants(A)



**Figure 57 :** Photos de *Balantidium coli* [60µ] observées (A=C0 CU ; B=C3 Ammoniac BS ; C= C5 Moringa CM ; D= C5 Eau de Javel HG).E :1/0,01

### III.1.5 Rendement de l'efficacité des différents désinfectants

#### III.1.5.1 Rendement d'efficacité des différents désinfectants sur les kystes et oocystes de protozoaires

Le rendement d'inactivation et de destruction des oocystes de *Cryptosporidium* spp. varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement, le moringa et le Chlorure de Calcium ont respectivement les rendements les plus élevés ( $97,72 \pm 2,41\%$  et  $97,63 \pm 1,38\%$ ) alors que les faibles rendements ont été obtenus respectivement avec le Gypse ( $86,78 \pm 5,01\%$ ) et l'Ammoniac  $90 \pm 10,56\%$  (Tableau VIII).

Le rendement d'inactivation et de destruction des oocystes de *Cyclospora* spp. varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement, le Chlorure de Calcium présente le rendement le plus élevé ( $97,75 \pm 3,3\%$ ), tandis que le rendement relativement élevés ( $86,30 \pm 24,21\%$ ) à été obtenu sur l'échantillons traité à l'Ammoniac.

Le rendement d'inactivation et de destruction des oocystes d'*Isospora* spp. varie en fonction des désinfectants et des échantillons, globalement le Chlorure de Calcium et le Moringa ont présenté le même rendement et le plus élevé (100%). Alors que le rendement relativement élevés a été obtenu aux échantillons traités au Gypse  $94,75 \pm 31\%$  (Tableau VIII).

En ce qui concerne *Sarcocystis* spp., le rendement d'inactivation et de destruction des oocystes varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement, le rendement le plus élevé ( $99,20 \pm 0,98\%$ ) a été obtenu avec le Moringa, tandis que le rendement relativement élevés ( $94,10 \pm 4,94\%$ ) a été obtenu sur les échantillons traités à l'Eau de Javel (Tableau VIII).

Le rendement de destruction et d'inactivation des kystes de *Giardia* spp. varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement, le rendement le plus élevé a été obtenu avec le Chlorure de Calcium et l'Eau Oxygénée (100%) et rendement relativement élevés à été obtenu avec les échantillons traités au Gypse  $92 \pm 14\%$  (Tableau VIII).

Le rendement de destruction et d'inactivation des kystes de *Entamoeba histolytica* varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement le Moringa et l'Eau de Javel ont la même et meilleure action  $99 \pm 1\%$  et le rendement relativement élevés a été obtenu avec les échantillons traités à l'Eau Oxygénée (Tableau VIII).

Pour les kystes de *Entamoeba coli*, le rendement de destruction et d'inactivation à varie en fonction des désinfectants et des échantillons. Globalement, la différence entre les différents désinfectants est très faible. La valeur la plus élevée ( $98 \pm 4\%$ ) a été obtenue au Gypse alors que

le Moringa, le Chlorure de Calcium et l'Eau Oxygénée ont présenté les mêmes valeurs relativement élevés 97±3% qui ne s'éloignent du plus fort rendement.

Le rendement de destruction et d'inactivation des kystes de *Balantidium coli* ont varié en fonction des désinfectants et des échantillons. Ici, tous les désinfectants ont atteint un taux de 100% excepté les échantillons traités au Gypse 92% (Tableau VIII).

**Tableau VIII :** Taux d'abattement des différents kystes et oocystes en fonction des différents désinfectants et des stations

paramètres	Stations	Gypse	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaClO	CaCl <sub>2</sub>	Moringa	Ammoniac
<i>Cryptosporidium spp.</i>	CU	91,10%	94,60%	97,08%	98,50%	99,40%	98,30%
	BS	90,80%	96,60%	90,40%	97%	94,16%	99,60%
	CM	85%	94,20%	94,10%	99%	98,30%	77,70%
	HG	80,20%	95,60%	97%	96%	99%	85,30%
Moyenne		86,78%	95,25%	94,65%	97,63%	97,72%	90,23%
Ecart type		5,21%	1,08%	3,15%	1,38%	2,41%	10,56%
<i>Cyclospora spp.</i>	CU	90,50%	90,50%	90,90%	100%	95,40%	99,60%
	BS	100%	98,90%	75,50%	98%	94,40%	97,80%
	CM	97%	98%	100%	93%	98%	50%
	HG	84,50%	100%	100%	100%	91,50%	97,80%
Moyenne		93,00%	96,85%	91,60%	97,75%	94,83%	86,30%
Ecart type		6,92%	4,31%	11,56%	3,30%	2,69%	24,21%
<i>Isospora spp.</i>	CU	94,50%	94%	100%	100%	100%	100%
	BS	100%	99%	100%	100%	100%	100%
	CM	100%	99,80%	100%	100%	100%	100%
	HG	84,50%	98,60%	100%	100%	100%	98,10%
Moyenne		94,75%	97,85%	100%	100%	100%	99,53%
Ecart type		7,31%	2,61%	0,00%	0,00%	0,00%	0,95%
<i>Sarcocystis spp.</i>	CU	91,80%	100%	91,38%	100%	100%	97,80%
	BS	100%	100%	90%	93,70%	98%	96,80%
	CM	98,90%	99%	100%	100%	100%	100%
	HG	96,80%	96%	95%	90%	98,80%	100%
Moyenne		96,88%	98,75%	94,10%	95,93%	99,20%	98,65%
Ecart type		3,63%	1,89%	4,47%	4,94%	0,98%	1,61%
<i>Giardia spp.</i>	CU	71,40%	100%	80,95%	100%	100%	99,40%
	BS	98%	100%	92%	100%	100%	100%
	CM	97%	99%	100%	100%	92%	75%
	HG	100%	100%	100%	98,20%	95%	90%
Moyenne		92%	100%	93%	100%	97%	91%
Ecart type		14%	1%	9%	1%	4%	12%

<i>Entamoeba histolytica</i>	CU	81,80%	81,80%	98,20%	97%	98,90%	91%
	BS	98,10%	89%	100%	100%	100%	100%
	CM	99%	99,90%	98,50%	100%	100%	100%
	HG	100%	88%	100%	84%	97%	96,10%
Moyenne		95%	90%	99%	95%	99%	97%
Ecart type		9%	8%	1%	8%	1%	4%
<i>Entamoeba coli</i>	CU	98,30%	94,50%	99,50%	99,20%	93,90%	99,70%
	BS	100%	81,30%	85%	100%	97%	93%
	CM	100%	97%	97%	100%	100%	100%
	HG	92%	68,80%	100%	88,20%	96%	96,70%
Moyenne		98%	85%	95%	97%	97%	97%
Ecart type		4%	13%	7%	6%	3%	3%
<i>Balantidium coli</i>	CU	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	BS	96%	100%	100%	100%	100%	100%
	CM	82%	100%	98,50%	81,80%	100%	100%
	HG	90%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne		92%	100%	100%	95%	100%	100%
Ecart type		0,08	0	0,01	0,091	0	0

Légende :CU=Cité Universitaire ; BS= Bois de Singe ; CM= Camp sic Messa ; HG=Hopital Général ; NaClO=Eau de Javel ;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=Eau Oxygénée

### III.1.5.2 Rendement d'efficacité des différents désinfectants sur les variables physicochimiques

La variation des rendements d'efficacité des différents désinfectants est présenté dans le Tableau IX à la concentration C6. Le rendement des Matières En Suspension varie en fonction des désinfectants et des échantillons. L'Eau de Javel et le Moringa ont présententé les rendements les plus élevés  $97 \pm 2,05$  % et  $91,38 \pm 7,66$  %, tandis que le rendement relativement élevés a été obtenu avec le Gypse  $81,70 \pm 27,74$ % (Tableau IX). Pour la Couleur, l'Eau Oxygénée a présenté le meilleur rendement  $95,43 \pm 4,25$ % tandis que le faible rendement à été obtenu avec l'échantillon traité au moringa  $87,23 \pm 11,03$ % (Tableau IX).

Les rendements de la Turbidité varient en fonction des désinfectants et des échantillons, Globalement, le Chlorure de Calcium et le Moringa ont présenté les rendements plus élevés  $99,65 \pm 10,46$  et  $98,13 \pm 33,8$ %, tandis que le rendement relativement élevés a été obtenu avec l'Eau Oxygénée  $92,5 \pm 8,8$ %. Pour l'azote ammoniacal, l'Eau de Javel a présenté le rendement le plus élevé  $82,35 \pm 0,45$ %, et les échantillons traités à l'ammoniac ont présenté le plus faible rendement -225% (Tableau IX).

Les rendements des Orthophosphates varient en fonction des désinfectants et des échantillons, le chlorure de Calcium a présenté le meilleur rendement  $79,98 \pm 23,3$ % et le plus

faible rendement à été obtenu avec les échantillons traités à l'ammoniac. Pour l'Oxydabilité le plus grand rendement a été obtenu avec le échantillons traités au Chlorure de calcium (86±10,83%) et rendement relativement élevés avec le Moringa 35,43±28,38% (TableauIX).

**Tableau IX:** Taux d'abattement (%) des differents désinfectants sur quelques variables physicochimiques

paramètres	Stations	Gypse	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaClO	CaCl <sub>2</sub>	Moringa	Ammoniac
<b>MES(mg/L)</b>	CU	96%	80,50%	94,40%	83,50%	94,60%	94,30%
	BS	40,50%	64,20%	97,30%	48,80%	80%	26,70%
	CM	90,40%	87,40%	96,90%	89%	94,20%	93,10%
	HG	99,90%	98,20%	99,40%	99,30%	96,70%	95,60%
Moyenne		81,70%	82,58%	97,00%	80,15%	91,38%	77,43%
Ecart type		27,74%	14,25%	2,05%	21,90%	7,66%	33,83%
<b>Couleur(PtCo)</b>	CU	99,40%	98,50%	98,50%	98,40%	94,20%	95,82%
	BS	96,20%	89,30%	89,60%	92,10%	70,80%	96,70%
	CM	82,40%	98,10%	91%	88,50%	93%	83,30%
	HG	98,80%	95,80%	97,40%	87,70%	90,90%	89,60%
Moyenne		94,20%	95,43%	94,13%	91,68%	87,23%	91,36%
Ecart type		7,99%	4,25%	4,48%	4,87%	11,03%	6,23%
<b>Turbidité(FTU)</b>	CU	95,50%	79,70%	90,40%	92,20%	97%	97,10%
	BS	86,10%	94,90%	84,40%	85%	40,50%	93%
	CM	89,60%	96,20%	95,40%	91,60%	93%	87,30%
	HG	99,40%	99,50%	99,30%	99,80%	95%	95,30%
Moyenne		92,65%	92,58%	92,8%	99,65%	98,13%	93,18%
Ecart type		5,94%	8,80%	6,44%	10,46%	33,79%	4,26%
<b>Orthophosphates (mg/L)</b>	CU	53,40%	75,40%	92,90%	97,50%	69%	28,30%
	BS	33,30%	81,01	40%	48,10%	57%	7,80%
	CM	98,80%	30,70%	80%	77,10%	1%	75%
	HG	82,50%	94,40%	94,30%	97,20%	85,20%	80,40%
Moyenne		67,00%	75,38%	76,80%	79,98%	53,05%	47,88%
Ecart type		29,28%	17,17%	25,36%	23,30%	36,57%	35,51%
<b>Oxydabilité</b>	CU	96,60%	97,40%	98,70%	100%	65,40%	37,90%
	BS	89,20%	67,50%	89%	89,10%	0,10%	71%
	CM	71,90%	25%	74%	76%	26,80%	70,40%
	HG	31,90%	93%	81,90%	79,20%	49,40%	50%
Moyenne		72,40%	70,73%	85,90%	86,08%	35,43%	57,33%
Ecart type		28,92%	33,21%	10,50%	10,83%	28,38%	16,22%
<b>Azote amminiacal(mg/L)</b>	CU	93,90%	67,50%	98,60%	93,20%	70,80%	-28,40%
	BS	47%	57%	0,01%	25%	25%	-90

	CM	96%	94,40%	93,20%	95,20%	82,80%	-4,80%
	HG	99,80%	89,50%	96,40%	96%	96,70%	26,20%
Moyenne		84,18%	77,10%	72,05%	82,35%	76,33%	-2251,75%
Ecart type		0,24%	0,18%	0,48%	0,45%	0,55%	44,98%

Légende :CU=Cité universitaire ;BS Bois de Singe ;CM= Camp sic Messa ;HG=Hopital Général ;NaClO=Eau de Javel ;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=Eau Oxygénée

### III.1.6. Caractérisation statistique des variables physico-chimiques et biologiques

#### III.1.6.1. Corrélation de rang de Spearman (r) entre l'abondance des oocystes, des kystes et les désinfectants utilisés

##### III.1.6.1.1. Corrélation entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Chlorure de calcium

Durant le traitement au Chlorure de Calcium, les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre de kystes de *Balantidium coli* et *Cryptosporidium* /*Sarcocystis*/*E.histolytica*/*E.coli*, entre *Isospora* et *E.histolytica* (Tableau X )

**Tableau X** : Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Chlorure de calcium

	CaCl <sub>2</sub> / <i>Cripto.</i> <i>spp.</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Cyclospor</i> <i>a spp.</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Isospo</i> <i>ra spp.</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Sarcocy</i> <i>stis spp.</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Giardi</i> <i>a spp.</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Entamo</i> <i>eba</i> <i>histolyti</i> <i>ca</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>Entamo</i> <i>eba coli</i>	CaCl <sub>2</sub> / <i>B. coli</i>
CaCl <sub>2</sub> / <i>Cripto</i> spp.	1,000	0,432*	0,491**	0,613**	0,766**	0,709**	0,733**	0,205
CaCl <sub>2</sub> / <i>Cyclospora</i> spp.		1,000	0,493**	0,276	0,496**	-0,051	0,063	0,632**
CaCl <sub>2</sub> / <i>Isospora</i> spp.			1,000	0,565**	0,688**	0,299	0,380*	0,557**
CaCl <sub>2</sub> / <i>Sarcocystis</i> spp.				1,000	0,518**	0,541**	0,284	0,089
CaCl <sub>2</sub> / <i>Giardia</i> spp.					1,000	0,678**	0,674**	0,495**
CaCl <sub>2</sub> / <i>Entamoeba histoly</i>						1,000	0,867**	0,017
CaCl <sub>2</sub> / <i>Entamoeba coli</i>							1,000	0,124
CaCl <sub>2</sub> / <i>B. coli</i>								1,000

Légende : *B.coli*=*Balantidium coli*, *Cripto.*=*Cryptosporidium* , \*significatif à 5%, \*\*significatif à 1%

##### III.1.6.1.2 Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'Ammoniac

Durant le traitement à l'Ammoniac, les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre d'oocystes d'*Isospora* spp. et

*E.histolytica/E.coli*, entre *Cryptosporidium* et *E.coli*, *Sarcocystis* et *E.coli*, entre *Giardia* et *E.coli*. (Tableau XI)

**Tableau XI** : Corrélation entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'Ammoniac

	Am/ <i>Cripto.Spp</i>	Am/ <i>Cyclospora</i> spp.	Am/ <i>Isospora</i> spp.	Am / <i>Sarcocystis</i> spp.	Am/ <i>Giardia</i> spp.	Am/ <i>Entamoeba</i> <i>histolytica</i>	Am/ <i>Entamoeba</i> <i>Coli</i>	Am/B. <i>Coli</i>
<i>Am/Cripto.Spp.</i>	1,000	0,576**	0,615**	0,631**	0,820**	0,508**	0,369	0,622**
<i>Am/Cyclospora</i> <i>spp.</i>		1,000	0,678**	0,638**	0,425*	0,282	0,212	0,629**
<i>Am/Isospora</i> <i>spp.</i>			1,000	0,502**	0,581**	0,446*	0,395*	0,918**
<i>Am/Sarcocystis</i> <i>spp.</i>				1,000	0,234	0,419*	0,344	0,584**
<i>Am /Giardia</i> <i>spp.</i>					1,000	0,458*	0,315	0,565**
<i>Am/Entamoeba</i> <i>hi</i>						1,000	0,953**	0,552**
<i>Am/Entamoeba</i> <i>coli</i>							1,000	0,502**
<i>Am/B. coli</i>								1,000

Légende : Am=Ammoniac, *B.coli*=*Balantidium coli*, *Cripto.*=*Cryptosporidium* , \*significatif à 5%,\*\*significatif à 1%

### III.1.6.1.3 Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'hypochlorrite de sodium / Eau de Javel

Durant le traitement à l'Eau de Javel les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $P < 0,01$  et  $P < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre d'oocystes de *Cryptosporidium* spp. et *E.coli*, entre *Cyclospora* et *E.histolitica/E.coli*, entre *Sarcocystis* et *Giardia/E.coli* , entre *Giardia* et *B.coli* (Tableau XII)

**Tableau XII**: Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'hypochlorrite de sodium / Eau de Javel

	NaClO/ <i>Cripto.</i> <i>spp.</i>	NaClO/ <i>Cyclospora</i> <i>spp.</i>	NaClO/ <i>Isospora</i> <i>spp.</i>	NaClO/ <i>Sarcocystis</i> <i>spp.</i>	NaClO/ <i>Giardia</i> <i>spp.</i>	NaClO/ <i>Entamoeba</i> <i>histolytica</i>	NaClO/ <i>Entamoeba</i> <i>coli</i>	NaClO/ <i>B. coli</i>
<i>NaClO/Cripto spp.</i>	1,000	,785**	0,625**	0,390*	0,434*	0,312	0,412*	0,583**
<i>NaClO/Cyclospora</i> <i>spp.</i>		1,000	0,562**	0,657**	0,716**	0,248	0,536**	0,282
<i>NaClO/Isospora</i> <i>spp.</i>			1,000	0,261	0,194	0,123	0,163	0,543**
<i>NaClO/Sarcocystis</i> <i>spp.</i>				1,000	0,944**	0,583**	0,704**	0,210
<i>NaClO/Giardia</i> <i>spp.</i>					1,000	0,575**	0,713**	0,150
<i>NaClO/Entamoeba</i> <i>hi.</i>						1,000	0,711**	0,584**

NaClO/ <i>Entamoeba coli</i>							1,000	0,404*
NaClO/ <i>B. coli</i>								1,000

B.coli=Balantidium coli, Crypto.=Cryptosporidium, \*significatif à 5%, \*\*significatif à 1%

### III.1.6.1.4. Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'Eau Oxygénée

Durant le traitement à l'Eau Oxygénée, les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $P < 0,01$  et  $P < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre d'oocystes de *Cryptosporidium* spp. et *Isospora/E.histolytica*, entre *Sarcocystis* et *E.histolytica*, entre *E.histolytica* et *B.coli* (Tableau XIII)

**Tableau XIII:** Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement à l'Eau Oxygénée

	H2O2/ <i>Cripto. spp.</i>	H2O2/ <i>Cyclospora spp.</i>	H2O2/ <i>Isospora spp.</i>	H2O2/ <i>Sarcocystis spp.</i>	H2O2/ <i>Giardia spp.</i>	H2O2/ <i>Entamoeba histolytica</i>	H2O2/ <i>Entamoeba coli</i>	H2O2/ <i>B. coli</i>
H2O2/ <i>Cripto. spp.</i>	1,000	0,644**	0,360	0,568**	0,613**	0,187	0,508**	0,407*
H2O2/ <i>Cyclospora spp.</i>		1,000	0,576**	0,610**	0,711**	0,650**	0,758**	0,542**
H2O2/ <i>Isospora spp.</i>			1,000	0,353	0,589**	0,455*	0,580**	0,774**
H2O2/ <i>Sarcocystis spp.</i>				1,000	0,886**	0,459*	0,235	0,558**
H2O2/ <i>Giardia spp.</i>					1,000	0,569**	0,424*	0,674**
H2O2/ <i>Entamoeba h.</i>						1,000	0,663**	0,353
H2O2/ <i>Entamoeba coli</i>							1,000	0,535**
H2O2/ <i>B. coli</i>								1,000

B.coli=Balantidium coli, Crypto.=Cryptosporidium, \*significatif à 5%, \*\*significatif à 1%

### III.1.6.1.5. Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Moringa

Durant le traitement au Moringa, les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $P < 0,01$  et  $P < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre d'oocystes de *Cryptosporidium* spp. et *Sarcocystis* spp., entre *Cryptosporidium* spp. et *Balantidium coli*, entre *Cyclospora* et *Sarcocystis*, entre *cyclospora* et *Giardia*, *Cyclospora* et *Balantidium*, *Sarcocystis* et *Giardia/E.coli/E.histolytica* (Tableau XIV).

**Tableau XIV:** Corrélation entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Moringa

	Moringa/ a/ <i>Cripto. spp.</i>	Moringa/ <i>Cyclospora spp.</i>	Moringa/ <i>Isospora spp.</i>	Moringa/ <i>Sarcocystis spp.</i>	Moringa/ <i>Giardia spp.</i>	Moringa/ <i>Entamoeba histolytica</i>	Moringa/ <i>Entamoeba coli</i>	Moringa/ a/ <i>B. coli</i>

Moringa/ <i>Cripto. spp.</i>	1,000	0,780**	0,496**	0,292	0,376*	0,463*	0,378*	0,288
Moringa/ <i>Cyclospora spp.</i>		1,000	0,595**	0,342	0,328	0,669**	0,654**	0,353
Moringa/ <i>Iso spora spp.</i>			1,000	0,717**	0,646**	0,592**	0,403*	0,673**
Moringa/ <i>Sarcocystis spp.</i>				1,000	0,307	0,364	0,038	0,442*
Moringa/ <i>Giardia spp.</i>					1,000	0,372	0,189	0,753**
Moringa/ <i>Entamoeba h.</i>						1,000	0,724**	0,616**
Moringa/ <i>Entamoeba coli</i>							1,000	0,341
Moringa/ <i>B. coli</i>								1,000

B.coli=*Balantidium coli*,*Cripto.*=*Cryptosporidium* , \*significatif à 5%,\*\*significatif à 1%

### III.1.6.1.6. Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Gypse

Durant le traitement au Gypse, les corrélations enregistrées entre les différents kystes et oocystes sont significativement positives ( $P < 0,01$  et  $P < 0,05$ ), par contre il n'existe pas de corrélations significatives entre le nombre d'oocystes d'*Iso spora spp.* et tous les autres kystes et oocystes (Tableau XV)

**Tableau XV:** Corrélations entre les différents oocystes et kystes durant le traitement au Gypse

	Gypse/ <i>Cripto. spp.</i>	Gypse/ <i>Cyclospora spp.</i>	Gypse/ <i>Iso spora spp.</i>	Gypse/ <i>Sarcocystis spp.</i>	Gypse/ <i>Giardia spp.</i>	Gypse/ <i>Entamoeba histolytica</i>	Gypse/ <i>Entamoeba coli</i>	Gypse/ <i>B. coli</i>
Gypse/ <i>Cripto. spp.</i>	1,000	0,893**	0,496**	0,841**	0,746**	0,609**	0,681**	0,054
Gypse/ <i>Cyclospora spp.</i>		1,000	0,471*	0,814**	,858**	0,729**	0,798**	0,406*
Gypse/ <i>Iso spora spp.</i>			1,000	0,373	0,308	0,166	0,185	0,022
Gypse/ <i>Sarcocystis spp.</i>				1,000	0,904**	0,845**	0,784**	0,108
Gypse/ <i>Giardia spp.</i>					1,000	0,925**	0,888**	0,382*
Gypse/ <i>Entamoeba h.</i>						1,000	0,878**	0,435*
Gypse/ <i>Entamoeba coli</i>							1,000	0,413*
Gypse/ <i>B. coli</i>								1,000

B.coli=*Balantidium coli*,*Cripto.*=*Cryptosporidium* , \*significatif à 5%, \*\*significatif à 1%

### III.1.6.1.7. Corrélations entre l'abondance des kystes et oocystes identifiés après désinfection et la teneur des paramètres physicochimiques mesurés après désinfection

Les kystes et oocystes présentent des corrélations significativement positives et négatives au seuil de 1% et de 5 % selon la nature des variables physicochimiques mesurés. Les

corrélations obtenues avec les TDS et la conductivité électrique sont toutes significatives et négativement corrélées avec le nombre de kystes et oocystes viables obtenu après traitement.

Les corrélations entre la Salinité après le traitement sont toutes significativement et négatives corrélées et le nombre de kystes et oocystes viables. Les corrélations obtenues avec le pH sont pour la plupart significativement positives avec le nombre de kystes et oocystes obtenu après le traitement, excepté les valeurs du pH obtenues sur les échantillons traités à l'Eau Oxygénée qui présentent une corrélation négative avec le nombre de kystes de *Balantidium coli*, celles obtenues également sur les échantillons traités au Moringa présentent des corrélations négatives avec le nombre d'oocystes de *Cryptosporidium* spp.

Les corrélations obtenues avec la Couleur, les Matières En Suspension et la Turbidité sont toutes significativement et positivement corrélées avec le nombre de kystes et oocystes obtenu après le traitement. De même, les corrélations obtenues avec la Résistivité, l'Azote ammoniacale et les Orthophosphates sont toutes significativement et positivement corrélées avec le nombre de kystes et oocystes viables.

Les corrélations obtenues avec les Nitrates sont toutes significativement et positivement corrélées avec le nombre de kystes et oocystes obtenu après le traitement au Gypse et à l'Eau Oxygénée. Les corrélation obtenues avec l'ORP sont pour la plupart significativement et négativement corrélées avec le nombre de kystes et oocystes obtenu après le traitement, excepté les échantillons traités au Moringa qui présente une corrélation positive avec les oocystes d'*Isospora* spp., de *Cyclospora* spp., *Sarcocystis* spp. et les kystes de *Entamoeba coli* et *Entamoeba histolytica*.

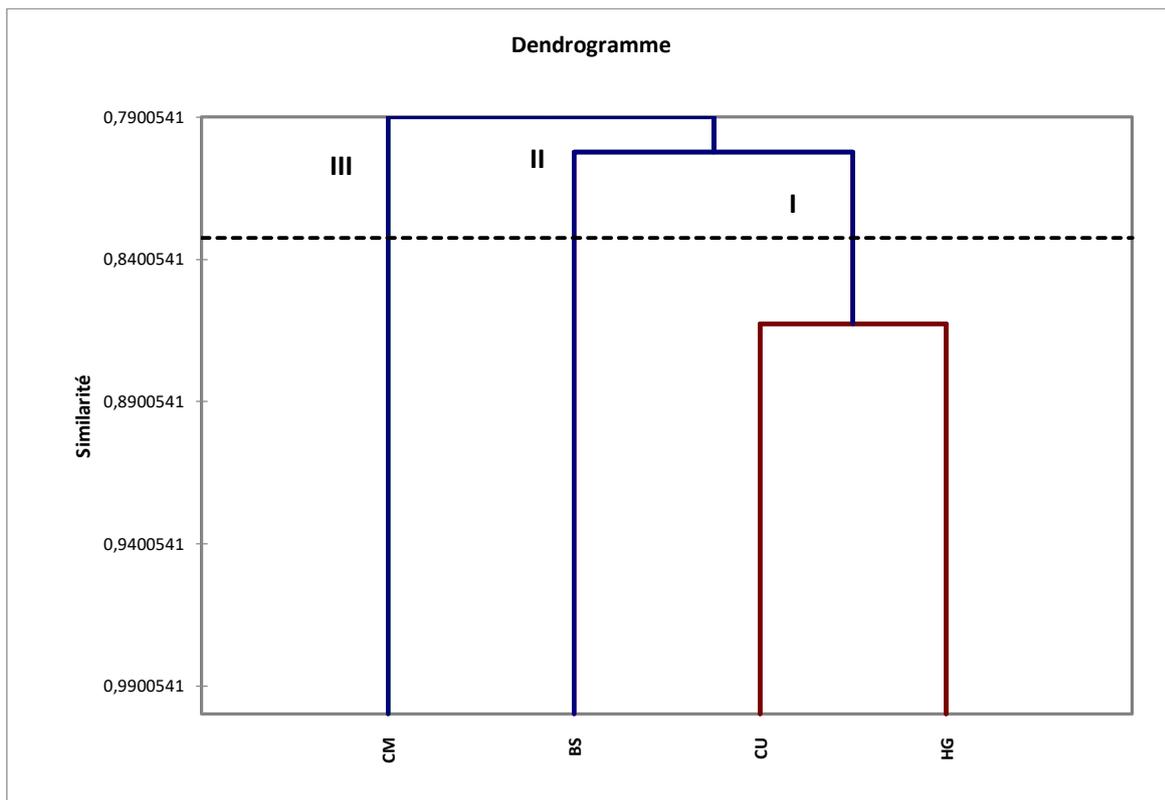
### **III.1.6.2 Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) et Analyse en Composantes**

#### **Principales (ACP)**

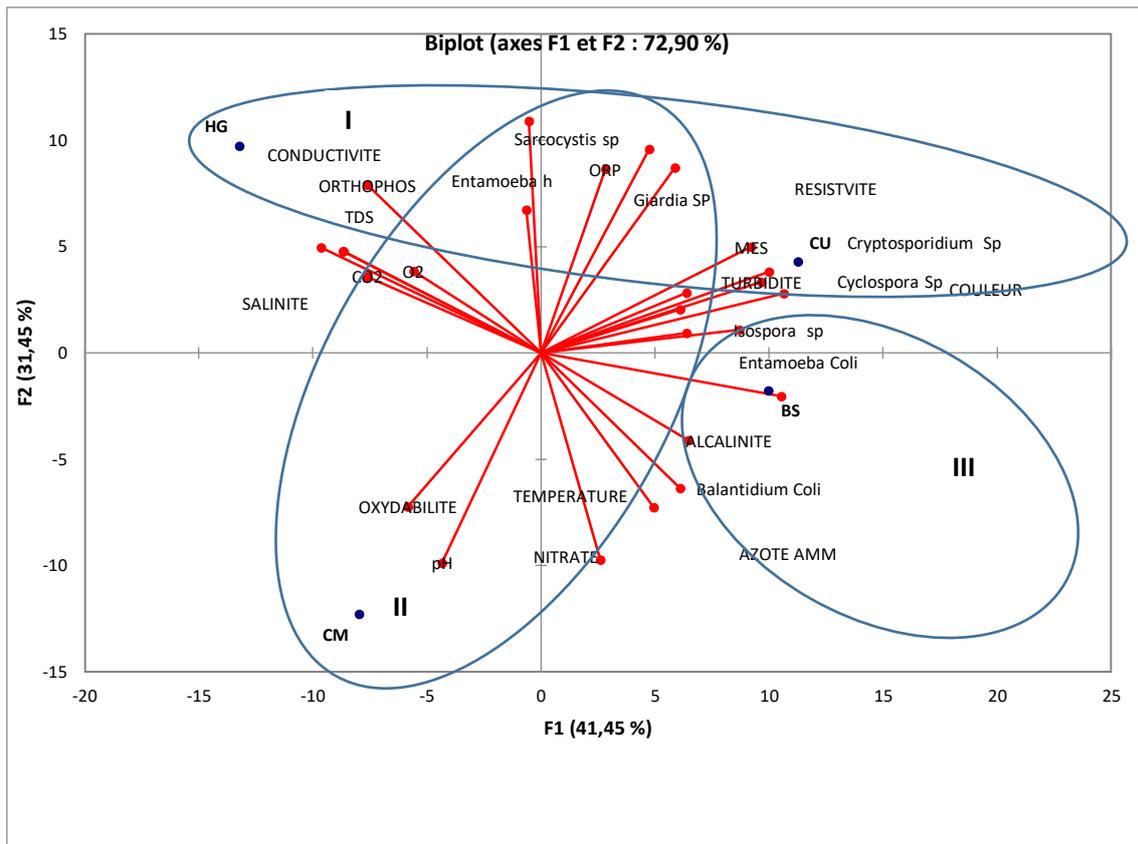
#### **III.1.6.2.1 Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) et Analyse en Composantes Principales (ACP) des stations d'études en fonction des paramètres mesurées avant désinfection**

La hiérarchisation des stations d'étude sur la base des paramètres physicochimiques et biologiques mesurés sur les échantillons témoins avant application des désinfectants est présentée dans le dendrogramme de la figure 58. Les variables mesurées permettent de regrouper les stations en trois noyaux, le noyau I qui regroupe les stations Cité Universitaire et Hôpital général liés à 86,3%, le noyau II constitué de la station Bois de Singe qui est lié aux autres stations de 80,2% et le noyau III constitué de la station Camp sic Messa qui est lié aux

autres stations de 79%. Une Analyse en Composantes Principales a été faite dans le but de déterminer les paramètres biologiques et physicochimiques caractéristiques des différents groupes formés. L'essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes factoriels F1 (41,45%) et F2 (31,46%) qui cumulent à 72,9% de l'inertie totale (Figure 59). Les variables mesurées avant désinfection se regroupent en trois noyaux, le noyau I est caractérisé par les fortes valeurs des TDS, de la conductivité électrique, des MES, de la Couleur et de la turbidité, des faibles valeurs de la Température, des fortes valeurs de *Cryptosporidium* spp. et de *Cyclospora* spp.. Ces valeurs sont caractéristiques des stations Cité Universitaire et Bois de Singe. Le noyau II est caractérisé par des fortes valeurs du pH, de la Température, des Nitrates et de l'Oxydabilité, des espèces *Giardia* spp. et *Sarcocystis* spp., ces valeurs caractérisent la station Camp sic messa. Le noyau III qui est caractérisé par les fortes valeurs de CO<sub>2</sub> dissous, d'Azote ammoniacal, d'Alcalinité et des espèces *Iso spora* spp., *Entamoeba coli* et *Balantidium coli*, ces valeurs sont caractéristiques à 52,5% de la station Bois de Singe.



