

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

**Caractérisation physico-chimique, toxicologique et
microbiologique des eaux du cours moyen du fleuve
Nyong et de l'estuaire du fleuve Wouri ; essai de
biodégradation du Métalaxyl-M**

Thèse Présentée et soutenue en vue de l'obtention du Doctorat/Ph.D en

Biologie des Organismes Animaux

Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

ABOLOGO AZEME Larissa, épouse PRISO

Matricule : 02R156

DEA de Biologie des Organismes Animaux



Soutenue publiquement le 25 mars 2021 devant le jury constitué ainsi qu'il suit :

PRESIDENT : NOLA Moïse, Pr., UYI ;

RAPPORTEURS : BILONG BILONG Charles Félix, Pr., UYI ;

NTSAMA MBALA Claudine Mireille Epse ESSOMBA, Pr., UYI ;

MEMBRES : NGONO NGANE Rosalie Annie, Pr., UD ;

AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, Pr. UYI ;

ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert, Pr., UYI.

Année 2021

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
ET PHYSIOLOGIE ANIMALES**

BP : 812 – TEL : (237)222-56-59

FAX : (237)223-53-88

CAMEROUN

ATTESTATION DE CORRECTION

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de **Thèse de Doctorat/Ph.D** de Biologie des Organismes Animaux (option : **Hydrobiologie et Environnement**) de Mme **ABOLOGO AZEME Larissa**, matricule **02R156**, soutenance autorisée par Monsieur le Recteur de l'Université de Yaoundé I, en date du 05/03/2021, attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation faite le 25/03/2021 ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

Les Examineurs

Fait à Yaoundé le,

Le Président du jury

Le Chef de Département

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

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*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (37)

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	ATOUGHO 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	DJUJKWO 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	PECHANGOÛ NSANGOÛ 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>DAARS/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	DZEUFUET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>Vice Doyen/FMSB/UIYI</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	<i>En poste</i>

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	AMPON NSANGO Indou	Assistant	En poste
43	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
44	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
45	FEUGANG YOUNSSI François	Assistant	En poste
46	FOKAM Alvine Christelle Epse KEGNE	Assistante	En poste
47	GONWOUO 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.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 YUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	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	ZONDEGOUMBA 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	AMINOU 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

7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (35)

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 & Diplômes/FS/UYI</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

8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (21)

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

9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (44)

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 FSUniv/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 épouse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOUDA 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 DerbetiniAppolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UII</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	MELI'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

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

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	GHOGOMU 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 & 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

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

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**

DEDICACE

Je dédie cette thèse à :

*Mes parents, Feu AZEME MBA Nicodème et GATSCHANG ALIGUENE Isabelle, en reconnaissance
des nombreux sacrifices consentis pour mon éducation ;*

*Mon tendre époux, mon bien-aimé, parti trop tôt, Christel-Régis PRISO ESSAWE LONGE en signe de
gratitude pour son amour, sa générosité et son encadrement ;*

Mes enfants Samuel, Charles-Aurélien et Divine-Odette.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail n'a été possible que grâce à la contribution de nombreuses personnes à qui je tiens à exprimer ma profonde gratitude.

Je ne remercierai jamais assez le Professeur NTSAMA MBALA Claudine Mireille épouse ESSOMBA, pour avoir accepté de me prendre sous son aile depuis mes premiers pas dans ce périlleux et complexe domaine qu'est la recherche. Je la remercie infiniment pour toutes les discussions scientifiques enrichissantes, les perpétuels encouragements, les opportunités à moi offertes et son encadrement sur tous les plans faisant d'elle une seconde mère. Ses connaissances, sa rigueur, son amour du travail bien fait, ses précieux conseils et ses orientations m'ont aidé à mener à terme ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma gratitude et de ma reconnaissance.

Je remercie vivement le Professeur BILONG BILONG Charles Félix, Chef de Département de Biologie et Physiologie Animales, pour l'intérêt qu'il a accordé à cette thèse. Son immense savoir et sa rigueur m'ont profondément inspiré tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon respect, de ma sincère gratitude et de ma haute considération.

J'exprime mes sincères remerciements A tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, pour la formation que j'ai reçue d'eux tout au long de mon parcours universitaire. Un merci particulier aux Professeurs NOLA Moïse, ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert et KEKEUNOU Sévilor, pour la mise à ma disposition des appareils nécessaires pour l'analyse physico-chimique des échantillons d'eau et pour l'aide apportée lors des analyses statistiques.

Je remercie le Professeur NNANGA de la Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales de l'Université de Yaoundé I, qui m'a accueilli au sein de son laboratoire pour le dosage, par HPLC, du Métalaxyl-M dans les échantillons d'eau.

Je tiens à dire ma gratitude à Monsieur TENE FONGANG, Chef de Laboratoire de chimie analytique de la Mission de Promotion des Matériaux Locaux du Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, qui m'a assisté lors du dosage par spectrométrie par fluorescence X, des métaux lourds dans les échantillons d'eau.

Je remercie également les techniciens du Centre International de Référence Chantal Biya de Yaoundé, pour leur assistance au cours des essais de dégradation du Métalaxyl-M. L'aboutissement de ce travail n'aurait pas été atteint sans leur aide précieuse.

J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur NADIA MBARGA pour l'aide apportée lors des achats des consommables et autres réactifs de laboratoire.

Je remercie Monsieur NGWEM Maurice Emmanuel du Ministère du Domaine, du Cadastre et des Affaires Foncières, qui m'a appris à utiliser le GPS et à réaliser des cartes de localisation des stations d'échantillonnage sur les fleuves Nyong et Wouri.

A mes camarades de laboratoire : Drs LEME BANOCK Lucie et AMBADA Georgia ; Mesdames et Messieurs AVOMO Jeanne, TOMBEDI Marie-christine, EBA BENGONO Armel, TIWA Florice, NJILA Joëlle, SOUGAL GAMBIA Freitas, ASSONG ELOMBAT Danielle Cynthia, BEUKAM Doriane et Sœur YENGUE Jacqueline Félicité, je dis merci pour leur assistance.

A mes camarades de promotion : Drs MAKEMGUE Louise Stéphanie, NANA Paul Alain, ONANA Fils Mamert, MELACHIO TANEKOU Trésor, TCHOUEMENE LABOU Judith et MADOMGUIA Diane ; Messieurs TONYE III Daves Stéphane et EHEHT Samuel, qui ont participé chacun à sa manière à la réalisation de ce travail, j'exprime toute ma reconnaissance.

Je n'oublie guère mes frères et sœurs M. et Mme ESSOMBA, M. et Mme MBA AZEME, Mme ANGONO AZEME Viviane Sorelle, Mme KATSANG AZEME Tatiana et Dr ESSAMA AZEME Marina Lafortune qui m'ont entouré d'un amour inconditionnel.

Ma gratitude va à l'endroit de mes beaux-parents Monsieur Samuel PRISO ESSAWE et Madame NDEMA Rose pour tout le soutien et l'assistance dont j'ai bénéficié durant mes recherches. A mes beaux-frères M. et Mme DIPOCKO, Feu LOBE Georges, M. et Mme PRISO ESSAWE, M. et Mme BOUM, M. et Mme PRISO ESSAWE NDEDI, quelle joie de bénéficier de votre soutien ! Un merci particulier à Mme NGON Estelle-Anny PRISO qui m'a accompagné en pirogue sur le fleuve Wouri, à chaque descente de terrain. Sa présence a été un réconfort pour moi.

Mes chers nièces et neveux : Fidèle, Ode-esther, Michelle, Aimé-frédéric, Alex, Adassa, Jack Willy, Manu, Trigg, Nolwenn, Moona, Aymeric, Naam, Lila, Romain, Georgette, Lucie, Isabelle, Charlotte-Aurélia et Liz-Madison, l'occasion m'est offerte pour vous dire merci pour votre amour à mon égard.

Les mots me manquent pour témoigner ma gratitude à Monsieur MUSSANGO pour sa disponibilité et son assistance à chaque descente sur le fleuve Wouri.

Que tous ceux qui m'ont apporté une aide, aussi petite soit-elle, et dont les noms ne figurent pas ici, trouvent l'expression de ma profonde gratitude.

SOMMAIRE

DEDICACE	xv
REMERCIEMENTS	xvi
SOMMAIRE	xiii
RESUME	xv
ABSTRACT	xvi
LISTE DES ABREVIATIONS	xvii
LISTE DES TABLEAUX	xix
LISTE DES FIGURES	xxi
LISTE DES ANNEXES	xxii
INTRODUCTION	1
Chapitre I : REVUE DE LA LITTERATURE	3
I. 1 Hydrographie du Cameroun	3
I. 1. 1 Bassins hydrographiques	3
I. 1. 2 Facteurs influençant la qualité des eaux de surface	5
I. 1. 3 Quelques caractéristiques des eaux de surface au Cameroun	9
I. 2 Usages des eaux de surface	10
I. 2. 1 Production de l'eau de boisson	10
I. 2. 2 Activités agropastorales.....	10
I. 2. 3 Activités de pêche artisanale	10
I. 2. 4 Transport.....	11
I. 2. 5 Activités industrielles.....	11
I. 2. 6 Loisirs	11
I. 3 Pollution des eaux de surface et risques sanitaires pour l'homme	12
I. 3. 1 Pollution des eaux de surface	12
I. 3. 2 Généralités sur les métaux lourds et sur le Métalaxyl-M	16
I. 3. 3 Risques sanitaires pour l'homme	17
I. 4 Méthodes de dépollution des eaux naturelles	19
I. 4. 1 Méthodes physiques.....	19
I. 4. 2 Méthodes chimiques	19
I. 4. 3 Méthodes biologiques	20
Chapitre II : MATERIEL ET METHODES	23
II. 1 Cadre de l'étude	23
II. 1. 1 Sites de prélèvement.....	23
II. 1. 2 Fleuve Nyong.....	23
II. 1. 3 Fleuve Wouri	26

II. 2 Méthodes	28
II. 2. 1 Prélèvement des échantillons d'eau.....	28
II. 2. 2 Caractérisation physico-chimique, toxicologique et bactériologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri	28
II. 2. 3 Evaluation de l'impact potentiel sur la santé des populations riveraines, de la qualité des eaux des fleuves Nyong et Wouri	43
II. 2. 4 Sondage de la compétence à dégrader le Métalaxyl-M des bactéries isolées des eaux des fleuves Nyong et Wouri	45
II. 2. 5 Analyse des données	47
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	48
III. 1 Résultats	48
III. 1. 1 Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	48
III. 1. 2 Caractères toxicologiques des fleuves Nyong et Wouri	69
III. 1. 3 Caractères bactériologiques des fleuves Nyong et Wouri	72
III. 1. 4 Impact potentiel sur la santé des populations riveraines de la qualité des eaux des fleuves Nyong et Wouri	86
III. 1. 5 Compétence des bactéries isolées des eaux des fleuves Nyong et Wouri à dégrader le Métalaxyl-M	94
III. 2 Discussion	99
Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri	99
Caractères toxicologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri	102
Caractères bactériologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	103
Impact potentiel sur la santé des riverains de la qualité de l'eau	106
Biodégradation aérobie du Métalaxyl-M	107
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	108
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	112
ANNEXES	121
PUBLICATION ISSUE DE LA THESE	131

RESUME

La pollution perturbe l'équilibre des écosystèmes aquatiques et réduit les possibilités d'usage de l'eau. Les activités humaines en sont les principales causes. Dans le but de contribuer à la préservation de l'environnement aquatique, il a été réalisé une étude portant sur la caractérisation physico-chimique, toxicologique et microbiologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri. Ainsi, des paramètres physico-chimiques ont été mesurés suivant des protocoles standards pour analyse de l'eau. Des métaux lourds tels que le Plomb, le Cuivre, le Nickel et le Cadmium ont été dosés par spectrométrie à fluorescence X. Le pesticide Métalaxyl-M, utilisé abondamment dans les cacaoyères hébergées sur les bassins versants des deux fleuves étudiés, a été recherché par chromatographie en phase liquide à haute performance. Les bactéries hétérotrophes ont été isolées et identifiées selon des techniques usuelles. L'impact potentiel sur la santé des riverains de la qualité des eaux des deux fleuves a été déterminé à l'aide du guide pour les eaux récréatives de l'OMS ; les capacités de dégradation du Métalaxyl-M par des bactéries isolées des eaux ont été évaluées. Sur le plan physico-chimique, les températures des eaux des deux fleuves ont été conformes à la norme nationale mais supérieures à la norme internationale ($25,2\text{ °C} \pm 0,9\text{ °C}$ pour le Nyong ; $27,9\text{ °C} \pm 2,2\text{ °C}$ pour le Wouri). Le pH, la conductivité électrique, les solides totaux et l'oxygène dissous, les matières en suspension et les nitrates ont été inférieurs ou égaux aux valeurs seuils fixées par les deux normes suscitées ; la couleur a été largement supérieure aux normes (212,9 Pt-Co pour le Nyong ; 208,9 Pt-Co pour le Wouri). S'agissant de la Toxicologie, les concentrations en métaux lourds des eaux du Nyong ont été inférieures aux valeurs seuils admises, alors que celles du Wouri, ont excepté en Nickel, été supérieures aux valeurs normales ($14,9\text{ µg/L} \pm 9,7\text{ µg/L}$ pour le Plomb, $124,3\text{ µg/L} \pm 87,1\text{ µg/L}$ pour le Cuivre et $2,6\text{ µg/L} \pm 4,5\text{ µg/L}$ pour le Cadmium). Les teneurs en Métalaxyl-M ont été supérieures aux deux normes. Concernant la Microbiologie, une cinquantaine d'espèces bactériennes a été isolée dont les indicatrices de contamination fécale. Les genres *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Aeromonas* et *Pseudomonas* ont été les plus présents dans le Nyong, tandis que les genres *Vibrio* et *Pseudomonas* ont été prédominants dans le Wouri. Sur le plan sanitaire, les infections cutanées et les gastroentérites fébriles ou non ont constitué les plaintes des riverains fréquemment enregistrées. S'agissant de l'essai de biodégradation, *Bacillus coagulans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Chromobacterium violaceum* et *Chryseobacterium indologenes* prises individuellement se sont révélées compétentes à dégrader le Métalaxyl-M à 5 %. Les trois dernières espèces bactériennes assemblées en un consortium ont présenté une activité améliorée. Dans le milieu réactionnel, les concentrations bactériennes ont augmenté à partir du 2^{ème} jour et ont atteint des valeurs maximales au 10^{ème} jour ; le métabolite du Métalaxyl-M est apparu au 2^{ème} jour, sa concentration a régulièrement augmenté et a atteint une valeur maximale au 10^{ème} jour. Cette étude a mis en évidence la présence de polluants divers dans les eaux des fleuves Nyong et Wouri, la nécessité, sur le plan sanitaire, de manipuler lesdites eaux avec prudence et la possibilité d'utiliser des bactéries dans la résolution de l'épineux problème de santé publique que représente la pollution des eaux de surface.

Mots-clés : Nyong, Wouri, pollution, physico-chimie, bactériologie, biodégradation du Métalaxyl-M.

ABSTRACT

Pollution disrupts the balance of aquatic ecosystem and reduces the possibilities for water use. Human activities are among the main cause. In order to contribute to the preservation of aquatic environments, a study was carried out on the physico-chemical, toxicological and microbiological characterization of the waters of the Nyong and Wouri rivers. Thus, some physicochemical parameters were measured according to standard protocols for water analysis. The heavy metals such as Lead, Copper, Nickel, Cadmium were determined by X-ray fluorescence spectrometry. The pesticide Metalaxyl-M, used extensively in cocoa farms in the watersheds of the two rivers studied, was tested by high performance liquid chromatography. The heterotroph bacteria were isolated and identified according to the usual techniques of bacteriology. The impact on the health of riparians of the quality of these waters was determined using the WHO guide for recreational waters. The degradation capacities of Metalaxyl-M by some of the isolated bacteria were also evaluated. As main results, the water temperature of the two rivers ($25,2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $27,9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively for Nyong and Wouri rivers) met the national standard but exceeded the international standard. The values of pH, electrical conductivity, total dissolved solids, suspended solids, dissolved oxygen and nitrates were less than or equal to the threshold values for both standards, while the colour was well above these (212,9 Pt-Co and 208,9 Pt-Co respectively for Nyong and Wouri rivers). Heavy metal concentrations in Nyong waters were lower than the thresholds for both standards, whereas they were, except for Nickel, higher than the normal values for Wouri river ($14,9\text{ }\mu\text{g/L} \pm 9,7\text{ }\mu\text{g/L}$ for Lead, $124,3\text{ }\mu\text{g/L} \pm 87,1\text{ }\mu\text{g/L}$ for Copper and $2,6\text{ }\mu\text{g/L} \pm 4,5\text{ }\mu\text{g/L}$ for Cadmium). Levels of Metalaxyl-M were well above the standards ($4,1\text{ }\mu\text{g/L}$ for Nyong river and $11\text{ }\mu\text{g/L}$ for Wouri). Around fifty bacterial species were isolated from Nyong and Wouri rivers including faecal contamination indicators. The genera *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Aeromonas* and *Pseudomonas* were the most isolated in the Nyong river, while the genera *Vibrio* and *Pseudomonas* were the most isolated in the Wouri river. Skin infections, followed by febrile gastroenteritis or not, were the most recorded ailments. *Bacillus coagulans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Chromobacterium violaceum* and *Chryseobacterium indologenes* were selected for the Metalaxyl-M degradation test. For all these bacteria have been shown to be able of degrading the pollutant. In fact, their concentration increased from the 2nd day and reached a maximum value on the 10th day. The metabolite appeared on the 2nd day, its concentration steadily increased and reached a maximum value on the 10th day. This bacterial action is markedly improved when the species form a consortium. This study highlighted the presence of various pollutants in the water of the Nyong and Wouri rivers, the sanitary need to handle them with caution and the possibility of using bacteria to resolve the thorny public health problem of surface water pollution.

Keywords: Nyong river, Wouri river, water pollution, physico-chemical, bacteriology, biodegradation of Metalaxyl-M.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABN : Autorité Bassin du Niger

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ALUCAM : Aluminium du Cameroun

APHA : American Public Health Association

ARN : Acide Ribonucléique

BAD : Banque Africaine de Développement

BHAM : Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles

BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières

CF : Coliformes Fécaux

CMA : Concentrations Minimales Admissibles

CRH : Centre des Recherches Hydrologiques

CT : Coliformes Totaux

DSCE : Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi

FAO : Food and Agriculture Organization

GSP : Grande Saison de Pluies

GSS : Grande Saison Sèche

HPLC : High Performance Liquid Chromatography

HSDB : Hazardous Substances Data Bank

INC : Institut National de Cartographie

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de recherche et de Sécurité

INS : Institut National de la Statistique

MES : Matières en Suspension

MICS : Multiple Indicator Cluster Surveys

MINADER : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

MINEE : Ministère de l'Eau et de l'Energie

MINEPDED : Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable

MINEPIA : Ministère de l'Élevage, de la Pêche et de l'Industrie Animale

MINRESI : Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation

MIPROMALO : Mission de Promotion des Matériaux Locaux

NQE : Normes de Qualité Environnementale

O.R.L : Oto-Rhino-Laryngologie

ODD : Objectif de Développement Durable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

PANGIRE : Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau

pH : Potentiel Hydrogène

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PSP : Petite Saison de Pluies

PSS : Petite Saison Sèche

SF : Streptocoques Fécaux

SP : Saison de Pluies

SS : Saison Sèche

TDS : Total Dissolved Solids

UNESCO/WMO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / World Meteorological Organization

UNICEF : United Nations of International Children's Emergency Fund

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Principaux types de pollution des eaux de surface.....	13
Tableau II : Evaluation de la pollution microbiologique des eaux récréatives	44
Tableau III : Valeurs guides de la qualité microbiologique des eaux récréatives.....	44
Tableau IV : Mise en évidence de la croissance bactérienne en présence du Métalaxyl-M ...	45
Tableau V : Composition des milieux réactionnels pour le choix de la concentration du Métalaxyl-M	46
Tableau VI : Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	48
Tableau VII : Valeurs moyennes des caractères physico-chimiques des eaux de la rive et du lit mineur des fleuves Nyong et Wouri.....	49
Tableau VIII : Valeurs moyennes des caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri en fonction des stations.....	51
Tableau IX : Matrice de comparaison mensuelle de la température de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).....	54
Tableau X : Matrice de comparaison mensuelle du pH de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)	55
Tableau XI : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes de la couleur de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)	57
Tableau XII : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes de la conductivité électrique de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).	58
Tableau XIII : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes des TDS de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).....	60
Tableau XIV : Matrice de comparaison mensuelle des teneurs en oxygène dissous dans l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)	61
Tableau XV : Matrice de comparaison mensuelle des MES dans l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).....	63
Tableau XVI : Matrice de comparaison mensuelle de la teneur en nitrates de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).....	64
Tableau XVII : Matrice de comparaison mensuelle de la teneur en orthophosphates de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)	66
Tableau XVIII : Comparaison en fonction des saisons, de la qualité physico-chimique des eaux des fleuves Nyong et Wouri	68
Tableau XIX : Caractères toxicologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	69
Tableau XX : Variation spatiale de la qualité toxicologique des eaux des différentes stations d'échantillonnage du Nyong et Wouri	70
Tableau XXI : Variation toxicologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri en fonction des saisons.....	71
Tableau XXII : Espèces bactériennes isolées des eaux du fleuve Nyong de décembre 2011 à novembre 2012.....	73
Tableau XXIII : Répartition des bactéries par station d'échantillonnage du fleuve Nyong ...	74
Tableau XXIV : Concentrations bactériennes par station.....	76
Tableau XXV : Espèces bactériennes isolées dans les eaux du fleuve Wouri	77
Tableau XXVI : Répartition des bactéries par station d'échantillonnage du fleuve Wouri....	78
Tableau XXVII : Concentrations bactériennes par station.....	80

Tableau XXVIII : Comparaison des richesses spécifiques bactériennes entre les fleuves Nyong et Wouri.....	81
Tableau XXIX : Valeurs du rapport CF/SF dans les stations d'échantillonnage du Nyong et du Wouri.....	82
Tableau XXX : Valeurs moyennes des indicateurs de pollution fécale des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	82
Tableau XXXI : Qualité microbiologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	83
Tableau XXXII : Concentrations moyennes des indicateurs de pollution fécale des eaux du Nyong et Wouri.....	84
Tableau XXXIII : Comparaison des concentrations saisonnières des indicateurs de pollution fécale pour le Nyong et le Wouri	85
Tableau XXXIV : Evaluation du niveau de vulnérabilité des fleuves Nyong et Wouri.....	86
Tableau XXXV : Classification des eaux des stations des fleuves Nyong et Wouri en fonction des charges en streptocoques fécaux	87
Tableau XXXVI : Niveau des usages par les riverains des fleuves Nyong et Wouri.....	88
Tableau XXXVII : Niveau de plaintes émises par les usagers des eaux des fleuves Nyong et Wouri.....	91
Tableau XXXVIII : Risques sanitaires estimés pour les eaux des fleuves Nyong et Wouri..	93

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte hydrographique du Cameroun.....	3
Figure 2 : Pollution due aux activités agricoles.	15
Figure 3 : Pollution due aux activités industrielles.	15
Figure 4 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Nyong.	24
Figure 5 : Stations de prélèvement (a) : N1, (b) : N2, (c) : N3, (d) : N4 et (e) : N5 sur le fleuve Nyong.	25
Figure 6 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Wouri.	26
Figure 7 : Stations de prélèvement (a) : W1, (b) : W2, (c) : W3, (d) : W4 et (e) : W5 sur le fleuve Wouri.	27
Figure 8 : Algorithme d'identification des bactéries à gram positive isolées sur gélose Trypticase-Soja-Agar	38
Figure 9 : Algorithme d'identification des bactéries à Gram négative isolées sur gélose Trypticase-Soja-Agar.	39
Figure 10 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Chapman.	39
Figure 11 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Bile-Esculine.	40
Figure 12 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose TCBS.	41
Figure 13 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Mac Conkey.	41
Figure 14 : Technique de dilution.	42
Figure 15 : Variation temporelle de la température de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	53
Figure 16 : Variation temporelle du pH de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	55
Figure 17 : Variation temporelle de la couleur de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	56
Figure 18 : Variation temporelle de la conductivité électrique de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	58
Figure 19 : Variation temporelle des solides totaux dissous de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	59
Figure 20 : Variation temporelle de l'oxygène dissous de l'eau dans les stations N1 et W1 en fonction des mois.	61
Figure 21 : Variation temporelle des matières en suspension (MES) de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.....	62
Figure 22 : Variation temporelle des nitrates dans l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	64
Figure 23 : Variation temporelle des orthophosphates dans l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.	65
Figure 24 : Cinétique de biodégradation du Métalaxyl-M par les bactéries sélectionnées (a, b, c, d, e) et évolution de la concentration bactérienne en fonction du nombre de jour d'incubation (a', b', c', d', e').....	98

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Grille d'observation pour la sélection des stations d'échantillonnage	122
Annexe 2: Normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (PNUE, 2008) relatives à la qualité physico-chimique des eaux de surface	123
Annexe 3: Normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (UE, 2013) relatives à la qualité toxicologique des eaux de surface	123
Annexe 4: Confection d'un frottis bactérien	124
Annexe 5: Coloration de Gram	124
Annexe 6: Méthode des quadrants	124
Annexe 7: Critères macroscopiques des colonies	125
Annexe 8: Coloration des spores	126
Annexe 9: Quelques tests biochimiques effectués sur galerie API 20E et API 20NE	126
Annexe 10: Fiche d'enquête	127
Annexe 11: Fiche de recueil du consentement éclairé	128

INTRODUCTION

L'eau recouvre 70 % de la surface de la Terre. Toutefois, 2,5 % sont douces dont la majorité (98,8 %) est inaccessible car stockée dans des glaciers ou sous terre (PNUE, 2017). La fraction accessible (1,2 %) est représentée par des masses d'eau courante ou stagnante en contact direct avec l'atmosphère que sont les lacs, les fleuves et les rivières (Bordet, 2007 ; UNESCO/WMO, 2012). Ces deux dernières étant les plus importantes pour l'Homme qui les utilisent pour la consommation, les loisirs, le transport, la pêche, l'agriculture, l'élevage et l'industrie (Festy *et al.*, 2003 ; PANGIRE, 2015). Or, elles constituent la plus petite partie (30%) des eaux douces accessibles et près de leur moitié est polluée par la présence d'agents physiques, chimiques ou biologiques (PNUE, 2017 ; Phu Duc Nguyen *et al.*, 2018). Ainsi, plus de deux milliards de personnes, soit 28,6 % de la population mondiale, n'ont pas accès à l'eau potable (UNESCO/WMO, 2012). 1,8 millions de personnes, dont 525 000 enfants âgés de moins de 5 ans, meurent chaque année de diarrhée. Les pays en développement sont les plus affectés (Connor *et al.*, 2019).