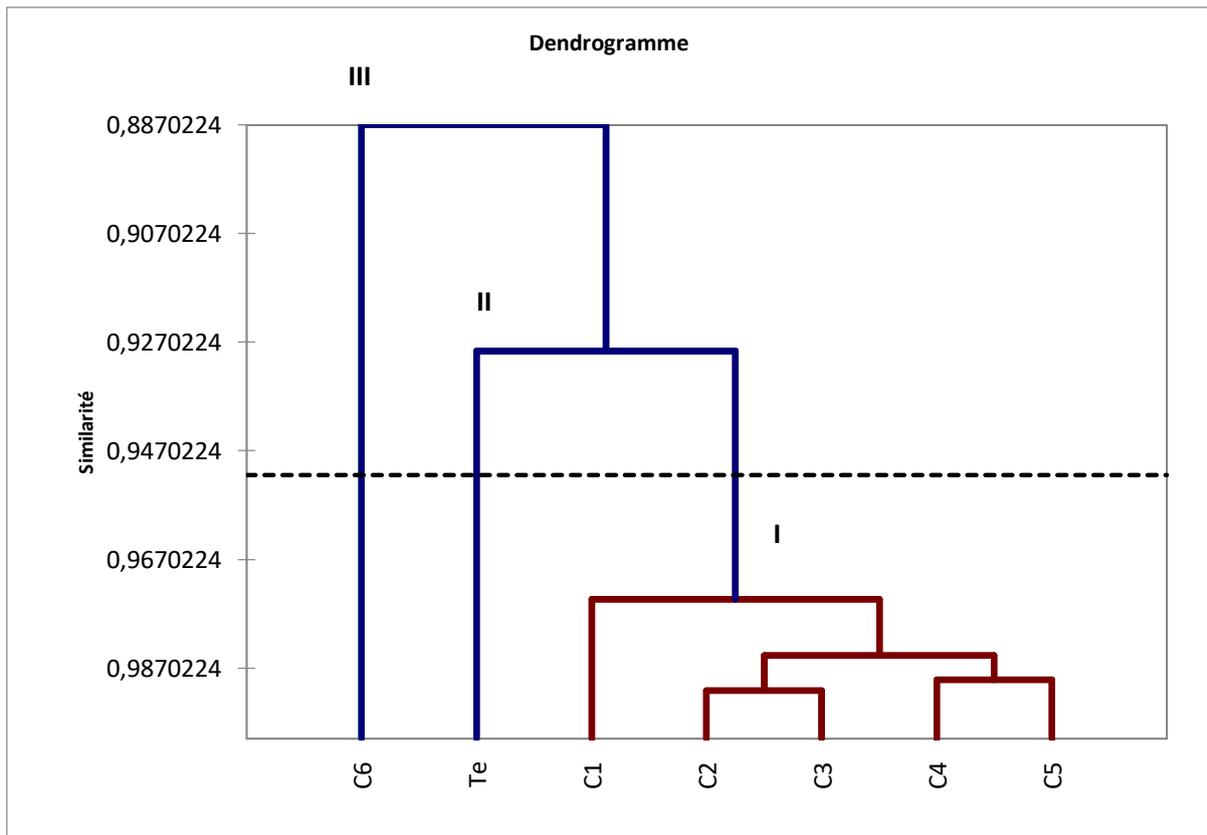
**Figure 58:** Analyse de classification Hiérarchique montrant les similarités entre les stations d'échantillonnage



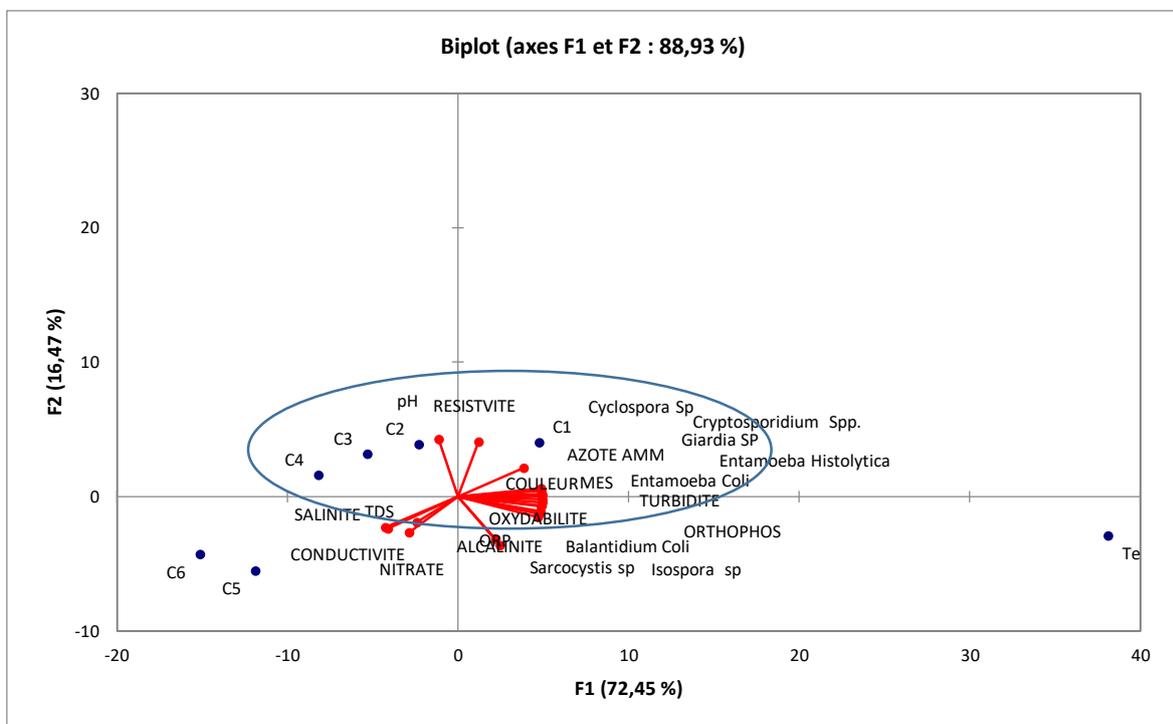
**Figure 59:** Analyse en composantes principales montrant les similarités entre les stations d'échantillonnage et les variables mesurées

### III.1.6.2.2 Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) et Analyse en Composantes Principales (ACP) des stations d'études en fonction des concentrations utilisées au cours du traitement

La hiérarchisation des concentrations sur la base des paramètres physicochimiques et biologiques mesurés avant et après application des désinfectants est présentée dans le dendrogramme de la figure 60. Les variations mesurées permettent de regrouper les concentrations en 2 noyaux, le noyau I regroupe les concentration C1, C2, C3, C4, et C5 liés à 97,4 entre C1 et C2, C3, C4, C5, 98,5% entre C4 et C5 et 99,1% entre C2 et C3, le noyau II regroupe uniquement la concentration C6 qui est lié aux autres de 92,9%. Les valeurs de l'échantillon témoin s'éloignent significativement de toutes les concentrations. Une Analyse en Composantes Principales a été réalisée dans le but de déterminer l'influence des concentrations sur l'abatement des paramètres physicochimiques et biologiques. L'essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes factoriels F1(72,45%) et F2 (16,47%) qui cumulent à 88,93% de l'inertie totale (Figure61)



**Figure 60 :** Dendrogrammes présentant les affinités entre les désinfectants et les concentrations sur tous les effluents en fonction des variables physicochimiques et biologiques

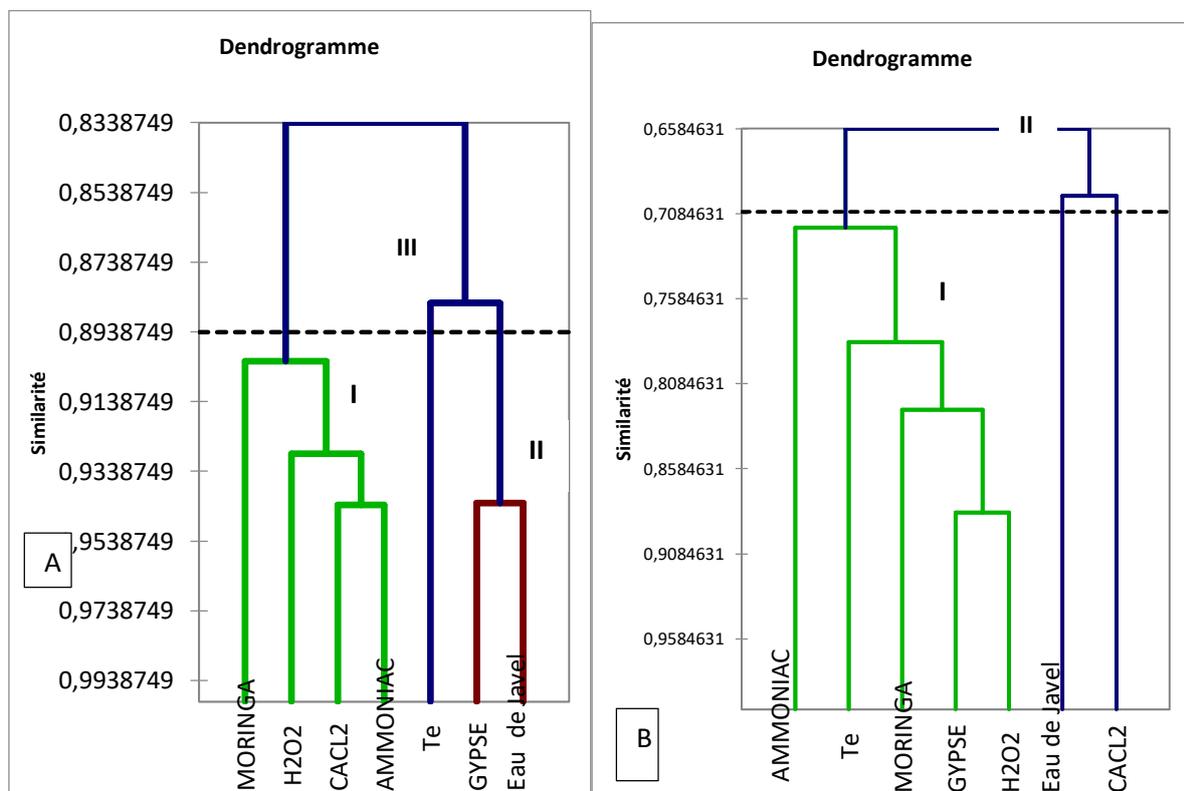


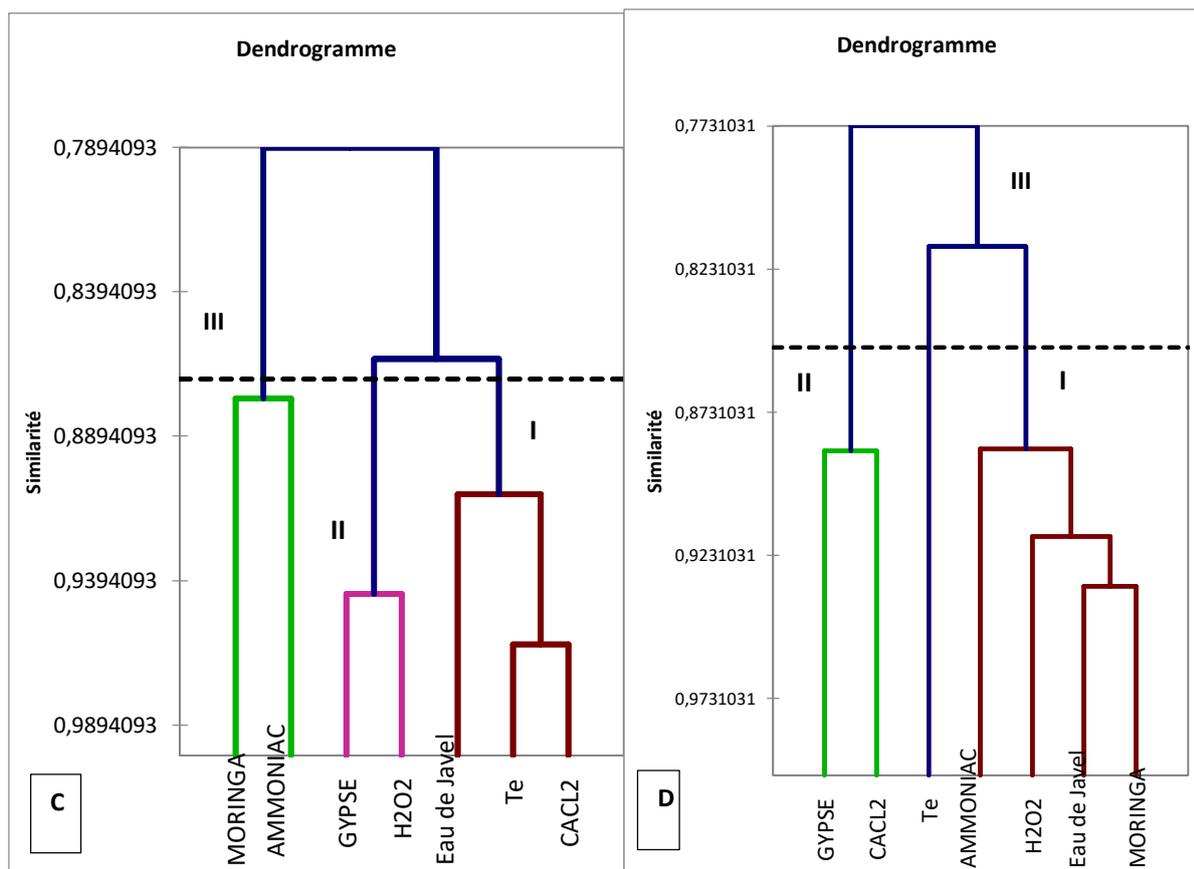
**Figure 61 :** Analyse en composantes Principales montrant la caractérisation des concentrations En fonction des variables mesurées.

### III.1.6.2.3 Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) et Analyse en Composantes Principales (ACP) des différents désinfectants utilisés

La hiérarchisation des désinfectants sur la base des variables physicochimiques et biologiques est présentée par les dendrogrammes des figures 62 et 63. Pour la station Cité universitaire trois groupes sont retrouvés à savoir, le groupe I constitué de l'Eau Oxygénée, du Moringa, du Chlorure de Calcium et de l'Ammoniac qui sont liés à 90,2%, le groupe II constitué de Gypse et de l'Eau de Javel qui sont liés à 94,4%, le groupe III constitué de l'échantillon témoin qui est lié à 88,6% au groupe I et à 83,4% au groupe II.

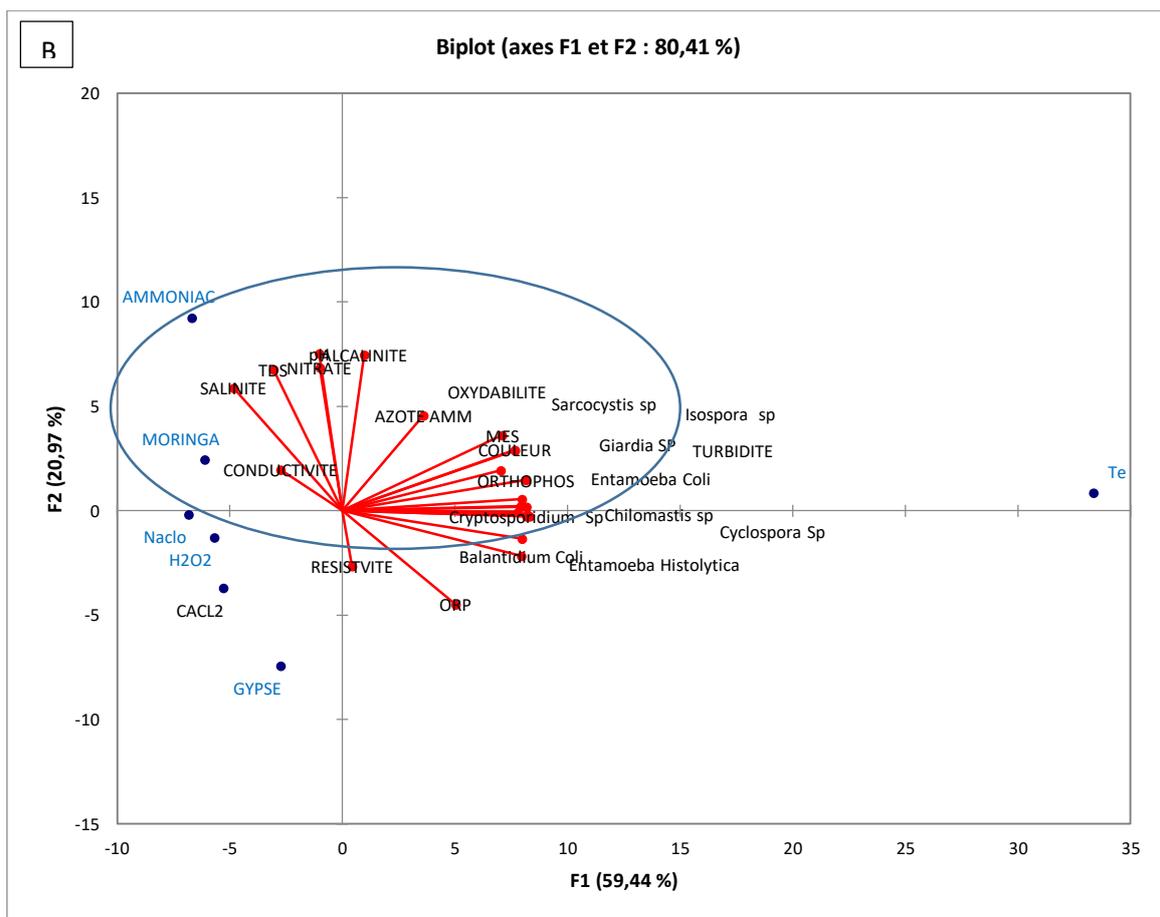
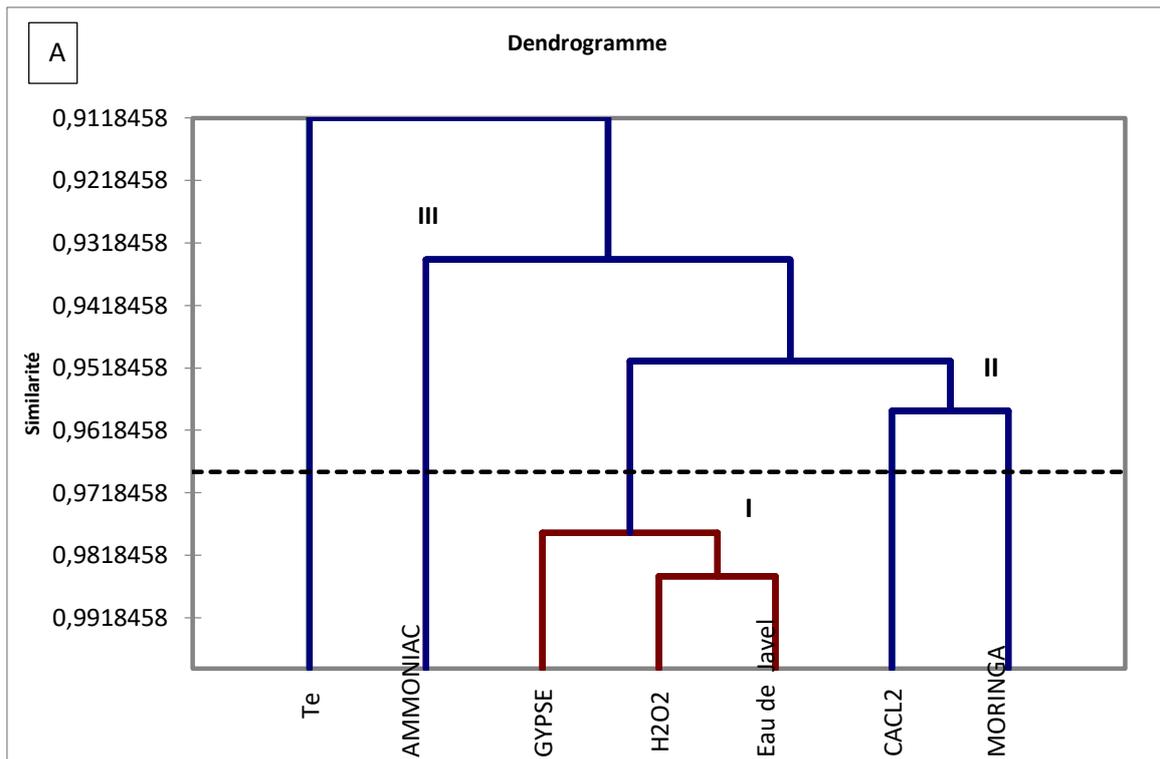
La station Hôpital Général regroupe deux noyaux. Le noyau I constitué du Gypse, du Moringa, de l'Eau Oxygénée et de l'Ammoniac qui sont liés à 71,4 %. Le noyau II est constitué de l'Eau de Javel et du Chlorure de Calcium qui sont liés à 69,8%. La station Bois de Singe regroupe trois noyaux parmi lesquels le noyau I constitué d'Eau de Javel, d'Eau Oxygénée et d'Ammoniac. Ces désinfectants sont liés à 88,7%. Le noyau II constitué du Gypse et du Chlorure de Calcium. Le taux de liaison entre les deux est de 88,6%, le noyau III constitué de l'échantillon témoin qui est lié à 81,5% au noyau I (Figure 60).





**Figure 62** : Dendrogrammes présentant les affinités entre les désinfectants sur l’effluent de la Cité Universitaire (A), Hôpital Général (B), Camp Sic Messa (C), Bois de Singes (D)

Pour les quatre stations combinées, le dendrogramme présente trois noyaux dont le premier (I) est constitué du Gypse et de l’Eau de Javel avec un taux de liaison de 97,8%, le deuxième (II) constitué du Moringa et du Chlorure de Calcium avec un taux de liaison de 95,9% et le troisième ( III ) est constitué essentiellement de l’Ammoniac avec un taux de liaison avec les deux premiers noyaux de 93,5%. L’Analyse en Composantes Principales des quatre stations a permis de caractériser les différents désinfectants en fonction des variables physicochimiques et biologiques, l’essentiel de la variance totale est fourni sur les deux premiers axes factoriels F1 (59,44%) et F2 (20,97%) qui cumulent 80,41% de l’inertie totale. L’échantillon témoin quant à lui n’a pas d’affinité avec les différents désinfectants.



**Figure 63** : Représentation de la dispersion des variables biotiques et abiotiques (A) par les désinfectants étudiées (B)

## III.2. Discussion

### III.2.1 Caractéristiques physicochimiques des échantillons brutes

Les faibles variations de température dans l'ensemble des stations étudiés seraient liées à l'altitude qui varie très peu dans la zone et au fait que ces effluents d'eau sont influencés par les échanges à l'interface air-eau et la température ambiante (Rodier *et al.*, 2009). De plus, la température légèrement élevée ( $26 \pm 2,21^\circ\text{C}$ ) dans l'ensemble serait due au fait que ces stations ne sont plus protégées par la canopée mais sont exposées directement au rayonnement solaire qui rechaufferait les eaux peu profondes (Ajeegah *et al.*, 2017).

Les valeurs élevées des MES ( $1233 \pm 309,72\text{mg/L}$ ) sont liées à la nature des effluents qui contiennent des grandes quantités de particules non solubles qui sont à l'origine des fortes valeurs de turbidité ( $2350 \pm 1117,8$  FTU) et une augmentation des valeurs de la couleur ( $9211 \pm 8131\text{PtCo}$ ). En effet, au niveau de la zone de turbidité maximale, deux processus réduisent la quantité d'oxygène dans l'eau, la fraction organique biodégradable associée aux grandes quantités de matières en suspension (Foussard et Etcheber, 2011). La dégradation de la matière organique avec consommation d'oxygène dissous est un phénomène amplifié s'il y a présence de rejets d'origine anthropique, le plus souvent très riches en matières organiques dégradables. La forte turbidité limite en surface la pénétration de la lumière, ce qui ne permet pas la production primaire et donc de production d'oxygène dissous par photosynthèse, susceptible de compenser la consommation. Ainsi, lorsque la turbidité est maximale, la concentration en oxygène est minimale (Foussard et Etcheber, 2011). Ceci expliquerait la faible oxygénation observée

Les valeurs de pH ( $7,407 \pm 0,69$ ) enregistrées au cours de l'étude révèlent une légère tendance de l'eau à la basicité. Cette basicité serait due à la nature des effluents qui contiennent tous les composés tels que les savons et les détergents qui pourraient augmenter le pH de l'eau. Ce pH est différent du pH acide obtenu par Asi et Ajeegah (2020) dans les eaux de surface de la zone périurbaine de Yaoundé. Ces valeurs restent dans la gamme de pH des eaux naturelles favorables à la vie aquatique (5-9 UC) (Dussart et Defaye, 1995). Selon Gentilini (2005) les teneurs de l'alcalinité inférieures à 50 mg/L révèlent un caractère très faiblement alcalin de l'eau ; c'est le cas des eaux dont les concentrations oscillent entre 10 et 44 mg/L.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique et des TDS au niveau des quatre stations de prélèvement seraient liées à la forte minéralisation des eaux.

La viabilité des kystes et des oocystes dans les échantillons d'eau usées brute ne semble pas élevée., comme le montre Tableau VII. Ceci serait dû aux différents stress environnementaux. En effet, les kystes présents dans les eaux de surface sont souvent morts, comme le montre la coloration à l'iodure de propidium (IP) (Wallis *et al.*, 1995). Les faits observés par LeChevallier *et al.* (1991) portent également à croire que la plupart des kystes présents dans l'eau ne sont pas viables, présentaient une morphologie « de type non viable » ( c'est.-a-dire. cytoplasme déformé ou rétréci). En Colombie-Britannique, des études plus récentes ayant utilisé la coloration au DAPI et la microscopie à contraste interférentiel différentiel (CID) ont conclu que la vaste majorité des kystes et oocystes détectés par la surveillance régulière de deux réservoirs d'eau potable n'avaient pas de structure interne, ce qui semble indiquer qu'ils sont âgés ou endommagés et, vraisemblablement, qu'ils ne sont pas viables (Metro V, 2013). Les études ont fréquemment révélé la présence de kystes vides (« fantômes »), en particulier dans les eaux usées ce qui confirme ces observations plus haut.

### **III.2.2 Caractéristiques morphologiques des kystes et oocystes identifiés**

L'analyse morphologique montre une forte densité des kystes et oocystes de protozoaires à des densités variables. Le groupe d'amibe (54%), regroupant les espèces *Entamoeba coli* et *Entamoeba histolitica* ; le groupe de sporozoaires (40%) représenté par les espèces *Cryptosporidium spp.*, *Cyclospora spp.*, *Sarcocystis spp.*, et *Isospora spp.* Le groupe de flagellés (5%) constitué de *Giardia spp.* Le groupe de Cilié constitué de *Balantidium coli* (1%). La plus grande abondance des amibes est plus liée a la présence de l'espèce *Entamoeba coli* qui a été très abondante. Cette espèce est non pathogène à l'Homme mais sa présence dans un milieu indiquerait la présence d'autres microorganismes pathogènes comme les virus et les bactéries de contaminations fécales. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux obtenus par Amillogo-koné (2010) dans les eaux usées au Boukina Faso. En seconde place, les sporozoaires ont présenté une plus grande abondance avec *Cryptosporidium spp.* qui est classé comme l'une des espèces de protozoaires intestinaux la plus importante sur le plan de la santé publique car de par sa taille et sa double paroi, il est très résistant dans l'environnement et peut rester viable après des nombreux mois d'émission dans l'eau, raison pour laquelle elle est très abondante comparée au autres sporozoaires. Les mêmes observations ont été faites au cours de nombreuses études sur les eaux de surfaces au Cameroun (Asi et Ajeagah 2020, Mbouombouo *et al.*, 2019).

Sur le plan spatial, les densités les plus élevées ont été obtenues sur les échantillons de la Cité Universitaire et la plus faible densité a été obtenue sur les échantillons provenant du Camp sic Messa. Les stations Bois des Singes et Hopital Général ont présenté des abondances

moyennes. Ceci peut être dû au fait que le site d'évacuation des eaux usées de la Cité universitaire est défectueux depuis les décennies. L'accumulation des particules et la formation des biofilms favorisent plus la rétention des différents parasites, alors que les eaux de la station Camp sic Messa contiennent plus les détergents et les savons qui ne sont pas favorables à la survie de différents parasites. De même, la faible abondance des échantillons de l'Hopital Général serait liée à la présence de certains composés tels que les antibiotiques, les détergents et les désinfectants qui se retrouvent dans l'effluent à la suite de leur usage.

### **III.2.3 Effets des désinfectants sur la viabilité des kystes et oocystes et physicochimie**

L'efficacité du traitement sur les formes de dissémination des protozoaires parasites est fonction du degré de pollution initial des eaux. De même, les abattements des oocystes sont fonctions des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques initiales de l'eau brute et proportionnels à l'abattement de la turbidité (Bratby,2006). En effet, étant donné que les microorganismes sont fixés aux particules en suspension, leur sédimentation entraîne également celle des microorganismes. Ces facteurs expliquent ainsi les différences observées au niveau des abattements obtenus. Ainsi, plus la clarification est parfaite et la qualité microbiologique initiale acceptable, plus la qualité microbiologique de l'eau traitée est meilleure (Kabore *et al.*, 2013). Les abattements obtenus pour ces échantillons ont été en moyenne de l'ordre de 99 % pour *Isopora* spp., 94% pour *Cryptosporidium* spp., 98% pour *Cyclospora* spp. et 96% pour *Sarcocystis* spp. Ces résultats seraient directement liés à la nature de la paroi de chaque oocyste. En effet, *Cryptosporidium* ssp est très abondant dans la nature et très résistant aux désinfectants par rapport à sa petite taille et à sa double paroi (Santé Canada, 2017) ; raison pour laquelle même à une concentration de 600 mg/l un abattement de 100% n'a pas été obtenu.les mêmes résultats ont été trouvés par Zhang *et al* (1999) en Chine et Akam *et al* (2005) en Algérie. *Isospora* se caractérise par une grande taille (25 à 35µm x11 à 16µm) et trois formes dans l'environnement. La forme ovoïde immature a un sporoplaste, la forme ovoïde mature a deux sporoplastes et la forme ovoïde terminale dispose de deux sporoplastes également qui quittent le centre pour le pôle de la cellule (Ajeegah *et al*, 2016). La nature de la forme caractérise la résistance ; raison pour laquelle un abattement de 100% a été obtenu à une concentration de 300mg/l.

Les oocystes de *Cyclospora* spp. sont circulaires avec une double paroi lisse, à l'intérieur de ceux-ci, se trouve un amas appelé morula (ANSES, 2014). Leur taille varie de 7 à 10 µm, ce qui les rend un peu résistants avec un taux d'abattement de 100% à une concentration de 500 mg/l. Les sporocystes de *Sarcocystis* spp. se présentent sous une forme

ovoïde et contiennent des sporozoïtes. Leur coque est mince et leur taille fluctue entre 10 et 15  $\mu\text{m}$  x 9 à 10  $\mu\text{m}$  (Asi *et al.*, 2021) d'où le taux maximum a été obtenu à partir de C6.

### III.2.4 Effets des différents désinfectants sur les kystes et oocystes

Le Gypse est un produit couramment utilisé par les populations pour traiter les eaux de manière traditionnelle. Son action sur les microorganismes présents dans l'eau est encore au niveau des études préliminaires. Il agit spécifiquement au niveau de la paroi des kystes et oocystes par la baisse du potentiel d'action de ce dernier par les ions calcium. En effet, Beertime (2018) souligne que les ions  $\text{Ca}^{2+}$  présents dans un milieu permettent une baisse du pH. Les rendements moyens d'efficacité sur les kystes et oocystes est de 86,86 $\pm$ 5,2% (*Cryptosporidium* spp.), 93 $\pm$ 7% (*Cyclospora* spp.), 94,8 $\pm$ 7,3% (*Isospora* spp.), 96,8 $\pm$ 4% (*Sarcocystis* spp.), 91,8 $\pm$ 14% (*Giardia* spp.), 94,7 $\pm$ 9% (*Entamoeba histolytica*), 97,5 $\pm$ 4% (*Entamoeba coli*), 92 $\pm$ 0,08% (*Balantidium coli*). La présence des kystes et oocystes viables montre son action limitée.

L'Ammoniac est souvent utilisé par les industries de traitement des eaux. Les moyennes de rendement d'efficacité obtenues sur la destruction et l'inactivation des kystes et oocystes sont 90,23 $\pm$ 10,56% (*Cryptosporidium* spp.), 86,3 $\pm$ 24,2% (*Cyclospora* spp.), 99,53 $\pm$ 0,9% (*Isospora* spp.), 98,65 $\pm$ 1,6% (*Sarcocystis* spp.), 91 $\pm$ 12% (*Giardia* spp.), 97 $\pm$ 4% (*Entamoeba histolytica*), 97 $\pm$ 3% (*Entamoeba coli*), 100% (*Balantidium coli*). La présence des kystes et oocystes viables montre son action limitée. Les travaux de Sundermann (1987) ont montré des résultats similaires.

L'eau Oxygénée est un principal désinfectant couramment utilisé pour le traitement des eaux. Il agit en produisant des radicaux libres qui interagissent avec les protéines membranaires facilitant la destruction de la paroi des kystes et oocystes. Les moyennes de rendement d'efficacité obtenues sur la destruction et l'inactivation des kystes et oocystes sont 95,25 $\pm$ 1,1% (*Cryptosporidium* spp.), 96,85 $\pm$ 4,31% (*Cyclospora* spp.), 97,85 $\pm$ 2,6% (*Isospora* spp.), 98,75 $\pm$ 1,9% (*Sarcocystis* spp.), 100% (*Giardia* spp.), 90 $\pm$ 8% (*Entamoeba histolytica*), 85 $\pm$ 13% (*Entamoeba coli*), 100% (*Balantidium coli*). La présence des kystes et oocystes viables montre son action limitée à la dose usuelle utilisée pour le traitement des eaux. Il réagit sur les phospholipides membranaires et provoque la perte de l'intégrité membranaire. Cependant son action réduite sur les oocystes a été décrite par les travaux de Akam *et al* (2005).

L'efficacité du Chlorure de Calcium est liée au fait qu'il agit au niveau des polysaccharides membranaires et augmentant la perméabilité de cette dernière qui finit par se

rompre. La moyenne du rendement sur les kystes et oocystes est  $97,63 \pm 1,38\%$  (*Cryptosporidium* spp.),  $97,75 \pm 3,3\%$  (*Cyclospora* spp.),  $100\%$  (*Isospora* spp.),  $95,93 \pm 4,9\%$  (*Sarcocystis* spp.),  $100 \pm 1\%$  (*Giardia* spp.),  $95 \pm 8\%$  (*Entamoeba histolytica*),  $88,2 \pm 13\%$  (*Entamoeba coli*),  $100\%$  (*Balantidium coli*). Ce dernier présente la plus grande efficacité sur les kystes et oocystes comparée aux autres désinfectants. En effet, il agit au niveau des lipopolysaccharides en dégradant leur surface ce qui augmente la perméabilité de la paroi. Toutefois, sa concentration très élevée dans l'eau entraîne la réaction du chlore avec la matière organique avec formation des composés organohalogénés à toxicité chronique (Rook, 1974). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Fotseu et Ajeegah (2020) sur les œufs d'helminthes.

La moyenne du rendement de l'efficacité de l'Hypochlorite de sodium ou Eau de Javel est l'un des désinfectants le plus utilisé sur la destruction et l'inactivation des kystes et oocystes est  $94,65 \pm 3,15\%$  (*Cryptosporidium* spp.),  $91,6 \pm 11,56\%$  (*Cyclospora* spp.),  $100\%$  (*Isospora* spp.),  $94,1 \pm 4,47\%$  (*Sarcocystis* spp.),  $93 \pm 9\%$  (*Giardia* spp.),  $99 \pm 1\%$  (*Entamoeba histolytica*),  $95 \pm 7\%$  (*Entamoeba coli*),  $100\%$  (*Balantidium coli*). Il est classé en troisième position en terme d'efficacité sur les kystes et oocystes après le Moringa et le chlorure de Calcium. En effet, les ions hypochlorite se fixent sur la paroi et l'oxydant ainsi que les protéines cytoplasmiques. Cependant, son action limitée comparativement à d'autres désinfectants sur les kystes et oocystes a été démontrée par les travaux de Akam *et al* (2005) et ceux de Barrington (2002).

La moyenne du rendement de l'efficacité du Moringa sur la destruction et l'inactivation des kystes et oocystes est  $97,72 \pm 2,4\%$  (*Cryptosporidium* spp.),  $94 \pm 2,6\%$  (*Cyclospora* spp.),  $100\%$  (*Isospora* spp.),  $99,2 \pm 0,98\%$  (*Sarcocystis* spp.),  $97 \pm 4\%$  (*Giardia* spp.),  $99 \pm 1\%$  (*Entamoeba histolytica*),  $97 \pm 3\%$  (*Entamoeba coli*),  $100$  (*Balantidium coli*). Il est classé en seconde position en terme d'efficacité comparée aux autres désinfectants. Ce dernier est riche en Quercétine qui est un puissant antioxydant capable de neutraliser les matières colloïdales et provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques (Foidl *et al.*, 2001). Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par Kobore *et al* (2013) sur l'action du moringa sur les eaux usées au Burkina Faso. L'élimination de la couleur, des MES et de la turbidité en utilisant le Moringa était plus efficace dans les caractéristiques plus basiques qu'acides des eaux usées. L'effet de fractionnement du gradient de concentration entre l'adsorbant et l'absorbant a entraîné une diminution de la couleur, de la turbidité et de la valeur d'absorption des MES (Wertesen et Million, 2021)

### **III.2.5 Hiérachisation des différents désinfectants utilisés et influence des variables considérées**

La hiérachisation des désinfectants est fonction de leur efficacité sur les variables biologiques. Cette efficacité serait influencée par les paramètres physicochimiques. Globalement l'analyse de classification Hiérarchique présente un regroupement des désinfectants en trois groupes. Le premier renferme le Gypse et l'Eau de Javel caractérisés par une efficacité moyenne comparée aux autres désinfectants, le second groupe renferme le Moringa et le Chlorure de Calcium caractérisés par une grande efficacité par rapport aux autres desinfectants et le troisième isole l'Ammoniac caractérisé par une efficacité faible comparé aux autres désinfectants. Ces résultats différent de ceux obtenus par Akam *et al* (2005)

Au cours de ce travail, il a été démontré que l'augmentation de la concentration des différents désinfectants entraîne une baisse significative du nombre de kystes et oocystes viables, des corrélations significativement négatives ont été obtenues entre l'augmentation de la concentration des désinfectants et la diminution du nombre de kystes et oocystes viables. Ainsi, l'augmentation de la concentration du désinfectant au cours des procédés de traitement entraîne une destruction et une inactivation des parasites.

Les difficultés du traitement augmentent avec le nombre d'espèces différentes présentes dans le milieu avec de très grandes abondances, car ceux-ci réduisent l'efficacité du désinfectant. Des corrélations positivement significatives ont d'ailleurs été enregistrées entre les différents parasites.

Les paramètres tels que la couleur, la turbidité, l'Azote ammoniacal, les orthophosphates, les Matières En Suspension et la résistivité sont corrélés significativement avec les parasites ce qui pourrait traduire que ces éléments favorisent la présence des kystes et oocystes s'ils sont présents après la désinfection ils peuvent influencer l'inactivation de ces kystes et oocystes. Au contraire, la Conductivité électrique, les TDS et la Salinité présentent des corrélations significativement négatives avec le nombre de kystes et oocystes viables, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que l'utilisation des différents désinfectants augmente la quantité d'ions présents en solution ce qui augmente la permeabilité des kystes et oocystes et entraîne leur inativation et leur lyse.

**CONCLUSION,  
RECOMMENDATIONS ET  
PERSPECTIVES**

Au terme de ce travail, où il était question d'étudier la mise en évidence des effets des désinfectants commercialisés sur les formes de résistance des protozoaires intestinaux en milieu aquatique, quatre points ont été choisis, trois dans la ville de Yaoundé (Cité Universitaire, Camp sic Messa et Hôpital Général) et un point au Bois des singes à Douala. L'analyse des variables abiotiques a montré que les eaux sont de très mauvaise qualité fortement minéralisées, hypoxiques, très colorées et turbides ; avec des températures très élevées et une pollution organique excessive.

L'isolement et l'identification des différentes formes environnementales des protozoaires intestinaux a permis de recenser trois groupes : les amibes entériques regroupant les espèces *Entamoeba coli* (47%) et *Entamoeba histolytica* (6%), les sporozoaires regroupant les espèces *Cryptosporidium* spp. (17%), *Cyclospora* spp. (5%), *Isospora* spp. (1%) et *Sarcocystis* spp. (17%), les flagellés regroupant l'espèce *Giardia* spp. (5%) et le cilié *Balantidium coli* (1%). *Entamoeba coli* présente une forte densité tandis que la station cité Universitaire est la plus polluée. La présence de ces organismes dans ces eaux représente un risque sanitaire majeur car ces eaux sont directement déversées dans l'environnement sans traitement préalable.

Le traitement de ces échantillons réalisés en microcosme à l'aide de six désinfectants couramment utilisés a permis de mettre en évidence la forte résistivité des kystes et oocystes des protozoaires intestinaux. Ces désinfectants traversent difficilement la double paroi des sporozoaires recouverte de Glycocalyx. Les kystes de *Cryptosporidium* spp. présentent une plus grande résistance par rapport aux autres protozoaires. De tous les désinfectants, le Chlorure de Calcium et le Moringa ont présenté une plus grande efficacité avec une inactivation de la totalité des kystes et oocystes. Cette forte capacité est liée au fort pouvoir du Chlorure de calcium à oxyder la paroi des kystes et oocystes et le contenu cytoplasmique, à la capacité du Moringa à faire sédimenter les kystes et oocystes et la double action de la Quercétine contenue dans le moringa. Les autres désinfectants couramment utilisés dans les ménages et les industries (Eau Oxygénée, Eau de Javel, Ammoniac et Gypse) ne sont donc pas appropriés pour une élimination ou une inactivation de la quasi-totalité des oocystes et kystes.

Cette étude a également permis de mettre en évidence que plus l'échantillon à traiter est riche en matières organiques, plus il est difficile à être traité et que l'augmentation de la concentration du désinfectant augmente aussi son efficacité.

L'application rigoureuse des textes relatifs à la protection de l'environnement et le respect des normes de rejet pour les effluents industriels devraient être effectifs.

Nous recommandons aux pouvoirs publics : des investissements doivent être poursuivis pour permettre de rénover les réseaux et les stations qui existent et d'en créer de nouveaux là où cela est nécessaire utilisant les désinfectants naturels. Ceci implique aussi en parallèle une augmentation du prix de la redevance d'assainissement pour le contribuable dans les années à venir. Des réflexions doivent être menées conjointement avec les populations environnantes, afin que des initiatives soient prises dans le sens de la protection de l'environnement, mais aussi dans la sensibilisation des populations quant aux comportements des citoyens envers l'environnement. Aux différents gestionnaires et réseaux de surveillance de l'eau, de développer des moyens de lutte contre la pollution et la contamination des nappes souterraines. De réactiver les contrôles inopinés d'hygiène et salubrité (Mairie), de mener des actions coercitives de la part des autorités.

Aux chercheurs : Pour améliorer les traitements et les rendements d'épuration ainsi que leur efficacité, un effort constant de recherche doit être réalisé pour mettre au point de nouveaux procédés de traitements utilisant les désinfectants naturels

Au terme de cette étude, certaines questions ont pu être soulevées, ouvrant ainsi de nouveaux horizons de recherche qui peuvent se résumer en quatre points :

- (1) élaborer une technique d'évaluation des facteurs de virulence et de persistance des kystes et oocystes de protozoaires intestinaux dans l'environnement ;
- 2) étudier les facteurs de virulence et de persistance de ces microorganismes pathogènes ;
- (3) effectuer des essais de viabilité par culture cellulaire et par digestion par les souris sur l'efficacité des désinfectants sur ces protozoaires enfin de mieux les éliminer dans l'eau destinée à la consommation humaine ;
- (4) évaluer la résistance de certains organites cellulaires à certains désinfectants couramment utilisés et la combinaison de plusieurs désinfectants ;

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abdelmadjid N. 2006.** Traitement biologique des eaux usées par les bactéries anaérobies butyriques (*Clostridium butyricum*) qui produisent de l'hydrogène. Laboratoire de polyclinique central d'El Bayadh, 2IWH, *Ghardaïa-Algeria*, 2 : 27-29.
- 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 G. A. 2017.** Water as a weapon of international confrontations. *Harmattan ; Cameroun Environnement, Nature, Écologie-Géographie Afrique Subsaharienne Cameroun*, 220p.
- Ajeegah G. A., Enah D. A., Foto M. S. 2017.** A Study of the Morphological Structure of Chironomidae (Diptera) in a Tropical Urban Polluted Water System, *International Journal of Sciences*, 6 :1-9.
- Ajeegah G. A., Foto M. S., Talom S. N., Ntwong M. 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 G. A., Njine T., Bilong B. C. F., Foto M. S., Wouafo N. M., Nola M., Di G. G. 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.
- Ajeegah G. A., Njiné T., Nola M., Foto Menbohan S., Wouafo N. M. 2007.** Evaluation de l'abondance des formes de résistance de deux protozoaires pathogènes (*Giardia* sp. et *Cryptosporidium* sp.) dans deux biotopes aquatiques de Yaoundé (Cameroun). *Cahier d'Etudes et de Recherche Francophones/Santé*, 17 (3) : 167-172.
- Ajeegah G.A., Asi Q. 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.
- Akam, A., Kaidi, R., Khelef, D., Lafri, M., Şuteu, E., Cozma, V. 2004** - Evaluation of effect of disinfectants on the viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts, *Bulletin of Unites Stes of America Mouvmnt-City of New york*, 61, 289-290.
- Akam. A, R. Kaidi, D. Khelef, N. Touraight, E. Şuteu, V. Cozma. 2005.** Effet des désinfectants sur la viabilité des oocystes de *Cryptosporidium parvum* d'origine bovine. *Scientia Parasitologica*, 1-2, 35-42.
- Allouche F., Lamri D., Zahf F. 1999.** « Surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de contamination niveau des trois communes : Ali boussid, Saby, Ben

Badis, wilaya de Sidi Bel Abbes », *mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en biologie, Université de sidi bel Abbes* 72 p+ Annexes.

- Amoeb I. D., Gulshan S., Thor A. S., Poovendhree R., 2017.** Detection and quantification of soil-transmitted helminth in environmental samples : A review of current state of the-art and future perspectives. *Acta Tropica*, (169) : 187-201.
- ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire alimentation, Environnement, travail).2014.** Caractéristiques et sources de *Cyclospora cayetanensis* ; Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments 3p.
- 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 22<sup>nd</sup> Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC. 9711D.
- Apouamoun Yiagnigni M. 2006.** Hydrologie et transports solides dans un écosystème forestier anthropisé : exemple du bassin versant de la Mefou (Centre-sud Cameroun). Mémoire de DEA. Université de Yaoundé I. 52 p.
- Arabshahi-D, S., Devi, D. V., & Urooj, A. 2007.** "Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability." *Food chemistry*, 100(3) : 1100-1105.
- Asi & Ajeegah .2020.** Biodiversity of microsporidian spores in groundwater of the Center Region of Cameroon : seasonality and relationship to ecological factors of the medium. *International Journal of Environmental Science and Technology* ,(6) : 020-029.
- Asi. Q. A., Ajeegah. G. A., Okoa. A T.N. 2021.** Abundance Dynamic of Oocysts in the Groundwater of Mbankomo, a Sub-urban Area Yaounde: Physico-chemical Factors and Health Risk. *Bulletin de la Société de pathologie exotique et Lavoisier.*,155-167
- Bachelier G. 1959.** Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogénèse des sols ferrallitiques. *Agronomie tropicale* XIV, 3 (1) :279-305.
- Baldursson, S. & Karanis, P. 2011.** Waterborne transmission of protozoan parasites : *review of worldwide outbreaks – An update 2004–2010.* *Water Reseach.*, 45 : 6603–6614.
- Barrington, G.M., Gay, J.M., Evermann, J.F. (2002)** - Biosecurity for neonatal gastro-intestinal diseases, *Veterynal. Clinical Food and Animals.*18, 7-34.

- BeerTime B. 2018.** Chimie de l'eau contenu minéral de l'eau de brassage : Actualité pour les amoureux de la bière artisanale 5p.
- Belosevic, M., Guy. R.A., Taghi-K. R., Neumann, N.F., Gyurek, L.L., Liyanage, L.R., Millard, P.J. & Finch, G.R. 1997.** Nucleic acid stains as indicators of *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *International Journal of Parasitologie*, 27(7) :787–798.
- Bekouche H., Belnasra O. k., Boulahya K.2016.** Traitement microbiologique des eaux usées de la ville d'Adrar par les grains de *Moringa oléifera*. Memoire de Master en Chimie de l'Environnement, Université d'ADRAR, 95p.
- Beugnet F., Polack B., Dang H. 2004 ;** *Atlas de coproscopie*. Kalianxis, Clichy, 277p.
- Boreham, P.F., Upcroft, J.A. et Upcroft, P. 1990.** Changing approaches to the study of *Giardia* epidemiology : 1681–2000. *Intertional Journal of Parasitology.*, 20(4) :479–487.
- Bouaziane. 2000.** L'eau, de la pénurie aux maladies. *Edition Iben Khldoune*. Documentation. Paris 2, 17 p.
- Bourgouin, H. 1996 -** La place de la cryptosporidiose dans les maladies néonatales du veau du Corrèze, *Bull. GTV 2 B.*, 518, 19-41.
- Bouyer S., Imbert C., Daniault G., Cateau E., Rodier M. H. 2008.** Effect of caspofungin on trophozoïtes and cysts of three species of *Acanthamoeba*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy.*, 59 (1) :122-124.
- Bratby J. 2006.** Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. Seconde édition, *International Water Association Publishing*, Londres, 450 p.
- Brown C. M., Nuorti P. J., Breiman R. F., Hathcock A. L., Fields B. S., Lipman H. B., Llewellyn G. 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.
- Brown T. J., Cursons R. T., Keys E. 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.
- Byrne M.2001.**The detection of *Cryptosporidium* spp oocysts and *Giardia* spp cysts in water. Symposium on the identification of *Cryptosporidium* sp and *Giardia* sp. in water, Dublin, Ireland 50p.
- Campbell, A.T., Robertson, L.J. & Smith, H.V. (1992).** Viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts : correlation of *in vitro* excystation with inclusion or exclusion of fluorogenic vital dyes. *Applied and Environmental and Microbiology.*, 58 :3488–3493.

- Carlson L A ; Favero M.S ; Blond W. W ; Petersen N. J.1972.** Factors affecting comparative resistance of naturally occurring and subcultured *Pseudomonas aeruginosa* to disinfectants. *Applied and Environmental Microbiology.*, 5(23) : 863-869.
- Castany G. 1998.** Hydrogéologie, principes et méthodes. *Dunod*, Paris, 236 p.
- CDC (Center for Disease Control). 2007.** *Acanthamoeba* keratitis multiple states, 2005-2007. *Mortality and Morbidity Weekly Report.*, 56 (1) : 532-534.
- CDC (Center for Disease Control). 2008.** Primary Amebic Meningo-encephalitis Arizona, Florida, and Texas, 2007. *Mortality and Morbidity Weekly Report.*, 57(2) : 573-577.
- CDC (Center for Disease Control). 2019.** Microscopic Identification of *Cyclosporacayetanensis* and other coccidia. *Division of Parasitic Diseases and Malaria.* 58p.
- 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) Revue* 3, 12 p.
- Chartier, C. 2000** - La cryptosporidiose des ruminants : *In Parasitisme bovin, Edition. Navetat H. & Dorchies, Ph., Paris, 15, 16, 17 novembre, 251-264.*
- Chapman D., Kimstach V. 1996.** Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, *Chapman edition*, 2<sup>nd</sup> edition. E & F.N. Spon, London. 609p.
- Chippaux J. P., Houssier Sgross P., Bouvier C., Brissaud F. 2002.** Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bulletin de la Société Pathologie Exotique.*, 94 (2) : 119-123.
- Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P., Phivthong-ngam, L., Ratanachamnong, P., Srisawat, S., & Klai-upsorn, S. P. 2008.** "The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Journal of ethnopharmacology.*, 116(3), 439-446.
- Dahiru, D., Onubiyi, J., & Umaru, H. A. 2006.** "Phytochemical screening and antiulcerogenic effect of *Moringa oleifera* aqueous leaf extract. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines.*, 3(3), 70-75.
- Dajoz R. 2000.** *Précis d'Ecologie.* 7<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France, 615p.
- Dan Malam, H., Abubakar, Z., and Katsayal, U. 2001.** "Pharmacognostic studies on the leaves of *Moringa oleifera*." *Nigerian Journal of Natural Products and Medicine.*, 5(1), 45-49.

- Delaunay, A., Gargala, G., Li, X., Favennec, L. et Ballet, J.J. 2000.** Quantitative flow cytometric evaluation of maximal *Cryptosporidium parvum* oocyst infectivity in a neonate mouse model. *Applied Environment Microbiology.*, 66(10):4315–4317
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D. 2010.** Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss Journal.*, 8(0) : 101-112
- Devidal S., Richard-Sirois C., Pouet M-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.
- Diamond, L.P., Harlow, D.R. & Cunnick, C.C. 1978.** A new medium for the axenic cultivation of *Entamoeba histolytica* and other *Entamoeba*. *Transdiscipline Research Society. Tropical Medicine Hygiene.*, 72 : 431–432.
- Dobell C. 1919.** The amoebae living in man, London. LTD, Great titchfield street, Oxford Street, London, 155 p .
- Dussart B.H., Defaye D. 1995.** Copepoda : Introduction to the copepoda. Guide to the identification to the microinvertebrates of the continental waters of the world 7, Dumont H.J. (edition.), S.P.B. The hague., *Academic Publishing*, 276 p.
- Epshtein G. 1931.** Pathogenic Protozoa, Spirochetes, and Fungi in Russian, Moscow-Leningrad 70p.
- Faby J.A. et A. Eleli 1993.** Utilisation de la graine de *Moringa*, essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur. CIEH/EIER/Oieau, Série *hydraulique urbaine et assainissement*, Ouagadougou, Burkina Faso, 132 p.
- Fahey, J. W. 2005.** "Moringa oleifera: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1." *Trees for life Journal.*, 1(5), 1-15.
- FAO (Fond des Nations Unies pour l'alimentation). 2003** ; l'irrigation avec des eaux usées traitées : manuel d'utilisation. *Fao irrigation and drainage paper*, 65p.
- Foild N ; Makkar H ; & Beeker K.2001** 'potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie' pententiel de développement des produits de *Moringa*. *Da es salam, Tanzanie. Rapport*, 5p.
- Foto Menbohan. 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.
- Fotseu K. A. L. & Ajeegah G. A. 2020.** Effect of natural disinfectant (*Moringa oleifera*) and a chemical disinfectant (calcium hypochlorite) on nematode eggs: bioefficiency and impact of

physico-chemical variables, *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development.*,10(2):235-246.

- 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 CRI CNRS, Univ. Bordeaux*, 71 p.
- Franqueville A. 1984.** Yaoundé, construire une capitale. *Orstom édition.*, 192 p.
- Gentilini M. 2005.** Médecine tropicale. 5e édition. *Flammarion*, Paris, 191 p.
- Ginet R., Decou V.1977.** *Initiation à la biologie et à l'écologie souterraine.* J. P Delarge edition, Paris France. 345 p.
- Gibert J., Culver D.C., Danielopol D.L., Griebler C., Gunatilaka A., Notemboom J., Sket B. 2004.** Groundwater ecosystems : human impact and future management. Aquatic ecosystems : Trends and global prospect. N.V.C. Polumin. *Cambridge University Press*, 29 p.
- Golvan Y.1983.** Eléments de Parasitologie médicale. 4ème édition. *Flammarion, Paris J.A. éditions. Groundwater ecology. Academic Press*5 :189-215.
- Hayette M P. 2017** Cryptosporidiose : Systématique et épidémiologie. *CHU de Liège*, article présenté lors du jeudi de Fleurus, 48p.
- Hecky R. 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 J. G., Kreing N. R., Sneath P. H. A., Staley J. T., Willians S. T. 2000.** *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology.* 9<sup>th</sup> edition Philadelphia. Lippincott Willian and Wilkins, 78 p.
- INC (Institut National de Cartographie).** 2021. Carte topographique de la région de Yaoundé au 1/200000. Yaoundé : 2 p.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).** 2005. L'émergence d'une ingénierie écologique des milieux aquatiques. - 147, rue de l'université – 75338. Paris, Cedex 07. *Direction de l'information et de la communication*, 11 p.
- Iturriaga, R., Zhang, S., Sonek, G.J. et Stibbs, H. 2001.** Detection of respiratory enzyme activity in *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts using redox dyes and immunofluorescence techniques. *Journal of Microbiology Methods.*, 46(1) :19–28.
- Jahn s.a.A. 1988.** Using *Moringa* seeds as coagulants in developing countries. *Journal of American Water Work Association.*, 80 : 43-50.

- Jullian E., Hirbe A., Ker B.N., Liu R.Z. 2005.** Qualité de l'eau du bassin versant de l'Ardèche." Université de Paris 7 - Denis – Diderot, UFR des Sciences Physiques de la Terre (*IUP Génie de l'Environnement*), 149 p.
- Kabore, A., Savadago. B., Rosillon. F., Straore, A. S. & Dianou. D. 2013.** Optimisation de l'efficacité des graines de *moringa oleifera* dans le traitement des eaux de consommation en Afrique sub-saharienne : cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science.*, 26 (3),209–220.
- Kabore A. 2011.** Étude du pouvoir floculant et des qualités épuratoires des graines de *Moringa oleifera* dans le traitement des eaux brutes de consommation en Afrique sub-saharienne : Cas des eaux du Burkina Faso. *Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, Ouagadougou Burkina Faso*, 54 p.
- Kpoda N. W., Adama O., Yélézouomin S. C. S., Guéladio C., Maïga M. H & Bouraïma G. K .2015.** Physicochemical and parasitological quality of vegetables irrigation water in Ouagadougou city, Burkina-Faso. *African Journal of Microbiology Research.*, 9 (5) :307-317.
- Karanis, P., Kourenti, C. & Smith, H. 2007.** Waterborne transmission of protozoan parasites : a worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *J. Water Health.*, 5(1) :1–38.
- Kaucner, C. & Stinear, T. 1998.** Sensitive and rapid detection of viable *Giardia* cysts and *Cryptosporidium parvum* oocysts in large-volume water samples with wound fiberglass cartridge filters and reverse transcription–PCR. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64(5) :1743–1749.
- Keiser, J. & Utzinger, J. 2010.** The drugs we have and the drugs we need against major helminth infections. *Advances in parasitology*, 73, 197-230.
- Kengne I.M., Fonkou T., Nya J., Mefenya R., Akoa A, Atangana E.R., Brissaud F., Bemmo N., Guetsa Kamanou F., Agendia P.L. 2000.** Assainissement des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes : Cas du lotissement Sic-maetur de BiyemAssi II (Yaoundé, Cameroun). *In : Séminaire international sur l'assainissement urbain, Gorée, Sénégal*, 18-20.
- Korich, D.G., Mead, J.R., Madore, M.S., Sinclair, N.A. et Sterling, C.R. 1990.** Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Applied Environment Microbiology.*, 56(5) :1423– 1428.
- Kreisel W. 1991.** Water quality and health. *Water Sciences and Technology*, 23: 201-209.
- 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.