Afin d'améliorer la disponibilité de l'eau potable, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement recommande notamment la réduction de l'utilisation, en agriculture des pesticides et des engrais, la diminution de la consommation de viande et le soutien des organisations fournissant des systèmes d'assainissement et de l'eau potable (PNUE, 2017). Par ailleurs, divers procédés physiques et chimiques tels que le pompage et l'ultra-filtration pour les premiers, la floculation, la précipitation, l'oxydation chimique *in situ* et la réduction chimique *in situ* pour les seconds sont employés pour la dépollution des eaux (Lallemand-Barrès, 1993 ; BRGM, 2010). Toutefois, les résultats ne sont pas toujours satisfaisants et la pollution de l'eau demeure une préoccupation (Aw *et al.*, 2011 ; Zerrouqi *et al.*, 2013 ; Phu Duc Nguyen *et al.*, 2018). La recherche sur les techniques et méthodes efficaces continue. Depuis quelques années, divers auteurs décrivent la mise à contribution des microorganismes (Ouazzani, 2002). Ainsi, en France, Budzinski *et al.* (1998) ont mis en évidence la dégradation aérobie des composés hydrocarbonés aromatiques cycliques par des bactéries isolées des plages d'Arcachon. En Espagne, Lopez *et al.* (2006) ont démontré l'augmentation significative de l'activité microbienne du lac Laguna Grande en présence de pesticides tels que l'atrazine, l'aldrine et le lindane. En Égypte, Sayeda *et al.* (2011) ont mis en évidence la capacité des espèces bactériennes *Cryosomonas luteola*, *Azospirillum* spp., *Azomonas* spp. et *Klebsiella pneumoniae* à épurer, dans le Nil, les effluents des industries agroalimentaires. Au Cameroun, Lémé *et al.* (2016) et Ntsama *et al.* (2017) ont étudié la dégradation aérobie du gasoil et de l'essence par des bactéries isolées des eaux des plages.

Au Cameroun, comme dans la plupart des pays en développement, le secteur primaire en général et l'agriculture en particulier restent des moteurs importants de l'économie (DSCE, 2015). Aussi, afin de booster la productivité en agriculture, l'utilisation des pesticides est une pratique courante. Ainsi, le fongicide Métalaxyl-M est utilisé par 71,4 % des intervenants dans la culture du cacao, des arbres fruitiers et des cultures maraichères (Mahob, 2013). Il en découle une présence dans les cours d'eau avoisinant les sites de culture devenue anodine, avec des incidences d'ordre écotoxicologique et de santé publique.

Les fleuves Nyong et Wouri revêtent une importance socioéconomique capitale pour le Cameroun. En effet, ils sont de grands pourvoyeurs de ressources halieutiques ; le Wouri grâce à son ouverture sur l'Océan Atlantique, héberge sur ses rives le plus grand port du pays, ainsi qu'une importante zone industrielle. Les eaux du Nyong sont utilisées pour l'approvisionnement en eau de boisson, de la ville de Yaoundé et ses environs. Comme les autres cours d'eau, ces deux fleuves sont potentiellement exposés à divers types de pollution. En effet, des effluents urbains et industriels y sont directement déversés ; par ailleurs, leurs bassins versants étant de grands sites de production du cacao (FAO, 2018), ils subissent les conséquences de l'utilisation du Métalaxyl-M.

Afin de contribuer à la préservation de l'environnement aquatique, il nous est paru d'un grand intérêt, de conduire une étude portant sur la qualité physico-chimique, toxicologique et microbiologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri. À notre connaissance, une étude de cette nature n'a jamais été effectuée. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- déterminer les caractères physico-chimiques, toxicologiques et bactériologiques des eaux des deux fleuves ;
- évaluer l'impact potentiel sur la santé des populations riveraines, de la qualité de ces eaux ;
- sonder la compétence à dégrader le Métalaxyl-M, des bactéries isolées dans ces eaux.

A la suite de cette introduction, le présent document comporte trois chapitres portant, le premier sur une revue de la littérature, le second sur le matériel et les méthodes utilisés pour atteindre les objectifs fixés ; le troisième, sur les résultats obtenus et leur discussion. Une conclusion, des recommandations et des perspectives clôturent l'ensemble.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

I. 1 Hydrographie du Cameroun

Pays d'Afrique centrale, le Cameroun est situé entre l'Ouest et le Centre du continent, à l'Extrême Nord-Est du Golfe de Guinée. Il couvre une superficie d'environ 475 650 km². Il s'étire en triangle entre les latitudes 2° et 13°N, du golfe de Guinée au lac Tchad sur une distance d'environ 1200 km, et entre les longitudes 8° et 16°E sur une distance d'environ 800 km. Il est limité au nord par le lac Tchad, au nord-est par la République du Tchad, à l'est par la République Centrafricaine, au sud par la République du Congo, la République du Gabon et la Guinée Equatoriale, à l'ouest par la République Fédérale du Nigeria et, sur environ 400 km de côte, par l'Océan Atlantique (ATLAS, 2016).

I. 1. 1 Bassins hydrographiques

On en distingue deux sous-ensembles créés au nord et au sud de la dorsale camerounaise par le plateau de l'Adamaoua, château d'eau du pays. Le premier sous-ensemble comprend les bassins du Lac Tchad et du Niger tandis que le second rassemble les bassins du Congo, de la Sanaga et des fleuves côtiers comme l'indique la figure 1 (ATLAS, 2016).

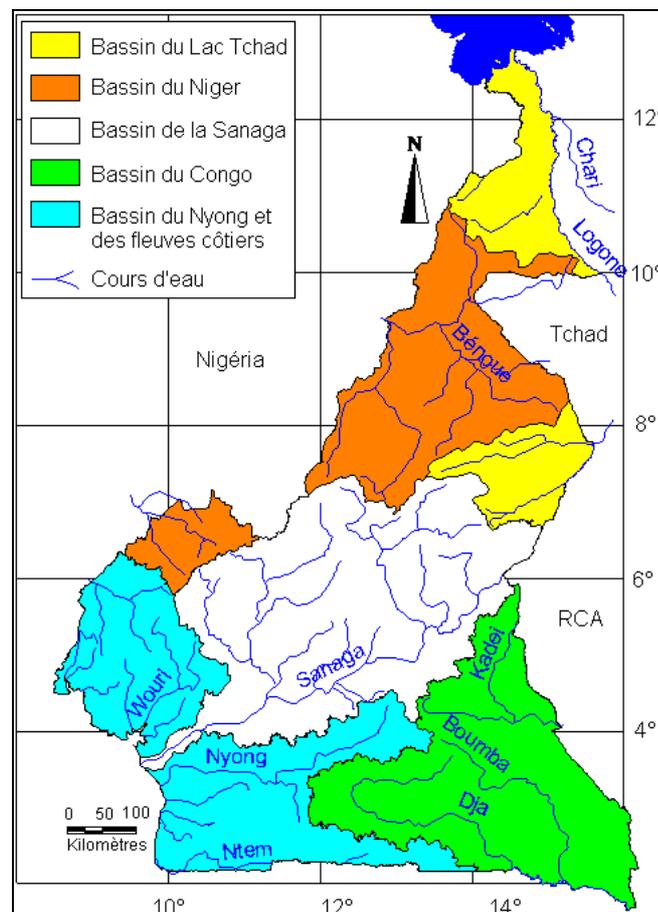


Figure 1 : Carte hydrographique du Cameroun (ATLAS, 2016).

I. 1. 1. 1 Bassins hydrographiques du nord

Le bassin du Lac Tchad est transfrontalier pour le Cameroun, le Tchad, la République Centrafricaine, le Niger, le Nigeria et la Lybie (Abdelkarim *et al.*, 2017). Il représente 12,14 % des ressources en eaux de surface du pays (PANGIRE, 2015). Son principal cours d'eau au Cameroun est le Logone, long de 950 km dont environ 100 km traversent le territoire camerounais.

Le bassin du Niger est transfrontalier pour le Cameroun, l'Algérie, le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Mali, le Niger, le Nigeria et le Tchad (ABN, 2008). Il représente 16,51 % des ressources en eaux de surface du Cameroun (PANGIRE, 2015) où son principal cours d'eau est la Bénoué, long de 1400 km dont environ 350 km coulent en territoire camerounais.

I. 1. 1. 2 Bassins hydrographiques du sud

Le bassin du Congo est transfrontalier pour le Cameroun, l'Angola, le Burundi, le Gabon, la République Centrafricaine, la République du Congo, la Guinée équatoriale, la République Démocratique du Congo, le Rwanda et la Tanzanie (Oberg *et al.*, 2008). Il représente 12,58 % des ressources en eaux de surface du Cameroun (PANGIRE, 2015) où son principal cours d'eau est la Sangha, long de 790 km dont environ 200 km traversent le territoire camerounais.

Le bassin de la Sanaga est exclusif au territoire camerounais ; il représente 23,59 % des ressources en eaux de surface du pays (PANGIRE, 2015). Son principal cours d'eau est la Sanaga, qui est le plus long fleuve du Cameroun, soit 920 km.

Les fleuves côtiers du Cameroun représentent 34,51 % des ressources en eau de surface du pays (PANGIRE, 2015) et les principaux sont le Nyong et le Wouri.

I. 1. 1. 2. 1 Fleuve Nyong

Il prend sa source à Lomié, dans la région de l'Est et est le deuxième plus long fleuve du Cameroun (690 km). Il draine deux unités géomorphologiques distinctes séparées par des chutes et des rapides : le plateau du sud Cameroun de 600 à 700 m d'altitude et la plaine côtière de 350 m d'altitude. Sur le plateau sud Cameroun, le cours supérieur du fleuve Nyong est caractérisé par un relief plat et des pentes très faibles. Y affluent de nombreuses rivières ; les plus importantes sont, la Mefou et le So'o. La première citée prend sa source dans le massif de Mbam Minkom, dans la région du Centre, se jette dans le Nyong après 255 km de course, en rive droite et à 69 km en aval d'Akonolinga. La seconde prend sa source à

Ekombité, dans la région du Sud, se jette dans le Nyong après 388 km de course, en rive gauche et à 28 km en aval de Mbalmayo (Olivry, 1986).

Dans la plaine côtière, le cours inférieur du fleuve Nyong est caractérisé par des chutes et des rapides. Les plus importantes chutes sont celles de Mpoume, Manyanga, Makaï, Milly, Mouilla-Moge et Njock. Le principal affluent de ce fleuve est la Kélé qui prend sa source à Matomb dans la région du Centre, se jette dans le Nyong après 547 km de course, en rive droite. Après ce confluent, le Nyong traverse le village de Dehané et coule jusqu'à l'Océan Atlantique, atteint à la crique de Batanga, à 690 km de sa source (Olivry, 1986).

I. 1. 1. 2. 2 Fleuve Wouri

Le fleuve Wouri, long de 160 km, est issu de la confluence, en aval de la ville de Yabassi, des rivières Nkam et Makombé ; son principal affluent est la Dibombé. La rivière Nkam, sa branche principale, prend sa source dans les Monts Bamboutos puis draine le plateau bamiléké. Son réseau hydrographique présente l'aspect de longues lanières au flanc des montagnes. La rivière Makombé prend sa source à Bangangté et draine les villes de Ndikinimeki et Ngambe. Son réseau hydrographique est complexe, marqué par de brusques changements de direction perpendiculaires correspondant aux failles que sont la « ligne du Cameroun » et la « ligne de la Bénoué » (Olivry, 1986).

La Dibombé prend sa source sur le flanc sud du Mont Manengouba, dans la région du Littoral et se jette dans le Wouri à Nono, en rive droite (Olivry, 1986).

I. 1. 2 Facteurs influençant la qualité des eaux de surface

La qualité des eaux de surface est fonction du climat, de la nature des sols traversés et de la végétation (Rodier *et al.*, 2009).

I. 1. 2. 1 Climat

Le climat est le principal facteur influençant la qualité des eaux de surface car il joue un rôle fondamental dans la pédogenèse et sur le couvert végétal (Nicolas, 2010). En outre, les facteurs météorologiques tels que les précipitations, l'ensoleillement, le vent et la pression atmosphérique déterminent les variations des paramètres physico-chimiques de l'eau tels que la température, le pH, les teneurs en oxygène dissous, la conductivité électrique, pour ne citer que ceux-là (Tsalefac *et al.*, 2003). Aussi, le climat constitue un facteur dominant non seulement dans la mise en place des paysages mais aussi des régimes hydrologiques (Olivry, 1986).

Au Cameroun, le cycle des saisons est essentiellement régi par les déplacements annuels du front intertropical, entre les zones de convergence de l'alizé austral et de l'alizé

boréal. Le premier alizé cité, appelé encore mousson, est humide et provient de l'anticyclone Sainte-Hélène tandis que le second, encore nommé harmattan, est sec et issu de l'anticyclone saharien (Suraud, 1954 ; Morin, 1979 a ; Tsalefac, 2006). L'analyse de la répartition des pluies laisse apparaître deux grands régimes pluviométriques au Cameroun : le régime tropical et le régime équatorial (Morin, 1979 b).

Le régime tropical est caractérisé par des précipitations irrégulières et des températures élevées. On y distingue deux types de climat : le climat tropical humide ou soudanien et le climat tropical sec ou soudano-sahélien. Le climat tropical humide comprend deux saisons, une saison de pluies s'étendant d'avril à septembre et une saison sèche allant d'octobre à mars. La pluviométrie annuelle y est comprise entre 900 et 1500 mm et la température moyenne annuelle est de 28 °C. Il sévit de l'Adamaoua aux Monts Mandara (Morin, 1979 b ; Onana, 2018). Le climat tropical sec, quant à lui, comprend deux saisons, une saison des pluies s'étendant de juillet à septembre et une saison sèche allant d'octobre à juin. La pluviométrie annuelle y est comprise entre 400 et 900 mm et la température moyenne annuelle atteint 40 °C. Ce climat règne à l'extrême-nord du Cameroun (Onana, 2018).

Le régime équatorial est caractérisé par des précipitations abondantes et des températures élevées (Morin, 1979 b). On y distingue deux types de climat : le climat équatorial de type « guinéen » et le climat équatorial de type « camerounien ». Le climat équatorial de type « guinéen » comporte quatre saisons, une grande saison sèche allant de décembre à février, une petite saison de pluies s'étendant de mars à juin, une petite saison sèche de juillet à août et une grande saison de pluies s'étendant de septembre à novembre. Sa pluviométrie annuelle est comprise entre 1500 et 2000 mm et sa température moyenne annuelle est fixée à 25 °C. Ce climat règne sur le plateau sud camerounais et sur le cours supérieur du fleuve Nyong (Tsalefac *et al.*, 2003). Le climat équatorial de type « camerounien », quant à lui, comprend deux saisons, une saison sèche qui va de décembre à mars et une saison de pluies qui s'étale d'avril à novembre. Sa pluviométrie annuelle est comprise entre 4000 et 5500 mm et sa température moyenne annuelle est égale à 29 °C. Il sévit du Mont Cameroun à l'embouchure de la Sanaga en passant par les hauts-plateaux de l'Ouest et le bassin versant du fleuve Wouri (Tsalefac, 2006).

I. 1. 2. 2 Sols

Les sols varient en fonction du substratum, des facteurs topographiques, de l'ancienneté de la pédogenèse et des milieux bioclimatiques où ils se forment (Ben Yamed *et al.*, 2006). La nature des terrains traversés influence sur le pH, les matières en suspension, les

matières dissoutes, la couleur et les concentrations en différents ions de l'eau des fleuves (Rodier *et al.*, 2009).

Au Cameroun, 8 grands types de sols sont connus : les sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les sols ferrallitiques, les vertisols, les andosols, les sols fersialitiques, les sols lessivés et les sols hydromorphes (Olivry, 1986).

Les sols minéraux bruts contiennent des traces de matière organique et des débris de roche désagrégée (Ramade, 2005). Ils sont retrouvés au niveau des reliefs montagneux du nord de l'Adamaoua.

Les sols peu évolués contiennent des traces de matière organique additionnées de minéraux faiblement altérés (Ramade, 2005). Ils sont observés au niveau du bassin versant du fleuve Wouri, des berges du lac Tchad et des vallées des Mayos (Ben Yamed *et al.*, 2006 ; Tchawa, 2006).

Les sols ferrallitiques contiennent des traces de matière organique, de fer, d'aluminium et quelques fois de matériaux argileux tels que la goethite et la kaolinite (Ramade, 2005). Ils sont présents sur 2/3 du territoire camerounais et sont généralement recouverts par la forêt. Ils sont observés notamment au niveau du bassin versant du fleuve Nyong (Olivry, 1986).

Les vertisols sont riches en matière organique et en argiles gonflantes (Ramade, 2005). Au Cameroun, ils sont trouvés au niveau des plaines de Figuil, de Guider, de Kaélé et de Mora (Tchawa, 2006).

Les andosols sont riches en matière organique et en silicate d'aluminium (Ramade, 2005), ils sont très fertiles. Ils sont rencontrés sur toute la dorsale camerounaise.

Les sols fersialitiques contiennent de l'argile, des minéraux faiblement altérés et des oxydes de fer (Ramade, 2005). Ils sont relativement fertiles et sont présents du nord de la Bénoué à Maroua (Olivry, 1986).

Les sols lessivés contiennent du sable et, dans certains cas, du sodium toxique pour les plantes (Ramade, 2005). Ils sont trouvés dans les Monts Mandara.

Les sols hydromorphes contiennent de la matière organique faiblement décomposée et des quantités variables de fer (Ramade, 2005). Ils sont retrouvés dans le lit du fleuve Wouri et dans certains bas-fonds étendus (Tchawa, 2006).

I. 1. 2. 3 Végétation

La végétation retrouvée sur le bassin versant d'un cours d'eau joue un rôle sur les variations de quelques paramètres de l'eau comme les matières en suspension, mais aussi la température de l'eau et par conséquent sur les teneurs en oxygène dissous, la conductivité électrique et les solides totaux dissous dans l'eau (Rodier *et al.*, 2009). Au Cameroun, la

végétation présente une grande diversité floristique constituée des forêts denses humides, des savanes arbustives arborées et des steppes (Letouzey, 1968 ; Achoudong, 2006).

I. 1. 2. 3. 1 Forêt dense humide

Une forêt est une vaste étendue de terrain couverte d'un ou de plusieurs peuplements d'arbustes et d'arbres. L'arbuste désigne une plante d'une taille comprise entre 4 et 7 m à l'état adulte, à la différence de l'arbre qui fait plus de 7 m. Les forêts denses humides se subdivisent en quatre grands ensembles notamment la forêt littorale, la forêt biafréenne, la forêt équatoriale et la forêt semi-décidue (Guillaumet, 2009) :

- la forêt littorale ou forêt humide sempervivente ou mangrove est constituée d'espèces caractéristiques telles que *Lophira alata* (Letouzey, 1968 ; Achoudong, 2006 ; Guillaumet, 2009). Elle s'étend de la côte jusqu'à une centaine de kilomètres à l'intérieur du pays. Son altitude est généralement inférieure à 200 m (Tsalefac *et al.*, 2003). Elle recouvre le bassin versant du fleuve Wouri ;

- la forêt biafréenne dont les genres caractéristiques sont *Azelia*, *Brachystegia* et *Cynometra* (Letouzey, 1968 ; Achoudong, 2006 ; Guillaumet, 2009) est localisée dans le sud-ouest, en arrière de la forêt littorale, entre 200 et 800 m d'altitude (Tsalefac *et al.*, 2003) ;

- la forêt équatoriale occupe la partie sud-est du pays, y compris le bassin versant du fleuve Nyong. Son espèce caractéristique est *Gilbertiodendron dewevrei* (Letouzey, 1968 ; Achoudong, 2006 ; Guillaumet, 2009). Son altitude est comprise entre 200 et 800 m (Tsalefac *et al.*, 2003) ;

- la forêt semi-décidue a pour espèces caractéristiques *Triplochiton scleroxylon* et *Mansonia altissima* (Letouzey, 1968 ; Achoudong, 2006 ; Guillaumet, 2009). Elle s'étend au-delà de la partie nord de la forêt littorale. Son altitude est comprise entre 200 et 800 m (Tsalefac *et al.*, 2003).

I. 1. 2. 3. 2 Savane

Une savane est une vaste prairie pauvre en arbustes et arbres. C'est une formation végétale propre aux régions chaudes à longue saison sèche. Elle se subdivise en 3 grands ensembles : la savane périmforestière, la savane soudanienne et la savane soudano-sahélienne.

La savane périmforestière s'étend des marges septentrionales des forêts denses humides au plateau de l'Adamaoua ; la savane soudanienne s'étale du plateau de l'Adamaoua à Garoua, enfin la savane soudano-sahélienne couvre la zone allant de la cuvette de la Bénoué à Maroua (Letouzey, 1968).

I. 1. 2. 3. 3 Steppe

Une steppe est une formation végétale constituée d'immenses étendues d'herbes. Les arbres sont quasiment absents. Elle se subdivise en 2 grands ensembles : les steppes à épineux et les yaérés (Letouzey, 1968). Les steppes à épineux sont constituées des graminées telles que *Echinochloa stagnina* (bourgou), tandis que les yaérés ou prairies périodiquement inondées sont constitués des graminées telles que celle du genre *Oryza* ou riz sauvage. Ces steppes sont retrouvées à l'extrême-nord, vers le Lac Tchad (Letouzey, 1968). C'est dans cette zone soumise aux aléas climatiques et supportant localement de fortes charges humaines et animales que les manifestations de la désertification sont les plus visibles (Bikié *et al.*, 2000 ; Onana, 2018).

I. 1. 3 Quelques caractéristiques des eaux de surface au Cameroun

Dans ce paragraphe, quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface du Cameroun seront présentées par bassin hydrographique.

Les eaux des bassins du Lac Tchad et du Niger sont caractérisées par un taux élevé de matières en suspension (MES) dont la composition chimique n'est pas établie (CRH, 2017). Dans le bassin du Congo, les eaux sont riches en minéraux (bicarbonate, calcium et magnésium) et faiblement acides à neutres avec un pH compris entre 6,6 et 7,5 (CRH, 2017). Dans le bassin de la Sanaga, les eaux sont faiblement minéralisées (conductivité électrique comprise entre 24,2 et 34,7 S/cm), acides à neutres (pH compris entre 6,35 et 7,5) avec des teneurs en nitrates nulles à très faibles (0 à 1 mg/L). Dans le bassin des fleuves côtiers, les eaux du Nyong sont riches en minéraux (bicarbonates, Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium). Elles sont généralement acides à neutres (pH compris entre 4,9 et 7,1), avec des teneurs en nitrates comprises entre 0,1 et 2,5 mg/L et celles en matières en suspension (MES) variant de 5,7 mg/L à 24,5 mg/L (CRH, 2017). Les principaux polluants chimiques sont le Mercure issu des activités minières et les pesticides utilisés dans la culture de cacao. Les eaux du Wouri sont neutres à basiques (pH compris entre 7 et 8), avec des teneurs en MES souvent élevées et une salinité faible pendant la saison des pluies. Elles contiennent des fortes concentrations en divers polluants chimiques (Plomb, Nickel et Cadmium) issus des rejets industrielles et en pesticides utilisés dans la culture du cacao et du palmier à huile (Sama, 1996). D'une façon générale, ces eaux sont utilisées par l'Homme pour divers usages.

I. 2 Usages des eaux de surface

L'eau est à la fois un aliment, une matière première industrielle, agricole et un moyen de transport ; ses usages sont ainsi multiples et variés. Le plus important, de par son caractère vital pour l'homme, est celui destiné à l'alimentation (Festy *et al.*, 2003). Sous l'effet conjugué de la croissance démographique et économique, l'utilisation de l'eau dans le monde augmente annuellement d'environ 1 % depuis les années 1980. La demande mondiale en eau devrait continuer à augmenter ainsi jusqu'en 2050 (soit 20 % à 30 % de plus que le niveau actuel d'utilisation) et ce, principalement en raison de la demande croissante des ménages et de l'industrie (Connor *et al.*, 2019). Les eaux de surface servent à la production de l'eau de boisson, les loisirs, le transport, l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'industrie (Festy *et al.*, 2003 ; PANGIRE, 2015).

I. 2. 1 Production de l'eau de boisson

La production de l'eau potable représente environ 20 % de la consommation mondiale de l'eau (Connor *et al.*, 2019). Au Cameroun, le taux d'accès des populations camerounaises à une source d'eau potable est passé de 69 % à 72,9 % entre 2011 et 2014 (MICS, 2014). Les taux régionaux par ordre croissant sont Nord (56,5 %), Extrême-Nord (63,7 %), Sud-ouest (66,6 %), Est (67,9 %), Ouest (69,1 %) et Nord-Ouest (71,9 %) selon MICS (2014). En 2018, l'accès à l'eau potable est de 45 % en zone rurale et de 77 % en zone urbaine (INS, 2018). En milieu rural, les populations utilisent des forages généralement obtenus dans le cadre des programmes d'hydraulique villageoise tandis qu'en milieu urbain, la Société Cameroon Water Utilities Corporation (CAMWATER) assure la desserte en eau potable d'environ 212 villes du pays (MINEE, 2017).