- Lainson R. 1994.** Observations on some avian coccidia (Apicomplexa: *Eimeriidae*) in Amazonian Brazil. *Memorium of Institut Oswaldo Cruz*, 89:303-311.
- LeChevallier, M.W., Norton, W.D. & Lee, R.G. 1991.** Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in filtered drinking water supplies. *Applied. Environment. Microbiology.*, 57:2617–2621.
- Legendre L., Legendre P. 1979.** *Ecologie Numérique*. Masson (Eds), Paris (France), 1-2, 247 p.
- Leveque C., Balian E. V. 2005.** Conservation of freshwater. Biodiversity : does the real world meet scientific dream? *Hydrobiologia*, 542 p.
- Leynaud G., Verrel J. L. 1980.** Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In : Pesson (édition). *La pollution des eaux continentales. Influence sur les biocénoses aquatiques*. Paris Gauthier – Villars, 28 p.
- Malard F., Ferreira D., Dolédec S., Ward J.V. 2003.** Influence of groundwater upwelling on the distribution of the hyporheos in a headwater river flood plain. *Archive für Hydrobiologia.*, 157(1) : 89-116.
- Manzoor, M., Anwar, F., Iqbal, T., & Bhanger, M. 2007.** "Physico-chemical characterization of *Moringa concanensis* seeds and seed oil." *Journal of the American Oil Chemists' Society.*, 84(5), 413-419.
- Mateau P. 1993.** Mémento roches et minéraux industriels, Gypse et Anhydrites. Etude réalisée dans le cadre des actions du service public du *BRGM*. 15p.
- Masschelein W. J., 1996.** Processus unitaires du traitement de l'eau potable. *Cebedoc Editeur*, 209-221.
- Mbouombouo M., G. Ajeegah, J. Ndjama, I. Tchakala, B. Gnon, D. Enah, G. Yogback .2019.** Dynamique d'abondance des charges oocystiques dans le bassin versant du Mezam à Bamenda (région du Nord-Ouest, Cameroun). *Bulletin de la Société de pathologie exotique.*, 112 : 61-70.
- Meisel, J.L., Perera, D.R., Meligro, C. & Robin, C.E. 1976.** Overwhelming watery diarrhoea associated with a *Cryptosporidium* in an immunosuppressed patient. *Gastroenterology.*, 70:1156–1160.
- Metzelaars H., Spaargaren T., McQuiston T.E. & Capparella A.P.2005.** *Isospora iridosornisi*, a new coccidian parasite (Apicomplexa, Eimeriidae) from the yellow-throated tanager, *Iridosornis analis* of South America. *Acta Parasitology.*,50:191-193.

- 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.
- Millogo-Koné H., Kini B. F., Yougbaré Z., Yaro M. B., Sawadogo M. 2010.** Etudes de la phytochimie et de l'activité antimicrobienne *in vitro* des feuilles de *Moringa oleifera* (Moringaceae). *International Journal of Applied Science and Technology.*, 2, 115-126.
- MINEE (Ministère de l'eau et de l'énergie du Cameroun). 2011.** Engagements du gouvernement du Cameroun (secteur de l'eau et l'assainissement). Rapport ; *Assainissement et eau pour tous*, 7 p.
- Mizi. A 2006;** Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de bejaia et valorisation des déchets oléicoles. *Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba* 174p.
- Mohamdi. N. 2015.** *Les coccidioses intestinales* ; cours de parasitologie, Faculté de Medecine de l'Université de Batna 2, 25p
- Montangero A. & Strauss M., 2002.** Gestion des boues de vidange. *Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux. EAWAG/SANDEC. 2<sup>ème</sup> edition*, 48p.
- Mortimer C. H. 1956.** The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage saturation. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Limnology*, 6 :1-20.
- Metro Vancouver 2013.** Greater Vancouver water district 2013 *quality control annual report*, Volume 1. 45P
- Neumann, N.F., Gyurek, L.L., Finch, G.R. & Belosevic, M. (2000a).** Intact *Cryptosporidium parvum* oocysts isolated after *in vitro* excystation are infectious to neonatal mice. *FEMS Microbiology Letterature.*, 183 : 331–336.
- Neumann, N.F., Gyurek, L.L., Gammie, L., Finch, G.R. & Belosevic, M. 2000b.** Comparison of animal infectivity and nucleic acid staining for assessment of *Cryptosporidium parvum* viability in water *Applied and Environment Microbiology.*, 66(1) :406–412.
- Nola M., Njine T., Zebaze T, S. H., Foto M, S., Monkiedje A., Servais P., 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.
- Nozais J., Datry A., Danis M. 1996.** *Traité de Parasitologie médicale.* Pradel,100p.

- Nya J., Brissaud F., Kengne I. M., Drakids C., Amougou A., Atangana E. R., Fonkou T., & Agendia P. L., 2002.** *Traitement des eaux usées domestiques au Cameroun : Performances épuratoires comparées du lagunage à macrophytes et du lagunage à microphytes*, 726–736.
- OMS(Organisation Mondiale de la Santé). 2002.** Directives de la qualité pour l'eau de boisson, critères d'hygiène et documentation à l'appui., 214 p.
- OMS(.** Organisation Mondiale de la Santé). **2004.** Directives de qualité pour l'eau de boisson, critères et d'hygiène et documentation à l'appui, (2) :2-1050.
- OMS 2014.** Preventing Diarrhoea through Better Water, Sanitation and Hygiene : Exposures and Impacts in Low- and Middle-income Countries. Genève, Suisse, OMS. [apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823_eng.pdf).
- OMS. 2017.** Number you should know. Reaching a billion and Ending Neglected tropical diseases. A gate way to universal DXhealth coverage. *5<sup>th</sup> progress report on the London declaration on NTDs*, 9 p.
- Onguene Mala. 1993.** Différenciation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun) : Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune en relation avec l'évolution du modèle. *Thèse de Doctorat d'état, Université de Paris VI*, 254 p.
- 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.
- Pankow R., James F. 1991.** Aquatic Chemistry Concepts. Redox potential as an environmental parameter. Conceptual significance and operational limitation. *Water Pollution Research journal of Canada.*, 3(1) : 283-308.
- Petithory J.C., Ardoin-Guidon F., Chaumeil C. 1998.** Amibes et flagellés intestinaux : amibes oculaires, leur diagnostic microscopique. *Cahier de formation - Biologie médicale.*, 237(31) : :325-340.
- Philippeau G. 1992.** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. *ITCF, Service des Etudes Statistiques*, 63 p.
- Rice, E.W. & Schaefer, F.W., III. 1981.** Improved *in vitro* excystation procedure for *Giardia lamblia* cysts. *J. Clin. Microbiol.*, 14:709–710.
- Robertson, L.J., Campbell, A.T. et Smith, H.V. 1998.** Viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts : assessment by the dye permeability assay. *Applied Environment Microbiology.*, 64(9) :3544–3545.

- Rochelle, P.A., Marshall, M.M., Mead, J.R., Johnson, A.M., Korich, D.G., Rosen, J.S. & De Leon, R. 2002.** Comparison of *in vitro* cell culture and a mouse assay for measuring infectivity of *Cryptosporidium parvum*. *Applied Environment Microbiology.*, 68(8) :3809–3817
- Rodier J. 1996.** *L'analyse de l'eau*. 8<sup>e</sup> édition, DUNOD, Paris, 1384 p.
- Rodier J., Merlet N., Lugube B. 2009.** *L'analyse de l'eau*. 9<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris, 1526 p.
- Rook, J.J. 1976.** Haloforms in drinking water. *Journal of America. Water Works Association.*, 68(3) :168–172.
- Ruecker, N.J., Matsune, J.C., Wilkes, G., Lapen, D.R., Topp, E., Edge, T.A., Sensen, C.W., Xiao, L. & Neumann, N.F. 2012.** Molecular and phylogenetic approaches for assessing sources of *Cryptosporidium* contamination in water. *Water Reseach.*, 46 :5135–5150
- Ryan, U., Fayer, R. & Xiao, L. 2014.** *Cryptosporidium* species in humans and animals : current understanding and research needs. *Parasitology.*, 141 :1667–1685.
- Santé Canada (2008).** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Le chlorite et le chlorate. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, *Santé Canada*, Ottawa (Ontario).
- Santé Canada 2018.** Liste des additifs alimentaires autorisés. *Document technique* 12p
- Santé Canada. 2017.** Protozoaires entériques dans l'eau potable : *Giardia* et *Cryptosporidium*. Document de consultation publique, 112p.
- Schuster F.L., Visvesvara G.S. 2005.** O pportunistic amoebae : challenges in prophylaxis and treatment. *Drug Resistance Updates*, 7: 41–51.
- StatSoft France. 2005.** STATISTICA (logiciel d'analyse de données), version 7.1.
- Suchel J.B. 1972.** Le climat du Cameroun. *Thèse de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bordeaux III*, 186p.
- SUEZ 2019.** *Memento Degremont*, Traitement de l'effluent de désulfuration des fumées des centrales thermiques. P5
- Sundermann, CA., Lindsay, D.S., Blagburn, B.L. 1987** - Evaluation of disinfectants for ability to kill Avian *Cryptosporidium* oocysts, Companion Animal.
- Tanawa E., Djeuda Tchpnga H. B., Ngnikam E., Temgoua E., Siakeu J. 2002.** Habitat and protection of water resources in suburban areas in Africa cities. *Building and Environment.*, 37: 269-275.

- 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 I, Cameroun, 232 p.*
- Temgoua E., Bitom B., Djeuda T. H. B., Yongue R. 2003.** Habitation, agricultural practices and degradation of the soil in urban area: The case of Ngoa-Ekélé and Oyomabang district of Yaoundé Cameroon. *Research report, 26 p.*
- Templar A.C., McQuiston T.E. & Capparella A.P. 2004.** A new coccidian parasite, *Isospora andesensis*, from the common bush tanager *Chlorospingus ophthalmicus* of South America. *Acta Protozoology.*, 43:369-371.
- Thomas V., Loret J.F., Jousset M. & Greub G. 2012.** Biodiversity of amoebae and amoebaeresting bacteria in a drinking water treatment plant. *Environmental Microbiology.*, 10 : 2728–2745.
- Thompson R., Schantz P., Leib. MS., Olson M., Twedt D. 1999.** Eau, environnement et santé publique. Edition Lavoisier, Paris, 236 p.
- Tyzzar, E.E. 1907.** A sporozoan found in the peptic glands of the common mouse. *ProC. SoC. Exp. Biological Medecin.*, 5 :12–13.
- Tyzzar, E.E. 1912.** *Cryptosporidium parvum* (sp. nov.): a coccidian found in the small intestine of the common mouse. *Archive Protistenk.*, 26 :394–418.
- Ugwu, S.N., Umuokoro, A.F., Echiegu, E.A., Ugwuishiwu, B.O., Enweremadu, C.C., 2017.** Comparative study of the use of natural and artificial coagulants for the treatment of sullage (domestic wastewater). *Cogent Engerioury.*, 4 (1), 1–13.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2005.** Economic analysis for long term 2 enhanced surface water treatment rule. Office of Ground Water and Drinking Water, *The Cadmus Group, Inc., Arlington, Virginia, USA, 317p.*
- 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.*
- Wallis, P.M., Isaac-Renton, J.L., Erlandsen, S.L. et Olson, M.E. 1995.** Risk assessment for waterborne giardiasis and cryptosporidiosis in Canada. Unpublished report to Health Canada 50p.
- Ward J.H. 1963.** Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association.*, 58 : 1-236.
- Ward J., Malard F., Stanford J., Gonser T., 2000.** Interstitiel aquatic fauna of shallow unconsolidates sediment, particularly hyporheic biotopes. In : Wikens H., Culver D.C. and

- Humphreys W.F. (editions). Ecosystems of word, Elsevier Amsterdam. *Subterranean Ecosystems.*, 30 : 41 - 58.
- Ward J.V. 1998.** Riverine lanscape : Biodiversity patterns, distribution regimes and aquatic conservation. *Biological conservation.*, 83 (3) : 269-278.
- Wendesen M,D. & Million E, B.2021.** Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon (1)* : 0845-0856.
- WEF (Water Environment Fedderation) 1996.**Waste water disinfection, manual of pratice no.FD-10, Alexandria 70p.
- Wéthé J., Radoux M., Tanawa E. 2003.** Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zones d’habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *Revue en Science de l’Environnement.*, 5 (4) : 23 - 25.
- Williams W.T., Lance G.N., Dale M.B., Clifford H.T. 1971.** Controversy concerning the criteria for taxonomic strategies. *Computer Journal.*, 14 : 1-162.
- Xiao, L., Fayer, R., Ryan, U. & Upton, S.J. 2004.** *Cryptosporidium* taxonomy : recent advances and implications for public health. *Clinical. Microbiologic. Review.*, 17(1):72–97.
- Youmbi T, J. G., Ntamack D., Feumba R., Ngnikam E., Wéthé J., Tanawa E. 2009.** Vulnérabilité des eaux souterraines et périmètres de protection dans le bassin versant de la Mingoa (Yaoundé, Cameroun) Contributions de l’approche écosystémique à la Multidisciplinarité. *Revue de l’Université de Moncton*, 2 : 40
- Zébazé T, S. H. 2004.** Recherche d’espèces animales indicatrices de la qualité des eaux souterraines du Cameroun. *Rapport de stage post-doctorat. AUF-UYI –Université Toulouse III*, 51 p.
- Zhang L., Nin C., Liu K., Chao L., Mu J. Y., (1999)** - Evaluation of selected disinfectants against avian coccidial oocysts. *China. Journal of Veterina and Medical.*, 25,10-11

# LISTE DES ANNEXES

## ANNEXES

### Annexe 1 : Physicochimie des échantillons traités au Gypse

stations	concentrations	TDS	Conductivité	Résistivité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	Ph	Orthophos	Azote amm	Alcalinité	Oxydabilité
unités		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	g/L	U.C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1640	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	347	690	1444	0,34	-123	937	4090	1040	13,4	4	12,7	150	16,4	12,5
	C2	346	692	1430	0,32	-432	89	790	750	5,2	4,1	11	143	16,5	8,2
	C3	350	705	1422	0,34	-3429	50	310	250	1,9	4,41	5,47	216	16	1,18
	C4	374	750	1237	0,41	-453	52	155	252	2,1	4,4	8,3	56	16,3	1,99
	C5	402	804	1190	0,3	654	50	90	180	1,7	4,43	6,4	54	17	1,17
	C6	423	860	1175	0,4	-435	50	55	130	1,2	4,43	7,3	9	20	1,18
	Moyenne	369,3	740,857143	1336,85714	0,34857143	-620,14	409,71	2195,71	788,8571	5,957143	4,69	9,5485714	110,857143	16,8857143	5,86142857
	Ecart type	31,83	67,8783927	129,29608	0,04099942	1297,8	633,86	3682,16	999,1442	6,231334	1,06	3,7119915	72,5911578	1,41471855	5,92235153
BS	C0	561	1125	1238	0,4	11	3290	20400	3600	60	7,11	11,4	2	44	7,3
	C1	132	264	3788	0,12	127,7	570	780	880	75	6,71	5,6	1,7	4	3,36
	C2	53	100	9520	0,05	151,6	420	1000	580	48	6,16	6,3	2,3	8	1,98
	C3	142	288	3484	0,14	132,3	640	2140	440	39	6,73	12	1,2	4	3,95

	C4	202	205	5782	0,24	318,9	740	2610	920	68	4,6	9,6	2,5	8	1,78
	C5	362	729	1377	0,35	226	420	1020	1400	18	4,99	3,2	1,4	4	1,38
	C6	319	641	1560	0,31	262,5	380	780	500	0	4,78	7,6	1,4	6	0,79
	Moyenne	253	478,857143	3821,28571	0,23	175,71	922,86	4104,29	1188,571	44	5,87	7,9571429	1,78571429	11,1428571	2,93428571
	Ecart type	173,5	366,85218	3005,43745	0,13063945	102,03	1052,1	7221,41	1112,945	27,22132	1,05	3,213439	0,49473418	14,5994129	2,21845184
CM	C0	542	1085	922	0,5	-347	924	2184	1120	59	8,45	11,4	25	20	13,33
	C1	647	1302	770	0,64	-10	38	165	53	21	5,26	4,1	0,8	2	9,48
	C2	775	1558	644	0,77	-45,8	16	111	12	12	4,9	6,3	1,3	4	4,74
	C3	877	1756	570	0,88	-64,5	82	410	116	26	4,85	12	2,5	2	12,05
	C4	1024	2063	486	1,03	-92,8	138	446	221	52	4,82	9,6	1,3	2	6,91
	C5	973	1955	514	0,95	-97	16	93	42	47	4,81	3,2	1	1,8	7,9
	C6	1112	2224	450	1,14	-42,5	89	385	117	52	4,79	7,6	1,7	2	3,95
	Moyenne	850	1706,14286	622,285714	0,84428571	-99,943	186,14	542	240,1429	38,42857	5,41	7,7428571	4,8	4,82857143	8,33714286
	Ecart type	206,8	414,534851	170,702191	0,22367068	113,04	328,35	739,025	394,0015	18,35626	1,35	3,4389229	8,92449812	6,73342763	3,522176
HG	C0	955	1913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,02	100	4,2	10	14,22
	C1	825	1648	607	0,93	523	14	171	36	2,9	7,95	4	0,04	10	6,32

	C2	112 3	1732	435	1,13	- 214, 8	4	121	19	1,4	7,8 6	3,3	0,02	16	4,34
	C3	872	3007	574	0,88	-121	1	66	8	1,1	7,1	1,6	0,01	4	1,98
	C4	103	1914	333	1,56	-113	10	78	29	0,5	6,7 3	2	0,06	8	4,93
	C5	957	1781	522	0,97	55,4	5	127	22	0,7	4,4 8	0,7	0,05	16	10,66
	C6	899	2219	562	0,9	106, 4	1	50	11	0,5	4,3 8	1,2	0,01	28	9,68
	Moyenne	819, 1	2030,571 43	508,142 857	1,04857 143	32,8 86	159, 29	713,2 86	269,28 57	1,5857 14	6,5	16,1142 86	0,62714 286	13,1428 571	7,44714 286
	Ecart type	329, 6	467,9960 32	94,4094 426	0,23982 136	242, 88	406, 02	1617, 4	657,41 46	1,3520 71	1,4 8	37,0083 07	1,57560 268	7,81938 982	4,24912 036

## Annexe 2 : Biologie des échantillons traités au Gypse

stations	concentrations	<i>Cryptosporidium</i> spp./L	<i>Cyclospora</i> spp./L	<i>Isospora</i> spp./L	<i>Sarcocystis</i> /L	<i>Giardia</i> spp./L	<i>Entamoeba.</i> toly/L	<i>Entamoeba.coli</i> /L	<i>Balantidium</i> /L
CU	C0	686	220	20	720	210	330	4800	60
	C1	542	176	0	640	200	312	3700	42
	C2	380	160	0	420	188	279	2480	30
	C3	294	96	0	286	164	254	1080	22
	C4	240	42	0	192	123	148	1040	20
	C5	80	20	0	160	97	140	340	20
	C6	60	20	0	60	60	60	80	0
	Moyenne	326	104,857143	2,85714286	354	148,857143	217,571429	1931,42857	27,7142857
	Ecart type	230,529825	81,4359228	7,55928946	250,015999	56,816748	101,934386	1785,9398	19,0237946
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	550	70	20	55	40	0	4	0

	C2	470	30	10	25	10	0	35	0
	C3	230	30	0	15	0	0	20	0
	C4	190	20	0	10	0	0	10	0
	C5	60	0	0	10	0	0	10	0
	C6	10	0	0	10	0	0	0	0
	Moyenne	324,285714	47,1428571	10	63,5714286	24,2857143	3,57142857	19,8571429	5,71428571
	Ecart type	276,155581	63,170216	15,2752523	114,226175	44,6680881	9,44911183	21,1378694	15,1185789
CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	40	30	0	0	20	0	112	50
	C2	20	20	0	0	0	0	20	50
	C3	10	15	0	0	0	0	0	45
	C4	0	10	0	0	0	0	0	40
	C5	0	10	0	0	0	0	0	40
	C6	0	0	0	0	0	0	0	10
	Moyenne	35,7142857	20,7142857	2,14285714	1,71428571	8,57142857	17,1428571	76	41,4285714
	Ecart type	65,2832656	19,6698948	5,6694671	4,53557368	15,7359158	45,3557368	148,61135	14,9204238
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	170	40	18	60	63	42	68	15
	C2	140	30	15	36	42	20	40	15
	C3	130	30	12	24	10	0	22	10
	C4	70	20	10	20	0	0	20	10
	C5	40	10	10	0	0	0	10	10
	C6	20	10	5	0	0	0	10	0
	Moyenne	130	30	12,8571429	148,571429	36,4285714	44,5714286	41,4285714	11,4285714
	Ecart type	107,703296	20,81666	5,1777914	332,003442	51,8711774	91,9761874	40,1947639	6,26783171

### Annexe 3 : Physicochimie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée

station	concentrations	TDS	Conductivité	Resistivité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote AMM	Alcalinité	Oxydabilité
unités		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	Mg/L	UV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1640	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	492	984	1290	0,47	-987	1280	5897	1990	12,2	6,2	14,1	123	14,2	2,3
	C2	521	1042	1100	0,67	-854	980	4942	1940	10,8	5,9	8	145	13,6	1,9
	C3	523	1050	973	0,58	-430	740	4790	1640	7,2	5,7	5,16	175	12	0,39
	C4	804	1608	750	0,92	-654	380	789	1420	7	4,8	4,8	122	11,9	0,38
	C5	905	1810	640	0,93	-438	322	234	880	4,1	4	3,99	79	12,01	0,4
	C6	955	1905	554	0,97	-548	320	148	590	3,1	3,36	3,85	48	12	0,39
	Moyenne	649	1297,7143	966,714286	0,6957143	-576,29	808,86	3811,43	1625,714	8,65714	5,29	7,9385714	120	13,1014	2,93857143
	Ecart type	235,8	470,47802	339,040172	0,2513866	288,28	517,48	3623,23	772,2231	4,66471	1,3	4,9601862	43,42043	1,57682	5,29777132
BS	C0	561	1125	1239	0,4	11	1290	20400	3600	60	7,11	15,8	2	44	7,3
	C1	582	1218	826	0,57	-69,9	510	2870	720	53	8,94	8,723	7,2	50	2,76
	C2	303	602	1661	0,29	-43,9	730	3730	124	36	8,25	7,7	3,5	30	2,76
	C3	318	641	1563	0,31	-37,8	183	10480	262	22	8,21	6,365	5,3	30	4,54
	C4	302	606	1653	0,29	-31,9	4100	10080	598	19	8,07	4,37	26,4	42	2,56
	C5	329	660	1517	0,32	-15,9	1180	5140	181	122	8,07	4,37	6,5	44	3,56
	C6	293	586	1706	0,28	-22,6	460	2170	550	6	8,11	3	3,1	40	2,37
	Moyenne	384	776,85714	1452,14286	0,3514286	-30,143	1207,6	7838,57	862,1429	45,4286	8,11	7,1897143	7,714286	40	3,69285714
	Ecart type	128,8	272,06521	316,85666	0,1044715	25,113	1335,2	6464,94	1228,295	38,7808	0,54	4,298911	8,450134	7,48331	1,75691694
CM	C0	542	1085	922	0,53	-347	924	2184	1120	59	8,45	11,4	25	20	16,33
	C1	468	935	1068	0,46	-213	214	468	292	35	7,3	3,3	2,1	14	2,96

	C2	466	936	1070	0,48	-252	41	247	88	75	7,66	6,8	2,5	4	7,9
	C3	473	947	1057	0,46	-269	93	501	127	43	7,68	5,7	3,3	8	6,91
	C4	455	907	1100	0,48	-278	33	77	32	23	7,85	2	0,8	10	3,75
	C5	450	918	1091	0,45	-298	54	67	82	34	7,88	9	2,3	14	9,68
	C6	460	921	1086	0,45	-299	27	41	43	36	7,85	7,9	1,4	18	12,24
	Moyenne	473,4	949,85714	1056,28571	0,4728571	-279,43	198	512,143	254,8571	43,5714	7,81	6,5857143	5,342857	12,5714	8,53857143
	Ecart type	31,24	61,05852	61,0429201	0,0281154	41,972	326,65	761,244	391,252	17,6622	0,35	3,250348	8,704569	5,62308	4,70497407
HG	C0	955	1913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,3	100	4,2	10	14,22
	C1	1172	2219	496	0,99	-72,6	14	136	11	2,6	8,11	3,7	0,3	18	3,75
	C2	1410	2851	351	1,46	-195	24	129	24	2	8,25	4,4	0,4	34	1,58
	C3	874	1738	573	0,9	-197,8	8	140	1	1	8,29	4,6	0,3	14	1,85
	C4	824	1649	606	0,83	-662	27	185	18	1,6	8,28	4,1	0,27	14	4,34
	C5	1469	2919	342	1,52	-202	20	168	26	2,7	7,47	4,5	0,22	18	2,57
	C6	891	1765	567	0,91	-139	19	182	8	1,3	8,18	5,6	0,44	16	1
	Moyenne	1085	2150,5714	494,142857	1,0828571	-210,6	170,29	760	264	2,17143	7,98	18,128571	0,875714	17,7143	4,18714286
	Ecart type	267	534,26893	106,904051	0,2834146	212,27	401,2	1596,43	659,7335	1,02423	0,42	36,106588	1,467809	7,69663	4,58085041

#### Annexe 4 : Biologie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée

stations	concentrations	<i>Cryptosporidium spp./L</i>	<i>Cyclospora spp. /L</i>	<i>Isospora spp./L</i>	<i>Sarcocystis spp./L</i>	<i>Giardia spp. /L</i>	<i>Entamoeba. Histoly/L</i>	<i>Entamoeba. coli/L</i>	<i>Balantidium coli/L</i>
CU	C0	686	220	40	720	210	330	4800	60
	C1	40	200	20	46	100	320	180	20
	C2	60	160	20	0	20	160	100	0
	C3	40	148	0	0	0	110	380	0
	C4	180	140	0	0	0	100	1360	0

	C5	320	20	0	0	0	60	720	0
	C6	40	20	0	0	0	60	60	0
	Moyenne	195,142857	129,714286	11,4285714	109,428571	47,1428571	162,857143	1085,71429	11,4285714
	Ecart type	240,565603	80,1284683	15,7359158	269,781923	80,5634917	115,861165	1700,3417	22,6778684
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	620	90	0	80	70	10	50	10
	C2	430	50	0	65	20	0	35	0
	C3	300	35	0	20	10	0	20	0
	C4	260	10	0	0	0	0	10	0
	C5	40	0	0	0	0	0	10	0
	C6	10	0	0	0	0	0	5	0
	Moyenne	345,714286	52,1428571	5,71428571	69,2857143	31,4285714	5	27,1428571	7,14285714
	Ecart type	279,753293	64,9266986	15,1185789	115,341109	46,3424109	9,57427108	21,5748972	14,9602648
CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	70	20	5	0	10	0	120	34
	C2	40	10	5	0	0	0	80	20
	C3	35	4	0	0	0	0	15	0
	C4	20	0	0	0	0	0	10	0
	C5	5	0	0	0	0	0	0	0
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moyenne	50	13,4285714	3,57142857	1,71428571	7,14285714	17,1428571	89,2857143	15,5714286
	Ecart type	61,9811799	21,808692	5,5634864	4,53557368	14,9602648	45,3557368	144,523025	21,9230255
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	94	60	0	20	40	125	55	10
	C2	70	40	0	20	34	100	50	0
	C3	70	20	0	30	30	20	48	0
	C4	65	10	0	10	24	130	46	0

	C5	20	50	0	870	20	150	40	10
	C6	0	0	0	0	0	130	40	0
	Moyenne	94,1428571	35,7142857	2,85714286	264,285714	41,1428571	129,285714	57	5,71428571
	Ecart type	113,152447	26,367368	7,55928946	424,219171	45,4291704	68,0948218	28,2901632	7,86795792

### Annexe 5 : Physicochimie des échantillons traités à l'Eau de Javal

Station	conc	TDS	Conductivité	Resistivité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote AMM	Alcalinité	Oxydabilité
unités		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	Mg/L	UV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1614	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	909	1818	1097	1	-432	1289	6789	1250	9	7,78	10,2	99	13,6	4
	C2	1047	2094	987	0,97	-965	908	4567	1114	6,7	7,78	9,3	47	14	3,2
	C3	1176	2368	424	1,2	-364	730	3760	1100	4,1	7,76	3,03	23	12	0,19
	C4	1234	2468	409	1,2	-954	489	576	840	4,8	7,66	2,8	13	11	0,11
	C5	1602	3204	307	0,98	-438	183	378	429	0,89	7,61	1,99	9	8,3	0,17
	C6	1869	3740	267	1,96	-429	90	151	280	0,29	7,52	1,11	2	8	0,19
	moyenne	1169	2339,5714	707,285714	1,0914286	-529,29	757,57	3728,71	1133,286	5,99714	7,59	6,3	48,71429	11,8429	3,23857143
	ecart type	491	982,82651	469,04183	0,4818862	313,71	560,83	3694,01	867,7155	5,43593	0,26	5,4842502	54,90208	2,97425	5,35834063
BS	C0	561	1125	1238	0,4	11	3290	20400	3600	60	7,11	15,8	2	44	7,3
	C1	410	818	1221	0,4	-49,2	2140	8440	2880	40	9,11	12	4	8	1,58
	C2	514	1029	973	0,51	-36,7	1420	3410	1820	19	8,84	11,2	19	4	1,77