I. 2. 2 Activités agropastorales

Elles représentent environ 70 % de la consommation mondiale de l'eau et sont par conséquent les activités humaines les plus consommatrices d'eau (FAO, 2018). L'agriculture et l'élevage emploient respectivement 62 % et 30 % de la population active au Cameroun (www.agriculture.gouv.fr, 2016 ; MINEPIA, 2018). Les eaux superficielles ou souterraines utilisées sont pour les agriculteurs/éleveurs, les cultures et le bétail (MINEPIA, 2018).

I. 2. 3 Activités de pêche artisanale

Elles génèrent 60 millions d'emplois au niveau mondial et 5 % de la population active au Cameroun. C'est principalement en Asie (75 %) et en Afrique (25 %) qu'est pratiquée la pêche continentale (PNUE/World Fish Center, 2010). Les produits de pêche sont

majoritairement consommés dans les pays, rendant l'activité importante pour l'économie de ces pays (PNUE/World Fish Center, 2010).

I. 2. 4 Transport

Les eaux de surface servent au transport par voie de navigation intérieure. Elles jouent un rôle important dans le transport des marchandises et des personnes dans de nombreuses régions du monde. Au Cameroun, quelques rivières ou parties de rivières sont navigables de façon permanente saisonnière. Des ports fluviaux ont été aménagés tels que : Garoua sur la Bénoué, Behondo sur le fleuve Nyong, Mouloudou sur la Ngoko, Yabassi sur le Wouri et Mamfé sur la Cross river. Ce dernier port assure une partie non négligeable du transport de marchandise entre le Nigeria et le Cameroun (BAD, 2015). Ces ports fluviaux pourraient être développés et rendent de grands services. Cependant, la voie fluviale malgré ses énormes potentialités et ses avantages comparatifs indéniables en termes de coûts, de facilité de transit et de capacités de transport, a perdu l'important rôle qu'elle a joué dans le passé au bénéfice d'autres modes de transport (BAD, 2015).

I. 2. 5 Activités industrielles

Les activités industrielles représentent environ 10 % de la consommation mondiale d'eau. Ces statistiques qui varient selon les pays et les secteurs (agroalimentaire, mine, production d'énergie) sont de 12 % dans les pays industrialisés avancés et 8 % dans les pays en développement (FAO, 2010). Au Cameroun, les eaux utilisées par les industries sont souterraines ou superficielles (MINEE, 2017). Les secteurs d'activité qui consomment le plus d'eau sont : l'hydroélectricité, les activités agroalimentaires et les fonderies. La production d'électricité au Cameroun vient des aménagements hydroélectriques, avec une capacité de production estimée à 843 MW (MINEE, 2017). Les principaux barrages hydroélectriques se trouvent dans le bassin du Niger (Lagdo) et sur la Sanaga à Edéa et à Song Loulou (MINEE, 2017). Les principales industries agroalimentaires sont implantées aux berges du Wouri dans la zone industrielle de Bonabéri et les fonderies telles que ALUCAM utilisent les eaux de la Sanaga.

I. 2. 6 Loisirs

Les loisirs constituent un usage de l'eau au même titre que les usages domestiques, agricoles, industriels ou de transport. Les milieux aquatiques sont propices à de nombreuses activités (baignade, canoë, pirogue, barques et nage en eau libre). Les loisirs aquatiques se pratiquent également sur terre, le long des cours d'eau ou dans des zones humides

particulièrement favorables à la découverte de la nature et aux pratiques artistiques telles que la peinture et l'écriture (Festy *et al.*, 2003).

Toutes ces activités humaines engendrent une pollution des eaux de surface, entraînant un déséquilibre des écosystèmes aquatiques et une réduction des usages de l'eau.

I. 3 Pollution des eaux de surface et risques sanitaires pour l'homme

I. 3. 1 Pollution des eaux de surface

I. 3. 1. 1 Définition

La pollution de l'eau est définie comme une altération de sa nature et donc de sa qualité par la présence d'agents physiques, chimiques ou biologiques, de façon à rendre son utilisation dangereuse et à perturber l'écosystème aquatique (UNESCO/WMO, 2012).

I. 3. 1. 2 Types de pollution

En fonction de la nature de l'agent polluant, on distingue les pollutions physique, chimique et biologique comme indiqué au tableau I (Lévêque, 1996).

La pollution physique peut être mécanique, thermique ou radioactive (Lévêque, 1996). Elle constitue une nuisance tant pour les organismes aquatiques que pour les activités récréatives (Rodier *et al.*, 2009). La pollution mécanique résulte de la présence importante des éléments dans l'eau ; il peut s'agir de matériaux et objets divers, de substances non solubles provenant des effluents domestiques et/ou industriels (Adadjogo *et al.*, 2016). La pollution thermique se manifeste par une élévation de la température de l'eau suite au rejet des eaux chaudes industrielles (Amde *et al.*, 2016). La pollution radioactive est liée à la présence des radio-isotopes dans l'eau suite au rejet des eaux des installations nucléaires et hospitalières. Elle est limitée par le contrôle strict effectué sur ces installations (Adadjogo *et al.*, 2016). Ce type de pollution est évalué, selon les cas, par la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau.

La pollution chimique peut être minérale ou organique ; elle constitue une menace tant pour le milieu aquatique (eutrophisation des cours d'eau, toxicité des organismes aquatiques) que pour l'homme, par exemple le développement de cancers (Tuffery, 1980). La pollution minérale se traduit par la présence de fertilisants (nitrates, phosphates), de pesticides, des métaux et métalloïdes et des hydrocarbures (Cebon, 2004 ; Tohozin *et al.*, 2018). Ces polluants sont issus des rejets domestiques, agricoles et/ou industriels (Adjagodo *et al.*, 2016). La pollution organique se traduit par la présence de matières organiques dans l'eau suite aux rejets domestiques et/ou industriels. Ce type de pollution est évalué par la mesure de paramètres toxicologiques de l'eau.

La pollution biologique est liée à la présence des microbes (bactéries, virus, champignons) dans l'eau, issus en grande partie de la matière fécale (OMS, 2003 ; Servais *et al.*, 2007 a). Elle constitue une menace pour les usagers (OMS, 2003 ; Servais *et al.*, 2007 b). La contamination des eaux de surface par de la matière fécale résulte des rejets domestiques et/ou agricoles, du dysfonctionnement des moyens d'assainissement et de la pratique de la défécation à l'air libre (Adadjogo *et al.*, 2016). La présence des bactéries indicatrices de contamination fécale dans l'eau permet ainsi d'évaluer sa qualité microbiologique (Servais *et al.*, 2007 a) car leur abondance est corrélée à celle des microorganismes pathogènes (Georges et Servais, 2002 ; Lawrence *et al.*, 2009 ; Demba N'Diaye *et al.*, 2011).

Tableau I : Principaux types de pollution des eaux de surface (Lévêque, 1996)

Type de pollution de l'eau		Nature du polluant	Source de pollution
Pollution physique	Pollution mécanique	Matériaux, objets, substances non solubles	Rejets domestiques Rejets industriels
	Pollution thermique	Eaux chaudes industrielles	Rejets industriels
	Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations nucléaires Rejets hospitaliers
Pollution chimique	Pollution minérale	Fertilisants	Nitrates, phosphates Rejets agricoles Rejets domestiques
		Métaux et métalloïdes	Mercure, cadmium, plomb, Nickel, aluminium, arsenic Rejets industriels Rejets agricoles
		Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides Rejets industriels Rejets agricoles
		Hydrocarbures	Pétrole et dérivés Rejets industriels
	Pollution organique	Matières organiques	Rejets domestiques Rejets industriels
Pollution biologique	Matières fécales	Bactéries, virus, champignons	Rejets domestiques Rejets agricoles

I. 3. 1. 3 Sources de pollution

Trois grandes sources de pollution sont reconnues pour les eaux de surface : les rejets domestiques, les rejets agricoles et les rejets industriels.

I. 3. 1. 3. 1 Rejets domestiques

Les activités domestiques génèrent des déchets liquides et solides dont l'implication dans la pollution des eaux de surface est avérée. On distingue deux types de rejets domestiques : les eaux ménagères et les eaux vannes.

Les eaux ménagères ou eaux de lavage proviennent des salles de bain et des cuisines. Elles sont généralement chargées en matière organique, détergents et solvants. Les eaux vannes proviennent des toilettes. Elles sont essentiellement chargées en microbes fécaux (Ceseau, 2018). Les déchets solides ménagers constituent également une source de pollution.

I. 3. 1. 3. 2 Rejets agricoles

Les rejets agricoles sont nocifs pour l'environnement aquatique car ils sont généralement riches en engrais et en pesticides comme l'indique la figure 2 (Laurent, 2012).

Les engrais sont des fertilisants utilisés en agriculture pour augmenter les rendements (FAO, 2018). Il en existe trois principaux types : les engrais azotés, les engrais phosphatés et les potasses. Les premiers cités sont très solubles dans l'eau ; par conséquent les excédents non utilisés par les plantes s'infiltrent aisément dans le sol et atteignent les eaux souterraines (Hébert, 1996). Les deux derniers identifiés aboutissent par ruissellement dans les eaux de surface. La présence de ces substances nutritives dans les écosystèmes aquatiques favorise une forte croissance des plantes aquatiques, avec une eutrophisation des plans d'eau et une limitation des activités récréatives (Hébert, 1996 ; Idrissi, 2006).

Les pesticides sont des substances chimiques naturelles ou de synthèse utilisées en agriculture pour contrôler les différents agents indésirables (FAO, 2018). En fonction du type d'organisme à éliminer, on distingue plusieurs familles de pesticides, à savoir les fongicides, les herbicides et les insecticides. La mise en évidence d'une pollution causée par les pesticides est un événement relativement récent. Cette pollution est très dangereuse du fait de la longue rémanence des substances en question. C'est le cas du Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) interdit d'utilisation depuis près de 50 ans mais qui persiste dans les eaux de surface jusqu'à nos jours (Carluer *et al.*, 1996).

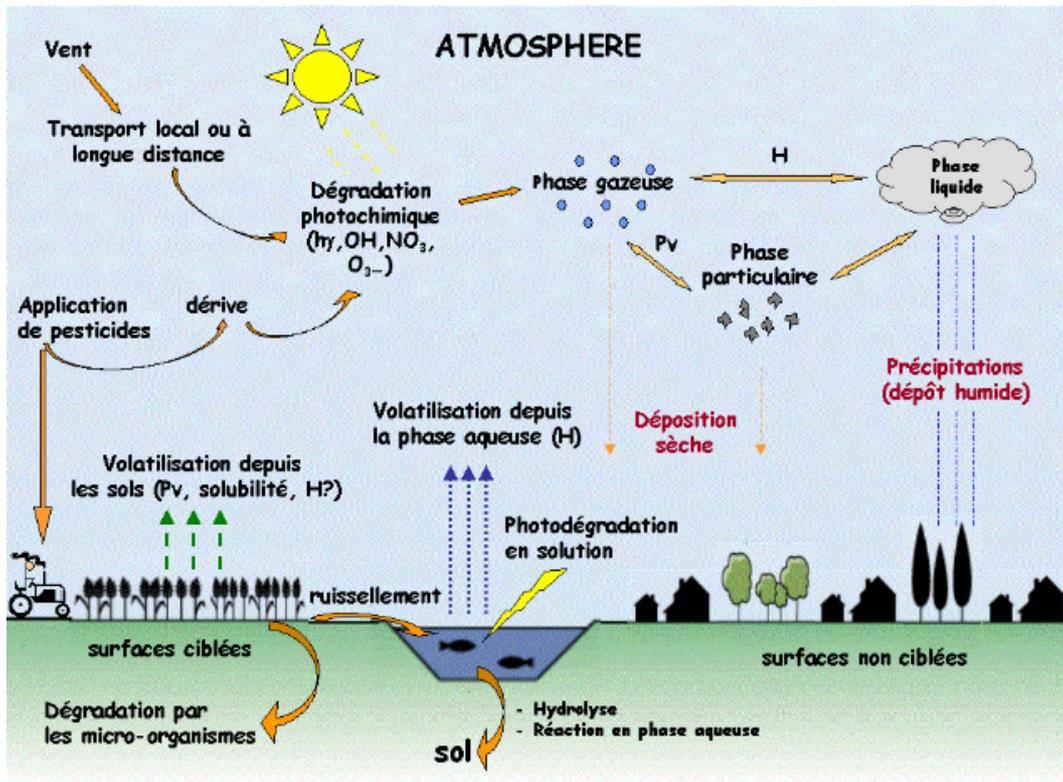


Figure 2 : Pollution due aux activités agricoles (Laurent, 2012).

I. 3. 1. 3. 3 Rejets industriels

Les industries constituent une source importante de pollution. Les conséquences sont graves et se manifestent le plus souvent à long terme chez l'homme, la faune aquatique et l'environnement (Noyer *et al.*, 2003). Les principaux polluants industriels sont les produits pétrochimiques (benzène, toluène, additifs aux carburants), les solvants chlorés, les métaux lourds et les produits pharmaceutiques (figure 3).

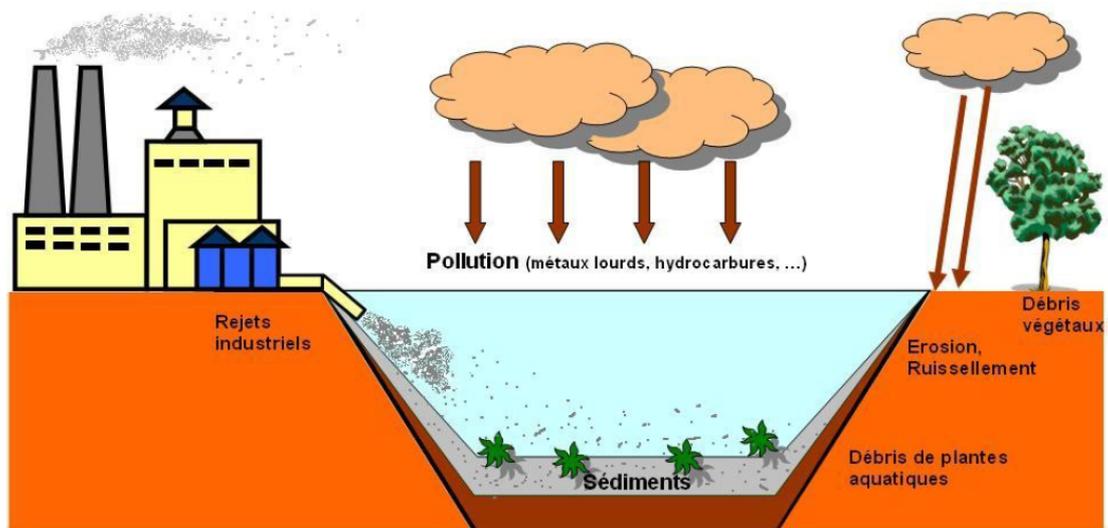


Figure 3 : Pollution due aux activités industrielles (Noyer *et al.*, 2003).

Les rejets agricoles et industriels sont sources de polluants, notamment les métaux lourds et les pesticides, dont la remanence dans le milieu aquatique est souvent forte.

I. 3. 2 Généralités sur les métaux lourds et sur le Métalaxyl-M

Les polluants chimiques issus des activités agricoles et industrielles sont les plus dangereux car ils sont toxiques même à basses concentrations. De plus, leur élimination requiert quelquefois des techniques complexes.

I. 3. 2. 1 Métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels, de densité supérieure à 5g/cm^3 ou tout métal ayant un numéro atomique élevé, supérieur à celui du Sodium ($Z=11$). Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement (eau, air, sol), mais en général en quantités très faibles, sous forme de traces (Fourest, 1993). Dans ce paragraphe ne seront évoqués que le Cadmium, le Nickel, le Plomb et le Cuivre, du fait des graves effets qu'ils engendrent à long terme sur l'environnement, les organismes aquatiques et l'homme (INERIS, 2005).

Ils sont naturellement présents dans la croûte terrestre et leurs sources peuvent être naturelles (érosion, lessivage des sols, éruptions volcaniques) ou anthropiques (raffinage des métaux non ferreux, métallurgie, combustion des produits pétroliers, fabrication de l'acier inoxydable).

Le Cadmium est très toxique pour les animaux aquatiques. Il n'est presque jamais disponible à l'état métallique dans l'environnement. On le retrouve sous forme oxydée, combinée à l'oxygène (oxyde de Cadmium), au chlore (chlorure de Cadmium), ou au soufre (sulfure de Cadmium, sulfate de Cadmium) (HSDB, 2001). Il peut être accumulé par les poissons, les plantes et autres animaux aquatiques suite à une longue exposition à des basses concentrations (Pichard *et al.*, 2005).

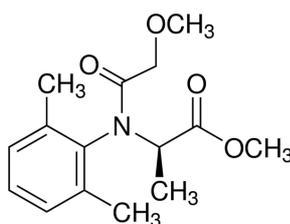
Dans l'environnement, le Nickel forme des alliages avec d'autres métaux tels le Fer, le Cuivre, le Chrome et le Zinc. Dans les eaux douces, il se fixe aux particules des sédiments contenant du fer et du manganèse (INERIS, 2006).

Dans l'environnement, le Plomb est présent sous la forme de sulfure de Plomb. Dans les eaux douces, il s'accumule dans les organismes aquatiques ou forme des complexes avec des ligands tels le bicarbonate, le carbonate, l'oxyde et l'hydroxyde (INRS, 2003 ; Nicolau, 2005).

Dans l'environnement, le Cuivre existe sous forme d'oxyde cuivreux mais dans les eaux douces, il se lie à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse et aux argiles des sédiments (Dameron et Howe, 1998).

I. 3. 2. 2 Métalaxyl-M

Le Métalaxyl-M ou Mefénoxam ou *N*-(2,6-diméthylphényl)-*N*-(méthoxyacétyl)-*D*-alanine méthyl ester est un pesticide de la famille des fongicides (Phénylamine), largement utilisé dans la culture du cacao, des arbres fruitiers et des cultures maraîchères (Mahob, 2013). Il affecte, chez le champignon nuisible, la transcription de l'ARN par inhibition de l'ARN-polymérase I (Monkiedje et Spiteller, 2005). Il peut se retrouver dans les eaux superficielles où sa solubilité est de 8,4 g/L à 22 °C et de 26 g/L à 25 °C (Cox, 2005). Sa dégradation par hydrolyse est lente avec des demi-vies de 200 jours à pH compris entre 5 et 7 et de 115 jours à pH 9 (Cox, 2005). Cette molécule ne subit pas de photolyse. La formule moléculaire du Métalaxyl-M est C₁₅H₂₁NO₄, sa structure chimique est :



N-(2,6-diméthylphényl)-*N*-(méthoxyacétyl)-*D*-alanine méthyl ester.

Cette molécule est plus active sous sa forme R-énantiomère. Ses propriétés chimiques et physiques sont représentées comme suit :

Propriétés chimiques	Valeurs
Poids moléculaire	279,33 g/mol
Nombre d'atomes lourds	20
Nombre d'accepteurs de liaison hydrogène	4
Pression de vapeur	1,18 × 10 ⁻⁵ mmHg
Coefficient de partition d'eau	1,65 (LogP)

I. 3. 3 Risques sanitaires pour l'homme

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, les maladies infectieuses d'origine hydrique sont responsables de 3,2 millions de morts par an dans le monde (OMS, 2014). Le

plus lourd tribut est payé par les pays en développement où 42 % de la population utilisent encore de l'eau de qualité douteuse.

Le risque hydrique survient directement ou non. Dans le premier cas, il résulte d'un contact direct avec de l'eau contaminée. L'exposition peut se faire par diverses voies : orale, respiratoire/pulmonaire et cutanée, la voie orale étant prépondérante. Dans le second cas, il résulte de la consommation d'aliments contaminés par de l'eau souillée (Festy *et al.*, 2003).

Les contaminants hydriques sont essentiellement de nature biologique ou chimique (Vial et Festy, 1995). Le risque hydrique microbien est de loin le plus fréquent à l'échelle mondiale. Il se manifeste à court terme et survient généralement dans des circonstances accidentelles dans les pays développés, tandis qu'il revêt un aspect permanent dans de nombreux pays en développement (Festy *et al.*, 2003). Au Cameroun, la diarrhée est la plus fréquente maladie liée à l'eau. Selon l'enquête MICS menée par l'Institut National de Statistique en 2014, près de 20 % d'enfants de moins de 5 ans ont eu une diarrhée en 2014. Ce pourcentage varie selon qu'on est en milieu rural (23,2 %) ou urbain (15,5 %).

Les manifestations toxiques des contaminants chimiques surviennent généralement à long terme. Ces derniers sont pour la plupart cancérogènes pour l'homme. L'intoxication aiguë au Cadmium se manifeste par des troubles digestifs intenses tels que les nausées, les vomissements importants, les douleurs abdominales et les diarrhées. Ces symptômes peuvent être suivis d'un état de choc et la mort ou d'une insuffisance rénale aiguë entraînant une dépression cardio-respiratoire et la mort en l'espace de 7 à 14 jours (INERIS, 2005). L'intoxication chronique par contre affecte les reins et les os (Nicolau, 2005 ; INERIS, 2005).

L'intoxication par le Nickel provoque une irritation du tube digestif avec vomissements et diarrhées. Lorsqu'elle est chronique, elle engendre des effets au niveau des poumons comme l'asthme, de l'appareil O.R.L. tels que les rhinites, les sinusites, les anosmies et les perforations de la cloison nasale, et de la peau à savoir les lésions allergiques cutanées de type eczéma (INRS, 2003).

L'intoxication aiguë par le Plomb est rapidement suivie de troubles digestifs tels que les fortes coliques, les crampes abdominales et les vomissements (Schneitzer *et al.*, 2003). L'atteinte rénale a été décrite par différents auteurs ; elle est caractérisée par l'apparition de lésions tubulaires engendrant une oligurie, une albuminurie, une glycosurie et une hyperphosphaturie (Bennett *et al.*, 1985), des lésions cérébrales se manifestant cliniquement par une encéphalopathie convulsive et un coma pouvant conduire à la mort. Des séquelles neurologiques ou psychomotrices graves (retard psychomoteur, épilepsie, cécité, hémiparésie) ont aussi été décrites. L'intoxication chronique se traduit par une encéphalopathie saturnique

grave se manifestant par l'irritabilité, les troubles du sommeil, l'anxiété, la perte de mémoire, la confusion et la sensation de fatigue (Pasternak *et al.*, 1989).

L'intoxication aiguë par le Cuivre entraîne des troubles gastro-intestinaux, une hépatite toxique et une insuffisance rénale. L'intoxication chronique entraîne une diminution de la synthèse de l'ADN (Nicolau, 2005).

L'intoxication aiguë par le Métalaxyl-M provoque des troubles neurotoxiques tels que la maladie de Parkinson et d'Alzheimer. L'intoxication chronique est responsable d'une baisse de la fertilité chez l'adulte et d'un retard de développement chez l'enfant (Sharpe et Skakkebaek, 1993).

Au vu des risques sanitaires encourus par les utilisateurs des eaux souillées, il s'avère urgent de développer des techniques de dépollution des eaux. Divers procédés sont employés pour la dépollution des eaux.

I. 4 Méthodes de dépollution des eaux naturelles

La dépollution est l'élimination des polluants dans le but de rétablir une qualité écologique et sanitaire compatible avec la réutilisation de l'écosystème pollué. La dépollution des eaux peut se faire par des méthodes physiques, chimiques ou biologiques (Colombano *et al.*, 2010). Les deux premières méthodes sont utilisées pour des polluants peu ou pas, difficilement ou lentement biodégradables, qui sont souvent, soit stockés dans les sédiments où ils peuvent être remobilisés, soit dilués à un niveau de concentration qui ne soit plus nuisibles. On recourt à la dernière méthode pour des polluants biodégradables ; elle sert aussi en complément des autres méthodes (Pelmont, 2005).

I. 4. 1 Méthodes physiques

Elles sont largement employées. Dans son principe, on use des fluides comme vecteurs pour transporter les polluants vers des points d'extraction ou pour les immobiliser. Quelques exemples de méthodes physiques sont le confinement, le pompage et le traitement, l'ultra-filtration, la ventilation et l'extraction (Colombano *et al.*, 2010).

I. 4. 2 Méthodes chimiques

Les procédés chimiques font recours aux réactifs chimiques pour détruire les polluants, les transformer en composés moins toxiques et/ou plus facilement biodégradables en modifiant leurs caractéristiques. Quelques exemples de méthodes chimiques sont l'oxydation chimique *in situ* et la réduction chimique *in situ* (Colombano *et al.*, 2010).

I. 4. 3 Méthodes biologiques

I.4. 3. 1 Agents et mécanismes

La majorité des traitements biologiques mettent en jeu des microorganismes, principalement les bactéries, afin de dégrader totalement ou partiellement les polluants (Pelmont, 2005). Deux types de mécanismes sont développés : le cométabolisme et le métabolisme.

I. 4. 3. 1. 1 Cométabolisme

Lors du cométabolisme, le polluant est dégradé du fait de l'activité métabolique d'une autre molécule dénommée inducteur cométabolique. En effet, les enzymes synthétisées pour cette molécule dégradent aussi le polluant. La bactérie ne tire aucun bénéfice de la dégradation du polluant (Pelmont, 2005 ; Colombano *et al.*, 2010).

I. 4. 3. 1. 2 Métabolisme

Les bactéries se servent des polluants pour la production d'énergie. Le métabolisme se divise en catabolisme qui met en jeu des réactions d'oxydo-réduction (celles-ci ayant pour but de produire de l'énergie) et en anabolisme qui emploie cette énergie pour le maintien et la reproduction cellulaire (Colombano *et al.*, 2010).

On distingue deux sortes de dégradation en fonction du type d'accepteur d'électrons notamment les dégradations anaérobies où l'accepteur final d'électrons est un composé autre que l'oxygène tels que les nitrates (NO_3^-), le fer ferrique (Fe^{3+}), les sulfates (SO_4^{2-}) et le dioxyde de carbone (CO_2), et les dégradations aérobies où l'accepteur final d'électrons est l'oxygène.