	C3	693	1389	721	0,69	-31,5	410	2000	560	21	8,6 6	13	21	6	0,39
	C4	780	1561	641	0,78	-32,7	320	2120	650	9	8,5 4	8,3	9	6	0,98
	C5	980	1963	510	1	-33,3	190	5130	1540	41	8,4	6,2	41	4	2,17
	C6	107	2144	467	1,09	-42,8	89	6480	2450	61	8,4	6,8	61	6	0,8
	Moyenn e	577,9	1432,7143	824,42857 1	0,695714 3	- 30,74 3	1122, 7	6854,29	1928,571	35,8571	8,4 4	10,471429	22,4285 7	11,1429	2,1414285 7
	Ecart type	279,9	490,07575	321,80421 4	0,278259 9	19,47 2	1218, 7	6415,54	1128,516	20,3505	0,6 4	3,5141212	21,5395 5	14,5537	2,3551604 9
CM	C0	542	1085	922	0,53	-347	924	2184	1120	59	8,4 5	11,4	25	20	29,62
	C1	584	1173	853	0,58	-288	119	514	227	40	7,3 3	4,1	3,3	24	16,33
	C2	607	1218	822	0,6	-278	86	362	173	52	7,3 9	4,1	3,4	10	5,92
	C3	481	961	1041	0,47	-318	22	137	48	27	7,8 5	8,3	1,2	16	3,95
	C4	649	1302	770	0,65	-290	25	199	66	19	7,8 4	11,5	1,6	6	5,92
	C5	690	1384	724	0,69	0	36	204	79	48	7,6 2	11,6	1,9	16	6,715
	C6	735	1478	679	0,73	213	28	196	51	50	7,6 6	7	1,7	4	7,7
	Moyenn e	612,6	1228,7143	830,14285 7	0,607142 9	- 186,8 6	177,1 4	542,286	252	42,1429	7,7 3	8,2857143	5,44285 7	13,7143	10,879285 7
	Ecart type	87,03	176,62174	123,29832 2	0,090685 2	210,8 8	331,3 8	735,412	388,7656	14,4156	0,3 7	3,35928	8,66580 6	7,34199	9,1794863 8
HG	C0	955	913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,0 3	100	4,2	10	14,22
	C1	830	1735	602	0,83	-76	20	219	29	2,3	8,3 3	5,8	0,26	20	2,8
	C2	855	1755	577	0,95	-138	11	121	9	2,9	8,3 5	6,7	0,21	18	2,17
	C3	870	1790	573	0,87	194	9	127	10	5,3	8,3 4	7,3	0,16	22	3,16

	C4	896	1970	558	0,9	147	16	105	30	1,6	8,33	3,8	0,19	20	3,36
	C5	983	1970	508	1	71	15	167	23	1,4	8,25	9,4	0,22	20	3,36
	C6	15,95	32219	312	1,64	250	6	114	12	2,9	8,4	5,7	0,15	20	2,57
	Moyenne	772,1	6050,2857	522	1,0228571	63,171	165,29	747,571	267,5714	2,91429	8,15	19,814286	0,77	18,5714	4,52
	Ecart type	337,8	11544,927	97,9982993	0,278431	143,59	403,38	1602,24	658,1583	1,37044	0,49	35,399785	1,512944	3,95209	4,29949997

### Annexe 6 : Biologie des échantillons traités à l'Eau de Javal

station	concent	<i>Cryptosporidium</i> spp./L	<i>Cyclospora</i> spp./L	<i>Isospora</i> spp./L	<i>Sarcocystis</i> spp./L	<i>Giardia</i> spp./L	<i>Entamoeba</i> <i>Histoly</i> /L	<i>Entamoeba.coli</i> /L	<i>Balantidium coli</i> /L
CU	C0	686	220	20	720	210	330	4800	60
	C1	542	176	0	640	200	312	3700	42
	C2	380	160	0	420	188	279	2480	30
	C3	294	96	0	286	164	254	1080	22
	C4	240	42	0	192	123	148	1040	20
	C5	80	20	0	160	97	140	340	20
	C6	60	20	0	60	60	60	80	0
	Moyenne	326	104,857143	2,85714286	354	148,857143	217,571429	1931,42857	27,7142857
	Ecart type	230,529825	81,4359228	7,55928946	250,015999	56,816748	101,934386	1785,9398	19,0237946
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	550	70	20	55	40	0	4	0
	C2	470	30	10	25	10	0	35	0
	C3	230	30	0	15	0	0	20	0
	C4	190	20	0	10	0	0	10	0
	C5	60	0	0	10	0	0	10	0
	C6	10	0	0	10	0	0	0	0

	Moyenne	324,285714	47,1428571	10	63,5714286	24,2857143	3,57142857	19,8571429	5,71428571
	Ecart type	276,155581	63,170216	15,2752523	114,226175	44,6680881	9,44911183	21,1378694	15,1185789
CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	40	30	0	0	20	0	112	50
	C2	20	20	0	0	0	0	20	50
	C3	10	15	0	0	0	0	0	45
	C4	0	10	0	0	0	0	0	40
	C5	0	10	0	0	0	0	0	40
	C6	0	0	0	0	0	0	0	10
	Moyenne	35,7142857	20,7142857	2,14285714	1,71428571	8,57142857	17,1428571	76	41,4285714
	Ecart type	65,2832656	19,6698948	5,6694671	4,53557368	15,7359158	45,3557368	148,61135	14,9204238
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	170	40	18	60	63	42	68	15
	C2	140	30	15	36	42	20	40	15
	C3	130	30	12	24	10	0	22	10
	C4	70	20	10	20	0	0	20	10
	C5	40	10	10	0	0	0	10	10
	C6	20	10	5	0	0	0	10	0
	Moyenne	130	30	12,8571429	148,571429	36,4285714	44,5714286	41,4285714	11,4285714
	Ecart type	107,703296	20,81666	5,1777914	332,003442	51,8711774	91,9761874	40,1947639	6,26783171

**Annexe 7 : Physicochimie des échantillons traités au Chlorure de Calcium**

station	concen	TDS	Conductivité	Resistvité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote AMM	Alcalinité	Oxydabilité
unités		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	Mg/L	UV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1640	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	352	704	1330	0,32	-430	790	5903	1034	11,7	7,28	17	149	14	9,1
	C2	357	714	1289	0,37	-564	438	7908	804	7	7,27	14,4	98	13	7
	C3	398	797	1256	0,39	-904	280	8640	220	2,1	7,29	3	270	8	0,59
	C4	399	800	1120	0,52	-320	280	980	220	1,9	7,3	1,2	45	7,2	0,43
	C5	508	1012	1034	0,49	-421	282	568	223	1,1	7,31	0,99	19	6	0,23
	C6	534	1068	936	0,53	-953	270	104	220	0,9	7,33	0,39	10	6	0
	Moyenne	413	825,71429	1203,57143	0,4214286	-530,71	568,57	4854,71	805,8571	5,84286	7,26	7,5214286	105,5714	10,0286	4,59428571
	Ecart type	77,29	153,83185	182,171949	0,0898941	303,2	508,57	4202,42	990,8802	6,047	0,1	7,7187854	92,26566	4,18	5,83066279
BS	C0	561	1125	1238	0,4	11	1290	20400	3600	60	7,11	15,8	2	44	7,3
	C1	193	338	2786	0,17	151,3	320	3700	1360	227	6,82	15,63	2,8	10	1,97
	C2	502	1000	999	0,49	126,5	430	1930	750	29	7,14	11,537	1,8	4	1,77
	C3	452	909	1104	0,44	107,7	960	3550	1560	43	7,29	10,35	3,3	10	0,19
	C4	607	1218	822	0,62	102,4	440	4350	1830	151	7,37	9,189	3	6	0,59
	C5	741	1318	743	0,76	93	350	4310	1890	59	7,52	8,13	3,7	4	0,79
	C6	980	1968	509	0,99	91	660	1610	900	29	7,5	8,2	1,9	6	0,79
	moyenne	576,6	1125,1429	1171,57143	0,5528571	97,557	635,71	5692,86	1698,571	85,4286	7,25	11,262286	2,642857	12	1,91428571
	ecart type	244,7	489,59113	751,666339	0,2661901	43,605	364,18	6575,3	943,4587	75,1174	0,23	3,2675892	0,750238	13,2665	2,45915878
CM	C0	542	1085	922	0,53	-347	924	2184	1120	59	8,45	11,4	25	20	29,62

	C1	936	1930	519	0,98	-87,7	99	460	149	42	7,72	6,7	3,6	4	5,53
	C2	1944	3928	255	2,02	187	11	71	22	41	7,39	3,6	0,7	6	5,92
	C3	1796	3605	278	1,88	117	17	213	59	49	7,43	1,7	0,25	4	4,74
	C4	2143	4299	233	2,27	512	66	334	113	37	6,83	1,9	0,25	8	5,72
	C5	3016	6060	166	3,29	522	302	1456	453	10	6,84	7,8	1,4	20	12,83
	C6	3689	7378	135	4,07	800,9	111	252	94	70	6,71	2,6	1,2	20	7,11
	Moyenne	2009	4040,7143	358,285714	2,1485714	243,46	218,57	710	287,1429	44	7,34	5,1	4,628571	11,7143	10,21
	Ecart type	1096	2186,154	277,861905	1,2304122	395,37	325,95	795,63	393,7476	18,9033	0,62	3,6478304	9,055471	7,86796	8,9778431
HG	C0	955	913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,03	100	4,2	10	14,22
	C1	744	1486	672	0,74	9,8	4	61	1	0,9	8,19	9,3	0,18	18	3
	C2	747	1503	667	0,74	18	13	85	24	1	8,37	4,2	0,27	16	0,8
	C3	726	1499	688	0,74	-5	6	95	8	1	8,26	8	0,34	20	3
	C4	974	1955	512	0,98	6	1	26	1	0,8	8,35	7,7	0,09	14	3,95
	C5	11,75	2353	425	1,22	9,3	2	60	1	0,4	8,24	3,2	0,08	16	2,57
	C6	12,08	2415	414	1,23	14,5	8	98	3	0,9	8,34	2,8	0,16	20	2,96
	Moyenne	595,7	1732	557,428571	0,9457143	6,6857	159,14	686,429	256,8571	1,28571	8,11	19,314286	0,76	16,2857	4,35714286
	Ecart type	411,4	538,49574	117,94894	0,2178575	9,1153	406,08	1628,9	662,8754	1,2144	0,45	35,670269	1,519748	3,54562	4,45205089

### Annexe 8 : Biologie des échantillons traités au Chlorure de Calcium

stations	concentrations	<i>Cryptosporidium</i> spp./L	<i>Cyclospora</i> spp./L	<i>Isospora</i> spp./L	<i>Sarcocystis</i> spp./L	<i>Giardia</i> spp./L	<i>Entamoeba</i> <i>Histoly</i> /L	<i>Entamoeba.coli</i> /L	<i>Balantidium</i> <i>coli</i> /L
CU	C0	686	220	20	720	210	330	4800	60
	C1	170	10	0	20	30	310	670	0
	C2	145	0	0	0	10	220	540	0
	C3	60	0	0	0	0	80	230	0
	C4	10	0	0	0	0	50	192	0
	C5	10	0	0	0	0	20	40	0

	C6	0	0	0	0	0	10	20	0
	Moyenne	154,428571	32,8571429	2,85714286	105,714286	35,7142857	145,714286	927,428571	8,57142857
	Ecart type	244,057273	82,6063528	7,55928946	270,977068	77,6438757	137,944088	1724,88636	22,6778684
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	0	0	20	60	0	0	0	0
	C2	20	100	0	40	0	0	0	0
	C3	20	40	0	0	0	0	0	0
	C4	20	80	0	20	0	0	0	0
	C5	20	0	0	20	0	0	0	0
	C6	10	0	0	0	0	0	0	0
	Moyenne	121,428571	57,1428571	8,57142857	65,7142857	17,1428571	3,57142857	8,57142857	5,71428571
	Ecart type	281,687094	67,753053	15,7359158	114,142768	45,3557368	9,44911183	22,6778684	15,1185789
CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	40	30	10	0	0	0	112	10
	C2	20	24	0	0	0	0	20	10
	C3	10	18	0	0	0	0	0	40
	C4	0	12	0	0	0	0	0	50
	C5	0	10	0	0	0	0	0	20
	C6	0	0	0	0	0	0	0	10
	Moyenne	35,7142857	22	3,57142857	1,71428571	5,71428571	17,1428571	76	27,8571429
	Ecart type	65,2832656	19,3907194	6,26783171	4,53557368	15,1185789	45,3557368	148,61135	19,9702159
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	126	10	20	100	10	240	170	10
	C2	86	0	0	98	0	200	70	0
	C3	74	0	0	96	0	172	48	0
	C4	70	0	0	90	0	84	30	0

	C5	10	0	0	20	0	50	20	0
	C6	10	0	0	10	0	40	20	0
	Moyenne	102,285714	11,4285714	5,71428571	187,714286	21,4285714	148	68,2857143	4,28571429
	Ecart type	112,702727	26,0950643	9,75900073	316,428883	52,417736	88,9868904	57,1014135	7,86795792

### Annexe 9 : Physicochimie des échantillons traité au Moringa

station	concentration	TDS	Conductivité	Résistivité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	Ph	Orthophos	Azote amm	Alcalinité	Oxydabilité
unités		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	Mg/L	UV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1640	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	543	1086	1020	0,97	-439	990	3456	1770	14,3	7	13,8	145	16	8,1
	C2	752	1504	750	0,97	-732	567	2398	345	12,1	6,9	9,02	78	18	3,1
	C3	957	1915	520	1,47	-675	122	1920	258	6,5	6,16	3,47	49	30	2,37
	C4	987	1974	423	1,81	-932	120	1010	120	9,8	6,12	4,1	48	33	3,2
	C5	1275	1550	390	2	-703	94	678	90	9	6,09	4	45	32	1,1
	C6	1419	2841	352	2,3	-431	88	576	90	11,4	6,05	4,88	43,2	34	5,13
	Moyenne	896,6	1650,7143	702,142857	1,4071429	-576,43	517,29	2845,43	799	11,3286	6,48	7,8485714	79,45714	25,5714	5,40142857
	Ecart type	383	692,13624	410,040823	0,6900897	265,21	600,55	3269,34	1111,057	3,27196	0,47	5,0796011	47,28491	8,44309	4,72073239
BS	C0	561	1125	1238	0,4	11	1290	20400	3600	60	7,11	15,8	2	44	19
	C1	230	523	2013	0,19	66,8	210	8540	2250	81	7,86	8,9	3,3	4	0,19
	C2	230	459	2179	0,22	-34,7	425	23400	3800	207	7,81	7	1,5	4	1,77
	C3	252	496	2004	0,24	-48,2	964	9960	4980	197	7,87	7,92	4,6	10	2,57

	C4	317	637	1572	0,31	-168,1	722	10660	2540	29	7,9 6	7,26	2,6	4	2,17
	C5	308	608	1672	0,36	-259,5	275	6720	2560	243	7,9 4	6,99	3,4	4	15,8
	C6	331	663	1511	0,32	-194,3	258	5960	2610	114	8,0 7	6,8	2,5	4	18,76
	Moyenn e	318,4	644,42857	1741,2857 1	0,291428 6	- 89,57 1	592	12234,3	3191,429	133	7,8	8,6671429	2,84285 7	10,5714	8,60857143
	Ecart type	114,9	225,03174	335,21819 5	0,077120 8	119,2 3	413,9 9	6860,81	981,8083	76,421 8	0,3 2	3,2287392	1,02446 3	14,9092	8,7398311
CM	C0	542	1085	922	0,53	-347	924	2184	1120	59	8,4 5	11,4	25	20	29,62
	C1	576	1154	867	0,57	-269	93	447	139	64	7,1 3	13	3,2	8	9,09
	C2	543	1088	920	0,54	296	297	96	423	78	7,1 6	17	4,4	40	27,8
	C3	587	1182	850	0,58	297	192	454	236	133	6,8 3	21	3,3	10	44,24
	C4	646	1294	773	0,64	-287	262	1252	392	101	6,5 9	9,3	4,7	4	24,89
	C5	688	1386	725	0,68	-296	42	335	58	127	6,5 4	8,2	5,7	6	19,75
	C6	736	1485	675	0,74	-298	54	152	78	65	6,4 1	19	4,3	8	21,72
	Moyenn e	616,9	1239,1429	818,85714 3	0,611428 6	- 129,1 4	266,2 9	702,857	349,4286	89,571 4	7,0 2	14,128571	7,22857 1	13,7143	25,3014286
	Ecart type	74,97	153,91603	96,404406 1	0,077980 5	291,7 3	306,7 2	756,061	368,9525	30,94	0,7	4,9392018	7,88241	12,6717	10,725259
HG	C0	955	913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,0 3	100	4,2	10	14,22
	C1	816	1631	613	0,82	150	27	283	46	3,7	8,3 9	8,2	0,03	26	16,2
	C2	1494	2989	335	1,53	45	28	358	63	6,1	8,2 1	10,6	0,1	34	5,53
	C3	1322	2665	377	1,36	-156,6	11	334	33	3,5	8,1 5	10,5	0,05	26	3,78
	C4	992	1877	515	1,04	-177	46	676	175	4,2	8,1 8	8,3	0,4	26	6,32

	C5	1423	2872	350	1,46	-190	16	397	36	7,4	8,27	12,6	0,06	22	10,27
	C6	934	1867	536	0,94	-2010	36	397	87	5,2	8,46	14,8	0,14	22	7,2
	Moyenne	1134	2116,2857	464,285714	1,16	-334,91	177,71	975	314,2857	4,87143	8,1	23,571429	0,711429	23,7143	9,07428571
	Ecart type	271,4	756,81585	108,621229	0,2832549	749,6	398,04	1506,76	639,3793	1,44189	0,48	33,781786	1,543464	7,25062	4,66144419

### Annexe 10 : Biologie des échantillons traités au Moringa

stations	concentrations	<i>Cryptosporidium</i> spp./L	<i>Cyclospora</i> spp./L	<i>Isospora</i> spp./L	<i>Sarcocystis</i> spp./L	<i>Giardia</i> spp./L	<i>Entamoeba. Histoly</i> /L	<i>Entamoeba. coli</i> /L	<i>Balantidium coli</i> /L
CU	C0	686	220	20	720	210	330	4800	60
	C1	260	154	0	0	0	200	4720	0
	C2	80	122	0	0	0	160	3800	0
	C3	60	80	0	0	0	80	1240	0
	C4	20	20	0	0	0	0	700	0
	C5	20	20	0	0	0	0	400	0
	C6	10	10	0	0	0	0	320	0
	Moyenne	162,285714	89,4285714	2,85714286	102,857143	30	110	2282,85714	8,57142857
Ecart type	246,556088	79,9142397	7,55928946	272,134421	79,3725393	126,622799	2064,31356	22,6778684	
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	360	140	20	80	100	0	30	0
	C2	60	60	0	60	0	0	20	0
	C3	740	40	0	40	0	0	20	0
	C4	340	40	0	40	0	0	0	0
	C5	400	120	0	0	0	0	0	0
	C6	40	60	0	0	0	0	0	0
	Moyenne	385,714286	91,4285714	8,57142857	77,1428571	31,4285714	3,57142857	18,5714286	5,71428571
Ecart type	286,987639	55,2052447	15,7359158	111,012655	53,9841247	9,44911183	21,9306266	15,1185789	

CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	40	10	0	0	60	20	10	20
	C2	10	10	0	0	40	0	0	10
	C3	40	30	0	0	25	0	0	0
	C4	20	0	0	0	20	0	0	0
	C5	0	0	0	0	0	0	0	0
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moyenne	41,4285714	15,7142857	2,14285714	1,71428571	26,4285714	20	58,5714286	12,1428571
	Ecart type	63,358391	22,2539456	5,6694671	4,53557368	22,1198037	44,7213595	150,601967	20,3832331
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	20	65	10	186	0	100	90	10
	C2	50	60	10	148	0	44	10	0
	C3	30	10	0	120	0	0	0	0
	C4	20	10	0	106	0	0	0	0
	C5	20	0	0	100	0	0	0	0
	C6	10	0	0	10	0	0	0	0
	Moyenne	70	30,7142857	5,71428571	224,285714	20	56,2857143	31,4285714	4,28571429
	Ecart type	119,7219	32,4587651	7,86795792	302,794603	52,9150262	93,3268705	51,1300862	7,86795792

### Annexe 11 : Physicochimie des échantillons traités à l'Ammoniac

station	concentrations	TDS	Conductivité	Resistivité	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote AMM	Alcalinité	Oxydabilité
		mg/L	µS/cm	Ω/cm	SPU	mV	mg/L	PtCo	FTU	Mg/L	UV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L d'O <sub>2</sub>
CU	C0	343	685	1460	0,33	-123	1640	9880	2920	16,2	7,05	15,67	148	16	14,81
	C1	326	652	1675	0,39	-743	1453	8524	2420	15,2	8,43	13,2	154	42	12

	C2	215	431	1995	0,42	-904	1300	7654	1854	17	9,3 1	12,75	163	24	13,6
	C3	193	286	2435	0,46	12	1232	6432	1329	16,8	9,7 4	12,33	168	18	12
	C4	98	196	8543	0,5	-435	743	532	721	15,8	9,8 9	11,32	189	63	11,2
	C5	65	130	1865	0,58	-284	123	421	321	18	10	11,41	190	43	10,3
	C6	45	90	2154	0,64	-618	93	412	86	19	10, 7	11,22	190	19	9,2
	Moyenne	183,6	352,85714	2875,2857 1	0,474285 7	- 442,1 4	940,5 7	4836,43	1378,714	16,857 1	9,3 1	12,557143	171,714 3	32,1429	11,872857 1
	Ecart type	120,7	242,81161	2519,1397 2	0,108298 5	333,6 4	631,3 7	4225,32	1073,209	1,3049 4	1,2 1	1,5719597	17,9509 9	17,6392	1,9023206 4
BS	C0	561	1125	1238	0,4	11	1290	20400	3600	60	7,1 1	15,8	2	44	7,3
	C1	757	1521	659	0,76	-278,1	3920	20020	4450	101	9,8 1	6,2	5,7	8	1,78
	C2	677	1356	738	0,68	-259,7	3660	14880	4360	71	9,8 4	6	6,8	6	2,17
	C3	544	1092	917	0,54	-264	910	9760	1560	67	9,6 4	7,2	11,4	4	2,76
	C4	832	1629	602	0,82	-271,8	1000	2700	1480	119	9,7 2	4	18,8	4	1,38
	C5	856	1200	617	0,74	21	852	1700	1320	75	9,8 7	5,3	19,2	4	2,32
	C6	902	1275	800	0,86	31	945	674	250	89	9,9 7	3,8	20,1	4	2,21
	Moyenne	732,7	1314	795,85714 3	0,685714 3	- 144,3 7	1796, 7	10019,1	2431,429	83,142 9	9,4 2	6,9	12	10,5714	2,8457142 9
	Ecart type	142,9	201,39513	224,28808	0,163182 6	154,9 1	1370, 9	8578,89	1674,221	21,011 3	1,0 3	4,1064989	7,42495 8	14,8195	2,0111842
CM	C0	542	1085	922	0,53	-347	924	2184	1120	59	8,4 5	11,4	25	20	29,62
	C1	765	1532	654	0,77	-332	43	291	88	71	10, 1	2,4	19,2	16	7,11
	C2	794	1588	630	0,8	-311	36	218	77	99	9,9	2	18,2	32	3,95

	C3	800	1597	626	0,8	-256	60	325	93	209	10,6	11	24,4	64	2,74
	C4	912	1821	549	0,92	-235	131	335	122	244	11,3	11	16	76	5,92
	C5	968	1930	614	0,94	-223	55	343	112	248	11,6	11,1	26	82	3,32
	C6	787	2034	563	0,98	-214	64	364	143	264	12,1	11,2	26,2	87	2,1
	Moyenne	795,4	1655,2857	651,142857	0,82	-274	187,57	580	250,7143	170,571	10,6	8,5857143	22,14286	53,8571	7,82285714
	Ecart type	134,5	314,8289	125,188429	0,1513275	54,936	326,22	708,902	383,9695	90,4412	1,23	4,3659396	4,213809	30,3888	9,77331181
HG	C0	955	913	524	0,97	-5,8	1080	4380	1760	4	7,03	100	4,2	10	14,22
	C1	1707	3417	293	1,78	-243	51	389	58	4,8	8,51	10,2	1,37	38	8,29
	C2	1763	3401	289	1,89	-199	49	267	58	7	7,6	10	0,78	30	4,14
	C3	2100	4202	238	2,22	-276	52	438	59	7,2	9,3	9,6	1,65	104	4,14
	C4	1577	3125	319	1,64	-249	131	325	184	10,2	8,61	10,8	0,93	22	7,7
	C5	1508	3800	292	1,7	-254	96	422	54	10,86	9,45	11	2,2	44	6,5
	C6	1800	4204	347	1,9	-263	48	456	83	11,2	10,6	19,6	3,1	82	7,1
	Moyenne	1630	3294,5714	328,857143	1,7285714	-212,83	215,29	953,857	322,2857	7,89429	8,73	24,457143	2,032857	47,1429	7,44142857
	Ecart type	352,8	1127,8961	92,1907959	0,383772	94,405	382,61	1512,26	635,6615	2,91723	1,2	33,493624	1,240641	33,7808	3,40435226

## Annexe 12 : Biologie des échantillons traités à l'Ammoniac

stations	concentrations	<i>Cryptosporidium</i> spp./L	<i>Cyclospora</i> spp./L	<i>Isospora</i> spp./L	<i>Sarcocystis</i> spp./L	<i>Giardia</i> spp./L	<i>Entamoeba. Histoly</i> /L	<i>Entamoeba.coli</i> /L	<i>Balantidium coli</i> /L
CU	C0	686	220	20	720	210	,330	4800	60
	C1	302	110	0	50	70	230	2300	0
	C2	100	20	0	10	10	120	1850	0

	C3	10	0	0	0	0	90	750	0
	C4	0	0	0	0	0	50	215	0
	C5	0	0	0	0	0	30	90	0
	C6	0	0	0	0	0	0	10	0
	Moyenne	156,857143	50	2,85714286	111,428571	41,4285714	121,428571	1430,71429	8,57142857
	Ecart type	258,092637	85,0490055	7,55928946	268,975127	78,6190332	118,663189	1734,01372	22,6778684
BS	C0	760	180	40	320	120	25	60	40
	C1	120	60	0	240	0	0	0	0
	C2	74	20	0	80	0	0	0	0
	C3	60	14	0	36	0	0	0	0
	C4	40	20	0	20	0	0	0	0
	C5	0	20	0	0	0	0	0	0
	C6	0	6	0	10	0	0	0	0
	Moyenne	150,571429	45,7142857	5,71428571	100,857143	17,1428571	3,57142857	8,57142857	5,71428571
	Ecart type	272,021358	61,6487748	15,1185789	127,142215	45,3557368	9,44911183	22,6778684	15,1185789
CM	C0	180	60	15	12	40	120	400	55
	C1	160	72	20	10	42	5	10	5
	C2	92	60	10	0	30	0	0	0
	C3	50	48	0	0	25	0	0	0
	C4	45	40	0	0	20	0	0	0
	C5	45	24	0	0	20	0	0	0
	C6	40	30	0	0	10	0	0	0
	Moyenne	87,4285714	47,7142857	6,42857143	3,14285714	26,7142857	17,8571429	58,5714286	8,57142857
	Ecart type	59,3123291	17,4519749	8,52168103	5,39841247	11,4994824	45,0792952	150,601967	20,5577004
HG	C0	340	70	20	900	140	250	120	20
	C1	200	8	0	10	100	86	42	0

	C2	120	0	0	0	80	50	10	0
	C3	110	0	0	0	76	0	0	0
	C4	100	0	0	0	54	0	0	0
	C5	60	0	0	0	20	0	0	0
	C6	50	0	0	0	10	0	0	0
	Moyenne	140	11,1428571	2,85714286	130	68,5714286	55,1428571	24,5714286	2,85714286
	Ecart type	100,82989	26,1242453	7,55928946	339,558537	45,2358897	92,2955914	44,7915808	7,55928946

### Annexe 13 : Correlation physicochimie-biologie des échantillons traités au Gypse

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Correlation Coefficient	-,177	-,428*	,426*	-,452*	-,473*	,352	,376*	,280	-,058	,210	,664**	,310	,288	,427*
<i>Cyclospora</i> spp.	Correlation Coefficient	,114	-,121	,096	-,119	,173	,524*	,397*	,473*	,465*	-,252	,511**	,136	-,045	,446*
<i>Isospora</i> spp.	Correlation Coefficient	-,101	-,329	,310	-,310	-,132	,367	,333	,372	,251	-,164	,575**	,168	,289	,463*
<i>Sarcocystis</i> spp.	Correlation Coefficient	-,194	-,271	,259	-,284	-,064	,121	,103	,166	-,123	,114	,621**	-,149	,394*	,276
<i>Giardia</i> spp.	Correlation Coefficient	-,204	-,451*	,412*	-,423*	-,409*	,558*	,512**	,451*	,058	-,184	,698**	,401*	,419*	,656**
<i>Entamoeba histoly</i>	Correlation Coefficient	-,388*	-,440*	,387*	-,406*	-,695*	,048	,098	-,064	-,567**	,206	,330	,251	,497**	,317
<i>Entamoeba coli</i>	Correlation Coefficient	-,380*	-,507**	,486**	-,486**	-,807*	,141	,235	,027	-,375*	,165	,264	,503*	,312	,338
<i>Balantidium coli</i>	Correlation Coefficient	,443*	,269	-,286	,289	,212	,192	,113	,137	,348	-,258	,143	-,050	,242	,746**

### Annexe 14 : Correlation physicochimie-biologie des échantillons traités au Moringa

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	OR P	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
Criptosporidium spp.	Correlation Coefficient	- <b>,555**</b>	<b>-,621**</b>	<b>,599**</b>	<b>-,509**</b>	,300	<b>,731**</b>	<b>,825**</b>	<b>,759**</b>	,214	,165	,043	,123	-,239	-,273
Cyclospora spp.	Correlation Coefficient	-,302	-,334	,341	-,197	,184	<b>,579**</b>	<b>,537**</b>	<b>,504**</b>	-,054	,009	,019	,295	,071	-,138
Isospora spp.	Correlation Coefficient	-,125	-,200	,138	-,221	<b>,460*</b>	,326	,265	,232	-,189	,235	,358	-,088	,150	,076
Sarcocystis spp.	Correlation Coefficient	,153	,057	-,126	-,046	,466*	-,014	,091	-,011	<b>-,512**</b>	<b>,566**</b>	,307	<b>-,508**</b>	,178	,032
<i>Giardia</i> spp.	Correlation Coefficient	-,325	<b>-,391*</b>	,323	<b>-,396*</b>	<b>,433*</b>	<b>,505**</b>	,220	<b>,377*</b>	,172	-,054	<b>,598**</b>	,135	-,056	,333
<i>Entamoeba histoly</i>	Correlation Coefficient	,027	-,036	-,001	,092	,008	<b>,410*</b>	,180	,153	-,353	,017	,320	,296	,201	,099
<i>Entamoeba coli</i>	Correlation Coefficient	,096	,055	-,080	,278	-,296	<b>,392*</b>	,281	,157	-,317	-,358	-,116	<b>,648**</b>	,373	-,282
<i>Balantidium coli</i>	Correlation Coefficient	-,188	-,243	,185	-,253	,319	<b>,408*</b>	,073	,228	-,098	,158	<b>,485**</b>	,050	,209	<b>,391*</b>