I.4. 3. 1. 2. 1 Biodégradation anaérobie

Elle est moins employée que la biodégradation aérobie car elle est plus complexe à maîtriser. Néanmoins, lorsque les composés organiques ne sont pas dégradables par voie aérobie, elle peut représenter une alternative intéressante. Les polluants pouvant être traités par biodégradation anaérobie sont les hydrocarbures, les composés chlorés aliphatiques et les pesticides organochlorés (Lallemand, 1993).

On distingue 3 grandes catégories de biodégradations anaérobies : l'utilisation du contaminant comme donneur d'électron, l'utilisation du contaminant comme accepteur d'électrons et le cométabolisme anaérobie. Dans le premier cas cité, les accepteurs d'électrons peuvent être le nitrate, le manganèse, le fer ferrique, le sulfate et le dioxyde de carbone. Les types de réactions anaérobies rencontrés ici sont la dénitrification, la réduction des nitrates, la réduction du manganèse, la réduction du fer, la réduction des sulfates et la méthanogénèse. Dans le second cas, le donneur d'électrons est l'hydrogène ou de petites

molécules organiques (lactate, acétate, glucose...). La réaction la plus fréquente est la déchloration réductive. Dans le dernier cas, les accepteurs et les donneurs d'électrons peuvent être organiques ou inorganiques. Les types de réactions anaérobies rencontrés sont les mêmes que ceux cités dans le premier cas (Colombano *et al.*, 2010).

I.4.3.1.2.2 Biodégradation aérobie

La biodégradation aérobie est généralement plus efficace et plus facile à contrôler que celle dite anaérobie. Lors des dégradations aérobies, l'accepteur d'électrons est l'oxygène ; le type de réaction est la respiration. Les polluants pouvant être traités par cette voie sont : les hydrocarbures, certains solvants chlorés, les phénols et certains pesticides (Lallemand, 1993).

Une dégradation totale des polluants organiques aboutit à la formation d'eau et de gaz carbonique ; dans le cas contraire, elle entraîne la formation de composés intermédiaires qui seront, si les conditions sont favorables, par la suite dégradés (Colombano *et al.*, 2010).

I.4.3.2 Méthodes biologiques naturelles

De manière naturelle, les cours d'eau possèdent des capacités d'autoépuration. Le terme autoépuration désigne l'ensemble des processus biologiques, chimiques et physiques qui permettent à un écosystème aquatique équilibré, de transformer ou d'éliminer les substances qui lui sont apportées (pollution), de manière définitive (autoépuration vraie) ou temporaire (autoépuration apparente). En d'autres termes, il s'agit de l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution (Pelmont, 2005).

Deux méthodes naturelles sont employées pour favoriser l'autoépuration : la biostimulation et la bioaugmentation.

La biostimulation consiste à mettre des microorganismes indigènes dans des conditions favorables à la biodégradation envisagée. La majorité des traitements biologiques utilise cette méthode.

La bioaugmentation consiste à ajouter des microorganismes dans le milieu pollué afin de permettre ou d'améliorer la biodégradation. Peu utilisée, elle est nécessaire seulement lorsque les milieux ne contiennent pas les microorganismes adaptés à la biodégradation envisagée. La bioaugmentation peut être réalisée selon deux approches : par introduction de microorganismes spécifiques non indigènes et par extraction des microorganismes indigènes en vue d'une acclimatation et une réintroduction dans la zone polluée.

Les principaux facteurs qui influencent la biodépollution d'un polluant sont :

- la présence de microorganismes compétents ;
- la disponibilité d'accepteurs d'électrons nécessaires à l'action microbienne ;

- le pH ; il doit être compris entre 6 et 8. Ce paramètre influe fortement sur la croissance des microorganismes ;
- la température ; une bonne activité microbienne se fait dans l'intervalle de températures comprise entre 20 °C et 37 °C. Une variation de 10 °C diminue en moyenne cette activité de moitié ;
- la disponibilité des nutriments minéraux (carbone, nitrates, phosphates dans des proportions 100, 10, 1) ;
- la nature et la concentration du polluant ; certains polluants à teneur élevée en carbone et à des concentrations données peuvent se révéler toxiques pour les microorganismes (Colombano *et al.*, 2010).

I.4. 3. 3 Méthodes biologiques artificielles

La biodégradation dynamisée consiste à l'ajout des composés spécifiques dans les eaux à traitées afin de créer des conditions favorables à l'activité des microorganismes responsables de la biodégradation des contaminants (Lallemand, 1993). Cette technique est couramment employée sur les sites contaminés par les hydrocarbures volatiles, les solvants chlorés et les pesticides.

Les nutriments (azote, phosphates ou autres facteurs de croissance qui pourraient être déficients dans le milieu) sont souvent injectés sous forme dissoute via des puits d'injection ou drains. L'oxygène est apporté sous forme gazeuse (par pompage de l'air), sous forme liquide (peroxyde d'hydrogène H₂O₂) ou solide comme le peroxyde de magnésium MgO₂ (Colombano *et al.*, 2010). Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu, il peut dans certains cas atteindre plus de 90 %. Bien qu'il soit souvent long, il est employé en soutien des méthodes physiques lorsque ces dernières ont atteint leurs limites. Toutefois, ce procédé nécessite une grande expertise et sa performance est extrêmement variable suivant les conditions spécifiques du site (Colombano *et al.*, 2010).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II. 1 Cadre de l'étude

Les échantillons d'eau utilisés dans cette étude ont été prélevés des fleuves Nyong et Wouri.

Le fleuve Nyong draine la forêt équatoriale et traverse des sols de type ferrallitique. Son bassin versant est soumis à un climat équatorial de type « guinéen » à 4 saisons. La densité de population humaine est estimée à 5 - 10 habitants/km² à Mbalmayo. Le Wouri est un fleuve côtier dont le bassin versant est soumis à un climat équatorial de type « camerounien » à 2 saisons. Il draine la forêt humide sempervivente ou mangrove et traverse des sols de type hydromorphe et peu évolué. La densité de population humaine est estimée à 16,667 habitants/km² à Douala (Olivry, 1986).

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, du Département de Biologie et Physiologie Animales, de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I. Les analyses bactériologiques ont été effectuées au Laboratoire de Parasitologie et d'Ecologie du même Département. Le dosage du Métalaxyl-M a été exécuté au Laboratoire de Pharmacognosie et Chimie Pharmaceutique, de la Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales de l'Université de Yaoundé I. La quantification des métaux lourds a été effectuée au Laboratoire de Chimie Analytique de la Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), du Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MINRESI). Les essais de biodégradation du Métalaxyl-M ont été réalisés au Centre International de Référence Chantal Biya (CIRCB).

II. 1. 1 Sites de prélèvement

Le choix des stations de prélèvement a été réalisé au cours d'une mission de prospection, à l'aide d'une grille d'observation (annexe 1). Les coordonnées géographiques de chaque station ont été relevées à l'aide d'un GPS de marque Etrex Legend HCX Garmin.

Cinq stations d'échantillonnage ont été sélectionnées sur chaque fleuve, sur la base de l'accessibilité, du taux de fréquentation, de la présence d'industries, de zones agricoles ou de rejets de déchets ménagers dans l'eau. Pour le Nyong, elles étaient situées entre les villages Akomnyada et Ekoudendi, et pour le Wouri entre la presqu'île de Jébalé et la localité de Youpwé.

II. 1. 2 Fleuve Nyong

Les stations d'échantillonnage sélectionnées ont été désignées N1, N2, N3, N4 et N5 comme représenté sur la figure 4.



Figure 4 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Nyong (INC, 2015).

La station N1 est située à l'entrée Nord de la ville de Mbalmayo, dans le village Akomnyada, à 646 m d'altitude, longitude $11^{\circ}32'57.7''E$ et latitude $3^{\circ}31'39.8''N$, à 15 m du point de captage de l'usine de traitement de l'eau de distribution de ville (figures 4 et 5 a). En amont, le Nyong reçoit la rivière Mefou. Les activités anthropiques menées au niveau de cette station étaient la pêche, la baignade, la lessive et la vaisselle. Quelques riverains ont aussi déclaré utiliser l'eau du fleuve pour la boisson.

La station N2 est située à 5 km de N1, au quartier Oyack, à 641 m d'altitude, longitude $11^{\circ}30'24.7''E$ et latitude $3^{\circ}30'39.9''N$ (figures 4 et 5 b). Une carrière artisanale et des cultures maraîchères étaient visibles respectivement à 25 et 200 m en amont. Les activités anthropiques notées en ce lieu étaient la pêche, la baignade et la vente du sable dragué du lit mineur du fleuve.

La station N3 est située à 600 m de N2, au marché dit japon, à 641 m d'altitude, longitude $11^{\circ}30'08.1''E$ et latitude $3^{\circ}30'44.0''N$ (figures 4 et 5 c). Des habitations et un marché étaient construits respectivement à 15 et 20 m de cette station. Des déchets urbains étaient directement déversés dans le fleuve ; la pêche et la baignade y étaient pratiquées.

La station N4 est située à 3 km de N3, dans le village Nsen Nlong, à 639 m d'altitude, longitude $11^{\circ}29'15.2''E$ et latitude $3^{\circ}29'09.0''N$ (figures 4 et 5 d). Un abattoir municipal de

bovins et une usine d'exploitation de bois étaient bâtis à 2 km en amont. La pêche et la culture du cacao étaient pratiquées aux alentours.

La station N5 est située à 23 km en aval de N4, dans le village Ekoudendi, à 637 m d'altitude, longitude 11°17'13.1''E et latitude 3°26'06.7''N (figures 4 et 5 e). En amont de N5, le Nyong reçoit la rivière So'o. Les activités anthropiques y menées étaient la pêche, la baignade, la lessive, la vaisselle et la culture de cacao.



(a)



(b)

Marché japon



(c)



(d)



(e)

Figure 5 : Stations de prélèvement (a) : N1, (b) : N2, (c) : N3, (d) : N4 et (e) : N5 sur le fleuve Nyong.

II. 1. 3 Fleuve Wouri

Les stations d'échantillonnage sélectionnées ont été désignées W1, W2, W3, W4 et W5 ; tel que représenté sur la figure 6.

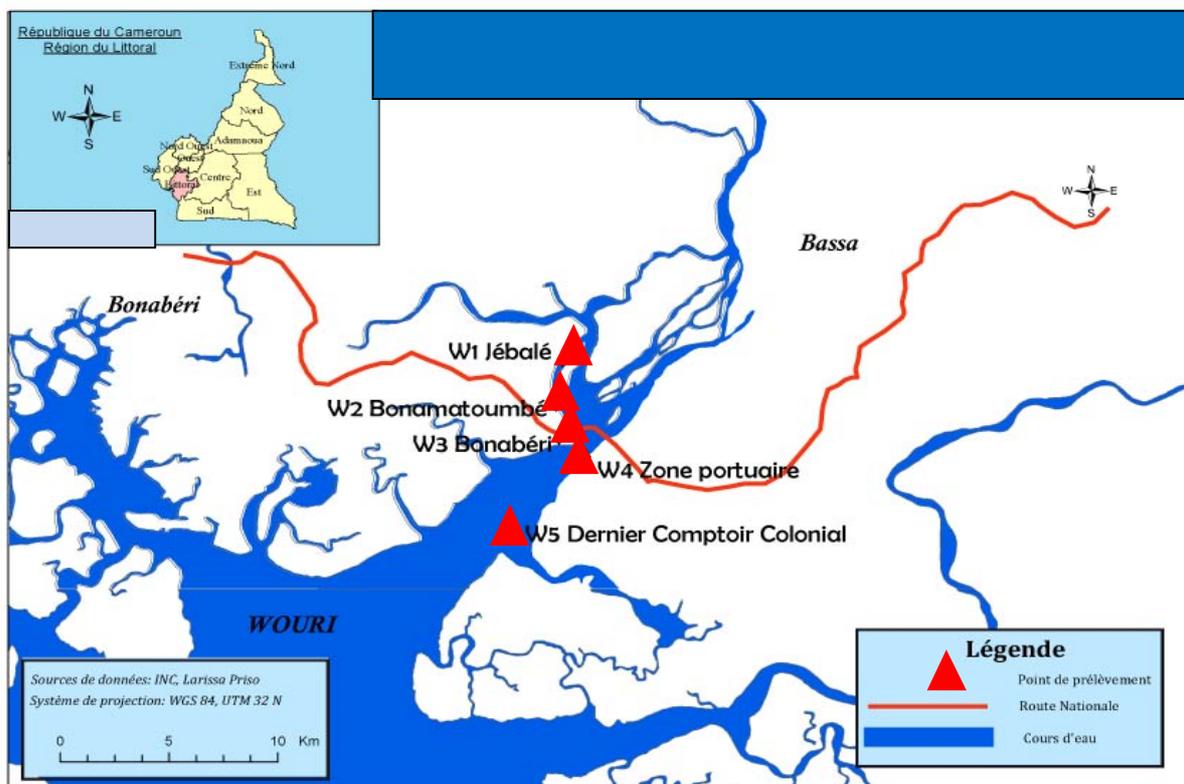


Figure 6 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Wouri (INC, 2015).

La station W1 est située dans la presqu'île de Jébalé, à 12 m d'altitude, longitude 5°41'53.1"E et latitude 4°06'56.9"N (figures 6 et 7 a). Les activités anthropiques relevées en ce lieu étaient la pêche, la coupe de bois de mangrove, la vente du sable dragué du lit mineur du fleuve, la lessive, la vaisselle et la baignade.

La station W2 est située dans le village Bonamatoumbé, à 2 km de W1. A 12 m d'altitude, longitude 9°41'08.4"E et latitude 4°06'11.7"N (figures 6 et 7 b). Les usages de l'eau en W2 étaient ceux évoqués pour W1.

La station W3 est située au quartier Bonabéri, en amont du pont sur le Wouri et à 2 km de W2, à 10 m d'altitude, longitude 9°40'58.2"E et latitude 4°05'00.0"N (figures 6 et 7 c). Des latrines et des pêcheries étaient construites sur les berges du fleuve alentour. Une société brassicole était installée à 1,73 km en amont. Les usages de l'eau en W3 étaient ceux déjà cités.

La station W4 est située dans la zone industrielle de Bonabéri, à 3 km de W3 et à 1 km en aval du marché de Bonassama, à 10 m d'altitude, longitude 9°41'40.8"E et latitude 4°03'37.1"N. Sur la rive droite, des industries (cimenterie, savonnerie, raffinerie, sociétés

laitières) étaient installées, et sur la rive gauche, le Port Autonome de Douala (figures 6 et 7 d). Les usages de l'eau en W4 étaient ceux déjà décrits.

La station W5 est située à Youpwé, au lieu-dit « dernier comptoir colonial », à 5 km de W4 et à 2 km en aval de la confluence Wouri-Mungo, à 5 m d'altitude, longitude 9°39'58.8''E et latitude 4°01'26.7''N. Cette zone est très urbanisée ; des habitations, des pêcheries et des latrines publiques étaient construites sur les berges du fleuve. Par ailleurs, des eaux usées domestiques étaient déversées dans le fleuve (figures 6 et 7 e). Les usages de l'eau en ce lieu étaient ceux déjà évoqués.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 7 : Stations de prélèvement (a) : W1, (b) : W2, (c) : W3, (d) : W4 et (e) : W5 sur le fleuve Wouri.

II. 2 Méthodes

II. 2. 1 Prélèvement des échantillons d'eau

Il a été réalisé mensuellement de décembre 2011 à novembre 2012. A chaque station d'échantillonnage, deux points de prélèvements ont été choisis, le premier à 1 m de la rive et le second dans le lit mineur du fleuve. Pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques, des flacons stériles à double bouchage en verre ordinaire ont été utilisés, tandis que pour l'analyse toxicologique, les flacons étaient en verre teinté afin de prévenir le passage des rayons solaires.

➤ Mode opératoire

À partir d'une pirogue, un flacon a été immergé dans l'eau, le col vers le bas, à une profondeur de 30 cm, incliné selon un angle de 45°, goulot en position supérieure face au courant. Il a été ouvert pendant quelques minutes, puis refermé, sorti de l'eau, placé dans une glacière à 4 °C ± 1 °C et acheminé au laboratoire, dans un délai de 18 heures. Pour l'analyse des métaux lourds, 5 ml d'acide nitrique ont été ajoutés à l'échantillon d'eau recueilli.

II. 2. 2 Caractérisation physico-chimique, toxicologique et bactériologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

II. 2. 2. 1 Caractérisation physico-chimiques des eaux

La température, les matières en suspension (MES), les solides totaux dissous (TDS), la couleur, le potentiel d'Hydrogène (pH), la conductivité électrique, les teneurs en oxygène dissous, les nitrates et les orthophosphates ont été mesurés suivant des protocoles standards pour l'analyse de l'eau (APHA, 2005). Les résultats obtenus ont été comparés aux normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (PNUE, 2008), voir annexe 2.

II. 2. 2. 1. 1 Température

La température de l'eau a été mesurée *in situ* à l'aide d'un thermomètre à Mercure.

➤ Principe

Il repose sur les propriétés du Mercure. Lorsqu'un thermomètre est immergé dans l'eau, la longueur de la colonne de Mercure contenu dans un tube de verre est fonction de la température de l'eau.

➤ Mode opératoire

Un thermomètre à Mercure a été immergé dans l'eau à 30 cm de profondeur durant 2 min ± 1 min. La valeur de la température a été indiquée par le front de migration du Mercure et exprimée en degré Celsius (°C) (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Lorsque la température de l'eau est comprise entre 25 °C et 30 °C, l'eau est dite de bonne qualité ; en revanche lorsqu'elle est supérieure à 30 °C, l'eau est considérée de mauvaise qualité (PNUE, 2008 ; MINEPDED, 2010).

II. 2. 2. 1. 2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

➤ **Principe**

La différence de potentiel de l'électrode de verre, indicatrice de l'activité des ions hydrogènes (H_3O^+) dans l'eau et de l'électrode de référence qui a un potentiel fixe, indique le pH de l'échantillon d'eau.

➤ **Mode opératoire**

L'électrode d'un pH-mètre, de marque CG 818 Schött Gerate, étalonné au moyen de l'eau distillée, a été immergée dans 100 mL d'eau contenus dans un bécher. Après 2 min ± 1 min d'attente, l'appareil a affiché la valeur du pH (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Lorsque le pH lu est compris entre 6 et 9, l'eau est dite de bonne qualité ; en revanche lorsque le pH lu est inférieur à 6 ou alors supérieur à 9, l'eau est considérée de mauvaise qualité (PNUE, 2008 ; MINEPDED, 2010).

II. 2. 2. 1. 3 Conductivité électrique et solides totaux dissous (TDS)

➤ **Principe**

La dissolution d'un soluté dans un solvant s'accompagne d'une dissociation plus ou moins importante des molécules en ions chargés électriquement. Lorsqu'on applique une différence de potentiel entre deux électrodes plongées dans une solution, on crée un champ électrique dont l'intensité est fonction de la conductivité électrique et de la teneur en TDS de l'eau.

➤ **Mode opératoire**

La conductivité électrique et les TDS ont été mesurés à l'aide d'un conductimètre de marque Hach 44600-00 Conductivity/TDS meter. L'étalonnage de l'appareil a été réalisé avec de l'eau distillée. L'électrode a été immergée dans 100 mL d'eau contenus dans un bécher. Après 2 min ± 1min d'attente, l'appareil a affiché les valeurs de la conductivité électrique et des solides totaux dissous (TDS). Ces valeurs ont été exprimées respectivement en $\mu S/cm$ et en mg/L (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Conductivité électrique

Lorsque la conductivité électrique de l'eau est inférieure à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, celle-ci est dite de bonne qualité ; en revanche lorsqu'elle est supérieure à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, l'eau est considérée de mauvaise qualité.

Solides totaux dissous (TDS)

Dans l'intervalle de TDS compris entre 600 mg/L et 1000 mg/L, l'eau est dite de bonne qualité ; en revanche si les TDS sont supérieures à 1000 mg/L, cette eau est considérée de mauvaise qualité (MINEPDED, 2010 ; PNUE, 2008).

II. 2. 2. 1. 4 Oxygène dissous

➤ **Principe**

Les deux électrodes du capteur en contact avec un électrolyte sont séparées de l'échantillon d'eau par une membrane sélective perméable au dioxygène. Le dioxygène qui traverse la membrane réduit la cathode et des ions métalliques passent en solution à l'anode. Ces réactions d'oxydo-réduction créent une tension entre les deux électrodes. Le courant produit est proportionnel à la pression partielle en dioxygène dans l'échantillon d'eau.

➤ **Mode opératoire**

La teneur et le taux de saturation de l'oxygène dissous ont été mesurés à l'aide d'un oxymètre de marque HQ30d flexi. L'étalonnage de l'appareil était réalisé avec de l'eau distillée. L'électrode a été immergée dans 100 mL d'eau contenus dans un bécher. Après 2 min \pm 1 min d'attente, l'appareil affichait les valeurs de la teneur et du taux de saturation de l'oxygène dissous qui ont été exprimées respectivement en mg/L et en taux de saturation en oxygène (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Taux de saturation

Lorsque le taux de saturation en oxygène dissous de l'eau est supérieur à 80 %, celle-ci est dite bonne qualité ; quand il est inférieur à 80 %, l'eau est considérée de mauvaise qualité.

Teneur

Dans l'intervalle compris entre 6 mg/L et 9,5 mg/L, l'eau est dite de bonne qualité ; par contre lorsque la teneur est inférieure à 6 mg/L, cette eau est considérée de mauvaise qualité (MINEPDED, 2010 ; PNUE, 2008).

II. 2. 2. 1. 5 Couleur

La couleur de l'eau a été mesurée par spectrophotométrie.

➤ Principe

Il est basé sur la mesure de l'intensité de la lumière restante après passage dans un échantillon d'eau. À partir de l'intensité de la lumière qui est émise et d'après la mesure de l'intensité de la lumière transmise, l'appareil calcule l'absorbance.

➤ Mode opératoire

Dix millilitres d'échantillon d'eau ont été introduits dans une cellule spectrophotométrique. L'ensemble a été ensuite placé dans un spectrophotomètre de marque HACH Lange DR/2800. La lecture de l'absorbance a été effectuée à 455 nm ; les résultats affichés sur l'écran de l'appareil ont été exprimés par unité de Platini-um-Cobalt.

➤ Interprétation des résultats

Lorsque l'eau est d'une couleur inférieure ou égale à 50 Platini-um-Cobalt, elle est jugée de bonne qualité ; quand le paramètre questionné est supérieure à 50 Platini-um-Cobalt, l'eau est considérée de mauvaise qualité (MINEPDED, 2010 ; PNUE, 2008).

II. 2. 2. 1. 6 Matières en suspension (MES)

La teneur de l'eau en MES a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre.

➤ Principe

Il est similaire à celui décrit pour la couleur.

➤ Mode opératoire

Dix millilitres d'échantillon ont été introduits dans la cellule d'un spectrophotomètre de marque HACH Lange DR/2800. L'échantillon a été soumis à un faisceau lumineux dont la longueur d'onde a été fixée à 630 nm. La concentration en mg/L des MES était lue sur l'écran d'affichage de l'appareil (APHA, 2005).

➤ Interprétation des résultats

Avec une teneur en MES de l'eau inférieure à 30 mg/L, l'eau est estimée de bonne qualité ; si cette valeur est supérieure à 30 mg/L, l'eau est considérée de mauvaise qualité (PNUE, 2008 ; MINEPDED, 2010).

II. 2. 2. 1. 7 Nitrates

Ils ont été dosés par colorimétrie.

➤ Principe

Il repose sur une réaction de diazotation-copulation entre l'ion nitrate, le salicylate de sodium et l'acide sulfurique. L'intensité du complexe jaune qui en résulte est proportionnelle à la teneur en nitrates de l'échantillon d'eau (Simtchowou, 2011).

➤ **Mode opératoire**

Une gélule de Nitrover® (complexe réactionnel constitué de salicylate de sodium et d'acide sulfurique) a été introduite dans 10 mL d'eau contenus dans une cellule spectrophotométrique. L'ensemble a été soumis à une agitation au Vortex durant 3 min ± 1 min puis laissé au repos durant 2 min ± 1 min. L'absorbance de la solution a été lue à 507 nm, au moyen d'un spectrophotomètre de marque HACH Lange DR/2800 (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Quand la concentration en nitrates est inférieure à 50 mg/L, l'eau est jugée de bonne qualité ; quand elle est supérieure à 50 mg/L, l'eau est considérée de mauvaise qualité (PNUE, 2008 ; MINEPDED, 2010).

II. 2. 2. 1. 8 Orthophosphates

La mesure de la teneur en orthophosphates dans un échantillon d'eau a été faite par colorimétrie.

➤ **Principe**

En présence d'antimoine, l'Orthophosphate réagit avec le molybdate pour former un complexe phosphomolybdique. Ce dernier est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en Orthophosphates de l'échantillon.

➤ **Mode opératoire**

Une gélule de Phosver® III (complexe réactionnel constitué de molybdate d'ammonium) a été introduite dans 10 mL d'eau contenus dans une cellule spectrophotométrique. L'ensemble a été soumis à une agitation manuelle durant 30 secondes puis laissé au repos durant 2 min ± 1 min. L'absorbance a été lue à 880 nm, au moyen d'un spectrophotomètre de marque HACH Lange DR/2800 (APHA, 2005).

➤ **Interprétation des résultats**

Lorsque la teneur en orthophosphates est inférieure à 1 mg/L, l'eau est déclarée de bonne qualité ; lorsqu'elle est supérieure à 1 mg/L, l'eau est considérée de mauvaise qualité (PNUE, 2008 ; MINEPDED, 2010).

II. 2. 2. 2 Caractérisation toxicologique des eaux

Elle a consisté en la recherche du Métalaxyl-M et des métaux lourds. Elle a été effectuée une fois par saison par fleuve.

II. 2. 2. 2. 1 Recherche du Métalaxyl-M

Elle a été effectuée par chromatographie en phase liquide à haute performance.