### Annexe 15 : Corrélation physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Eau de Javel

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
Criptosporidium spp.	Correlation Coefficient	- ,317	<b>-,615**</b>	<b>,636**</b>	<b>-,521**</b>	-,105	<b>,661*</b>	<b>,712**</b>	<b>,605**</b>	,369	,040	<b>,549**</b>	<b>,491*</b>	,043	,233
Cyclospora spp.	Correlation Coefficient	,040	-,316	<b>,431*</b>	-,244	-,208	<b>,831*</b>	<b>,769**</b>	<b>,721**</b>	,098	,065	<b>,415*</b>	<b>,626*</b>	-,140	-,093
Isospora spp.	Correlation Coefficient	- ,253	<b>-,540**</b>	,367	<b>-,422*</b>	,145	<b>,583*</b>	<b>,602**</b>	<b>,603**</b>	,351	-,085	<b>,454*</b>	,300	,051	,340
Sarcocystis spp.	Correlation Coefficient	,286	-,064	,167	,067	-,482*	<b>,734*</b>	<b>,613**</b>	<b>,620**</b>	-,226	<b>-,402*</b>	,179	<b>,528*</b>	,020	-,037
<i>Giardia</i> spp.	Correlation Coefficient	,274	-,031	,200	,040	-,517*	<b>,767*</b>	<b>,635**</b>	<b>,626**</b>	-,176	-,297	,208	<b>,624*</b>	-,030	-,130

<i>Entamoeba histoly</i>	Correlation Coefficient	,057	-,226	,397*	-,163	-,628*	,441*	,397*	,318	,134	-,576*	,124	,463*	,267	,419*
<i>Entamoeba coli</i>	Correlation Coefficient	,337	-,044	,221	-,015	-,620*	,454*	,390*	,308	-,197	-,367	-,010	,435*	,308	,108
<i>Balantidium coli</i>	Correlation Coefficient	-,319	-,582**	,537**	-,488**	-,174	,331	,375*	,325	,417*	-,407*	,313	,236	,282	,694**

### Annexe 16 : Correlation physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Eau Oxygénée

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
<i>Cryptosporidium spp.</i>	Correlation Coefficient	,069	,066	,069	-,048	,348	,481*	,555**	,482**	,123	,043	,306	,314	,269	,125
<i>Cyclospora spp.</i>	Correlation Coefficient	,294	,289	-,092	,225	-,081	,471*	,527**	,654**	-,046	-,318	,506**	,465*	,049	-,077
<i>Isospora spp.</i>	Correlation Coefficient	-,038	-,033	,189	-,111	,005	,547*	,496**	,643**	,282	-,342	,606**	,310	-,095	,413*
<i>Sarcocystis spp.</i>	Correlation Coefficient	,297	,294	-,171	,146	,386*	,126	,271	,135	-,121	,240	,484**	-,155	,345	,290
<i>Giardia spp.</i>	Correlation Coefficient	,311	,307	-,160	,166	,222	,223	,309	,269	-,094	,200	,504**	-,051	,297	,322
<i>Entamoeba histoly</i>	Correlation Coefficient	,612*	,615**	-,466*	,593**	-,315	,175	,163	,361	-,532**	-,303	,356	,248	-,145	-,169
<i>Entamoeba coli</i>	Correlation Coefficient	,418*	,413*	-,297	,414*	-,339	,332	,300	,588**	-,131	-,489*	,257	,507*	-,327	-,171
<i>Balantidium coli</i>	Correlation Coefficient	,134	,137	-,058	,020	,180	,313	,304	,406*	,290	-,104	,454*	,055	,092	,505**

### Annexe 17 : Correlation physicochimie-biologie des échantillons traités au Chlorure de Calcium

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
Criptosporidium spp.	Correlation Coefficient	-,557*	-,605**	,613**	-,548**	-,118	,550**	,580**	,633**	,216	,198	,407*	,506**	,506**	,099
Cyclospora spp.	Correlation Coefficient	-,332	-,386*	,400*	-,337	-,375*	,419*	,463*	,475*	,181	,241	,451*	,497**	,466*	,312
Isospora spp.	Correlation Coefficient	,043	,111	-,091	,150	,068	,125	,216	,152	,032	,705**	-,041	-,199	,305	,368
Sarcocystis spp.	Correlation Coefficient	-,382*	-,413*	,395*	-,362	-,267	,410*	,376*	,536**	-,107	,060	,424*	,596**	,593**	,008
<i>Giardia</i> spp.	Correlation Coefficient	-,177	-,312	,300	-,273	-,416*	,312	,297	,439*	-,061	-,009	,397*	,629**	,599**	,173
<i>Entamoeba histoly</i>	Correlation Coefficient	-,112	-,255	,206	-,181	-,480**	,326	,295	,446*	-,138	-,120	,485**	,713**	,675**	,225
<i>Entamoeba coli</i>	Correlation Coefficient	-,262	-,318	,288	-,266	-,446*	,211	,210	,333	-,167	-,014	,324	,572**	,648**	,193
<i>Balantidium coli</i>	Correlation Coefficient	,290	,192	-,211	,222	-,470*	,142	,185	,097	,216	,126	,381*	,322	,025	,620**

### Annexe 18 : Correlation physicochimie-biologie des échantillons traités à l'Ammoniac

Espèces		TDS	Conductivité	Resistvite	Salinité	ORP	MES	Couleur	Turbidité	Nitrate	pH	Orthophos	Azote	Alcalinité	Oxydabilité
Criptosporidium spp.	Correlation Coefficient	,155	,132	-,190	-,063	-,041	,176	,237	,200	-,405*	-,736**	,215	-,468*	-,013	,359
Cyclospora spp.	Correlation Coefficient	-,188	-,173	,161	-,393*	,020	,329	,267	,477*	,375*	-,193	,089	,075	-,142	,054
Isospora spp.	Correlation Coefficient	-,142	-,213	,135	-,291	,081	,083	,135	,213	-,065	-,391*	,206	-,068	-,151	,403*

Sarcocystis spp.	Correlation Coefficient	-,241	-,312	,245	-,431*	,006	,692**	,735**	,728**	-,057	-,579**	,127	-,110	-,541**	,136
Giardia spp.	Correlation Coefficient	,378*	,296	-,397*	,192	,160	-,190	-,182	-,188	-,452*	-,582**	,285	-,436*	,310	,420*
Entamoeba histolytica	Correlation Coefficient	-,381*	-,511**	,382*	-,474*	-,066	,331	,304	,317	-,531**	-,630**	,594**	,259	-,076	,818**
Entamoeba coli	Correlation Coefficient	-,583*	-,669**	,583**	-,625**	-,193	,357	,332	,337	-,472*	-,512**	,642**	,445*	-,056	,865**
Balantidium coli	Correlation Coefficient	-,175	-,261	,166	-,337	,133	,238	,281	,316	-,140	-,470*	,358	-,015	-,180	,496**

\*= corrélation significative au seuil 5 %

\*\*= corrélation significative au seuil 1 %

CONFÉRENCES NATIONALES ET  
INTERNATIONALES

## **Participation aux Conférences Nationales et internationales**

- 1) **TSOMENE NAMEKONG Pierre**, AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, KAPSO Mireille Conference of the Cameroon Forum For Biological Sciences (CAFOBIOS), 2018 ; poster
- 2) **TSOMENE NAMEKONG Pierre** et AJEAGAH Gideon AGHAINDUM . International PKFokam Conference on Science & Technology (6<sup>th</sup>) ; 11 – 13 June 2019, Yaoundé-Cameroon, poster and oral presentation. BEST Oral Presentation
- 3) **TSOMENE NAMEKONG Pierre**, AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, KAPSO Mireille Conference BIOSCIENCE November at the University of Maroua, Cameroun, 2019, oral présentation
- 4) **TSOMENE NAMEKONG Pierre**. Symposium scientifique pour les 60 ans du Centre Pasteur du Cameroun, 14 – 15 Novembre 2019 au palais des congrès, Yaoundé-Cameroun ;
- 5) **TSOMENE NAMEKONG Pierre** et AJEAGAH Gideon . DAAD Alumni WORKSHOP : Workshop on Geographic Systems for Improved Food Security and Better Health in Cameroon held from Nov 30 – Dec 2<sup>nd</sup>, 2020, at The National Advanced School of Public Works, Yaoundé-Cameroon .
- 6) **TSOMENE NAMEKONG Pierre** et AJEAGAH Gideon Conférence BIOSCIENCE Décembre 2020, Université de Yaoundé I Cameroun, Présentation orale
- 7) **TSOMENE NAMEKONG Pierre** .1st International Microbiology day held on 25th and 26th November, in Hôtel La Falaise Yaoundé, Cameroon-participant
- 8) **TSOMENE NAMEKONG Pierre** .Congres conjoint SoAP, SAV, SCP, SFMTSI & CaSE, du 1er au 03 décembre 2021 à L'UCAC Yaoundé, Cameroun
- 9) **TSOMENE Pierre** Global Biodiversity Information Facility ; Faculté des Sciences- Université de Yaoundé 1 ; 1<sup>er</sup>-3 mars 2022.

**PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES**

## Publications scientifiques

1) **Tsomene Namekong Pierre** and Ajeegah Gideon Aghaindum.,2020. Bio Evaluation of the Quality of Underground Water by the Intestinal Protozoan in an Equatorial Zone (Yaounde, Cameroon). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies* (IJPSAT). ISSN : 2509-0119. Vol. 23 No. 10, pp 358-368.

2) **Tsomene Namekong Pierre.**, AJEAGAH Gideon Aghaindum., Fotseu Kouam Arnold., Asi Quiggle Atud., Okoa .Amougou Therèse Nadège., & Kapso Tchouankep Mireille.,2021. Effets De L'extrait aqueux du *Moringa Oleifera* Sur L'abondance des oocystes de protozoaires intestinaux des eaux usées d'origine hospitalière à Yaoundé-Cameroun. *European Scientific Journal (ESJ)*.

ISSN : 1857-7881 (Print) e - ISSN :1857-7431-12 Vol.17,

No.43 ,pp 58-72. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p58>

# *Bio- Evaluation De La Qualité Des Eaux De Sources Par Les Protozoaires Intestinaux En Zone Equatoriale (Yaoundé, Cameroun)*

## *Bio Evaluation of the Quality of Underground Water by the Intestinal Protozoan in an Equatorial Zone (Yaounde, Cameroon)*

TSOMENE NAMEKONG Pierre and AJEAGAH Gideon AGHAINDUM

Laboratoire d'hydrobiologie et environnement, Université de Yaoundé 1

BP 337 Yaoundé, Cameroun.



**Resumé** – Dans le but d'évaluer la qualité physicochimique et biologique des eaux de source consommés dans l'arrondissement de Yaoundé 4 (Kondengui), une étude a été menée de juin à novembre 2017. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur le terrain et au laboratoire. L'observation des kystes et des oocystes a été faite au microscope IVYMEN à l'objectif 40X et 100X après concentration des échantillons par la méthode de sédimentation et la technique de Faust. Les résultats physico-chimiques révèlent que les eaux des sources étudiées sont légèrement acides ( $6,18 \pm 0,08$  U.C), moyennement minéralisées ( $324,26 \pm 18,18$   $\mu$ S/cm) avec une température moyenne ( $24,15 \pm 0,12$  °C). Les analyses biologiques montrent la présence des kystes d'amibes ( $5 \pm 0,4$  parasite/l), de Ciliés ( $1 \pm 0,2$  parasite/l), de Flagellés ( $4 \pm 0,3$  parasite/l) et des sporozoaires ( $11 \pm 2$  parasite/l). Les sporozoaires ont dominé avec l'espèce *Cryptosporidium* spp. ( $45 \pm 6$  parasites/l). Les densités les plus élevées des protozoaires ont été enregistrées pendant la petite saison sèche (PSS). La présence de ces microorganismes indique une pollution fécale des eaux des sources étudiées. La dégradation de la qualité de ces eaux est favorisée par leur proximité des sources de pollution et aux conditions d'hygiène précaires des populations. Ces eaux doivent être traitées avant toute consommation.

**Mots clés** – Eaux de sources, kystes, oocystes, pathogène, Yaoundé

**Abstract** – In order to assess the physicochemical and biological quality of spring waters consumed in Yaoundé cysts and protozoan oocysts were isolated and identified in spring in the Yaounde 4th district from June to November 2017 following a monthly sampling frequency. The physicochemical analyzes were carried out in the field and in the Laboratory. The observation of the cysts and Oocysts of carried out under the microscope of the IVYMEN brand in the 40X objective after concentration. samples by the sedimentation method and the Faust technique. The physicochemical results reveal that the waters of the studied sources are slightly acidic ( $6.18 \pm 0.08$  UC), moderately mineralized ( $324.26 \pm 18.18$   $\mu$ S / cm) with an average temperature ( $24.15 \pm 0,12$  ° C). The results of the biological analyzes reveal the presence of the forms of resistance of the intestinal protozoa such as: amoeba cysts ( $5 \pm 0.4$  parasite/l), flagellates ( $4 \pm 0,3$  parasite/l) ciliates ( $1 \pm 0,2$  parasite/l), oocysts and Sporozoan sporocyst (*Cryptosporidium* spp ...). In the samples studied, an average of 45 cysts and oocysts / l was identified with sizes ranging from 4 to 63  $\mu$ m. Small cysts and oocysts are the most abundant with a predominance of *Cryptosporidium* spp. Oocysts. (2672 oocysts). With the highest cystic densities recorded during the small Dry Season (PSS). The presence of all these microorganisms indicates faecal pollution of the water. The degradation of the water quality is favored by their proximity to sources of pollution and precarious hygienic conditions. These waters must be treated before any consumption.

**Keywords** – Spring, Cysts, Oocysts, pathogen, Yaounde

## I. INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie des êtres vivants. L'avoir à sa disposition en quantité et en qualité suffisante contribue au maintien de la santé de l'homme et de son environnement. Mais depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle l'eau est reconnue également comme un moyen de contamination des êtres vivants et de leur environnement [3]. En effet 1,1 milliards d'êtres vivants dans le monde n'ont pas accès à l'eau [10]. Au Cameroun, l'approvisionnement en eau potable en quantité suffisante reste un problème majeur [6]. En fait, le volume d'eau produit par la CAMWATER (Cameroon water) et distribué par la Camerounaise des eaux (CDE), ne couvre pas les besoins en eau des populations. La ville de Yaoundé est une grande agglomération à forte croissance démographique où l'accès à l'eau potable reste un privilège pour certaines populations. Cette insuffisance oblige une grande partie de la population à recourir aux eaux souterraines en l'occurrence les puits et les sources [7] sans se préoccuper de leur qualité [8]. Il est démontré que le milieu souterrain est un habitat qui héberge de nombreux parasites parmi lesquels les protozoaires intestinaux, qui sont responsables des maladies qui affectent la population [18].

L'évaluation biologique de la qualité des eaux passe par la recherche des organismes indicateurs de contamination fécale. Les protozoaires, au moins ceux considérés comme enteropathogènes ou entériques, sont associés aux maladies hydriques *et peuvent de ce fait être de bons indicateurs pour l'évaluation des risques sanitaires vu leur taux de prévalence élevé, leur grand pouvoir d'infection et leur résistance à la désinfection*. C'est dans ce sens qu'une étude visant à évaluer la qualité physicochimique et microbiologique des eaux de sources a été menée au quartier Kondengui à Yaoundé (Cameroun).

Cette étude consiste à évaluer la dynamique des différentes formes de résistance des protozoaires intestinaux présents dans les eaux de sources du quartier Kondengui.

## II. MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Cette étude a été menée à Yaoundé, capitale politique du Cameroun et chef-lieu du Département du Mfoundi. Plus

précisément au quartier Kondengui qui est caractérisé par quatre saisons, dont deux humides et deux sèches, qui peuvent être subdivisées de la manière suivante : une grande saison sèche (GSS) de mi-novembre à mi-mars, une petite saison des pluies (PSP) de mi-mars à mai, une petite saison sèche (PSS) de juin à août, une grande saison des pluies (GSP) de septembre à novembre [17]. Il repose principalement sur une colline de 745 m d'altitude comprenant trois flancs (sud, nord et ouest). Il est traversé par deux cours d'eau à la limite des quartiers Anguissa et Nkolndongo et le cours d'eau Akwé au nord-sud-Est limitrophe avec le quartier Essomba pour le cours d'eau Nton [16]. Les stations d'échantillonnage ont été choisies en fonction du niveau piézomètre, la présence des sources de pollution, l'intérêt des populations pour le point d'eau. Ainsi 10 sources ont été choisies dénommées de S1(source 1) à S10 (source 10) (figure 1). La deuxième phase allant de juin à novembre 2017, a consisté à l'échantillonnage et à la mesure des paramètres physicochimiques et biologiques suivant une fréquence mensuelle de prélèvements. *Dans l'ensemble, ces eaux de sources sont utilisées pour la boisson, la cuisson des repas, la lessive, l'irrigation des jardins et les activités ménagères*

### Etude des paramètres physico-chimiques

Les prélèvements d'eau pour les analyses physico-chimiques se sont déroulés sur le terrain suivant les recommandations de Rodier *et al.* [13]. Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide des flacons en polyéthylène à double bouchage de 250 et 1000 ml et rapportés au laboratoire en enceinte réfrigérée. La température, la conductivité électrique, les TDS (Solides Totaux Dissous) et le pH (Potentiel D'Hydrogène) ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre. Les MES (Matières En Suspension) la turbidité et la couleur ont été mesurés au laboratoire à l'aide d'un spectrophotomètre. Les mesures des teneurs de l'eau en orthophosphates ont été faites par colorimétrie au spectrophotomètre alors que les mesures de la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub> dissous, oxygène dissous l'alcalinité, l'oxydabilité ont été réalisés par volumétrie.

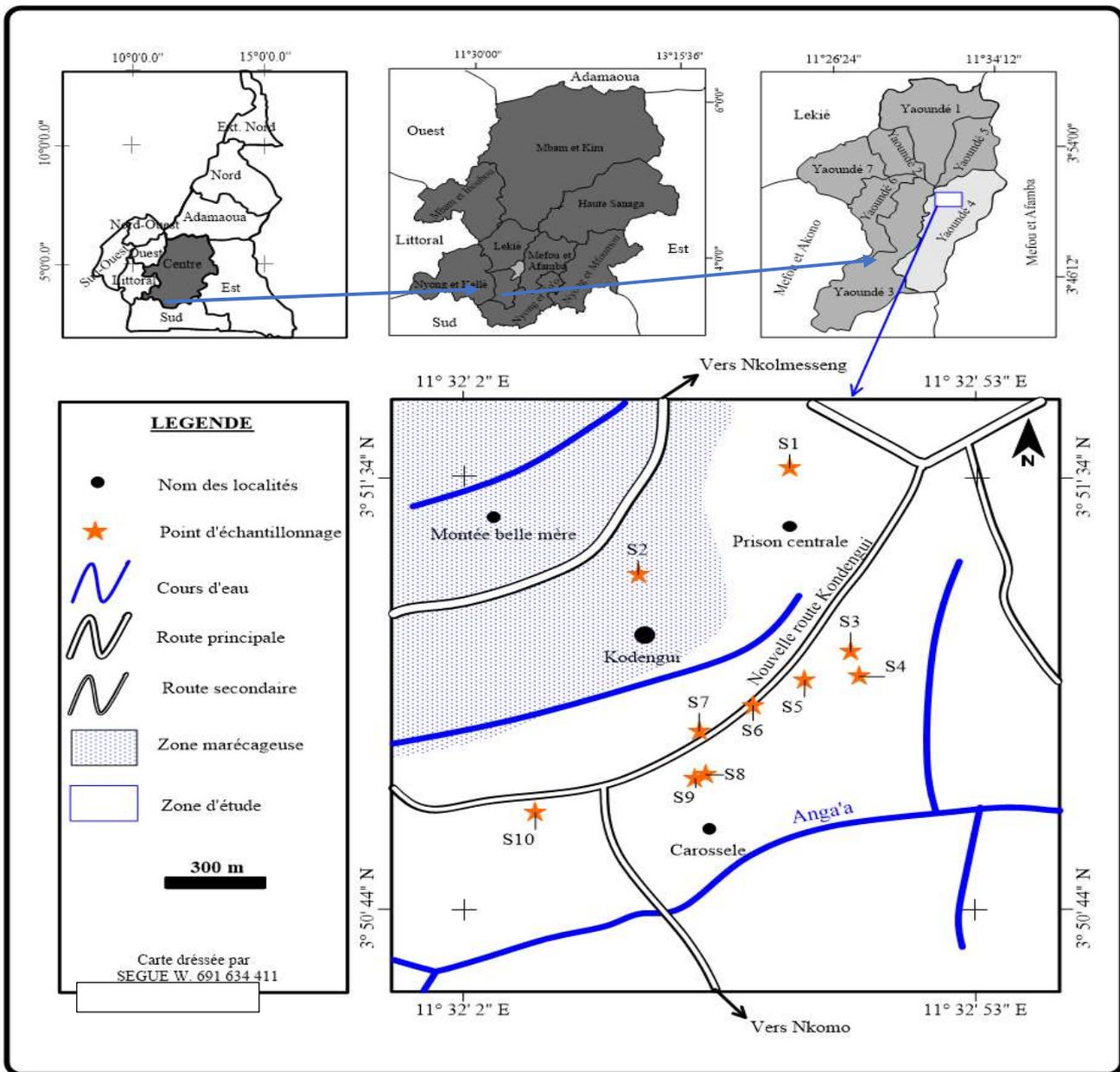


Figure 1 : Carte du quartier Kondengui présentant les différentes stations d'étude

### Identification des protozoaires

Pour l'identification des protozoaires intestinaux deux méthodes ont été utilisées :

- la méthode de sédimentation : après homogénéisation du culot, 5 ml de l'échantillon ont été prélevés et introduits dans un tube à essai. Puis, 1 ml de formol à 10 % a été ajouté pour assurer la fixation des organismes, 5 ml d'eau distillée et 2 gouttes de lugol ont été successivement ajoutés. Le mélange obtenu a été porté à la centrifugation à 1500 tours/min pendant 5 min. Par la suite, 1 à 2 gouttes du culot ont été

prélevées et déposées sur une lame porte-objet et recouvertes d'une lamelle ;

- la technique de Faust : après homogénéisation du culot, 5 ml de l'échantillon ont été prélevés et introduits dans un tube à essai. À cela, 1 ml de formol à 10 % et 3 ml de sulfate de zinc à 33 % (densité spécifique de 1,18) ont été successivement ajoutés. Le mélange obtenu a été centrifugé à 500 tours/min pendant 4 à 5 min. Ensuite, la couche superficielle du surnageant est prélevée à l'aide d'une pipette et étalée entre lame et lamelle.

L'identification des organismes a été réalisée selon plusieurs critères, notamment la taille, la forme, le nombre de noyaux, le contenu du cytoplasme, ceci à l'aide des lames de l'OMS [9], Viviane Guillaume [19] et Cheikhrouhou Fatma [5]. La taille des kystes a été mesurée à l'aide du micromètre oculaire. Le dénombrement a été effectué à l'aide de la formule proposée par Ajeegah *et al* [1]. Le nombre (x) de kystes contenus dans 11 d'échantillon a été obtenu par la formule :  $x = \frac{y \cdot Vx}{Vy}$ , avec  $Vx$  = le volume du culot dans 11 d'échantillon,  $Vy$  = le volume du culot utilisé pour observer,  $y$  le nombre de kystes observé dans  $Vy$ . Les résultats sont donnés en nombre de kystes /l.

#### Test de corrélation de rang « r » de Spearman

La distribution ne suivant pas une loi normale d'après le test de Kolmogorov et Smirnov, les corrélations de rang de Spearman ont permis d'évaluer le degré de liaison entre les paramètres physicochimiques d'une part, et physicochimiques et biologiques d'autre part. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 16.0 et les résultats appréciés au seuil de sécurité de 99 % ( $P < 0,01$ ) et 95 % ( $P < 0,05$ ).

#### Tests de comparaison des moyennes

La variation spatiale des paramètres physico-chimiques et biologiques mesurés a été testée à l'aide du test de Kruskal-Wallis associé au test de Mann-Whitney. Le test de Kruskal-Wallis a ainsi permis de déterminer si un paramètre varie de façon significative d'une station à une autre. Le test de Mann-Whitney appliqué aux paramètres qui varient d'une station à une autre a permis de déceler la source de variation. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 20.0 et les résultats appréciés au seuil de sécurité de 95 % ( $P < 0,05$ ).

### III. RESULTATS

Les valeurs de la température obtenues pendant la période d'étude varient entre  $23,33 \pm 2$  °C à la source S8 en GSP et  $25 \pm 1,73$  °C à la source S10 en PSS (figure 2A). Les valeurs des matières en suspension (MES) obtenues varient de  $1 \pm 1$  mg/l à la source S7 en PSS à  $33,33 \pm 24,78$  mg/l observée à la source S4 en PSS (figure 2 B) avec une valeur moyenne de  $7,11 \pm 1,43$  mg/l. Les valeurs de la turbidité ont varié de  $0 \pm 0$  FTU à  $40 \pm 30,19$  FTU respectivement aux stations S1 et S8 pendant la GSP (figure 2 C), avec une moyenne de  $12,28 \pm 2,36$  FTU. Les valeurs de la couleur enregistrées pendant la période d'étude ont varié de  $5,33 \pm 6,11$  Pt.Co à  $113,33 \pm 23,50$  Pt-Co respectivement au niveau des sources S1 et S8 en PSS et GSP (figure 2D).

Les valeurs du pH enregistré pendant l'étude fluctuent entre  $5,75 \pm 0,49$  à la source S2 pendant la GSP et  $6,79 \pm 0,46$  U.C à la source S3 durant la PSS (figure 3A). La teneur en oxygène dissous varie de  $0,33 \pm 0,21$  mg /L à la source S1 pendant la PSS à  $0,78 \pm 0,23$  mg /l enregistrée à la source S3 pendant la GSP (figure 3B). Les valeurs de l'oxydabilité varient de  $0,98 \pm 0,39$  mg/l d'O<sub>2</sub> en PSS à la source S5 à  $4,92 \pm 5,16$  mg/l d'O<sub>2</sub> en GSP à la source S3 (figure 3C).

L'analyse biologique (figure 4) révèle la présence des kystes, oocystes des protozoaires entéropathogènes. Sur le plan spatial, les densités les plus élevées de kystes, oocystes des protozoaires entériques ont été obtenues à la source S1 ( $763 \pm 43$  parasites/l). Sur le plan temporel ces microorganismes ont été plus abondantes en PSS. Des quatre groupes d'organismes identifiés les coccidies ont été le plus représentés avec une abondance élevée d'oocystes de *Cryptosporidium* sp., tandis que celui des ciliés a été le moins représenté.

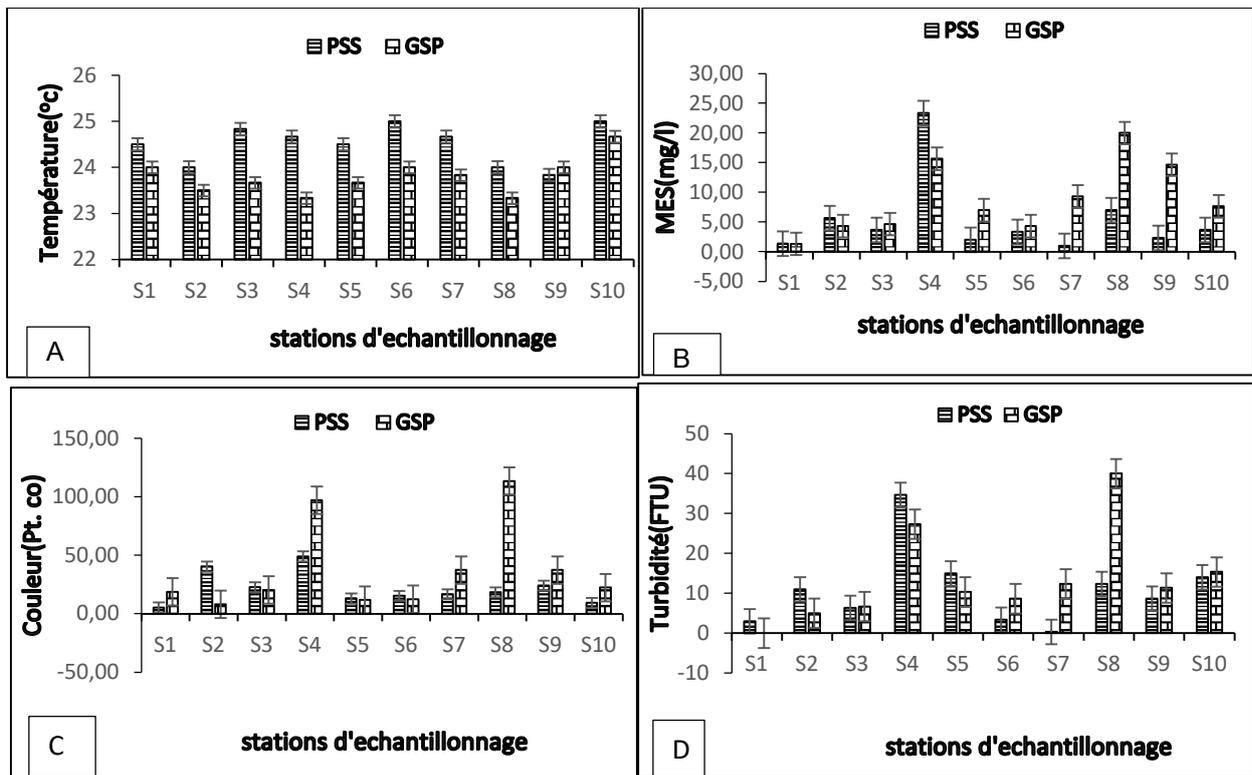


Figure 2: Variation spatiotemporelle des variables physiques dans les eaux de sources : Température (A) , Matières en Suspension (B), Couleur (C), Turbidité (D).