➤ Principe

La chromatographie permet de séparer les constituants d'un mélange, et grâce à son couplage avec divers détecteurs, d'effectuer des dosages. La séparation chromatographique est réalisée avec des mélanges contenant de nombreux constituants. Le mélange, en très faible quantité, est dissous dans un solvant puis introduit dans la phase fixe, au sommet d'une colonne dont les conditions notamment de température, doivent être adaptées. La colonne est soumise à percolation. Il en résulte une migration des substances à une vitesse dépendant des propriétés de chaque substance.

➤ Mode opératoire

Il a comporté deux étapes : l'extraction liquide-liquide et la quantification

- Extraction liquide-liquide

Dans un erlenmeyer, 100 mL d'eau (V_0) ont été additionnés à 40 mL de dichlorométhane. L'ensemble a été agité manuellement puis transvasé dans une ampoule à décanter et laissé au repos durant 2 heures \pm 1 heure. La phase inférieure, désignée V_1 , a été recueillie et resoumise à l'opération ; la phase inférieure était désignée V_2 .

- Quantification

Elle a été réalisée selon la technique décrite par Monkiedje et Spiteller (2005), à l'aide d'un HPLC de marque PerkinElmer. 50 ml d'acétonitrile ont été introduits dans une colonne de fluorisil. Le volume V_2 , obtenu après extraction, a été à son tour introduit à travers la colonne de fluorisil et la solution recueillie était V_3 . La densité optique (C_0) de la solution de V_3 a été mesurée à 300 nm. La concentration du Métalaxyl-M, exprimée en $\mu\text{g/L}$, a été calculée au moyen de la formule :

$$\text{Concentration} = \frac{C_0 \times V_1 \times (V_3/V_0) \times V_2}{1000}$$

➤ Interprétation

Les résultats ont été interprétés selon les normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (UE, 2013) rappelées en l'annexe 3.

II. 2. 2. 2 Recherche des métaux lourds

Le Plomb, le Cuivre, le Nickel et le Cadmium ont été recherchés par spectrométrie à fluorescence X suivant la technique décrite par Germaneau *et al.* (1996).

➤ Principe

Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, celle-ci réémet de l'énergie sous la forme de rayons X ; c'est la fluorescence X ou émission secondaire de rayons X. le

spectre des rayons X émis par la matière est caractéristiques de la composition de l'échantillon, en analysant ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments. L'intensité du rayonnement peut être mesurée et corrélée à la concentration d'un métal donné dans l'échantillon.

➤ **Mode opératoire**

- Préparation de la solution étalon

Quatre cents (400) mL d'eau distillée additionnés à 1 mL d'acide nitrique concentré (HNO₃) et 0,5 mL d'une solution du métal à doser (Plomb, Cuivre, Nickel ou Cadmium) ont été introduits dans une fiole volumétrique de 500 mL, en plastique de type polypropylène. Le trait de jauge a été atteint avec de l'eau distillée.

- Quantification

Après avoir étalonné l'appareil, 15 mL de l'échantillon d'eau contenus dans un tube en plastique ont été placés sur le carrousel du spectromètre de fluorescence X de marque S4 Pioneer Bruker. Les résultats obtenus ont été enregistrés dans un ordinateur puis traités.

➤ **Interprétation**

L'interprétation des résultats a été réalisée suivant les normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (UE, 2013) indiquées à l'annexe 3.

II. 2. 2. 3 Caractérisation bactériologique des eaux

Elle a été effectuée en deux parties, la première a porté sur une analyse qualitative et la seconde sur une analyse quantitative.

II. 2. 2. 3. 1 Analyse qualitative

Examen macroscopique

Il consiste à observer un échantillon de façon à relever ses caractères organoleptiques (Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

Un échantillon d'eau contenu dans un flacon en verre a été tenu à hauteur des yeux. La couleur, la présence de matières en suspension et l'odeur à l'ouverture du récipient ont été notées.

Examen microscopique du frottis coloré au Gram

➤ **Principe**

Il consiste à rechercher, à l'aide d'un microscope optique, les microorganismes présents dans un échantillon (Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007). Les informations sur la forme, le mode de groupement, l'appartenance Gram des cellules bactériennes sont notées.

➤ **Mode opératoire**

Préparation de la suspension test : 100 mL de l'échantillon d'eau ont été soumis à une centrifugation à 1200 rpm durant 15 min ± 1 min dans une centrifugeuse de marque Jouan E71. Le culot, repris dans 1 mL d'eau distillée stérile, a été soumis à une agitation au Vortex durant 2 min ± 1 min.

Confection du frottis et coloration de Gram : le frottis a été confectionné à partir de la suspension test comme indiqué à l'annexe 4 puis coloré suivant la technique de Gram (annexe 5). L'observation a été réalisée au microscope optique, à l'objectif 100 (Denis *et al.*, 2007).

Isolement des bactéries

➤ **Principe**

Il consiste à séparer des espèces bactériennes contenues dans un mélange (Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

➤ **Mode opératoire**

Il a été réalisé selon la technique des quadrants (annexe 6). Les milieux utilisés étaient : la gélose Trypticase-Soja (TSA) pour l'isolement non-sélectif des bactéries, la gélose Chapman pour l'isolement sélectif des staphylocoques, la gélose Bile-Esculine-Azide (BEA) pour l'isolement sélectif des entérocoques, le milieu gélosé Thiosulfate-Citrate-Bile-Saccharose (TCBS) pour l'isolement sélectif des vibrions et le milieu de Mc Conkey pour l'isolement sélectif des entérobactéries et autres bacilles Gram négatif.

Une boîte de Pétri contenant un milieu gélosé a été divisée en quatre secteurs équivalents numérotés de 1 à 4. A l'aide d'une anse de Platine, une goutte de la suspension test a été prélevée puis étalée par des stries serrées dans les trois premiers quadrants et par des stries plus distantes dans le dernier quadrant. Après l'ensemencement, la boîte de Pétri a été incubée durant 24 heures dans une étuve à 37 °C ± 1 °C (Joffin et Leyral, 2005). Les colonies obtenues ont été observées attentivement ; leurs caractéristiques ont été notées (annexe 7). Dans certains cas, la recherche des spores a été réalisée comme présenté à l'annexe 8.

Identification des bactéries

Quelques tests biochimiques ont été réalisés pour l'identification des bactéries.

La recherche de la catalase

- **Principe**

En présence de la catalase, le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) est décomposé en eau avec dégagement d'oxygène suivant la réaction :



➤ **Mode opératoire**

Sur une lame porte-objet, une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes a été déposée. Une colonie bactérienne prélevée au moyen d'une pipette Pasteur boutonnée y a été mise en suspension (Joffin et Leyral, 2005). L'ensemble a été observé attentivement.

➤ **Interprétation des résultats**

La formation des bulles d'air a indiqué la présence d'une catalase (Carbonelle *et al.*, 1991 ; Denis *et al.*, 2007).

La recherche de l'oxydase

➤ **Principe**

En présence de l'oxydase, la NN-diméthyl-para-phénylène-diamine (incolore) est oxydée en un dérivé rose violacé suivant la réaction :



D = composé carboné.

➤ **Mode opératoire**

Une colonie isolée sur gélose nutritive a été prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée et écrasée sur une bandelette imprégnée d'une solution de 1 % de diméthyl-para-phénylène-diamine, préalablement humidifiée avec une goutte d'eau distillée stérile.

➤ **Interprétation des résultats**

Une coloration violette a indiqué la présence d'une oxydase (Carbonelle *et al.*, 1991 ; Denis *et al.*, 2007).

La recherche de la désoxyribonucléase (Dnase)

➤ **Principe**

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est hydrolysé en nucléotides grâce à la désoxyribonucléase (DNase) présente chez les bactéries.

➤ **Mode opératoire**

Une colonie bactérienne a été ensemencée sous forme d'une strie centrale, sur une gélose Dnase. Après 18 heures d'incubation à 37 °C ± 1 °C, la culture a été inondée d'acide chlorhydrique à 3 %.

➤ **Interprétation des résultats**

La présence d'un halo clair autour de la strie indiquait la présence d'une Dnase (Carbonelle *et al.*, 1991 ; Denis *et al.*, 2007).

Les galeries API 20 E et API 20 NE

➤ Principe

La galerie API comporte 20 microtubes contenant des substrats déshydratés. L'ajout de la suspension bactérienne reconstitue les milieux. Les bactéries croissent seulement si elles sont capables d'utiliser le substrat correspondant. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition des réactifs.

➤ Mode opératoire

Pour chaque souche bactérienne, 1 à 4 colonies bien isolées ont été prélevées et mises en suspension dans 5 ml d'eau distillée stérile, de façon à obtenir une suspension d'opacité équivalente au tube 0,5 de la série de Mac Farland. La suspension a été déposée dans les cupules des galeries API 20 E et API 20 NE selon les indications du fabricant (Denis *et al.*, 2007 ; Joffin & Leyral, 2005).

➤ Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats a été effectuée à l'aide d'un logiciel d'identification apiweb™. Les tests mis en évidence sont représentés à l'annexe 9.

Les figures 8, 9, 10, 11, 12 et 13 résument les étapes de l'analyse qualitative.

Colonies bactériennes obtenues sur milieu de culture TSA

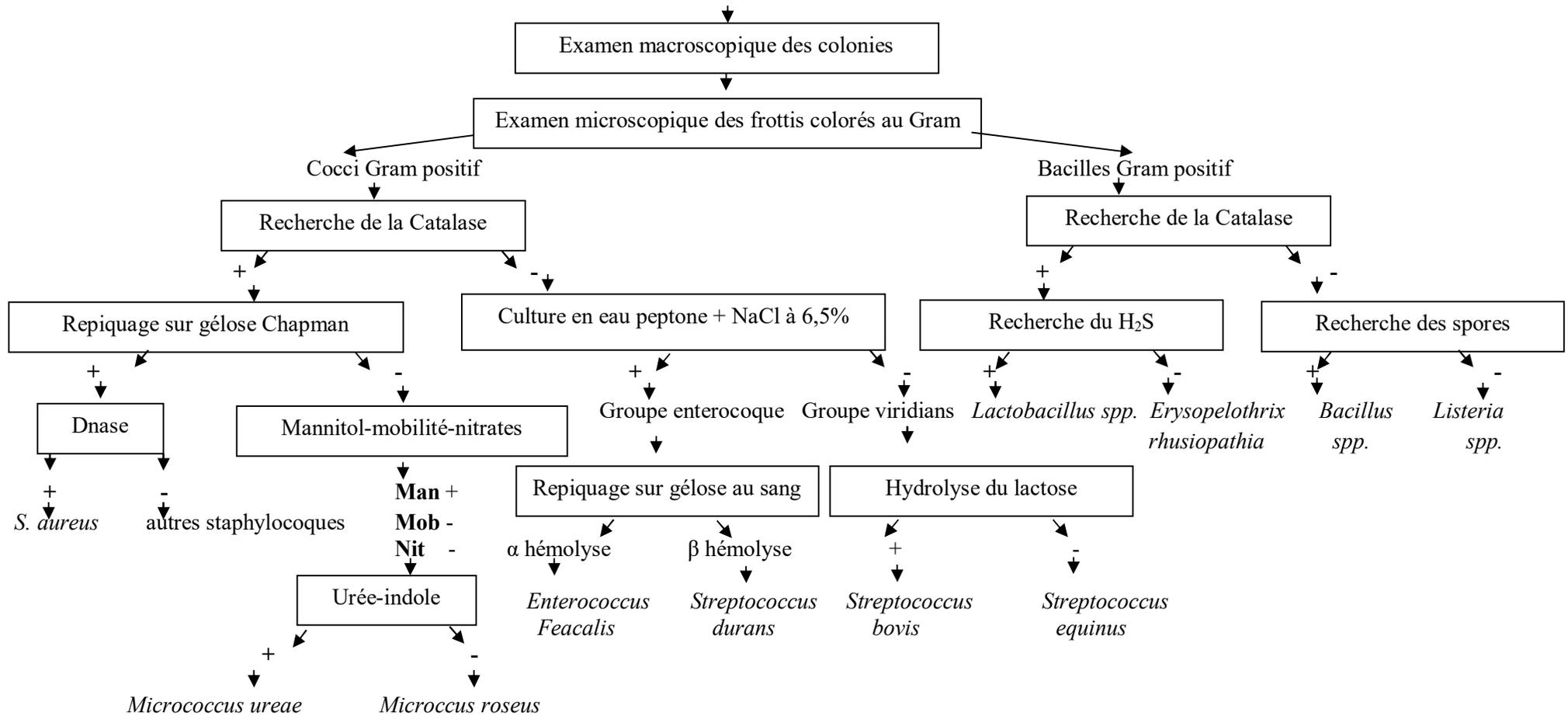


Figure 8 : Algorithme d'identification des bactéries à gram positive isolées sur gélose Trypticase-Soja-Agar (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007)

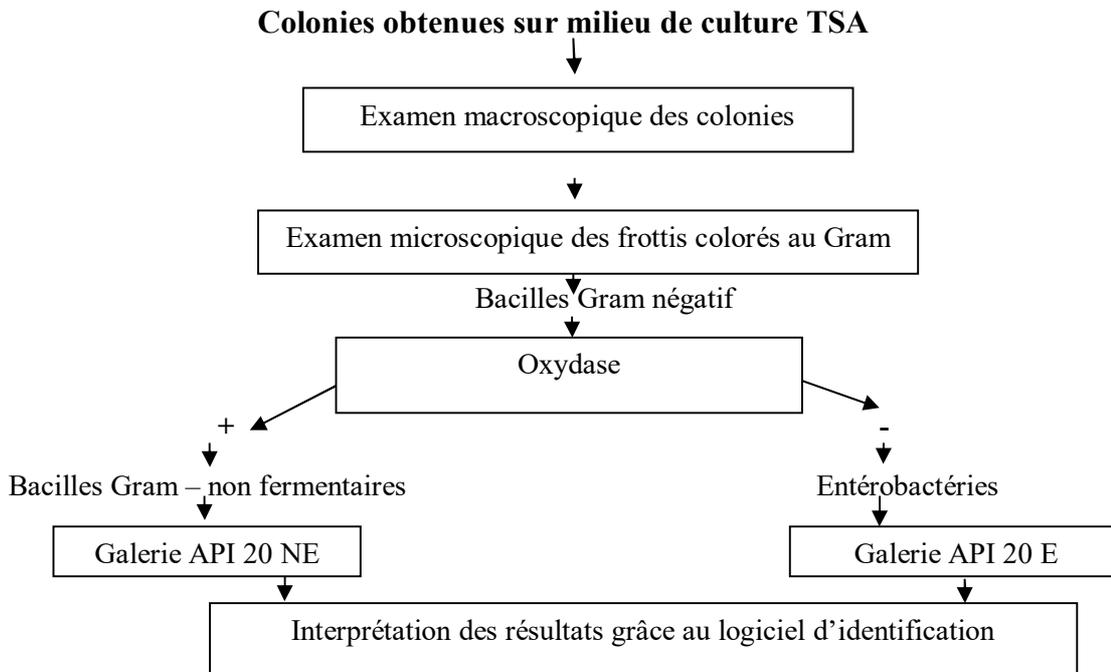


Figure 9 : Algorithme d'identification des bactéries à Gram négative isolées sur gélose Trypticase-Soja-Agar (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

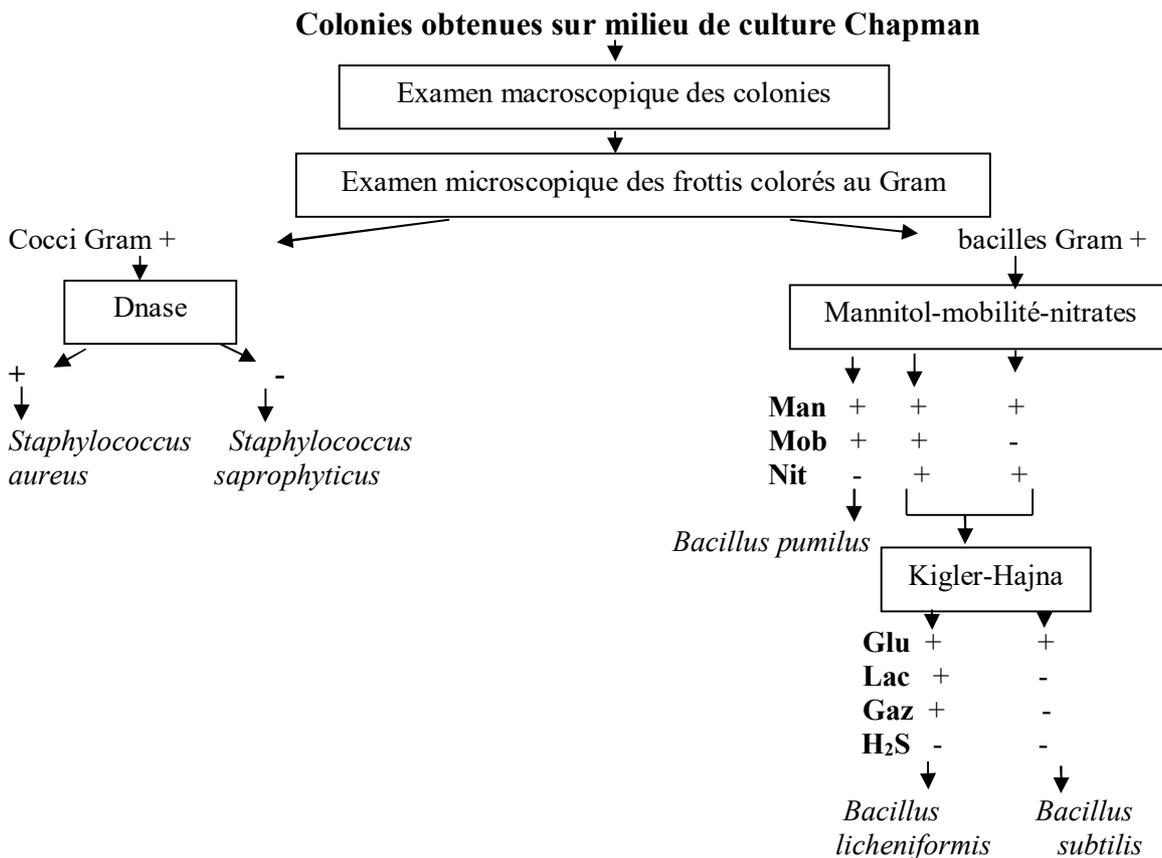


Figure 10 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Chapman (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

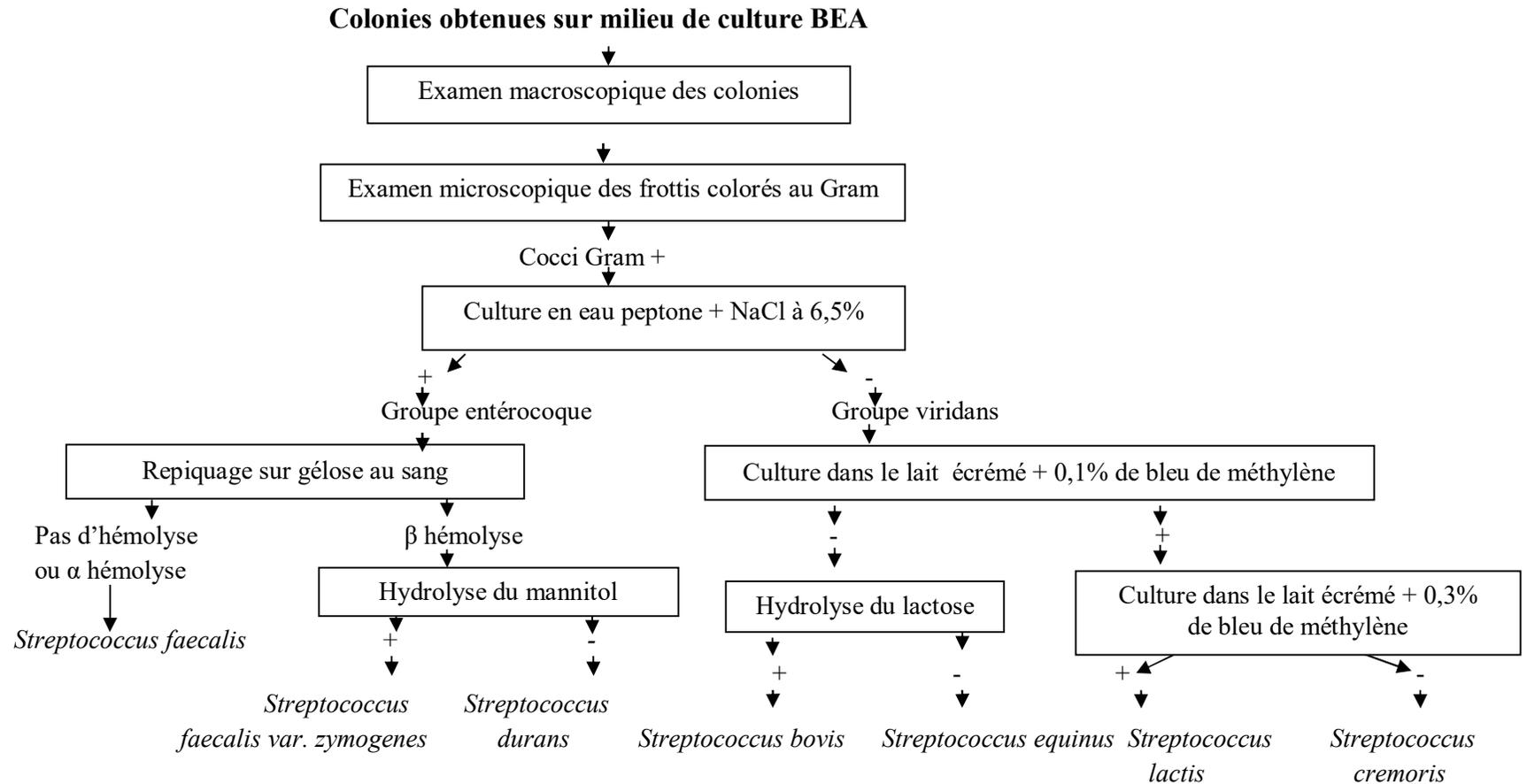


Figure 11 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Bile-Esculine (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

Colonies obtenues sur milieu de culture TCBS

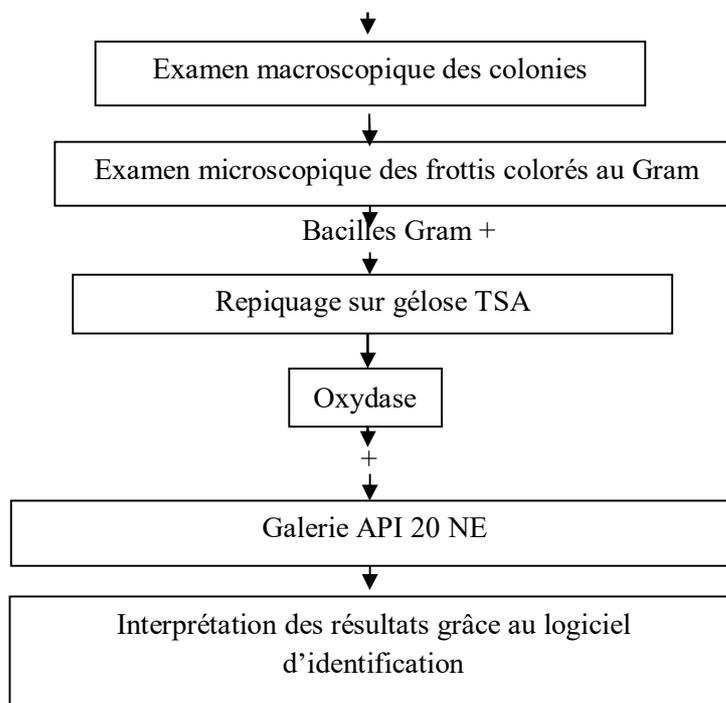


Figure 12 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose TCBS (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

Colonies obtenues sur milieu de culture Mac conkey

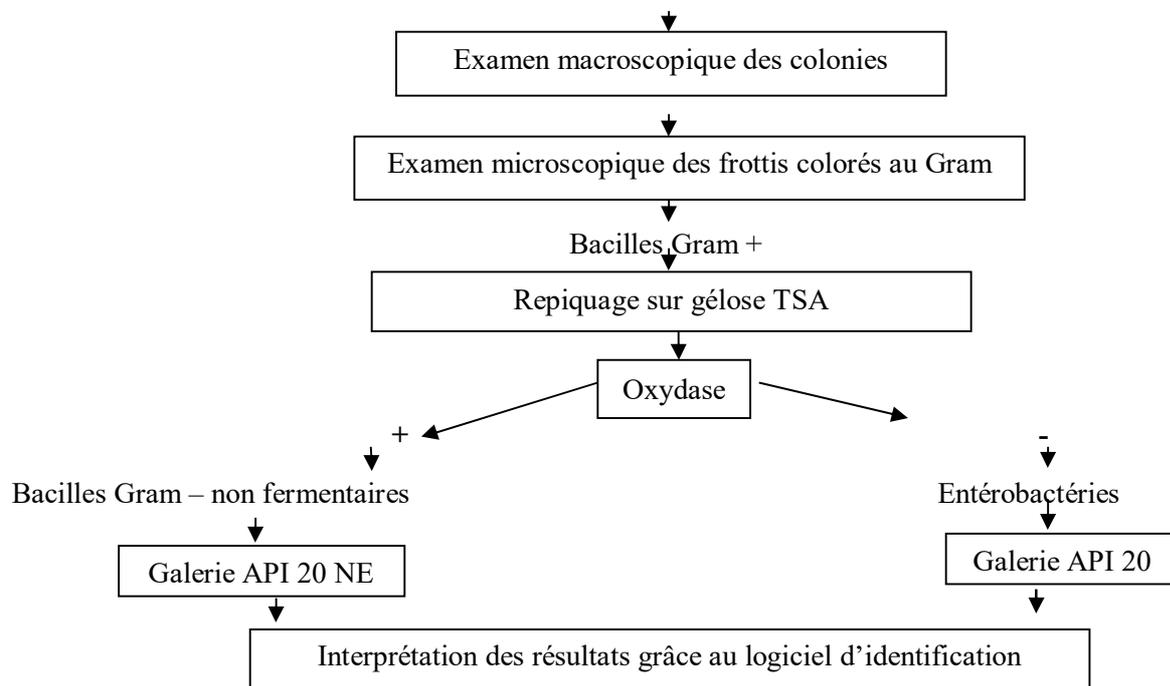


Figure 13 : Algorithme d'identification des bactéries obtenues sur gélose Mac Conkey (d'après Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

II. 2. 2. 3. 2 Analyse quantitative

Elle consiste à dénombrer les bactéries présentes dans un échantillon et à exprimer leur nombre par unité de volume (Joffin et Leyral, 2005 ; Denis *et al.*, 2007).