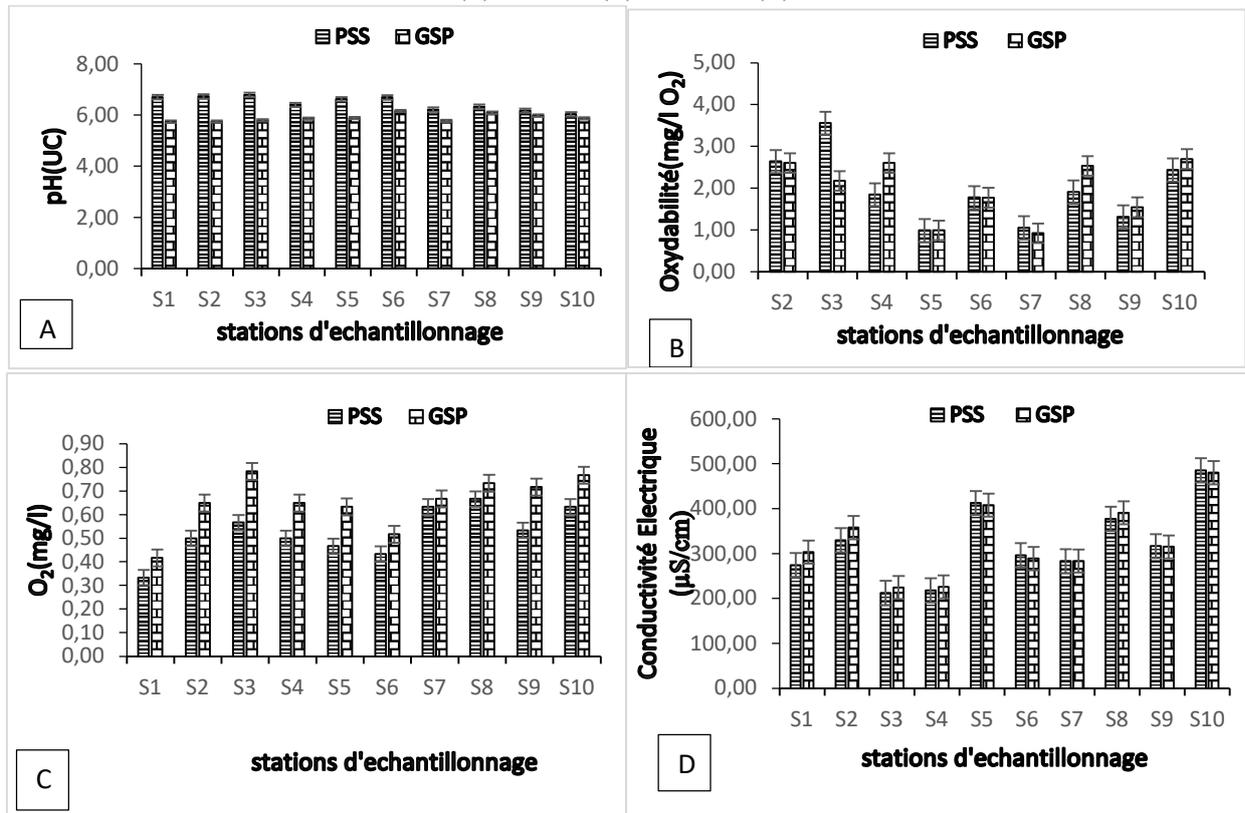


Figure 3 : Variations spatiotemporelles des variables chimiques mesurées dans les eaux de sources pendant la période d'étude : pH (A), oxygène dissous (B) Oxydabilité (C), conductivité électrique (D)

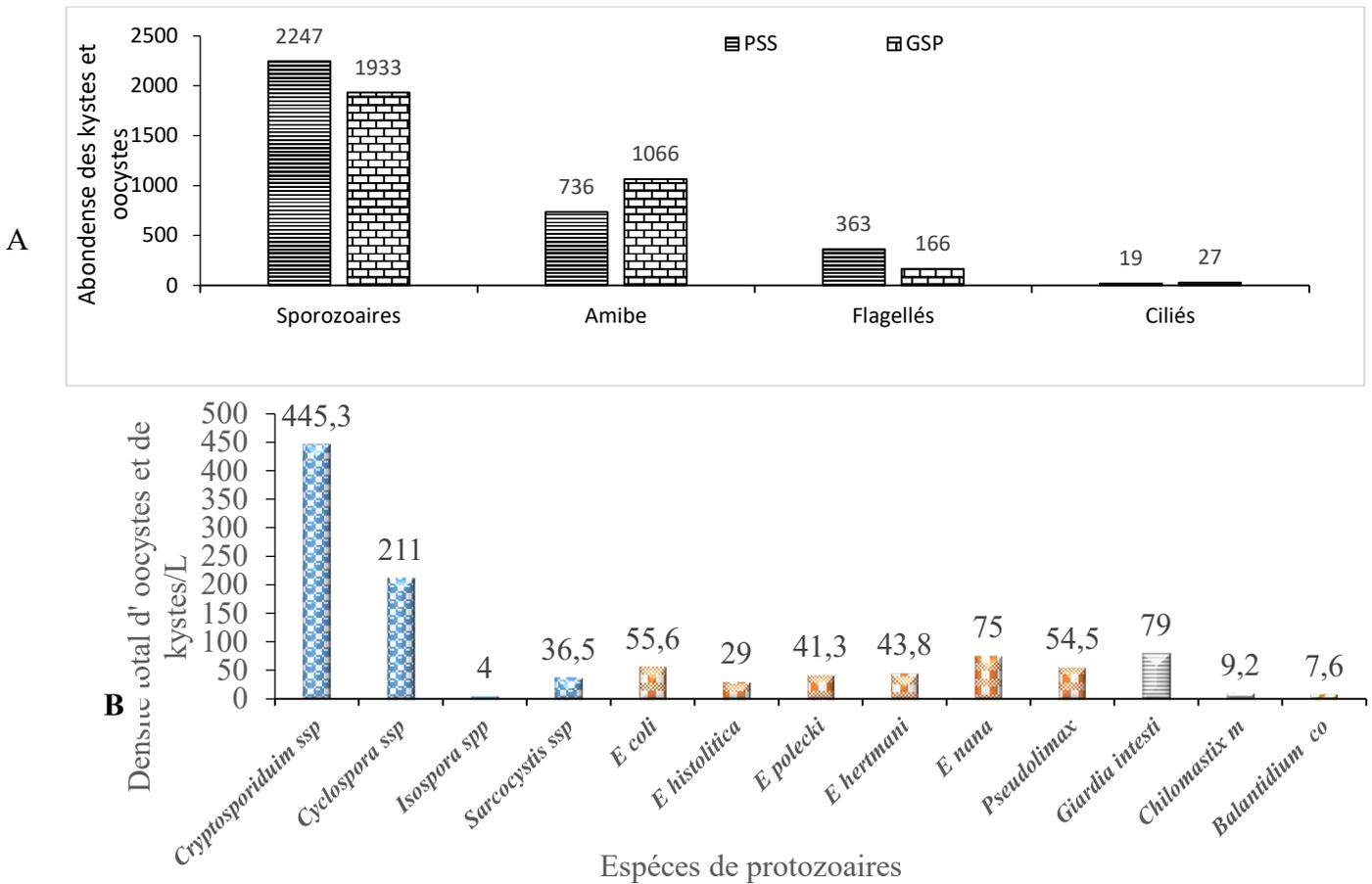


Figure 4 : Abondance relative des différents groupes (A) et densité moyenne des différentes espèces (B) de protozoaires entéropathogènes identifiés pendant la période d'étude.

#### IV. DISCUSSION

Les valeurs de la température obtenues pendant l'étude montrent que les eaux de sources ont une température qui se rapproche de celle de l'air 25°C ce qui serait dû à l'ouverture du système aquifère. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Tuékam Kayo [14] dans les eaux souterraines du bassin versant du Mfoundi.

Les teneurs en MES relativement élevées pendant la petite saison sèche (PSS) seraient dues aux apports latéraux qui drainent les déchets provenant des dépôts d'ordures et des latrines situées en amont de cette source. Ces valeurs élevées de MES augmentent celles de la turbidité et de la couleur à cette station. En effet, selon l'OMS [12], la couleur et la turbidité de l'eau sont liées à la présence de la matière organique associée à l'humus et aux particules en suspension dans l'eau. Ces MES sont corrélées significativement aux *Pseudolimax* et *Endolimax*. À ce propos Rodier *et al.* [13] soulignent que les argiles et les particules organiques ayant une large surface d'absorption constituent un support idéal

pour les ions, les molécules diverses et les agents biologiques tels que les protozoaires. Les valeurs élevées de la couleur et de la turbidité à la source S8 pendant la GSP seraient dues aux eaux de lessivage des sols qui transportent la matière organique dans le milieu puisque cette source est ouverte avec un débit presque nul. La valeur moyenne du pH obtenue ( $6,18 \pm 0,08$  U.C) traduirait la nature acide des eaux étudiées. Ceci s'expliquerait par la nature acide des sols de la région : Nola *et al.*[8] soulignent que le pH d'une eau dépend de la nature des sols traversés. Cette valeur du pH est en dessous de celle préconisée pour les eaux de consommation qui est de 6,5 à 8,5 [12]. La teneur moyenne en oxygène dissous serait liée au fait qu'il est fixé directement à la sortie du sol. Les valeurs de l'oxydabilité sont situées juste au-dessus de la norme des eaux de boisson d'après la norme [11] (figure 3B). Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au cours de l'étude indiqueraient des eaux moyennement minéralisées selon la classification de Rodier *et al.* [13]. Ce qui pourrait s'expliquer par le fait que ces eaux ne reçoivent pas

directement les polluants mais des eaux de lessivage des sol (figure 3D)

La présence des différents protozoaires serait due une part aux infiltrations des eaux contaminées dans la nappe phréatique ou aux populations qui viennent aux sources avec des récipients contaminés. D’après l’OMS [15] cette présence traduit une contamination des eaux par la matière fécale.

La plus grande abondance de protozoaires à la source S1 pourrait s’expliquer par le fait que cette source reçoit les eaux usées issues de nombreuses habitations situées le long de cette station et elle est située juste à environ un mètre d’une fosse à fond perdu : à ce propos, Bouhoum [4] affirme que le nombre et la variété d’organismes pathogènes retrouvés dans les eaux usées sont liés au niveau d’infestation de la population humaine ou animale desservie. Les densités élevées en oocystes de *Cryptosporidium* spp. S’expliqueraient par leur proportion élevée dans les fèces, leur petite taille et leur capacité d’adhésion aux matières en suspension, leur permettant de mieux résister aux différents stress environnementaux. Ashbolt [2] souligne que les microorganismes généralement liés aux substrats présentent une forte résistance. La faible abondance—de kystes de

*Balantidium coli* pourrait s’expliquer par l’absence de porcheries à proximité des stations d’échantillonnage. En effet, Schuster et Visvesvara [15] mentionnent que le porc est le principal facteur de dissémination ces kystes. Les plus faibles densités observées en GSP seraient liées à l’augmentation de la vitesse d’écoulement. A ce propos M.mbouombouo et al[ 20] souligne que Les oocystes et les kystes des parasites sont généralement liés aux matières organiques en suspension dans l’eau. Ainsi, la diminution des densités pendant la saison des pluies de ces parasites s’expliquerait par l’augmentation des vitesses d’écoulement des eaux qui entraînent la dérive des particules et par ricochet, les oocystes.

Des corrélations ont été enregistrées entre les variables physicochimiques et les densités parasitaires. La température est corrélée avec le pH, l’oxygène, et la couleur. Les MES sont corrélées à la couleur et à la turbidité. Concernant la biologie, des corrélations significatives ont été relevées entre quelques paramètres physico-chimiques (oxydabilité, MES, couleur, turbidité entre autres) et les densités des formes de dissémination des protozoaires d’autre part. Ces corrélations sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 1 : Représentation des stations d’étude

Stations	Coordonnées GPS	Altitudes (m)	Source de pollution	Usage
S1	03°51’35.4’’N, 011°32’34.5’’E	717	eaux usée des ménages +toilettes (latrine)	cuisine, lessive et la baignade
S2	03°51’22.9’’N, 11°32 19.6’’E	750	eaux usée des ménages	cuisine, lessive ,boisson et baignade
S3	03°51’13.9’’N, 011°32’ 40.5’’E	710	eaux usée des ménages	cuisine, lessive et baignade
S4	03°51’51.11’’N, 011°32’41.3’’E	708	eaux usée des ménages	cuisine, lessive et baignade
S5	03°51’10.6’’N, 011°32’36.0’’E	718	déchets des ménages	cuisine, lessive, boisson et baignade
S6	03°51’07.6’’N, 011°32’30.9’’E	716	Toilettes (latrine)	cuisine, lessive, boisson et baignade
S7	03°51’04.6’’N, 011°32’25.6’’E	719	Toilettes (latrine)	cuisine, lessive, boisson et baignade
S8	03°50’59.5’’N, 011°32 26.2’’E.	720	eaux usée des ménage + toilette (latrine)	cuisine, lessive et baignade
S9	03°50’59.1’’N , 011°32 25.2’’E	721	eaux usée des ménage	cuisine, lessive et baignade

S10	03°51'55.1''N, 011°32'09.5''E	719	toilettes (latrine)	cuisine, lessive, boisson et baignade
-----	----------------------------------	-----	---------------------	---------------------------------------

Tableau 2:Corrélations entre certains paramètres physicochimiques et la densité des kystes,ococystes

	Variabes	Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	MES	Turbi
Kystes et Oocystes	<i>Cryptospora</i> spp.	0,27	-0,48*	-0,19	-0,11	0,03
	<i>Entamoeba histolytica</i>	0,47*	-0,26	-0,48*	0,38	0,29
	<i>Entamoeba polecki</i>	-0,18	0,45*	0,39	-0,09	-0,11
	<i>Entamoeba hartmani</i>	-0,18	0,42	0,34	-0,02	-0,06
	<i>Endolimax nana</i>	0,15	0,00	0,28	0,01	-0,07
	<i>pseudolimax Butschlii</i>	0,14	-0,15	-0,39	0,64**	0,54*
	<i>Balantidium coli</i>	-0,04	0,19	-0,09	0,73**	0,53*

Temp=température, Resis=résistivité, coul=couleur, Turbi=turbidité,

\*= corrélation significative au seuil 5 %      \*\*= corrélation significative au seuil 1%

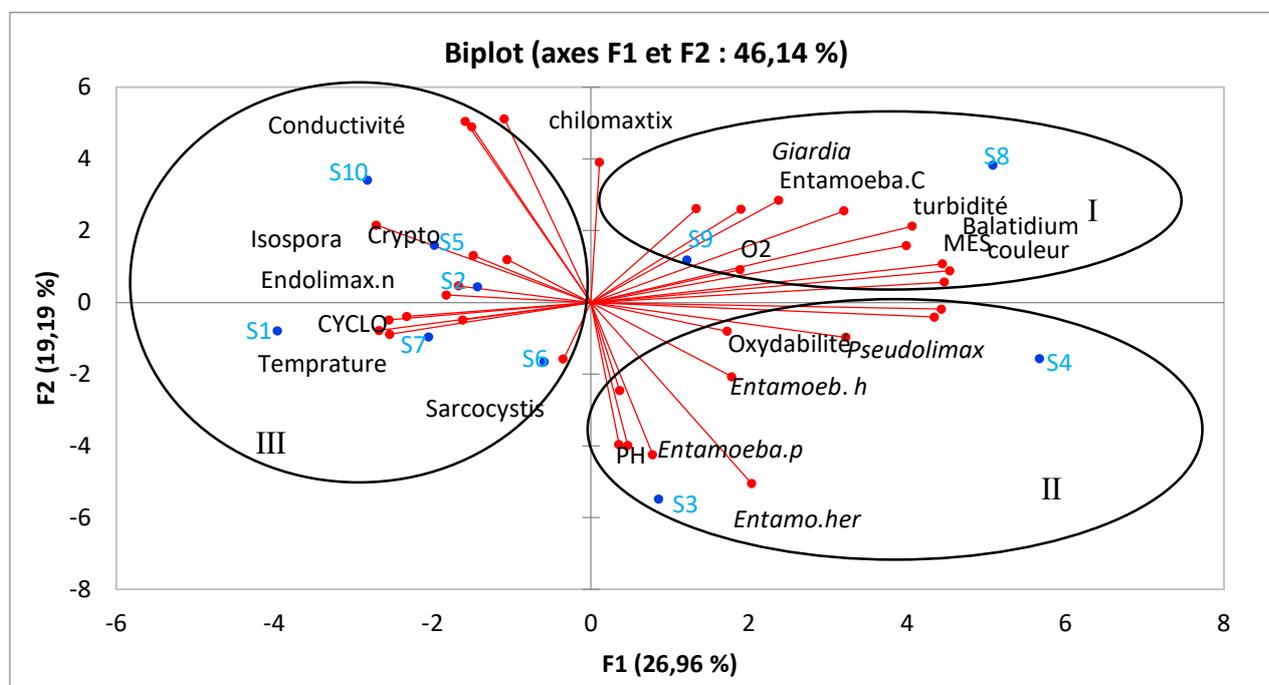


Figure 5 : Analyse en Composante Principales des variables physico-chimiques et biologique

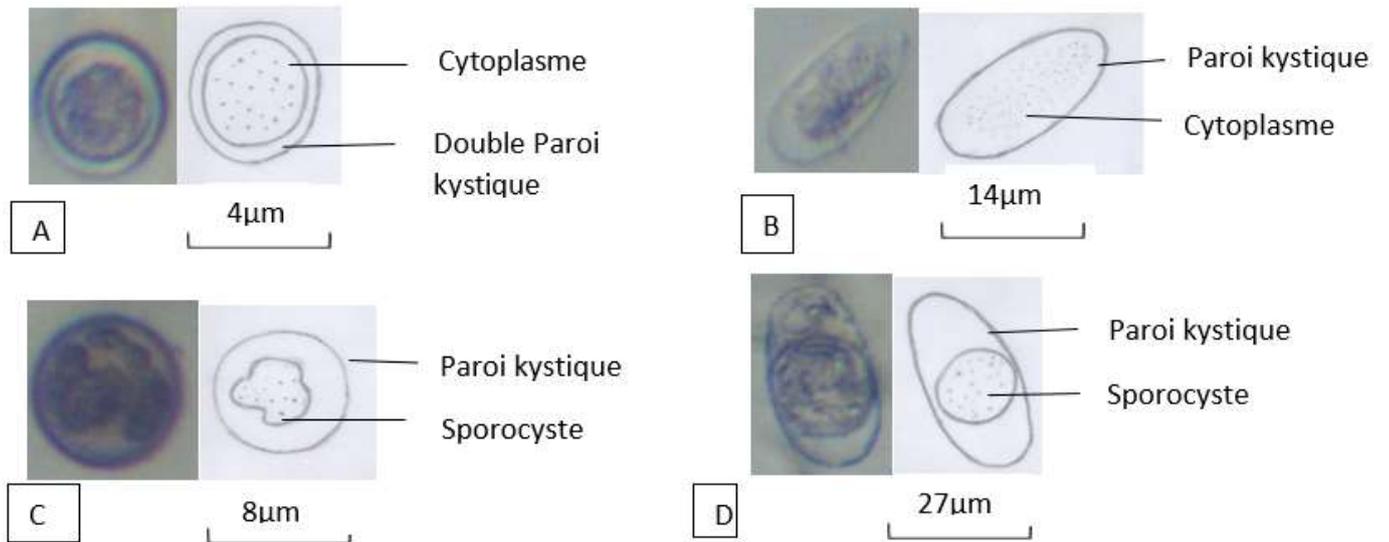


Figure 20 : Différentes formes de dissémination des coccidies observées pendant la période d'étude(photo et dessin) : *Cryptosporidium* spp. (A), *Sarcocystis* spp. (B), *Cyclospora* spp (C), *Isospora* spp (D)



Figure 7 : Vue partielle des sources échantillonnées pendant la période d'étude (Echelle : 1 /50cm)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) montre que les deux premiers axes( x,y) cumulent 46,14 % de la variance totale. Cette analyse a présenté un regroupement de l'ensemble des paramètres mesurés en 3 noyaux. Dans le noyau I, les paramètres physico-chimiques tels que les MES, la couleur, la turbidité, l'oxygène dissous sont liés avec les formes parasitaires de *Balantidium coli*, *Entamoeba coli* et *Giardia intestinalis*. Ces paramètres caractérisent les sources S8 et S9 qui se distinguent de toutes les autres sources par leur degré de pollution biologique. Le noyau II montre des liaisons entre les paramètres physico-chimiques tels que le pH, l'oxydabilité et les formes de résistance de *Entamoeba hartmani*, *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba polecki*, *Iodamoeba butschlii*. Ces paramètres caractérisent les sources S4 et S3 qui sont très proches des maisons d'habitation. Le noyau III montre des affinités entre les paramètres physico-chimiques tels que la température et la conductivité électrique et les formes de résistance des protozoaires intestinaux tels que *Sarcocystis* spp., *Cyclospora* spp, *Cryptosporidium* ssp, *Isoospora* spp. et *Endolimax nana* et caractérisent les stations S1, S5, S10, S1 et S6 qui sont rhéocrènes, favorables au déplacement des kystes et oocystes (figure 5).

#### V. CONCLUSION

Au terme de ce travail, il ressort que les eaux de sources étudiées sont légèrement acides, moyennement minéralisées et riches en matières en suspension. Nous avons pu identifier et dénombrer les kystes et oocystes des protozoaires entéropathogènes tels que : *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba hartmani*, *Entamoeba polecki*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba butschlii*, *Giardia intestinalis*, *Chilomastix mesnili*, *Isoospora* spp, *Sarcocystis* spp., *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora* spp et *Balantidium coli* dans les eaux de sources étudiées, indiquant une contamination fécale de ces eaux. La présence de ces microorganismes protozoaires dans ces eaux met en exergue les risques sanitaires auxquels s'exposent les populations lors de leur utilisation. Les plus grandes densités des protozoaires intestinaux ont été enregistrées au niveau des sources non aménagées, ce qui montre que l'entretien des sources influencerait la dissimulation de ces microorganismes. Afin de limiter les risques sanitaires liés à l'utilisation de ces eaux et éviter une transmission prépondérante de ces groupes d'organismes, nous pouvons recommander aux populations de traiter leurs eaux de source par les méthodes simples avant consommation et de respecter des règles d'hygiène (entretiens corporel et environnemental).

#### VI. REMERCIEMENTS ET AUTRES MENTIONS

Les auteurs tiennent à remercier le laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé 1

#### RÉFÉRENCES

- [1] Ajeegah G., Njine T., Bilong Bilong C & al .2010- Seasonal distribution of Enteric Opportunistic *Cryptosporidium* Spp. Oocysts and *Giardia* Spp. Cysts in a tropical water basin, *Cameroon. Water* ;2: 44-57.
- [2] Ashbolt N. 2004-Microbial contamination of drinking water and diseases outcomes in developing regions. *Toxicology*; 198: 229-38.
- [3] Bertrand I., Gantzer C., Chesnot T., Schwartzbrod J.2004- Improved specificity for *Giardia lamblia* cysts in quantification wastewater by development of areal-time PCR. *Microbiology and Methods Journal*;57: 41-53.
- [4] Bouhoum K., Mahmid O., Habba K., Schwartzbrod.1997- Devenir des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech. *Revue des Sciences de l'Eau* ; 2 : 217- 232.
- [5] Cheikhrouhou F. 2010-Les amibes, laboratoire de parasitologie-mycologie faculté de médecine-Sfax,100p
- [6] Djeuda T., Tanawa E., Ngnikam E. L'eau au Cameroun 2001 : Tome I. L'approvisionnement en eau potable, PUY, Yaoundé, 35pp
- [7] INS (Institut National de la Statistique).2013- Étude pilote sur la pollution des eaux de surface et souterraines à Yaoundé et son impact sur la santé des populations riveraines. Rapport technique publié à Yaoundé, Hanovre, Bonn, 335 pp.
- [8] M. Mbouombouo · G. Ajeegah · J. Ndjama · I. Tchakala · B. Gnon · D. Enah · G. Yogback .2019-Dynamique d'abondance des charges oocystiques dans le bassin versant du Mezam à Bamenda (région du Nord-Ouest, Cameroun). *Société de pathologie exotique* 112:61-70.
- [9] Nola M., Njine T. & Boutin C. 1998-Variabilité de la qualité des eaux souterraines dans quelques stations de Yaoundé (Cameroun). *Mémoires Biospéologie* ; 25 : 183-191.
- [10]OMS.1994- Planches pour le diagnostic des parasites intestinaux. Genève, 29 pp
- [11]OMS.2011- Guidelines for drinking-water quality. 4<sup>th</sup> edition, Geneva, 564pp

- [12]OMS.2004-Directives de qualité pour l'eau de boisson, critères d'hygiène et documentation à l'appui 2<sup>ème</sup>édition, 1050 pp
- [13]OMS.2012-Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture, Genève, 63 pp.
- [14]Rodier J, Legube B, Merletet N & al. 2009-L'analyse de l'eau (Editions). Dunod, Paris,9<sup>e</sup>édition entièrement mise à jour ; 1 -1579
- [15]Santé Canada.2017- Protozoaires entériques dans l'eau potable : *Giardia* et *Cryptosporidium* Document de consultation publique, 4pp
- [16]Schuster F & Visvesvara G. 2004-Amebae and ciliated protozoa as causal agents of water borne zoonotic disease. *Veterinary Parasitology Journal* ; 126 : 91-120.
- [17]Study international. 2015 -Étude d'assainissement des eaux usées de la ville de Yaoundé, Mission 1 : Tome 1. Etude commanditée par la communauté Urbaine de Yaoundé,435 pp.
- [18]Suchel B.1973- La répartition des pluies et des régions pluviométriques au Cameroun. Travaux et Documents de Géographie Tropicale, 5 : 20 – 28.
- [19]Tuekam K. 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 présenter en vue d'obtention du Doctorat/ Ph. D en biologie des organismes animaux, Université de Yaoundé I, 165p ;2013
- [20]Viviane G .2007- Parasitologie,auto-évaluation manipulation édition Boeck Université Bruxelles



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## **Effets De L'extrait Aqueux Du Moringa Oleifera Sur L'abondance Des Oocystes De Protozoaires Intestinaux Des eaux usées D'origine Hospitalière À Yaoundé-Cameroun**

*Tsomene Namekong Pierre,  
Ajeegah Gideon Aghaindum,  
Fotseu Kouam. Arnold,  
Asi Quiggle Atud,*

*Okoa Amougou Thérèse Nadège,*

Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

*Kapso Tchouakep Mireille,*

Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes Animaux, Unité de Biologie Humaine et Santé, Faculté des Sciences, Université de Douala, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p58](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p58)

---

Copyright 2021 Author(s)  
Under Creative Commons BY-NC-ND  
4.0 OPEN ACCESS

*Cite As :*

Pierre N.T., Aghaindum G.A., Arnold K.F., Atud Q.A., Nadège O.A.T., & Mireille T.K., *Effets De L'extrait Aqueux Du Moringa oleifera Sur L'abondance Des Oocystes De Protozoaires Intestinaux Des eaux usées D'origine Hospitalière À Yaoundé-Cameroun* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 58. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p58>

---

### **Résumé**

L'accès à l'eau potable demeure une très grande préoccupation en Afrique sub-saharienne, plus particulièrement dans les agglomérations où les populations sont confrontées à la pollution, l'insuffisance d'hygiène d'assainissement et au manque de méthodes appropriées de traitement à l'échelle familiale. De ce fait, l'intégration de procédés biologiques de traitement des eaux pourrait être une alternative durable dans l'amélioration de la qualité des eaux de boisson et des eaux déversées dans l'environnement après usage. La présente étude menée de juin 2019 à avril 2020 porte sur l'optimisation de l'efficacité des feuilles de Moringa oleifera dans le traitement des eaux usées d'origine hospitalière. Ces eaux ont été traitées avec différentes concentrations (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L et

600mg/l) de l'extrait aqueux de *Moringa oleifera*. Le suivi des paramètres physicochimiques et parasitologiques à différents temps de décantation a permis de déterminer les conditions optimales et d'évaluer l'efficacité des traitements. Il en ressort qu'en fonction des caractéristiques des eaux, les temps de décantation compris entre 24-36 h sont apparus suffisants pour éliminer la presque totalité des matières en suspension et des colloïdes. Pour le même temps de décantation, l'abattement parasitologique était en moyenne de l'ordre de 99 % pour *Isospora* spp, 94 % pour *Cryptosporidium* spp, 98 % pour *Cyclospora* spp et 96 % pour les oocystes de *Sarcocystis* spp. Au cours du traitement, la baisse de certains paramètres physicochimiques tels que la réduction des teneurs en matières organique biodégradables exprimée par l'oxydabilité et la hausse d'autres paramètres comme le pH, la conductivité électrique et des Solide Totaux Dissout ont facilité la réduction des parasites durant le traitement. Ces résultats indiquent qu'en fonction des concentrations initiales, le traitement des eaux brutes avec l'extrait aqueux des feuillettes de *Moringa oleifera* améliore considérablement la qualité des eaux.

---

**Mots clés :** *Moringa oleifera*, Eaux Usées Hospitalières, Traitement, Oocystes De Protozoaires

## **Effects of Aqueous *Moringa Oleifera* Extract on the Abundance of Intestinal Protozoan Oocysts in Hospital Wastewater in Yaoundé-Cameroon**

*Tsomene Namekong Pierre,  
Ajeegah Gideon Aghaindum,  
Fotseu Kouam. Arnold,  
Asi Quiggle Atud,*

*Okoa Amougou Thérèse Nadège,*

Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

*Kapso Tchouakep Mireille,*

Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes Animaux, Unité de Biologie Humaine et Santé, Faculté des Sciences, Université de Douala, Cameroun

---

### **Abstract**

Access to safe drinking water remains a major concern in sub-Saharan Africa, especially in urban areas where people are confronted with pollution, poor hygiene, inadequate sanitation and lack of appropriate treatment methods at the household level. Therefore, the integration of biological water treatment processes could be a

[www.ejournal.org](http://www.ejournal.org)

sustainable alternative in improving the quality of drinking water and water discharged into the environment after use. The present study conducted from June 2019 to April 2020 focuses on optimising the efficiency of *Moringa oleifera* leaves in the treatment of hospital wastewater. These waters were treated with different concentrations (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L and 600mg/l) of the aqueous extract of *Moringa oleifera*. The monitoring of physico-chemical and parasitological parameters at different decantation times made it possible to determine the optimal conditions and to evaluate the effectiveness of the treatments. The results showed that, depending on the characteristics of the water, settling times between 24-36 hours appeared to be sufficient to eliminate almost all the suspended matter and colloids. For the same settling time, parasitological removal was on average around 99% for *Isospora* spp, 94% for *Cryptosporidium* spp, 98% for *Cyclospora* spp and 96% for *Sarcocystis* spp oocysts. During the treatment the decrease values of some physicochemical parameters such as the reduction of biodegradable organic matter content expressed by oxidability and the increase of other parameters such as pH, electrical conductivity and Total Dissolved Solids facilitated the reduction of parasites during the treatment. These results indicate that, depending on the initial concentrations, treatment of raw water with the aqueous extract of *Moringa oleifera* leaflets significantly improves water quality.

---

**Keywords:** *Moringa oleifera*, Hospital Wastewater, Treatment, Protozoan Oocyst

## Introduction

Le développement socio-économique conjugué à la croissance démographique engendre l'augmentation des besoins en eau qui se traduit par l'utilisation excessive des ressources en eau et par la production et le rejet d'un important volume d'eaux usées dans les milieux récepteurs (Teofilović, 2013) constituant ainsi une réelle menace pour l'environnement et la survie sur terre. Il est urgent de mieux traiter ces eaux afin de pouvoir les réutiliser pour d'autres fin comme dans l'agriculture (OMS,1989). Face aux effets souvent mal connus des désinfectants chimiques pour le traitement des eaux dans le monde, les difficultés liées au traitement des eaux usées hospitalières qui contiennent des nombreux agents pathogènes tels les champignons, les bactéries, les virus à l'exemple du corona virus qui représente une très grande menace pour l'humanité (Amoah *et al.* 2020) et des protozoaires (Oocystes) qui sont très résistants dans l'environnement et sont à l'origine de la résurgence de nombreuses maladies.

De nombreux travaux effectués dans le monde ont déjà démontrés l'efficacité de l'extrait du *Moringa oleifera* sur la réduction de la charge bactérienne dans l'eau (Millogo-Koné *et al.* ;2010). Cependant très peu de travaux ont déjà été faits sur l'évaluation des effets de cette plante sur les formes de disséminations des protozoaires intestinaux en Afrique centrale or ces derniers sont très résistants. Aux

États-Unis, l'estimation des oocystes totaux retrouvés dans les eaux de surface impose les niveaux d'enlèvement et de désinfection aux traiteurs d'eaux. Les coûts additionnels attribués aux ajustements de traitement ont été estimés entre 92 à 133 millions de dollars par année (USEPA, 2005).