➤ Mode opératoire

100 mL d'échantillon d'eau ont été soumis à une centrifugation à 1200 rpm durant 15 minutes au moyen d'une centrifugeuse de marque Jouan E 71. Le culot a été repris dans 10mL d'eau distillée stérile puis soumis à l'agitation au Vortex durant 2 min ± 1 min. La suspension obtenue a été diluée à 10^{-3} suivant la méthode de Magniez (2014) illustrée à la figure 14.

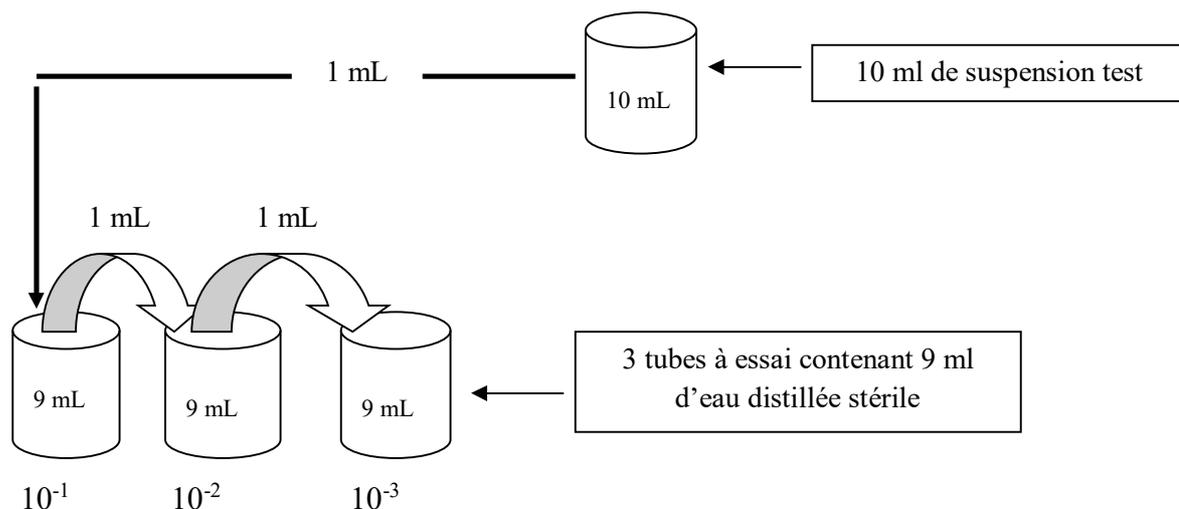


Figure 14 : Technique de dilution (Magniez, 2014).

L'ensemencement a été fait suivant la technique d'incorporation en gélose (Denis *et al.*, 2007). 1 mL de chaque dilution a été déposé dans une boîte de Pétri à l'aide d'une seringue stérile puis recouverts de 15 ml de gélose en fusion. Des mouvements de rotation ont ensuite été effectués afin d'homogénéiser le mélange. Les boîtes de Pétri contenant les milieux TSA, BEA, Chapman et TCBS ont été incubées à 37 °C durant 24 heures ; celles contenant de la gélose de Mc Conkey ont été incubées à 37 °C et à 44 °C durant 24 heures. Le dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles (BHAM) a été effectué sur la gélose TSA, celui des streptocoques fécaux (SF) sur la gélose BEA et celui des coliformes totaux et fécaux (CT et CF) sur la gélose de Mc Conkey. Les résultats ont été exprimés en unité formatrice de colonie (UFC) pour 100 mL d'eau suivant la formule :

$$\text{Nombre d'UFC/100 mL} = \text{Nombre de colonies comptées} \times \text{Facteur de dilution} \times 100$$

➤ **Interprétation des résultats**

L'origine de la contamination fécale a été déterminée par le rapport quantitatif des CF au SF (Borrego et Romero, 1982) ainsi qu'il suit :

$CF/SF < 0,7$ = origine principalement ou entièrement animale ;

$0,7 \leq CF/SF < 1$ = origine mixte à prédominance animale ;

$1 \leq CF/SF < 2$ = origine incertaine ;

$2 \leq CF/SF < 4$ = origine mixte à prédominance humaine ;

$CF/SF \geq 4$ = origine exclusivement humaine.

II. 2. 3 Evaluation de l'impact potentiel sur la santé des populations riveraines, de la qualité des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Elle a été effectuée en trois volets, à savoir une enquête, une inspection sanitaire et une évaluation de la pollution microbienne.

S'agissant de l'enquête, un questionnaire (annexe 10) a été administré aux riverains des différentes stations. Pour être inclus, les sujets devaient habiter à moins de 500 m du fleuve et utiliser régulièrement ses eaux. Les considérations éthiques ont été respectées, notamment l'information du sujet et le recueil du consentement éclairé (annexe 11). Des informations d'ordre sociodémographique, économique et sanitaire ont été collectées. Le dépouillement des questionnaires a permis d'identifier les usages faits de l'eau des fleuves et les plaintes liées à l'utilisation de ces eaux.

L'inspection sanitaire a consisté à identifier les lieux de défécation, l'aménagement des latrines et leur distance vis-à-vis des cours d'eau.

Concernant l'évaluation de la pollution microbiologique des eaux, elle a été opérée par la combinaison des résultats de l'analyse microbiologique quantitative des échantillons (concentration de l'eau en streptocoques fécaux) et les observations de l'inspection sanitaire. L'interprétation des résultats a été réalisée selon les normes de l'OMS relatives aux eaux récréatives, rappelées les tableaux II et III.

Tableau II : Evaluation de la pollution microbiologique des eaux récréatives (OMS, 2003)

Qualité microbiologique de l'eau (SF/100 mL) Risque sanitaire	A	B	C	D
	≤ 40	41 – 200	201 – 500	> 500
Très faible	Absence de pollution	Absence de pollution	Très forte pollution	Très forte pollution
Faible	Absence de pollution	Pollution modérée	Faible pollution	Très forte pollution
Modérée	Pollution modérée	Pollution modérée	Faible pollution	Pollution
Élevée	Pollution modérée	Faible pollution	Pollution	Forte pollution
Très élevée	Très forte pollution	Faible pollution	Pollution	Forte pollution

Légende : A, B, C et D = différents niveaux de la charge microbienne de l'eau,

A = eau très faiblement contaminée, B = eau faiblement contaminée, C = eau moyennement contaminée, D= eau très contaminée.

Catégories du risque sanitaire :

- latrine aménagée et distante de plus de 500m du fleuve = risque sanitaire très faible ;
- latrine aménagée et distante de 500 m du fleuve = risque sanitaire faible ;
- latrine aménagée et distante de moins de 500 m du fleuve = risque sanitaire modérée ;
- latrine non aménagée = risque sanitaire élevée ;
- défécation à l'air libre ou dans le fleuve = risque sanitaire très élevée.

Tableau III : Valeurs guides de la qualité microbiologique des eaux récréatives (OMS, 2003)

Charge microbienne de l'eau (nombre de streptocoques fécaux/100 mL d'eau)	Estimation du risque sanitaire après exposition
A : ≤40	<1 % du risque de gastroentérites <0,3 % du risque d'infections respiratoires
B : 41 – 200	1 – 5 % du risque de gastroentérites 0,3 – 1,9 % du risque d'infections respiratoires
C : 201 – 500	5 – 10 % du risque de gastroentérites 1,9 – 3,9 % du risque d'infections respiratoires
D : >500	>10 % du risque de gastroentérites >3,9 % du risque d'infections respiratoires

Légende : A, B, C et D = différents niveaux de la charge microbienne de l'eau,

A = eau très faiblement contaminée, B = eau faiblement contaminée, C = eau moyennement contaminée, D= eau très contaminée.

II. 2. 4 Sondage de la compétence à dégrader le Métalaxyl-M des bactéries isolées des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Le Métalaxyl-M utilisé a été préparée à partir du produit commercial Callomil plus 72WP®, conformément aux recommandations du fabricant.

La solution obtenue a été soumise à l'action de bactéries sélectionnées, seules ou en consortium selon la méthode à 4 étapes décrite par Oudot (2000) : le choix des bactéries, la détermination de la concentration test du polluant, la préparation des inocula et des suspensions tests, et l'essai de biodégradation.

II. 2. 4. 1 Choix des bactéries

Il a été basé sur quatre critères : la fréquence d'isolement, l'abondance dans les eaux des fleuves, le faible pouvoir pathogène et la capacité à croître en présence du Métalaxyl-M.

La fréquence d'isolement et l'abondance de la bactérie dans les eaux des fleuves ont été obtenues grâce à l'analyse bactériologique des échantillons d'eau. Le faible pouvoir pathogène a été estimé sur la base de la revue de la littérature. La capacité de la bactérie à croître en présence du Métalaxyl-M a été testée au laboratoire. Comme suit :

➤ Mode opératoire de l'évaluation de la capacité d'une bactérie à croître en présence du Métalaxyl-M

Trois tubes préparés comme indiqué au tableau IV ont été incubés à $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durant 30 jours. Chaque jour, ils ont été soumis à l'agitation au Vortex durant $2\text{ min} \pm 1\text{ min}$ et à intervalles réguliers de 5 jours, 1 mL de culture de chaque milieu réactionnel a étéensemencé sur gélose nutritive.

Tableau IV : Mise en évidence de la croissance bactérienne en présence du Métalaxyl-M

Tubes	Suspension bactérienne (10^8 UFC/mL)	Polluant (Métalaxyl-M)	Eau distillée stérile
Test	2 mL	1 mL	7 mL
Témoin 1	2 mL	-	8 mL

➤ Interprétation des résultats

La présence de colonies sur au moins 3/4 du diamètre de la boîte de Pétri de 90 mm révélait la capacité de la bactérie testée à croître en présence du Métalaxyl-M.

II. 2. 4. 2 Détermination de la concentration de Métalaxyl-M

Deux (02) mL d'une suspension titrant à 10^8 UFC/mL de chacune des souches bactériennes sélectionnées tel que décrit en II.2.3.1 et ont été introduits dans des puits d'une microplaque. On y a ajouté du Métalaxyl-M, de façon à obtenir respectivement des concentrations finales de 5 % (0,1 mL), 10 % (0,2 mL), 25 % (0,5 mL), 50 % (1mL), 75 % (1,5 mL) ou 100 % (2 mL) comme indiqué au tableau V. La plaque a été homogénéisée puis

incubée à $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durant 30 jours. À intervalles réguliers de 10 jours, 0,5 ml du contenu de chaque puits de la microplaque a été ensemencé sur de la gélose nutritive. L'interprétation des résultats a été exécutée comme décrit au paragraphe II. 2. 3.1.

Tableau V : Composition des milieux réactionnels pour le choix de la concentration du Métalaxyl-M

Microplaque	Suspension bactérienne (10^8 UFC/mL)	Solution de fongicide (Métalaxyl-M)	Rapport V/V polluant/suspension bactérienne (en %)
Cupule 1 (témoin)	2 mL	0	0 %
Cupule 2	2 mL	0,1 mL	5 %
Cupule 3	2 mL	0,2 mL	10 %
Cupule 4	2 mL	0,5 mL	25 %
Cupule 5	2 mL	1 mL	50 %
Cupule 6	2 mL	1,5 mL	75 %
Cupule 7	2 mL	2 mL	100 %

II. 2. 4. 3 Préparation des inocula, suspensions témoins et suspensions tests

II. 2. 4. 3. 1 Préparation des inocula

Pour les espèces bactériennes seules, des colonies ont été mises en suspension dans 30 ml d'eau distillée stérile de façon à obtenir une concentration d'environ 10^8 UFC/mL, attestée par le tube 0,5 de la gamme étalon de Mac Farland.

Pour le consortium de bactéries, 3,33 mL de suspension de chaque souche constitutive ont été introduits dans un tube de manière à obtenir une suspension titrant d'environ 10^8 UFC/mL.

II. 2. 4. 3. 2 Préparation des suspensions tests et témoins

Les suspensions tests étaient constituées de 10 mL de milieu liquide de Bushnell Haas (BHB), 1 mL (10 % v/v), de suspension bactérienne et 0,5 mL (5 % v/v) de Métalaxyl-M.

Deux témoins 1 et 2 ont été préparés, le témoin 1 était constituée de 10 mL du milieu Bushnell Haas (BHB) additionné à 0,5 mL de Métalaxyl-M. Le témoin 2 était un mélange de 10 mL du milieu BHB et d'un mL de suspension bactérienne.

II. 2. 4. 4 Essai de biodégradation du Métalaxyl-M

Les tubes (tests et témoins) ont été placés à $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ à 125 rpm durant 30 jours dans un incubateur agitateur de marque Innova 42. Grâce à des prélèvements réalisés les 1^{er}, 2^{ème}, 5^{ème}, 10^{ème}, 15^{ème}, 20^{ème}, 25^{ème} et 30^{ème} jour, la concentration bactérienne, la densité optique, la concentration du polluant et celle de son métabolite, retenus comme indicateurs du suivi de la réaction, y ont été mesurés.

II. 2. 4. 4. 1 Détermination de la concentration bactérienne dans le milieu réactionnel

Les suspensions (tests et témoins) ont été diluées jusqu'au 1/1000000 (10^{-6}). 1 mL de chaque dilution ainsi obtenue a été ensemencé par la technique d'incorporation en gélose. Les boîtes de Pétri ont été incubées à $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durant 24 heures. Les colonies ont été décomptées au moyen d'un compteur de colonies de marque BZG 40.

Les résultats ont été exprimés en unité formatrice de colonie (UFC) par mL suivant la formule : **Nombre d'UFC/mL = Nombre de colonies comptées × Facteur de dilution**

II. 2. 4. 4. 2 Densité optique (DO)

La DO des suspensions tests et témoins ont été mesurées à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH Lange DR/2800.

➤ Interprétation des résultats

Lorsque :

- $DO < 0,28$, la concentration bactérienne est inférieure à 10^8 UFC/mL ;
- $DO > 0,28$, la concentration bactérienne est supérieure à 10^8 UFC/mL ;
- $DO = 0,28$, la concentration bactérienne est égale à 10^8 UFC/mL.

II. 2. 4. 4. 3 Quantification du Métalaxyl-M

Les concentrations du Métalaxyl-M et de son métabolite, le Métalaxyl saponifié ou N-(2,6-diméthylphényl)-N-(méthoxyacétyl) alanine, ont été déterminées par HPLC. Le mode opératoire et l'interprétation des résultats ont été effectués comme indiqué au paragraphe II.2.1.3.1.

II. 2. 5 Analyse des données

Les tests paramétriques ANOVA et TUKEY réalisés à l'aide du logiciel SAS 9.2, ont permis d'évaluer les variations des paramètres physico-chimiques en fonction des stations d'échantillonnage et des saisons. Le test de TUKEY est utilisé lorsque le test d'ANOVA indique des différences significatives (Bénazeth *et al.*, 2007). Les différences obtenues ont été considérées significatives lorsque la valeur de la probabilité a été inférieure à 5 % ($P < 0,05$).

Les tests H de KRUSKAL-WALLIS et W de WILCOXON réalisés à l'aide du logiciel SAS 9.2, ont permis d'évaluer les variations toxicologiques et bactériologiques en fonction des stations d'échantillonnage et des saisons. La différence a été considérée statistiquement significative pour une valeur de $P < 0,05$.

Le logiciel PAST nous a permis de calculer l'indice de similarité (indice de Whittaker) afin d'évaluer la similarité des peuplements bactériens entre les fleuves Nyong et Wouri.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III. 1 Résultats

III. 1. 1 Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau VI. Il en ressort que, les eaux des deux fleuves ont présenté des températures (25,2°C et 27,9°C respectivement pour le Nyong et le Wouri) conformes à la norme nationale mais supérieures à la norme internationale. Les valeurs du pH, de la conductivité électrique, des TDS, de l'oxygène dissous et des nitrates n'ont pas dépassé les seuils pour les deux normes tandis que la couleur (212,9 Pt-Co et 208,9 Pt-Co respectivement pour le Nyong et le Wouri), a été largement au-dessus supérieure. Les valeurs moyennes des MES ont été conformes aux deux normes ; toutefois, les valeurs maximales ont été supérieures aux seuils requis. Les eaux du Nyong ont présenté des teneurs en orthophosphates non conformes à la norme internationale et les valeurs maximales pour le Wouri ont excédé la norme internationale. Dans l'ensemble, les eaux du Wouri ont présenté une conductivité électrique et des TDS trois fois supérieures à celles du Nyong. Elles ont également contenu deux fois plus de matières en suspension que celles du Nyong.

Tableau VI : Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Paramètres physico-chimiques	Nyong (n = 120)	Wouri (n = 120)	Norme nationale (MINEPDED, 2010)	Norme internationale (PNUE, 2008)
T (°C)	25,2 ± 0,9 ** (24 – 27)	27,9 ± 2,2 ** (24 – 31)	< 30	≤ 25
pH	6,3 ± 0,5 (5 – 7,6)	7,3 ± 0,4 (6,5 – 8,1)	6 – 9	6,5 – 9
CE (µS/cm)	35,5 ± 11,6 (18,7 – 68,6)	104,8 ± 55,1 (29 – 221)	< 500	< 500
TDS (mg/L)	17,8 ± 5,7 (9,4 – 33,9)	51,5 ± 26,7 (14 – 104)	< 1000	< 600
OD (% sat)	94,9 ± 8,1 (52,2 – 109,7)	100,7 ± 7,1 (81,2 – 113,4)	> 80	> 80
OD (mg/L)	7,58 ± 0,81 (4,1 – 9,2)	7,99 ± 0,67 (6,3 – 9,3)	6 – 9,5	6 – 9,5
C (Pt-Co)	212,9 ± 74,6 **/** (72 -507)	208,9 ± 253,3 **/** (0 – 2257)	≤ 50	≤ 50
MES (mg/L)	12,8 ± 24, 2 (0 – 246)	29,3 ± 42,7 (0 – 384)	< 40	≤ 30
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,0 ± 3,1 (0 – 16,4)	0,9 ± 1,6 (0 – 6)	≤ 20	≤ 50
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,1 ± 1,3 ** (0,05 – 7,8)	0,4 ± 0,4 (0,06 – 1,5)	≤ 10	≤ 1

Légende : T = température, MES = matières en suspension, C = couleur, pH = potentiel d'Hydrogène, CE = conductivité électrique, TDS = solides totaux dissous, OD = oxygène dissous, NO₃⁻ = nitrates, PO₄³⁻ = orthophosphates, (minimum – maximum).

* > norme MINEPDED, ** > norme PNUE, n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 1. 1 Variation spatiale de la qualité physico-chimique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

❖ Entre les rives et les lits mineurs

Les valeurs moyennes globales enregistrées pour les différents paramètres physico-chimiques de la rive et du lit mineur des fleuves sont reportées dans le tableau VII.

Il en ressort que, pour le fleuve Nyong, la température, les MES, la couleur, l'oxygène dissous et les orthophosphates n'ont montré aucune variation entre la rive et le lit mineur du fleuve ($P > 0,05$), tandis qu'une différence statistiquement significative a été observée pour le pH, la conductivité électrique, les TDS et les nitrates. En effet, les eaux de rive ont été plus acides ($P < 0,05$) ; elles ont présenté des valeurs de conductivité électrique et les TDS plus élevées ($P < 0,05$) alors que pour les nitrates, elles ont eu des teneurs moins élevées que celles du lit mineur ($P < 0,05$).

Pour le fleuve Wouri, les MES, le pH et les orthophosphates n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre la rive et le lit mineur ($P > 0,05$) contrairement à la température, la conductivité électrique, les TDS, la couleur, l'oxygène dissous et les nitrates ($P < 0,05$). Les eaux de la rive ont été plus colorées que celles du lit mineur tandis que ces dernières ont été plus chaudes, riches en sels minéraux, en oxygène et en nitrates.

Tableau VII : Valeurs moyennes des caractères physico-chimiques des eaux de la rive et du lit mineur des fleuves Nyong et Wouri

Paramètres	Fleuve					
	Nyong (n = 120)			Wouri (n =120)		
	Rive	Lit mineur du fleuve	Valeur P	Rive	Lit mineur du fleuve	Valeur P
T (°C)	25,2 ± 0,9 ^a (24 – 27)	25,2 ± 0,9 ^a (24 – 27)	1,0	27,94 ± 2,17 ^a (24 – 31)	27,99 ± 2,16 ^b (24 – 31)	<0,0001
MES (mg/L)	14,9 ± 32,1 ^a (0 – 246)	10,6 ± 11,9 ^a (0 – 71)	0,3	34,1 ± 54,0 ^a (0 – 384)	24,5 ± 26,8 ^a (0 – 152)	0,06
C (Pt.Co)	209,02 ± 75,2 ^a (72 – 380)	216,9 ± 74,4 ^a (96 – 507)	0,3	239,3 ± 320,1 ^b (0 – 2257)	178,7 ± 158,5 ^a (0 – 786)	0,04
pH	6,2 ± 0,5 ^a (5,02 – 6,9)	6,4 ± 0,5 ^b (5,2 – 7,6)	<0,0001	7,3 ± 0,4 ^a (6,5 – 8)	7,3 ± 0,4 ^a (6,5 – 8,1)	0,9
CE (µS/cm)	35,6 ± 11,1 ^b (20,1 – 57,6)	35,5 ± 12,2 ^a (18,7 – 68,6)	<0,0001	103,9 ± 54,4 ^a (31 – 221)	105,7 ± 56,3 ^b (29 – 208)	<0,0001
TDS (mg/L)	17,9 ± 5,4 ^b (10 – 28,6)	17,7 ± 5,9 ^a (9,4 – 33,9)	<0,0001	50,9 ± 26,1 ^a (15 – 100)	51,9 ± 27,4 ^b (14 – 104)	<0,0001
OD (%)	95,2 ± 5,7 ^a (83,8 – 108,8)	94,6 ± 10,1 ^a (52,2 – 109,7)	0,5	99,2 ± 7,8 ^a (81,2 – 110,8)	102,1 ± 5,9 ^b (84,3 – 113,4)	<0,0001
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,7 ± 2,1 ^a (0 – 10,5)	1,4 ± 3,8 ^b (0 – 16,4)	0,04	0,94 ± 1,55 ^a (0 – 6,02)	0,98 ± 1,60 ^b (0 – 6)	<0,0001
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,1 ± 0,9 ^a (0,08 – 3,9)	1,1 ± 1,6 ^a (0,05 – 7,8)	0,7	0,4 ± 0,4 ^a (0,06 – 1,5)	0,4 ± 0,4 ^a (0,06 – 1,5)	0,9

Légende : T = température, MES = matières en suspension, C = couleur, pH = potentiel d'Hydrogène, CE = conductivité électrique, TDS = solides totaux dissous, OD = oxygène dissous, NO₃⁻ = nitrates, PO₄³⁻ = orthophosphates, (minimum – maximum).

Statistique : dans une ligne et pour un fleuve, les valeurs cotées d'une même lettre sont statistiquement égales.

n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

❖ Entre les stations d'échantillonnage

Les valeurs moyennes globales enregistrées pour les différents paramètres physico-chimiques des stations d'échantillonnage (tableau VIII) révèlent que pour le fleuve Nyong les valeurs :

- de la température de l'eau ont été respectivement plus et moins élevées ($P < 0,05$) à N3 ($25,5 \pm 1,2^\circ\text{C}$) et à N5 ($24,9 \pm 0,9^\circ\text{C}$) ;
- de la couleur de l'eau ont été plus élevées à N2 ($224,8 \pm 86,9$ Pt.Co) et plus faibles à N5 ($189,9 \pm 70,5$ Pt.Co) avec $P < 0,05$;
- du pH de l'eau ont été plus élevées à N3 et N4 ($6,4 \pm 0,5$) et moins élevées à N2 ($6,2 \pm 0,5$) avec $P < 0,05$;
- de la conductivité électrique et des solides totaux dissous (TDS) ont été plus et moins élevées respectivement à N3 et à N5 ($P < 0,05$) ;
- du taux de saturation en oxygène dissous ont été plus fortes à N1, N3, N4 et N5 et moins à N2 ($P < 0,05$) ;
- de sa teneur en matières en suspension (MES), en nitrates et en orthophosphates n'ont montré aucune variation entre les stations ($P > 0,05$).

D'une manière générale, N3 a présenté les valeurs les plus élevées pour la plupart des paramètres, les valeurs les moins élevées revenant à N5.

Pour le fleuve Wouri, les eaux :

- ont été respectivement plus et moins chaudes ($P < 0,05$) à W4 ($28,3 \pm 1,9^\circ\text{C}$) et à W1 ($27,6 \pm 2,3^\circ\text{C}$) ;
- ont été riches en matières en suspension et plus colorées à W2 que dans les autres stations ($P < 0,05$) ;
- ont eu un pH décroissant de W5 ($7,4 \pm 0,4$) à W2 ($7,2 \pm 0,4$) avec $P < 0,05$;
- ont montré des valeurs de la conductivité électrique et des solides totaux dissous (TDS) plus et moins élevées respectivement à W5 et à W1 ($P < 0,05$) ;
- n'ont montré aucune variation de la teneur en oxygène dissous entre les stations ($P > 0,05$) ;
- de la station W5 ont été plus riches en nitrates, celles de W1 plus chargées en orthophosphates, tandis que celles de W3 ont présenté des concentrations très faibles en nitrates et en orthophosphates ($P < 0,05$).

D'une manière générale, la station W5 a présenté les valeurs les plus élevées pour la plupart des paramètres, les moins élevées revenant à W1.

Tableau VIII : Valeurs moyennes des caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri en fonction des stations

Fleuve	Stations	Paramètres								
		T (°C)	MES (mg/L)	C (Pt.Co)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	OD (%)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
Nyong (n = 120)	N1	25,1 ± 0,9 ^b (24 – 27)	11,2 ± 13,8 ^a (0 – 28,5)	212,6 ± 91,5 ^{a, b} (98 – 338)	6,3 ± 0,4 ^{a, b} (5,28 – 6,89)	35,5 ± 11,9 ^b (20,5 – 57,3)	17,9 ± 5,5 ^b (10,2 – 25,9)	95, ± 5,51 ^b (85,4 – 102,6)	1,6 ± 3,8 ^a (0 – 10,5)	1 ± 0,9 ^a (0,16 – 3,5)
	N2	25,4 ± 0,9 ^c (24 -27)	12,6 ± 15,3 ^a (0 – 55)	224,8 ± 86,9 ^b (128 – 444)	6,2 ± 0,5 ^a (5,42 – 6,87)	35,7 ± 12,9 ^c (20,2 – 57,8)	17,9 ± 6,3 ^c (10,1 – 28,9)	90,0 ± 13,1 ^a (83,8 – 102,9)	0,7 ± 1,7 ^a (0 – 5,2)	0,9 ± 1,1 ^a (0,12 – 3,8)
	N3	25,5 ± 1,2 ^d (24 -27)	9,0 ± 7,1 ^a (1 – 23)	221,5 ± 65,9 ^{a, b} (144 – 286)	6,4 ± 0,5 ^b (5,3 – 6,9)	36,2 ± 10,8 ^d (20,4 – 51,8)	18,1 ± 5,6 ^d (10,5 – 28,6)	95,4 ± 6,6 ^b (83,2 – 108,8)	1,5 ± 3,7 ^a (0 – 10,1)	1,2 ± 1,9 ^a (0,1 – 5,8)
	N4	25 ± 0,8 ^{a, b} (24 -27)	10,5 ± 5,9 ^a (0 – 24)	216,1 ± 62,1 ^{a, b} (99 – 259)	6,4 ± 0,5 ^b (5,32 – 6,9)	36,9 ± 12,8 ^c (21,5 – 63,1)	18,6 ± 6,3 ^c (10,7 – 31,5)	96,6 ± 6,2 ^b (87,3 – 104,7)	1,1 ± 3,7 ^a (0 – 12,7)	1,1 ± 1,5 ^a (0,12 – 5,1)
	N5	24,9 ± 0,9 ^a (24 -27)	20,5 ± 50,3 ^a (0 – 124)	189,9 ± 70,5 ^a (113 – 391)	6,3 ± 0,5 ^{a, b} (5,44 – 6,94)	33,3 ± 10,0 ^a (21 – 45,9)	16,7 ± 4,8 ^a (10,5 – 22,9)	97,4 ± 5,1 ^b (89,8 – 103,3)	0,4 ± 1,5 ^a (0 – 3,63)	1,4 ± 1,0 ^a (0,06 – 2,4)
	Valeur P	<0,0001	0,4	0,02	0,007	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,1	0,3

Tableau VIII (suite)

Fleuve	Stations	Paramètres								
		T (°C)	MES (mg/L)	C (Pt.Co)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	OD (%)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
Wouri (n = 120)	W1	27,6 ± 2,3 ^a	25,1 ± 14,5 ^a	187,8 ± 99,4 ^a	7,3 ± 0,4 ^{a,b}	75,8 ± 58,0 ^a	37,8 ± 29,2 ^a	101,2 ± 6,6 ^a	0,6 ± 0,9 ^b	0,6 ± 0,6 ^b
		(24 – 31)	(1 – 47,5)	(24 – 326,5)	(6,48 – 7,85)	(30 – 96,4)	(15 – 98, 2)	(91,6 – 110,6)	(0 – 2,66)	(0,1 – 1,5)
	W2	27,7 ± 2,3 ^b	49,6 ± 79,7 ^b	322,6 ± 459,1 ^b	7,2 ± 0,4 ^a	89,8 ± 44,4 ^b	44,9 ± 22,2 ^b	101,8 ± 6,4 ^a	0,9 ± 1,3 ^c	0,2 ± 0,1 ^a
		(24 – 31)	(0 – 268)	(7 – 1521,5)	(6,67 – 7,77)	(46,7 – 178,5)	(23,3 – 89,2)	(90,7 – 110,7)	(0 – 3,43)	(0,14 – 0,5)
	W3	27,8 ± 2,2 ^c	24,1 ± 31,9 ^a	190,5 ± 208,9 ^a	7,3 ± 0,4 ^b	117,2 ± 48,2 ^d	58,5 ± 24,2 ^d	100,8 ± 6,8 ^a	0,5 ± 0,8 ^a	0,3 ± 0,2 ^a
		(24 – 31)	(0 – 118,5)	(19 – 773,5)	(6,71 – 7,87)	(48,3 – 185)	(24,1 – 92,5)	(90,9 – 110)	(0 – 2,05)	(0,13 – 0,8)
	W4	28,3 ± 1,9 ^d	23 ± 20,5 ^a	180,9 ± 130,0 ^a	7,3 ± 0,4 ^{b,c}	114,8 ± 57,7 ^c	57,3 ± 28,9 ^c	99,1 ± 7,9 ^a	1,1 ± 1,5 ^d	0,4 ± 0,3 ^{a,b}
		(25 – 31)	(1 – 69)	(18,5 – 429)	(6,66 – 7,85)	(39 – 188,3)	(19,5 – 94,1)	(87 – 110,6)	(0 – 3,9)	(0,13 – 1,05)
	W5	28,4 ± 2,1 ^e	24,3 ± 30,1 ^a	163,1 ± 183,2 ^a	7,4 ± 0,4 ^c	126,5 ± 53,5 ^e	58,8 ± 23,2 ^e	100,4 ± 7,8 ^a	1,7 ± 2,5 ^e	0,4 ± 0,3 ^{a,b}
		(25 – 31)	(0 – 91)	(15,5 – 504,5)	(6,61 – 8,07)	(55,5 – 214,3)	(27,7 – 107,1)	(87,9 – 109,8)	(0 – 6,01)	(0,06 – 1,19)
	Valeur P	<0,0001	0,006	0,004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1	<0,0001	<0,0001

Légende : T = température, MES = matières en suspension, C = couleur, pH = potentiel d'Hydrogène, CE = conductivité électrique, TDS = solides totaux dissous, OD = oxygène dissous, NO₃⁻ = nitrates, PO₄³⁻ = orthophosphates, (minimum – maximum).

Statistique : dans une colonne et pour un fleuve, les valeurs cotées d'une même lettre sont statistiquement égales ; n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 1. 2 Variation temporelle de la qualité physico-chimique des eaux des fleuves

Nyong et Wouri

Pour effectuer cette analyse, les stations N1 et W1 ont été considérées comme « stations tests ».

❖ Température de l'eau en fonction des mois

Les eaux ont été les plus chaudes au cours du mois de mars 2012 pour N1 (27°C) et des mois de mars et avril 2012 pour W1 (31°C) ($P < 0,05$). Elles ont été plus froides en décembre 2011 et en juillet, octobre, novembre 2012 pour N1 (24°C) et en juillet 2012 pour W1 (24°C) comme l'indique la figure 15.

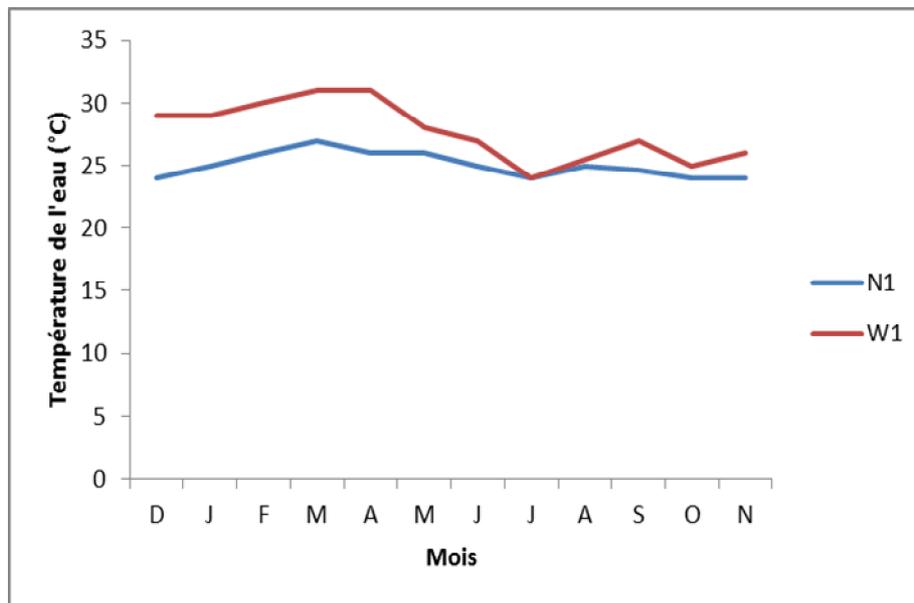


Figure 15 : Variation temporelle de la température de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de la température de l'eau du Nyong a révélé qu'aucune variation significative n'a été observée entre les mois de février et de mai 2012 ; d'août, de juin et de septembre 2012 ; de décembre 2011, de juillet, d'octobre et de novembre 2012 (tableau IXa). Toutefois, la différence a été statistiquement significative entre ces groupes de mois ($P < 0,05$). La température de l'eau du Wouri n'a pas varié significativement entre les mois de mars et d'avril 2012, comme l'indique le tableau IXb. La différence a été statistiquement significative pour tous les autres mois ($P > 0,05$).

Tableau IX : Matrice de comparaison mensuelle de la température de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0,2	2,6	2,4	1,8	1,4	0,2	-0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,1	D
	1,4	1,2	1	0,6	-0,6	-1,2	-0,6	-0,6	-1	-0,9	Ja
		0,2	0,4	0	-1,2	-1,8	-1,2	-1,2	-1,6	-1,5	F
			0,2	-0,2	-1,4	-2	-1,4	-1,4	-1,8	-1,7	Ma
				-0,4	-1,6	-2,2	-1,8	-1,8	-2	-1,9	Av
(a)					-1,2	-1,8	-1,2	-1,2	-1,6	-1,5	Mi
						-0,6	0	0	-0,4	-0,3	Jn
							0,6	0,6	0,2	0,3	Jt
								0	-0,4	-0,3	At
									-0,4	-0,3	S
										0,1	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	0,85	1,85	1,85	-0,55	-1,95	-4,65	-3,5	-1,65	-3,3	-3,15	D
	0,85	1,85	1,85	-0,55	-1,95	-4,65	-3,5	-1,65	-3,3	-3,15	Ja
		1	1	-1,4	-2,8	-5,5	-4,35	-2,5	-4,15	-4	F
			0	-2,4	-3,8	-6,5	-5,35	-3,5	-5,15	-5	Ma
				-2,4	-3,8	-6,5	-5,35	-3,5	-5,15	-5	Av
(b)					-1,4	-4,1	-2,95	-1,1	-2,75	-2,6	Mi
						-2,7	-1,55	0,3	-1,35	-1,2	Jn
							1,15	3	1,35	1,5	Jt
								1,85	0,2	0,35	At
									-1,65	-1,5	S
										0,15	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ pH de l'eau en fonction des mois

Les eaux de la station N1 ont été plus acides (pH=5,42) pendant le mois de décembre 2011 ($P < 0,05$) comparé aux mois de février (pH=6,85), juillet (pH=6,73) et octobre (pH=6,69) de l'an 2012 ($P < 0,05$).

A la station W1, les eaux ont été acides pendant le mois de juillet (pH=6,48) ; les valeurs les plus élevées ($P < 0,05$) de ce paramètre ont été enregistrées en décembre 2011 (pH=7,82), janvier 2012 (pH=7,81) et novembre 2012 (pH=7,7) comme le montre la figure 16.

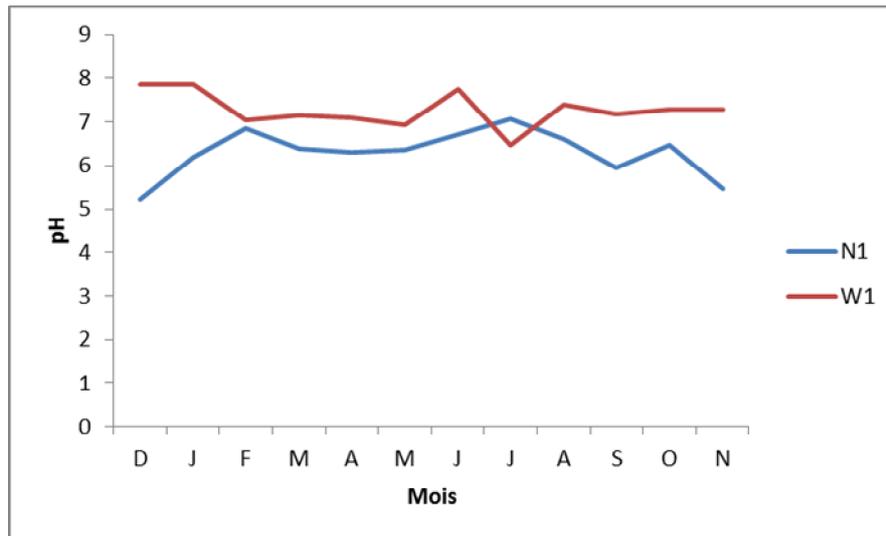


Figure 16 : Variation temporelle du pH de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle du pH de l'eau du Nyong a montré que ce fleuve a été plus acide en décembre 2011 (tableau Xa). La différence du pH de l'eau a été non significative ($P > 0,05$) pour les mois de février, d'août, de juillet, d'octobre et de juin 2012, au cours desquels le pH était proche de la neutralité ; et pour les mois de mars, avril et mai 2012, pour lesquels le pH oscillait autour de 6. Pour tous les autres mois, la différence a été statistiquement significative ($P < 0,05$). Le pH de l'eau du Wouri a été acide en juillet. Aucune variation significative ($P > 0,05$) n'a été observée en juin 2012, décembre 2011 et janvier 2012 comme le montre le tableau Xb, mais aussi entre les groupe de mois août-novembre, octobre-avril-février et mars-septembre-mai. Toutefois, la différence a été statistiquement significative entre eux ($P < 0,05$).

Tableau X : Matrice de comparaison mensuelle du pH de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0,9	1,4	0,76	0,7	0,71	1,2	1,3	1,31	0,96	1,27	0,25	D
	0,5	-0,14	-0,20	-0,19	0,30	0,4	0,41	0,06	0,37	-0,65	Ja
		-0,7	-0,76	-0,71	-0,23	-0,12	-0,11	-0,46	-0,15	-1,18	F
			-0,09	-0,05	0,44	0,54	0,55	0,2	0,51	-0,51	Ma
				0,05	0,53	0,64	0,65	0,29	0,61	-0,42	Av
(a)					0,48	0,59	0,6	0,25	0,56	-0,47	Mi
						0,11	0,12	-0,24	0,08	-0,95	Jn
							0,01	-0,34	-0,03	-1,05	Jt
								-0,35	-0,04	-1,07	At
									0,31	-0,71	S
										-1,02	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	-0,59	-0,84	-0,57	-0,93	0,03	-1,18	-0,36	-0,85	-0,48	-0,44	D
	-0,59	-0,84	-0,57	-0,93	0,03	-1,18	-0,36	-0,85	-0,48	-0,44	Ja
		-0,25	0,02	-0,35	0,61	-0,59	0,22	-0,26	-0,1	0,14	F
			0,27	-0,01	0,87	-0,35	0,47	-0,01	0,36	0,39	Ma
				-0,37	0,59	-0,62	0,20	-0,29	0,09	0,12	Av
(b)					0,96	-0,25	0,57	0,08	0,45	0,49	Mi
						-1,21	-0,39	-0,88	-0,51	-0,47	Jn
							0,82	0,33	0,7	0,74	Jt
								-0,49	-0,12	-0,08	At
									0,36	0,41	S
										0,04	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ Couleur de l'eau en fonction des mois

La coloration des eaux à la station N1 n'a montré aucune variation significative ($P > 0,05$) entre les mois d'octobre (268,2 Pt-Co) et novembre (265,2 Pt-Co) au cours desquels elle a été forte, ni entre les mois d'avril (113 Pt-Co) et septembre (98 Pt-Co) ($P > 0,05$) lorsqu'elle a été faible ($P < 0,05$).

Pour W1, les eaux ont été plus colorées ($P < 0,05$) au cours de mois de juillet (321 Pt-Co) comparé aux mois de décembre 2011 (50 Pt-Co) et de janvier 2012 (50 Pt-Co) comme l'indique la figure 17.

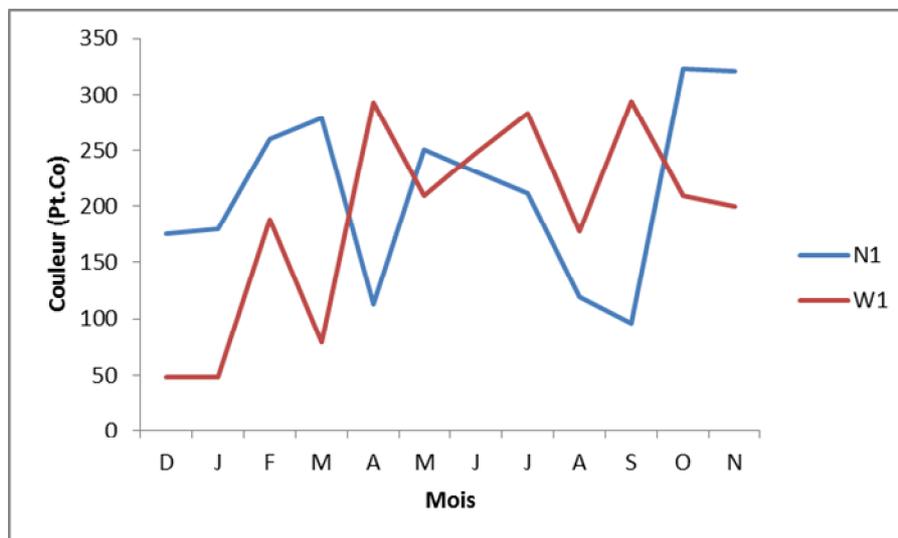


Figure 17 : Variation temporelle de la couleur de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de la couleur de l'eau du Nyong a montré que les groupes de mois octobre-novembre-juin, juillet-avril-août, février-mars-janvier et décembre 2011-septembre-mai 2012, n'ont présenté aucune différence significative ($P > 0,05$).

La coloration de l'eau a varié de façon significative entre ces groupes ($P < 0,05$) comme le montre le tableau XIa. Pour le Wouri, les mois de juin-mai, octobre-novembre-août, septembre-avril-février, décembre 2011- janvier-mars 2012, n'ont présenté aucune variation de couleur ($P > 0,05$) et une différence a été observée entre ces groupes de mois (tableau XIb).

Tableau XI : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes de la couleur de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
4,8	59,6	40,8	-72,6	-11,2	111,1	-23,5	-82,2	-8,6	67,8	64,8	D
	54,8	36	-77,3	-16	106,3	-28,3	-87	-13,4	63	60	Ja
		-18,8	-132,1	-70,8	51,5	-83,1	-141,8	-68,2	8,2	5,2	F
			-113,3	-52	70,3	-64,3	-122	-49,4	27	24	Ma
				61,3	183,6	49	-9,7	63,9	140,3	137,3	Av
(a)					122,3	-12,3	-71	2,6	79	76	Mi
						-134,6	-193,3	-119,7	-43,3	-46,3	Jn
							-58,7	14,9	91,3	88,3	Jt
								73,6	150	-1147	At
									76,7	73,7	S
										-3	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	79,1	-17,2	131,2	230,5	242,6	629,9	165,4	136,4	205,-	198,9	D
	79,1	-17,2	131,2	230,5	242,6	629,9	165,4	136,4	205,6	198,9	Ja
		-96,3	52,1	151,4	163,5	550,8	86,3	57,3	126,5	119,8	F
			148,4	1247,7	259,8	647,1	181,6	153,6	222,8	216,1	Ma
				99,3	111,4	498,7	34,2	5,2	74,4	67,7	Av
(b)					12,1	399,4	-64,1	-94,1	-24,9	-31,6	Mi
						397,3	-77,2	-106,2	-37	-43,7	Jn
							-464,5	-493,5	-424,3	-431	Jt
								-29	40,2	33,5	At
									69,2	62,5	S
										-6,7	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ Conductivité électrique et Solides Totaux Dissous(TDS) de l'eau en fonction des mois

L'eau à N1 (Akomyada) a été plus et moins minéralisée en avril (57,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) d'une part et, d'autre part, en juillet et en septembre 2012 (21 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A W1 (Jébalé), la valeur la plus élevée de la conductivité électrique a été enregistrée en décembre 2011 et en janvier 2012 (197 $\mu\text{S}/\text{cm}$) alors que la plus basse (30 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été notée en août 2012 (figure 18).

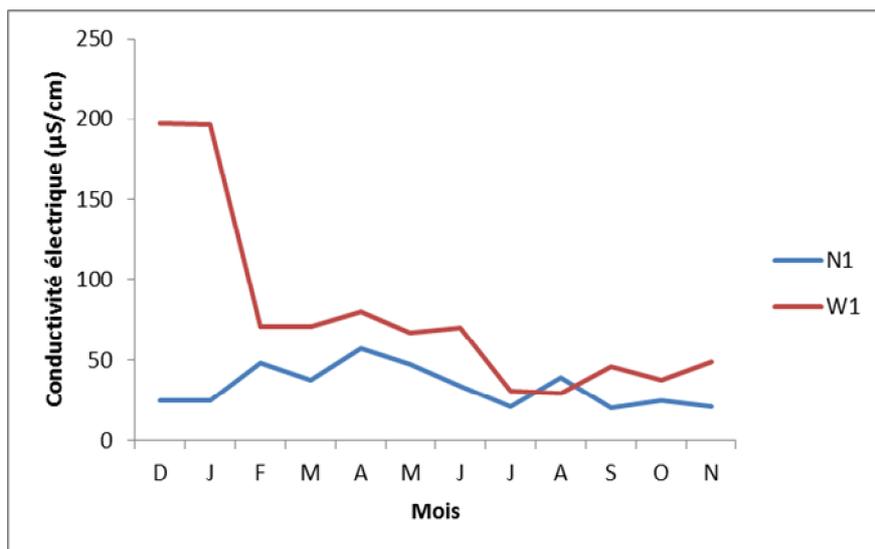


Figure 18 : Variation temporelle de la conductivité électrique de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de la conductivité électrique de l'eau a révélé que hormis pour les mois de décembre 2011 et janvier 2012 ; d'octobre et de septembre au cours desquels la variation de la minéralisation de l'eau n'a pas été significative (tableau XIIa) ; tous les autres mois ont révélé une différence statistiquement significative des valeurs de conductivité électrique ($P < 0,05$). Pour le Wouri, la minéralisation de l'eau a varié significativement ($P < 0,05$) entre tous les mois (tableau XIIb).

Tableau XII : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes de la conductivité électrique de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	21,3	9,5	21,8	15,7	-5,9	-5,4	12,8	-1,8	-1,8	-9,2	D
	21,3	9,5	21,8	15,7	-5,9	-5,4	12,8	-1,8	-1,8	-9,2	Ja
		-14,8	0,6	-5,6	-27,2	-26,7	-8,5	-23,1	-23,1	-28,4	F
			12,4	6,2	-15,42	-14,9	3,4	-11,3	-11,3	-16,6	Ma
				-6,2	-27,8	-27,3	-9,0	-23,7	-23,7	-29	Av
					-21,6	-21,1	-2,8	-17,5	-17,5	-22,8	Mi
						0,5	18,8	4,1	4,1	-1,2	Jn
							18,3	3,6	3,6	-1,7	Jt
								-14,6	-14,6	-19,9	At
									0	-5,3	S
										-5,3	O

(a)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
-0,5	-57,3	-56	-99,4	-74,7	-64	-124,7	-126,3	-118,4	-99,3	-105,8	D
	-55,8	-55,5	-98,9	-74,2	-63,5	-124,2	-125,8	-117,9	-98,8	-105,3	Ja
		1,3	-42,1	-17,4	-6,7	-67,4	-69	-61,1	-42	-48,5	F
			-43,4	-18,7	-8	-68,7	-70,3	-62,4	-43,3	-49,8	Ma
				24,7	35,4	-25,3	-26,9	-19	0,1	-6,4	Av
(b)					10,7	-50	-51,6	-43,7	-24,6	-31,1	Mi
						-60,7	-62,3	-54,4	-35,3	-41,8	Jn
							-1,6	6,3	25,4	18,9	Jt
								7,9	27	20,5	At
									19,1	12,6	S
										-6,5	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

Indépendamment du fleuve, les variations des TDS ont été statistiquement significatives ($P < 0,05$) entre tous les mois ; la valeur la plus élevée de ce paramètre a été enregistrée en avril 2012 (28,6 mg/L) pour N1 et au cours des mois de décembre 2011 et janvier 2012 (99 mg/L et 98 mg/L respectivement) pour W1, les valeurs les plus basses revenant à novembre (10,5 mg/L) pour N1 et août (15 mg/L) pour W1 (figure 19).