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de l'extrait aqueux du *moringa oleifera* sur l'abondance des Oocystes de protozoaires intestinaux contenus dans les eaux usées d'origine hospitalières à Yaoundé, Cameroun. Plus précisément il s'est agi de mesurer les paramètres physicochimiques de ces eaux avant et après le traitement, d'isoler et d'identifier les Oocystes présents dans ces eaux avant et après chaque traitement et évaluer le taux d'abattement après chaque traitement

## **D) Matériels et Méthodes**

Sur le site, les échantillons d'eau ont été collectés en triplicata dans des flacons stériles de 20L puis conservés à 4 °C dans des glacières et rapidement transportés au laboratoire pour les traitements et analyses selon les recommandations de Rodier *et al* (2009). L'efficacité des traitements a été évaluée en comparant les caractéristiques des échantillons traités à celles des échantillons non traités et aux normes de référence de l'OMS (1989) pour les eaux environnementales et des eaux de boisson.

### **I.1-Description du site d'étude**

Le site d'étude est situé directement derrière l'hôpital général de Yaoundé où sont déversés les effluents du dit hôpital. Il a pour coordonnées géographiques 3°52'382'' N et 011° 30'421''E, et d'altitude 756 m. Ces eaux se déversent directement dans la nature.

### **I.2-Préparation**

Les feuilles de *M.oleifera* récoltées ont été séchées puis broyées selon la technique décrite par Folkard et Sutherland (2002). La poudre fine obtenue a été utilisée pour la préparation de la solution mère de coagulant de *Moringa oleifera*. Pour cela, 100 g de poudre de feuilles ont été dilués dans 200ml d'eau distillée stérilisée et le mélange a été agité durant une heure afin d'extraire le coagulant, ce mélange a ensuite été filtré à travers un filtre de 100µl de maille. Le filtrat obtenu est séché pendant 24H à l'étuve entre 35-45°C, et l'extrait obtenus a été utilisé pour traiter des eaux.

### **I.3-Traitement des échantillons d'eaux**

Au laboratoire, les échantillons ont été traités en triplicata avec des concentrations croissantes de l'extrait de *Moringa oleifera* afin de pouvoir déterminer les doses adéquates en fonction des caractéristiques des différents échantillons. Pour réaliser le jartest, 500 mL de chaque échantillon d'eau ont été introduits dans des béchers

d'un flocculateur à commande électrique à six postes (FC6S Jar-Test velp Scientifca) suivi de l'ajout des différents volumes de l'extrait. L'agitation des eaux après introduction du coagulant s'est faite en deux phases : une agitation rapide à 150 tours/min pendant cinq minutes et une agitation lente à 45tours/min pendant 15 minutes. Ainsi six concentrations ont été choisies après plusieurs essais. Il s'agit de 100mg /l noté C1, 200ml/l noté C2, 300mg /l noté C3, 400mg/l noté C4, 500mg/l noté C5, 600mg/l et le témoin noté Te ou C0. Après les échantillons sont laissés pendant 24 à 34 heures à température ambiante au laboratoire, ce temps correspondant au temps de contact. En suite 5ml sont prélevés et introduits dans les tubes pour centrifugation suivie de l'observation au microscope optique.

### **I.3.Caractéristiques physicochimiques des échantillons d'eaux**

Les caractéristiques physicochimiques des échantillons d'eaux brutes ont été déterminées. Les paramètres physicochimiques de potabilité des eaux de boisson ciblés ont été la turbidité, le pH, les concentrations en nitrate, phosphate, azote ammoniacal, l'alcalinité, la matière organique et les matières en suspension. Tous ces paramètres ont été mesurés avant, puis 24 heures après traitement pour tous les échantillons afin de déterminer les conditions optimales et les facteurs influençant le traitement. Les autres paramètres ont été déterminés aux conditions optimales afin d'évaluer l'effet des traitements sur la composition physicochimique des eaux.

Le pH et les TDS ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839 ; et la température avec un thermomètre à alcool.

Les dosages des concentrations en couleur et MES ont été réalisés par la méthode de spectrophotométrie avec le spectrophotomètre Lange Hach DR 2010, selon les méthodes 8051, 8039, 8507 respectivement pour l'azote ammoniacal, nitrate et phosphate du manuel des spectrophotomètres DR (2000, 2010).

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  $\text{KMnO}_4$  N/80 ont été ajoutés.

Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erlenmeyer a été refroidi à l'eau courante, puis 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 25% et 20 ml de sel de Mohr y ont été ajoutés successivement. L'échantillon décoloré a ensuite été titré au  $\text{KMnO}_4$  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  $\text{O}_2$  s'obtient par la formule ci-dessous :

$$\text{Oxydabilité (mg/l de O)} = \frac{(q - q^0)}{2} \times 3,95$$

Avec  $q_1$  = descente burette de l'échantillon et  $q_0$  = descente burette témoin

#### ***I.4- Caractérisation microbiologique des eaux***

Les oocystes de parasites ont été concentrés et dénombrés au microscope optique suivant les méthodes recommandées par l'OMS (2019).

##### **I.4.1-Méthode de sédimentation**

Après homogénéisation du culot, 5ml de l'échantillon (témoins et tests) sont prélevés et introduits dans un tube à essai. Le mélange obtenu est porté à la centrifugation à 1500 tours/min pendant 5 min à l'aide d'une centrifugeuse. Après quoi le surnageant est rejeté et le culot est prélevé goutte par goutte et observé au microscope optique après ajout du colorant vital.

##### **I.4.2-Coloration de Ziehl-Nielsen modifiée**

Pour la coloration de Ziehl-Nielsen modifiée. Une solution de sulfate de zinc à 33 % (densité spécifique de 1,18) qui permet la flottaison est ajoutée à 5 mL de culot contenu dans des tubes à essai pour favoriser la flottaison des organismes, l'ensemble est centrifugé à 500 trs/min pendant 10 minutes. Le surnageant est prélevé à l'aide d'une micropipette et posé sur des lames porteobjets. Après fixation au méthanol et coloration à la fuchsine basique, la lame est rincée à l'eau puis à l'acide sulfurique 2 %. Ensuite, une contre-coloration au vert de malachite est réalisée suivi du rinçage à l'eau avant séchage à l'air.

##### **I.4.3-Identification et dénombrement des kystes et des Oocystes**

Les oocystes ont été identifiés à l'aide des plaques de l'OMS (1994, 2019). Les mesures des dimensions ont été faites grâce au micromètre qui porte l'un des oculaires du microscope. Un nombre (X) d'oocystes parasites a été trouvé dans 11 d'échantillon en utilisant la formule suivante (Ajeegah *et al.*, 2010 et Ajeegah *et al* 2014) :

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

Avec :  $V_x$  = volume du culot dans 11 d'échantillon,  $V_y$  = volume du culot utilisé pour observation,  $y$  = nombre de kystes observés dans  $V_y$ .

Pour évaluer l'effet des désinfectants sur les différents oocystes, le taux d'abattement a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'abattement}(\%) = \frac{\text{Nombre d'oocystes avant traitement} - \text{Nombre d'oocystes après traitement}}{\text{Nombre d'oocystes avant traitement}} \times 100$$

## II) Résultats et discussions

### II.1 Echantillon brute

L'eau utilisée pour cette étude à un pH proche de la neutralité (entre 7 et 7,2). Une conductivité électrique, une Couleur, des MES ainsi que les TDS élevés. Ceci serait lié à leur origine (Tableau 1).

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques du coagulant et des eaux brutes

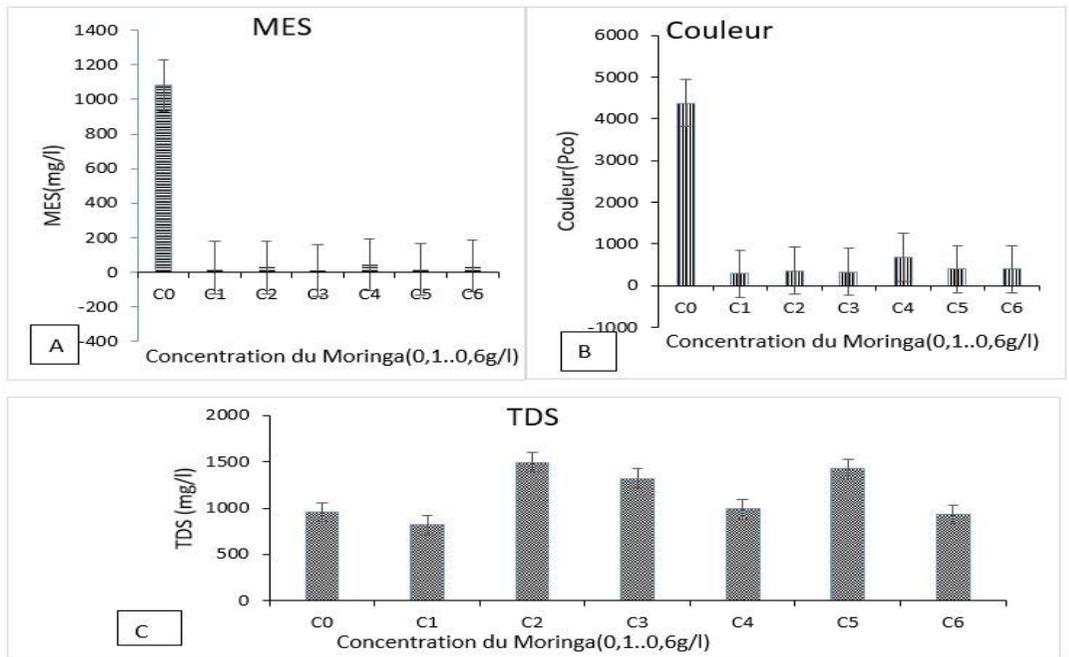
Conductivité électrique ( $\mu\text{S/cm}$ )	MES (mg/l)	Couleur (PICo)	Oxydabilité (mg d'O <sub>2</sub> /l)	pH (U.C)	TDS (mg/l)
1913	1080	4380	14,22	7,02	955

### II.2 Effet du traitement sur les paramètres physico-chimiques des eaux

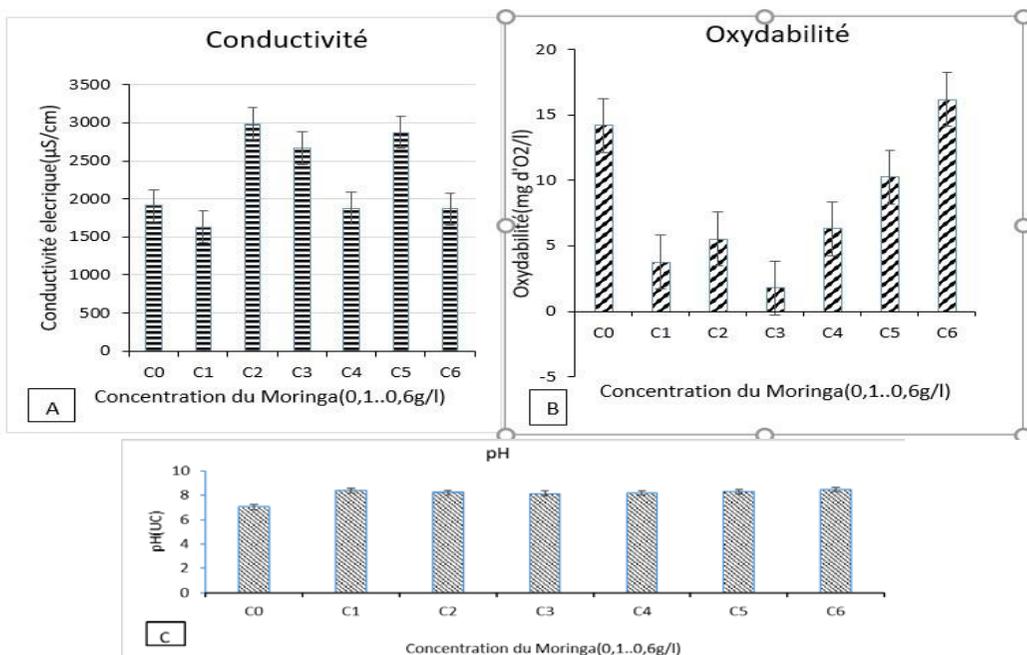
Le traitement de l'échantillon a entraîné une baisse des concentrations de matières organiques, de la Couleur et des matières en suspension. Le test de corrélation entre la Couleur et celle des MES a montré que ces paramètres suivent une tendance significativement positive. Les corrélations ( $r$ ) obtenues sont de 0,577 pour la Couleur et les MES, 0,893 pour la conductivité électrique et les TDS (Tableau 4). Les concentrations initiales en matières organiques et MES étant très élevées pour cet échantillon, la coagulation-floculation a entraîné également leur sédimentation. Il ressort ainsi que les taux de matières organiques et MES influencent l'efficacité du traitement.

La figure 1 présente les résultats de l'analyse de variance des concentrations de la Couleur, MES et des TDS des eaux déterminées avant et aux conditions optimales de traitement. La figure 2 présente les résultats de l'analyse de variance des concentrations de l'oxydabilité, conductivité électrique et pH. Il en ressort que le traitement a un effet très significatif sur tous les paramètres ciblés ( $p < 0,0001$ ). Une baisse très significative des concentrations MES, de l'Oxydabilité et la Couleur a été observée pour tous les échantillons, contre une augmentation de celles de la conductivité électrique et des TDS.

Avant et après chaque traitement, les variations du pH enregistrées sont comprises respectivement entre 1,2-1,5 unité pH (figure 2C). Ainsi, la composition chimique des eaux évolue peu après traitement au *M. oleifera* (Folkard, 1997). Ceci est en parfait accord avec nos résultats qui indiquent que le traitement influe peu sur le pH de l'eau dont la variation n'est pas statistiquement significative. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Kabore *et al* (2013) dans les eaux usées du Boukina Faso.



**Figure 1:** Evolution de la variation des MES (A), de la Couleur (B) et des TDS (C) en fonction de la concentration du moringa (C0 = temoin, C1 = 100mg/l, C2 = 200mg/l, C3 = 300mg/l, C4 = 400mg/l, C5 = 500mg/l et C6=600mg/l).



**Figure 2 :** Evolution de la Conductivité électrique (A), de l'Oxydabilité (B) et du pH (C) en fonction et de la concentration du moringa (C0=temoin, C1=100mg/l, C2=200mg/l, C3=300mg/l, C4=400mg/l, C5=500mg/l et C6=600mg/l)

La coagulation avec des feuillets de *M. oleifera* est basée sur l'adsorption et la neutralisation dans l'eau de particules chargées négativement (colloïdes) et de métaux par des charges positives des protéines actives (Vikashni et al., 2012). Ceci explique le taux d'abattement très élevé des MES (97,5%), de la Couleur (92%) et de l'Oxydabilité (55%) (Tableau2)

Le temps de décantation de 24heures a permis une élimination très significative des MES des eaux. Bien que des temps de décantation de 36 heures donnent les meilleures valeurs de turbidité, la qualité organoleptique des eaux est fortement affectée (odeur, goût, aspect) du fait de la présence de la matière organique des feuillets de *M. oleifera*. En accord avec nos résultats, Jahn (1988) a conseillé une décantation de 1-2 heures, afin d'éliminer les particules et les microorganismes résiduels en suspension.

**Tableau 2** : Taux d'abattement des variables physicochimiques

Concentration	Oxydabilité (mg d'O <sub>2</sub> /l)	Couleur (PtCo)	MES (mg/l)
C1	-13,92	93,5	97,5
C2	61,1	91,8	97,4
C3	73,41	92,37	98,9
C4	55,55	84,56	95,7
C5	27,76	90,93	98,5
C6	49,92	90,93	96,6

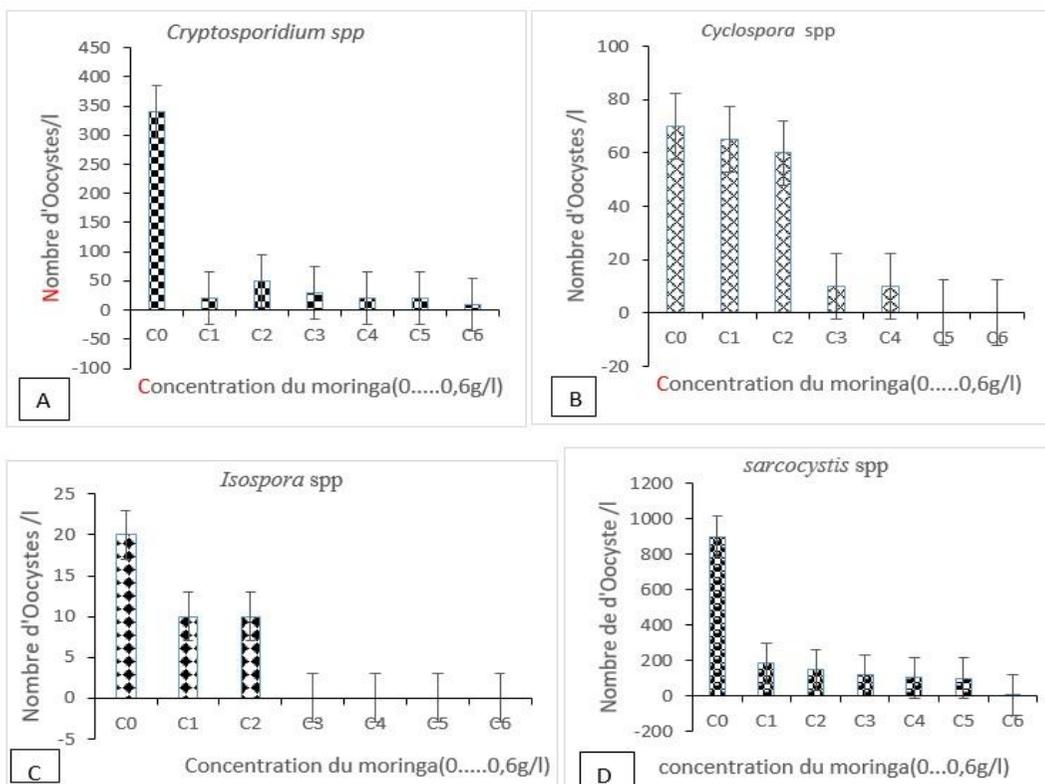
Les teneurs en parasites pathogènes d'origine fécale des eaux avant et après traitement au *M. oleifera* sont présentées par la **figure 3**. L'analyse parasitaire de surnageant des échantillons d'eau traités a montré une élimination très importante de tous les germes au bout de 24 heures de décantation.

## **II.2. Évolution des indicateurs Parasitologiques dans les échantillons d'eau en fonction du traitement au *Moringa oleifera***

L'efficacité du traitement sur les formes de dissémination des protozoaires parasites est fonction du degré de pollution initiale des eaux. De même, les abattements des oocystes sont fonction des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques initiales de l'eau brute et proportionnels à l'abattement de la turbidité (Bratby,2006). En effet, étant donné que les microorganismes sont rattachés aux particules en suspension, leur sédimentation entraîne également celle des microorganismes. Ces facteurs expliquent ainsi les déférences observées au niveau des abattements obtenus. Ainsi, plus la clarification est parfaite et la qualité microbiologique initiale acceptable, plus la qualité microbiologique de l'eau traitée est meilleure (Kabore et al., 2013). Les abattements obtenus pour cet échantillon

(Tableau 3) ont été en moyenne de l'ordre de 99 % pour *Isospora* spp, 94% pour *Cryptosporidium* spp, 98% pour *Cyclospora* spp et 96% pour *Sarcocystis* spp. Ces résultats seraient directement liés à la nature de la paroi de chaque oocyste. En effet *Cryptosporidium* est très abondant dans la nature et très résistant aux désinfectants par rapport à sa petite taille et à sa double paroi (Tsoméné et Ajeegah, 2020 ; Santé Canada, 2017) ; raison pour laquelle même à une concentration de 600 mg/l un abattement de 100% n'a pas été obtenu. *Isospora* se caractérise par une grande taille (25 à 35µm x 11 à 16µm) et trois formes dans l'environnement. La forme ovoïde immature a un sporoplaste, la forme ovoïde mature a deux sporoplastes et la forme ovoïde terminale dispose de deux sporoplastes également qui quittent le centre pour le pôle de la cellule (Ajeegah *et al*, 2015). La nature de la forme caractérise la résistance ; raison pour laquelle un abattement de 100% a été obtenu à une concentration de 300mg/l.

Les oocystes de *Cyclospora* spp. sont circulaires avec une double paroi lisse, à l'intérieur de ceux-ci, se trouve un amas verdâtre appelé morula (Anses,2014). Leur taille varie de 7 à 10 µm ce qui les rend un peu plus résistants avec un taux d'abattement de 100% à une concentration de 500 mg/l. Les sporocystes de *Sarcocystis* spp. se présentent sous une forme ovoïde et contiennent des sporozoïtes. Leur coque est mince et leur taille fluctue entre 10 et 15 µm x 9 à 10µm (Asi *et al.*, 2021) d'où le taux max a été obtenu à partir de C6.



**Figure 3:** Evolution de la densité parasitaire en fonction de la concentration du moringa : *Cryptosporidium spp* (A), *Cyclospora spp* (B), *Isospora spp* (C) et *Sarcocystis spp* (D)

**Tableau 3 :** Taux d'abattement en % des différents oocystes

Concentration	<i>Cryptosporidium spp</i>	<i>Cyclospora spp</i>	<i>Isospora spp</i>	<i>Sarcocystis spp</i>
C1	85,3%	7,14%	50%	79,33%
C2	91,2%	14,28%	50%	83,5%
C3	91,2%	85,7%	100%	86,66%
C4	94,11%	85,7%	100%	88,22%
C5	94,4%	100%	100%	88,88%
C6	97%	100%	100%	98,8%

**Tableau 4 :** Corrélations entre les différents paramètres

	TDS	Conductivité	MES	Couleur	pH	Oxydabilité
TDS (mg/l)	1,000					
Conductivité (µS/cm)	<b>0,893**</b>	1,000				
MES (mg/l)	-0,321	-0,536	1,000			

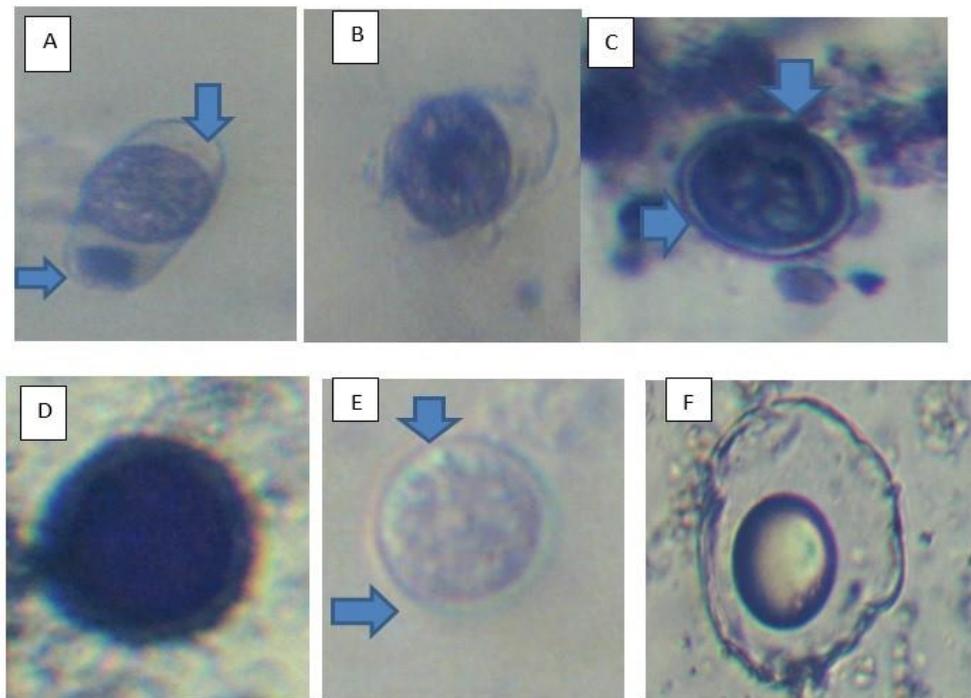
Couleur (PiCo)	0,036	-0,270	<b>0,775*</b>	1,000		
----------------	-------	--------	---------------	-------	--	--

PH	-0,321	,071	- 0,214	-0,396	1,000	
Oxydabilité	-0,643	-0,679	0,286	0,126	0,286	1,000
Cryptosporidium spp	0,408	0,037	0,148	0,150	- <b>0,815*</b>	-0,148
Cyclospora spp	-0,236	-0,473	0,364	-0,018	- 0,491	0,346
<i>Isospora</i> spp	-0,179	-0,418	0,418	0,060	- 0,299	0,478
<i>Sarcocystis</i> spp	-0,143	-0,393	0,214	-0,090	- 0,536	0,321

\*= corrélation significative au seuil 5 %

\*\*= corrélation significative au seuil 1 %

Les effets du *Moringa oleifera* ont été observés directement sur les oocystes durant cette étude. C'est à la suite de ces observations que ressort la confirmation selon laquelle, la molécule de **quercétine** serait responsable de la destruction des oocystes et agit premièrement au niveau de la surface constituée de Glycocalyx et de la double paroi riche en hydrocarbonates (Figure 4).



**Figure 4** : Photos au microscope optique des oocystes avant et après le traitement (A et B =*Isospora* spp[30µm] ; C et D= *Cyclospora* spp [9µm]; E et F= *Cryptosporidium* spp[4µm] )

## Conclusion Et Recommandations

Dans ce travail, il était question d'étudier la mise en évidence des effets de l'extrait aqueux des feuillettes de *Moringa oleifera* sur l'abondance des formes de résistances des protozoaires intestinaux des eaux usées de l'Hôpital Général de Yaoundé. L'isolement et l'identification des différentes formes d'oocystes des protozoaires intestinaux a permis de recenser les espèces *Cryptosporidium* spp, *cyclospora* spp, *Isospora* spp et *sarcocystis* spp. Les méthodes simples et peu coûteuses de traitement des eaux sont un critère essentiel de la durabilité des processus dans les pays en développement. Les plantes utilisées pour la floculation doivent être faciles à produire, leur coagulant facile à doser, cultivables dans de nombreux pays et dans un espace réduit et ne doivent pas présenter de toxicité. Les feuilles de *Moringa oleifera* répondent très bien à ces caractéristiques. *Moringa oleifera* est cultivable particulièrement de façon intensive et est adaptée à la majorité des zones tropicales. L'efficacité des feuillettes est démontrée dans ce travail par la réduction des parasites dans l'échantillon d'eau brute, dont le traitement permet une nette amélioration de la qualité des eaux.

## References:

1. Ajeegah G., Njine T., Bilong Bilong C., Foto Menbohan S., Wouafo N., Nola M., Di G., Huw S. 2010. Seasonal distribution of Enteric Opportunistic *Cryptosporidium* Spp. Oocysts and *Giardia* Spp. Cysts in a tropical water basin, Cameroon. *Water*, 2: 44-57.
2. Ajeegah G., Foto Menbohan S., Talom S., 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*, 120 p.
3. Ajeegah G., Karie M. 2015. Dynamique de l'abondance des oocystes d'*Isospora belli* dans un milieu aquatique en zone tropicale (Cameroun). *Journal of Microbiology Methods*, 88 : 61- 155.
4. Anses (Agence nationale de Sécurité Sanitaire alimentation, environnement, travail).2014. Caractéristiques et sources de *Cyclospora cayetanensis* ; Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments Janvier 2014.
5. ASI. Q. Atud., Ajeegah. G. Aghaindum., Amougou. T.N. Okoa. 2021. Abundance Dynamic of Oocysts in the Groundwater of Mbankomo, a Sub-urban Area Yaounde: Physico-chemical Factors and Health Risk. *Société de pathologie exotique et Lavoisier SAS*.  
DOI 10.3166/bspe-2021-0155

6. Bratby J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. Seconde édition, IWA Publishing, Londres, 450 p.
7. Isaac Dennis Amoah., Sheena Kumari., Faizal Bux. 2020. Coronaviruses in wastewater processes: Source, fate and potential risks. *Environment International* 143 (2020) 105962  
Foild n., H.P.S. Makkar et K. Becker. 2002. Potentiel du Moringa oleifera pour les besoins agricoles et industriels. Dans : Potentiel de Développement Pour Les Produits de Moringa. Acte de l'Atelier International de Dar es Salam Saint-Sauveur, Appora, Besse et Fuglie, 29 octobre-2 novembre 2001, Tanzanie, (Cd-Rom)  
MONTPELLIER (éditeur)
8. Folkard g. 1997. Te development of the Moringa oleifera and stenopetala tree to provide valuable products: coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil. Rapport à la Commission Européenne, Dg 12, projet de recherche N° TS3CT94-0309, période 1995-1997.
9. Kabore, A., Savadago, B., Rosillon, F., Straore, A. S. & Dianou, D. 2013. Optimisation de l'efficacité des graines de moringa oleifera dans le traitement des eaux de consommation en Afrique sub-saharienne : cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 26 (3), 209–220. <https://doi.org/10.7202/1018786ar>
10. Jahn s.a.A. 1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J. AWWA*, 80, 43-50.
11. Millogo-Koné H., Kini B. F., Yougbaré Z., Yaro M. B., Sawadogo M. 2010. Etudes de la phytochimie et de l'activité antimicrobienne in vitro des feuilles de Moringa oleifera (Moringaceae).
12. OMS, 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations a avisées sanitaires. Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Organisation Mondiale de la Santé, Rapport technique n°778, Genève.
13. OMS. 1994. Planches pour le diagnostic des parasites intestinaux. Genève, 29 p.
14. OMS. 2019. Bench Aids for the Diagnosis of Intestinal Parasites, 2nd Edition. Genève. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
15. Rodier J., Legube B., Merletet N., Brun R., Mialocq J-C., Leroy P., Houssin M., 2009. L'analyse de l'eau (Editions). Dunod, Paris, 9<sup>e</sup> édition entièrement mise à jour. 1 -1579.
16. Santé Canada. 2017. Protozoaires entériques dans l'eau potable : *Giardia* et *Cryptosporidium* Document de consultation publique, 4p.
17. Teofilović V., Pavličević J., Bera O., Jovičić M., Budinski-

- Simendić J., Mészáros Szécsényi K., Aroguz A. 2013. The preparation and thermal properties of chitosan/bentonite composite beads. *Hem. ind.* 68 (6): 653–659.
18. Tsomene namekong Pierre and Ajeagah Gideon Aghaindum. 2020. Bio Evaluation of the Quality of Underground Water by the Intestinal Protozoan in an Equatorial Zone (Yaounde, Cameroon). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)* ISSN: 2509-0119. Vol. 23 No. 1, pp. 358-368
19. Vikashni N., M. Matakite., K. Kanayathu et S. Subramanium. 2012. Water purification using *Moringa oleifera* and other locally available seeds in Fiji for heavy metal removal. *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, 2, 125-129.