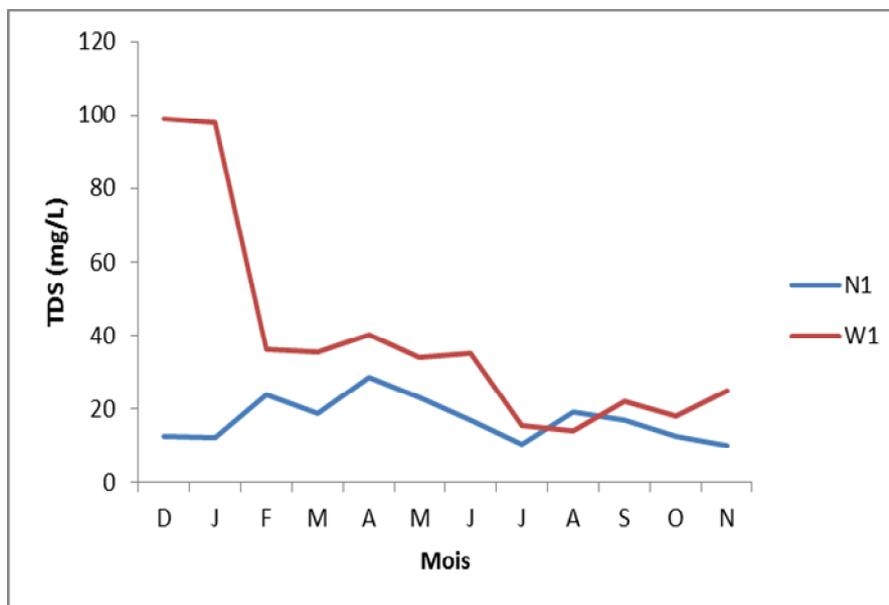


Figure 19 : Variation temporelle des solides totaux dissous de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle des TDS de l'eau du Nyong et du Wouri a indiqué une différence statistiquement significative ($P < 0,05$) entre les mois (tableau XIII).

Tableau XIII : Matrice de comparaison mensuelle des moyennes des TDS de l'eau du Nyong
(a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
-1,4	9,24	3,6	9,8	6,7	-4,1	-3,9	4,8	0,4	-3,4	-5,2	D
	10,7	4,9	11,2	8,1	-2,7	-2,4	6,2	1,8	-1,9	-3,7	Ja
		-5,7	0,6	-2,6	-13,4	-13,1	-4,5	-8,9	-12,6	-14,4	F
			6,2	3,1	-7,7	-7,4	1,2	-3,2	-6,9	-8,7	Ma
				-3,1	-13,9	-13,6	-5,0	-9,4	-13,2	-14,9	Av
(a)					-10,9	-10,6	-1,9	-6,3	-10,0	-11,8	Mi
						0,3	8,9	4,5	0,8	-1,0	Jn
							8,6	4,2	0,5	-1,3	Jt
								-4,4	-8,1	-9,9	At
									-3,7	-5,5	S
										-1,8	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
-0,8	-28,8	-38,7	-49,9	-37,4	-32,3	-62,7	-63,7	-60,2	-50,7	-53	D
	-30	-39,9	-49,1	-36,6	-31,5	-61,9	-62,9	-59,4	-49,9	-52,2	Ja
		-12,9	-21,1	-8,6	-3,5	-33,9	-34,9	-31,4	-21,9	-24,2	F
			-11,2	1,3	6,4	-24	-27,9	-20,5	-12,0	-14,3	Ma
				12,5	17,6	-15,8	-13,8	-10	-0,8	-3,1	Av
(b)					5,1	-25,3	-26,3	-22,8	-13,3	-15,6	Mi
						-30,4	-31,4	-27,9	-18,4	-20,7	Jn
							-0,9	2,5	11,9	9,7	Jt
								3,5	12,9	10,7	At
									9,5	7,2	S
										-2,3	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ Oxygène dissous dans l'eau en fonction des mois

Les eaux à N1 ont été les plus oxygénées ($P < 0,05$) en septembre (105,9%) et les moins ($P < 0,05$) en août (103,1%) d'une part et, en mars (86,4%) d'autre part. Quant à celles de W1, elles ont été plus oxygénées pendant les mois de juillet (109,9%) et septembre (106,7%) et moins en avril (92,2%) comme l'indique la figure 20.

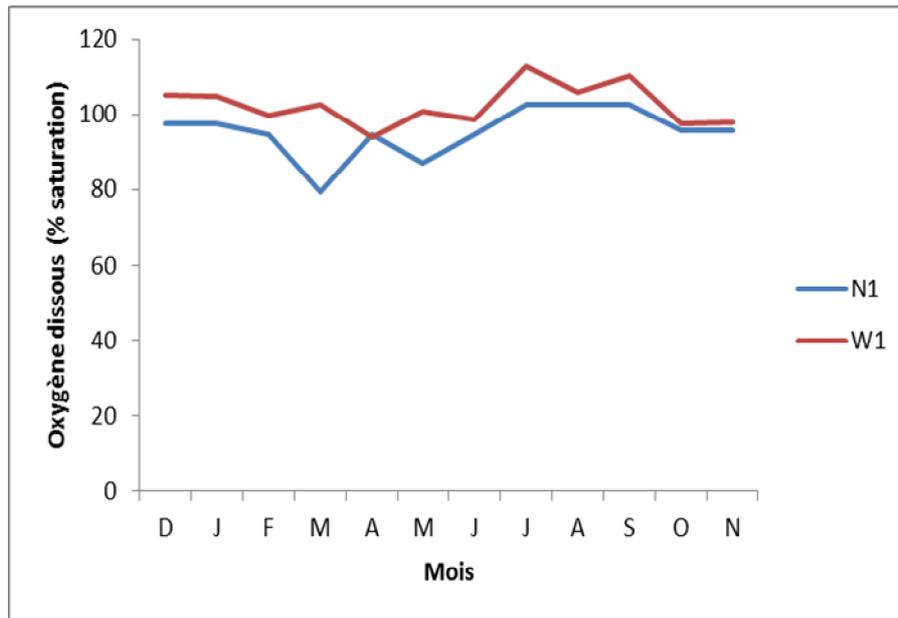


Figure 20 : Variation temporelle de l’oxygène dissous de l’eau dans les stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de l’oxygène dissous de l’eau a montré que pour le Nyong, la variation de la teneur en oxygène de l’eau a été non significative ($P > 0,05$) entre les mois de septembre-août, décembre 2011-janvier-février-avril 2012, juin-juillet-novembre-octobre-mai ; et significative entre ces groupes de mois (tableau XIVa). Pour le Wouri, les eaux ont été plus oxygénées en décembre 2011, juillet, septembre, août et janvier 2012 durant lesquels la différence a été non significative (tableau XIVb).

Tableau XIV : Matrice de comparaison mensuelle des teneurs en oxygène dissous dans l’eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	-0,5	-9,9	-1,3	-5,6	-1,9	-2,5	6,8	9,6	-5,3	-5,3	D
	-0,5	-9,9	-1,3	-5,6	-1,9	-2,5	6,8	9,6	-5,3	-5,3	Ja
		-9,4	-0,9	-5,1	-1,4	-2,0	7,3	10,1	-4,8	-4,8	F
			8,5	4,3	7,9	7,4	16,7	19,5	4,6	4,6	Ma
				-2,3	-0,6	-1,2	8,4	10,9	-3,9	-3,9	Av
(a)					3,7	3,1	12,4	15,2	0,3	0,3	Mi
						-0,6	8,8	11,6	-3,4	-3,4	Jn
							9,3	12,1	-2,8	-2,8	Jt
								2,8	-12,1	-12,1	At
									-14,9	-14,9	S
										0	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
-0,6	-7,7	-14,0	-14,1	-11,5	-8,9	3,8	0,3	3,1	-8,1	-6,2	D
	-7,1	-13,4	-13,5	-10,9	-8,3	4,4	0,9	1,0	-7,5	-5,6	Ja
		-6,3	-6,4	-3,8	-1,3	11,5	8,0	8,1	-0,4	1,5	F
			-0,1	2,5	5,1	17,8	14,4	14,5	5,9	7,8	Ma
				2,7	5,2	17,9	14,5	14,6	6,0	7,9	Av
(b)					2,5	15,3	11,8	11,9	3,4	5,3	Mi
						12,7	9,3	9,4	0,9	2,7	Jn
							-3,4	-3,3	-11,9	-9,9	Jt
								0,1	-8,4	-6,5	At
									-8,6	-6,7	S
										1,9	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ Matières en suspension dans l'eau

La pollution des eaux à Akomnyada par les MES a été plus marquée ($P < 0,05$) en septembre (26 mg/L). En plus de ce mois, celles de Jébalé l'ont également été en avril (47,5mg/L). Les mois de janvier (0 mg/L) pour Akomnyada et de mars (1 mg/L) pour Jébalé ont présenté les valeurs de MES les plus faibles (figure 21).

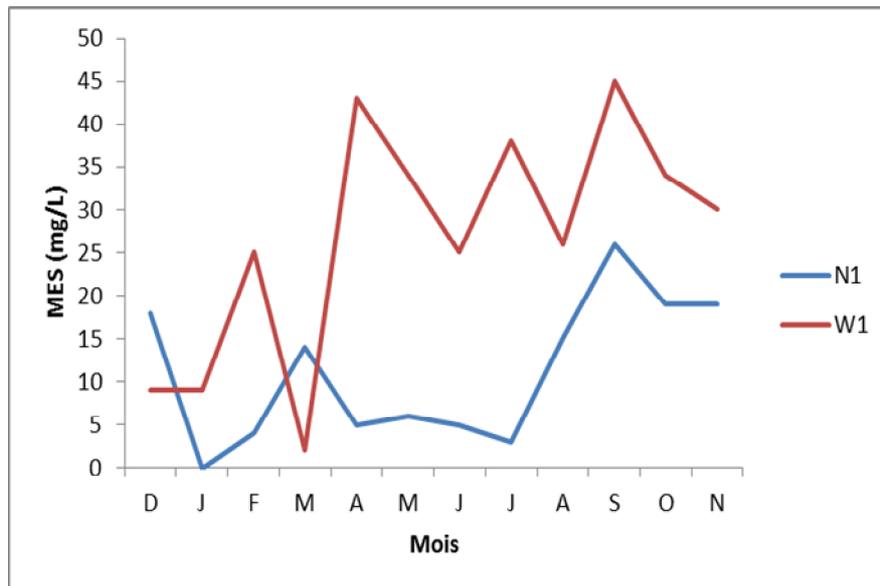


Figure 21 : Variation temporelle des matières en suspension (MES) de l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle pour les MES de l'eau du Nyong n'a indiqué aucune différence significative entre les mois ($P > 0,05$) comme le montre le tableau XVa. Pour le Wouri, la variation de la teneur de l'eau en MES a été significative ($P < 0,05$) entre le mois d'avril et les autres mois (tableau XVb).

Tableau XV : Matrice de comparaison mensuelle des MES dans l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b).

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
-15	-11,2	2,5	-9,7	-10,8	7,5	-4,6	-6,4	14,9	-7,5	-0,6	D
	3,4	17,5	5,3	4,2	22,5	11,5	8,6	29,9	7,5	14,4	Ja
		14,1	1,9	0,8	19,1	7,1	5,2	26,5	4,1	11	F
			-12,2	-13,3	5	-7,1	-8,9	12,4	-10	-3,1	Ma
				1,1	17,2	5,2	3,3	24,6	2,2	9,1	Av
(a)					18,3	6,3	4,4	25,7	3,3	10,2	Mi
						-12,1	-13,9	7,4	-15	-8,1	Jn
							-1,9	19,5	-2,9	3,9	Jt
								22,3	-1,1	5,8	At
									-22,4	3,9	S
										6,9	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	7,5	-4,9	101,7	37,6	26,4	18,9	24,3	21,5	26	28,5	D
	7,5	-4,9	101,7	37,6	26,4	18,9	24,3	21,5	26	28,5	Ja
		-12,4	94,2	30,1	18,9	11,4	16,8	14	18,5	21	F
			106,6	42,5	31,3	23,8	29,2	26,4	30,9	33,4	Ma
				-64,1	-75,3	-82,8	-77,4	-80,2	-75,7	-73,2	Av
(b)					-11,2	-18,7	-13,3	-16,1	-11,-	-9,1	Mi
						-7,5	-2,1	-4,9	-0,4	2,1	Jn
							5,4	2,6	7,1	9,6	Jt
								-2,8	1,7	4,2	At
									4,5	7	S
										2,5	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

❖ Nitrates et orthophosphates

A N1, les eaux ont été polluées ($P < 0,05$) par les nitrates pendant le mois de février (13,4 mg/L) et avril (10,8 mg/L) tandis qu'aux mois de décembre 2011, janvier, octobre, juillet, juin, mars, août, mai, septembre et novembre 2012, la teneur de ce paramètre s'est révélée nulle. A W1, les valeurs la plus et la moins élevée ont été respectivement enregistrées en juillet (3,6 mg/L) et en décembre 2011 (0 mg/L), comme le montre la figure 22.

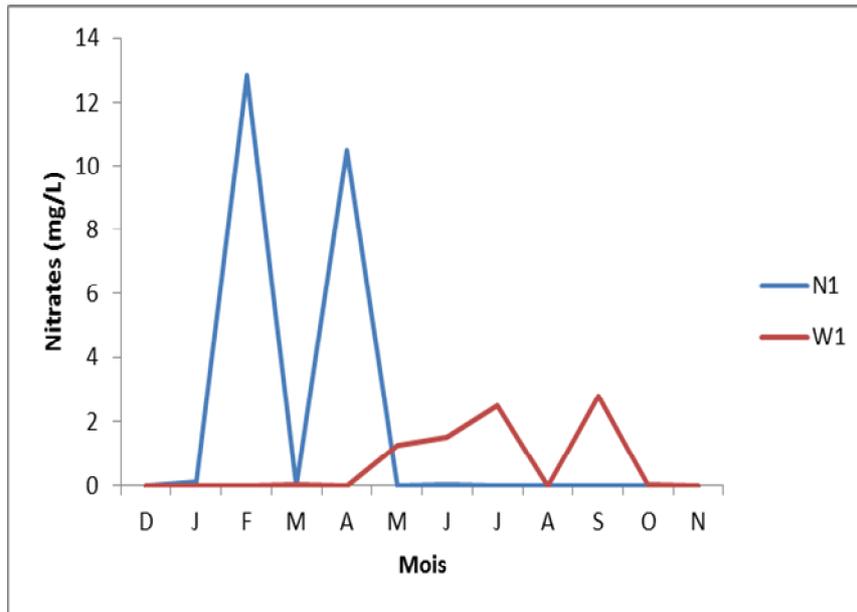


Figure 22 : Variation temporelle des nitrates dans l’eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de la teneur en nitrates de l’eau du Nyong a montré les valeurs obtenues entre les mois de décembre 2011, janvier, mars mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre 2012, n’ont pas significativement changé ($P > 0,05$). En revanche, la différence a été significative ($P < 0,05$) entre ces mois et ceux de février et avril (tableau XVIa). Pour le wouri, hormis pour les mois de décembre 2011 et janvier 2012 pour lesquels la teneur en nitrates de l’eau n’a révélé aucune variation significative ($P > 0,05$), tous les autres mois de l’année ont eu des valeurs significativement différentes (tableau XVIb).

Tableau XVI : Matrice de comparaison mensuelle de la teneur en nitrates de l’eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0,046	7,41	0,003	4,35	0,001	0,012	0,012	0,003	0	0,02	0,73	D
	7,36	-0,043	4,30	-0,045	-0,03	-0,03	-0,043	-0,046	-0,03	0,68	Ja
		-7,41	-3,06	-7,41	-7,4	-7,4	-7,41	-7,41	-7,39	-6,68	F
			4,34	-0,002	0,009	0,009	0	-0,003	0,014	0,72	Ma
				-4,35	-4,34	-4,34	-4,34	-4,35	4,33	-3,62	Av
(a)					0,11	0,11	0,002	-0,001	0,02	0,73	Mi
						0	-0,009	-0,012	0,005	0,71	Jn
							-0,009	-0,012	0,005	0,71	Jt
								-0,003	0,014	0,72	At
									0,017	0,73	S
										0,71	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0	0,03	0,008	0,004	2,6	2,8	3,6	0,036	2,51	0,003	0,002	D
	0,03	0,008	0,004	2,6	2,8	3,6	0,036	2,51	0,003	0,002	Ja
		-0,02	-0,02	2,5	2,7	3,5	0,008	2,48	-0,03	-0,03	F
			-0,004	2,5	2,7	3,5	0,028	2,5	-0,005	-0,006	Ma
				2,5	2,7	3,5	0,03	2,51	-0,001	-0,002	Av
(b)					0,25	1,02	-2,5	-0,04	-2,5	-2,5	Mi
						0,77	-2,8	-0,3	-2,8	-2,8	Jn
							-3,5	-1,1	-3,6	-3,6	Jt
								2,5	-0,033	-0,034	At
									-2,5	-2,5	S
										-0,001	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

Quant aux orthophosphates, les valeurs obtenues à N1 ont été plus élevées en février (4,08 mg/L) et moins élevées en août (0,13mg/L). A W1, la teneur des eaux en orthophosphates a été plus élevée au cours des mois de janvier, mars, avril, août et septembre, oscillant autour de 1,5 mg/L, et plus faible en mai (0,1 mg/L) comme l'indique la figure 23.

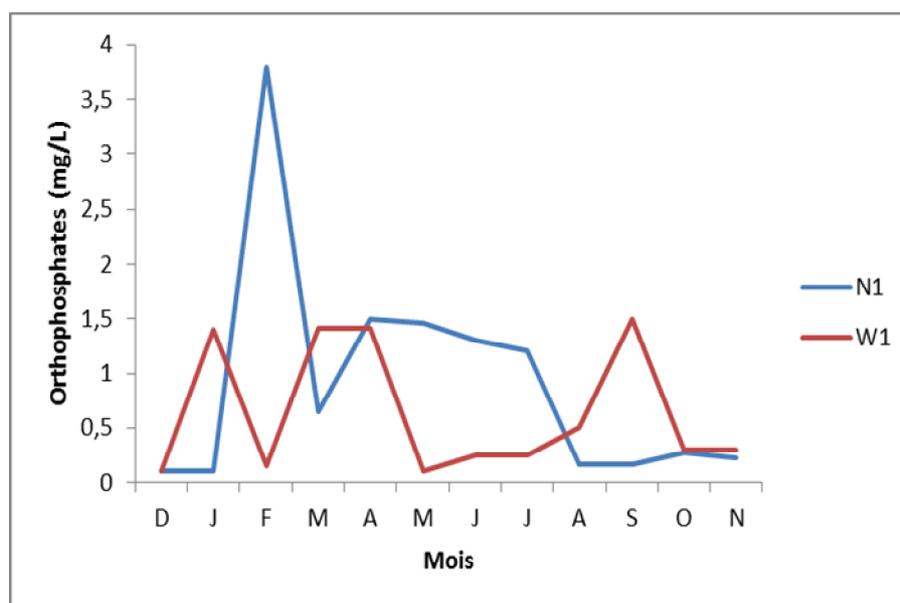


Figure 23 : Variation temporelle des orthophosphates dans l'eau aux stations N1 et W1 en fonction des mois.

La matrice de comparaison mensuelle de la teneur en orthophosphates de l'eau du Nyong a montré que durant les mois de mai-avril-juillet, juin-octobre-janvier-novembre-septembre et décembre 2011-mars-août, aucune différence n'a été observée ($P > 0,05$), alors qu'une variation significative a été relevée entre ces groupes de mois (tableau XVIIIa). Pour le Wouri, les mois d'août, de septembre, de janvier, de mars, d'avril, de novembre et de juin d'une part et, ceux de juillet, d'octobre, de février, de mai et de décembre 2011 d'autre part,

n'ont montré aucune variation significative ($P > 0,05$). Bien que la comparaison entre ces groupes de mois ait présenté une différence significative ($P < 0,05$) comme l'indique le tableau XVIIIb.

Tableau XVII : Matrice de comparaison mensuelle de la teneur en orthophosphates de l'eau du Nyong (a) et du Wouri (b)

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0,22	3,59	-0,08	1,11	1,24	0,51	0,66	-0,36	0,2	0,2	0,2	D
	3,37	-0,29	0,89	1,02	0,29	0,44	-0,6	-0,04	0,01	-0,04	Ja
		-3,67	-2,48	-2,35	-3,08	-2,93	-3,9	-3,4	-3,4	-3,4	F
			1,18	2,31	0,58	0,74	-0,3	0,25	0,3	0,25	Ma
				0,13	-0,6	-0,45	-1,5	-0,9	-0,9	-0,9	Av
(a)					-0,73	-0,6	-1,6	-1,1	-1,01	-1,1	Mi
						0,15	-0,9	-0,3	-0,3	-0,3	Jn
							-1,02	-0,5	-0,4	-0,5	Jt
								0,5	0,6	0,5	At
									0,05	0,003	S
										-0,05	O

Ja	F	Ma	Av	Mi	Jn	Jt	At	S	O	N	
0,38	-0,02	0,4	0,4	-0,02	-0,4	0,04	0,6	0,4	0	0,2	D
	-0,4	-0,02	-0,02	-0,4	-0,2	-0,3	0,2	0,01	-0,4	-0,2	Ja
		0,4	0,4	-0,002	0,2	0,06	0,6	0,4	0,02	0,2	F
			0	-0,4	-0,2	-0,3	0,2	0,03	-0,4	-0,1	Ma
				-0,4	-0,2	-0,3	0,2	0,03	-0,4	-0,1	Av
(b)					0,2	0,06	0,6	0,4	0,02	0,24	Mi
						-0,1	0,4	0,2	-0,2	0,006	Jn
							0,5	0,3	-0,04	0,2	Jt
								-0,2	-0,6	-0,3	At
									-0,4	-0,1	S
										0,2	O

Légende : Ja = Janvier, F = Février, Ma = Mars, Av = Avril, Mi = Mai, Jn = Juin, Jt = Juillet, At = Août, S = Septembre, O = Octobre, N = Novembre, D = Décembre.

D'une manière générale et pour la plupart des paramètres physico-chimiques, les valeurs obtenues pour le Wouri ont été supérieures à celles du Nyong.

III. 1. 1. 3 Influence des saisons sur la qualité physico-chimique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Les résultats obtenus sont reportés au tableau XVIII. Les eaux du Nyong ont été plus chaudes et plus minéralisées au cours de la PSP ($P < 0,05$). Elles ont été moins acides et plus oxygénées au cours de la PSS ($P < 0,05$), plus colorées pendant la GSP et plus contaminées en nitrates et en orthophosphates durant la GSS ($P < 0,05$). Pour les MES, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les saisons, bien que la PSS ait présenté des valeurs moyennes relativement élevées ($P > 0,05$).

Quant aux eaux du Wouri, elles ont été plus chaudes, minéralisées et basiques pendant la SS ($P < 0,05$). En SP, les eaux ont été plus colorées, plus polluées par les MES et les nitrates ($P < 0,05$). En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les saisons pour ce qui est de l'oxygénation et de la pollution par les orthophosphates ($P > 0,05$).

D'une manière générale, la PSS et la GSP ont eu une forte influence sur la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Nyong ; ça a été le cas de la SP pour le fleuve Wouri.

Tableau XVIII : Comparaison en fonction des saisons, de la qualité physico-chimique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Fleuves	Saisons	Paramètres								
		T (°C)	MES (mg/L)	C (Pt.Co)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	OD (%)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
Nyong (n = 120)	GSS	25,3 ± 0,9 ^c	7,3 ± 7,3 ^a	221,9 ± 44,2 ^c	6,2 ± 0,6 ^a	37,7 ± 12,6 ^c	19,1 ± 6,0 ^c	96,1 ± 2,9 ^c	2,5 ± 4,7 ^d	1,8 ± 2,1 ^d
	PSP	25,9 ± 1,0 ^d	13,6 ± 15,7 ^a	217,5 ± 89,4 ^b	6,3 ± 0,3 ^b	40,9 ± 11,4 ^d	20,4 ± 5,7 ^d	91,5 ± 5,3 ^a	1,1 ± 2,9 ^c	1,2 ± 0,9 ^c
	PSS	24,5 ± 0,5 ^a	20,5 ± 53,5 ^a	147,6 ± 49,8 ^a	6,7 ± 0,1 ^c	34,3 ± 10,4 ^b	16,9 ± 4,9 ^b	98,4 ± 6,1 ^d	0,007 ± 0,01 ^a	0,6 ± 0,6 ^a
	GSP	24,6 ± 0,5 ^b	11,9 ± 8,2 ^a	241,7 ± 67,4 ^d	6,2 ± 0,6 ^a	27,0 ± 5,6 ^a	13,7 ± 2,8 ^a	95,9 ± 13,2 ^b	0,2 ± 1,3 ^b	0,7 ± 0,9 ^b
	Valeur p	< 0,0001	0,3	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Wouri (n = 120)	SP	27 ± 2 ^a	40,9 ± 48,1 ^b	284,7 ± 278,2 ^b	7,2 ± 0,4 ^a	80,4 ± 40,2 ^a	40,1 ± 20,1 ^a	100,7 ± 6,8 ^a	1,4 ± 1,7 ^b	0,4 ± 0,3 ^a
	SS	29,8 ± 0,9 ^b	5,9 ± 7,4 ^a	57,6 ± 61,6 ^a	7,5 ± 0,4 ^b	153,6 ± 48,5 ^b	74,2 ± 23,6 ^b	100,6 ± 7,6 ^a	0,009 ± 0,02 ^a	0,4 ± 0,4 ^a
	Valeur p	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,9	< 0,0001	0,5

Légende : T = température, MES = matières en suspension, C = couleur, pH = potentiel d'Hydrogène, CE = conductivité électrique, TDS = solides totaux dissous, OD = oxygène dissous, NO₃⁻ = nitrates, PO₄³⁻ = orthophosphates

GSS = grande saison sèche, PSP = petite saison des pluies, PSS = petite saison sèche, GSP = grande saison des pluies, SP = saison des pluies, SS = saison sèche.

n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 2 Caractères toxicologiques des fleuves Nyong et Wouri

Les valeurs des paramètres toxicologiques obtenues pour les fleuves Nyong et Wouri sont reportées dans le tableau XIX.

Tableau XIX : Caractères toxicologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Paramètres toxicologiques	Nyong (n = 20)	Wouri (n = 10)	Norme nationale (MINEPDED, 2010)	Norme internationale (UE, 2013)
M-M ($\mu\text{g/L}$)	4,1 \pm 8,4 * / ** (0 – 30)	11 \pm 10,2 * / ** (1 – 35)	0,1	0,01
Pb ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	0,6 \pm 1,3 (0 -5)	14,9 \pm 9,7 * / ** (3 – 30)	10	14
Cu ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	11,4 \pm 7,7 (3 -35)	124,3 \pm 87,1 * / ** (34 – 305)	100	50
Ni ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	0,1 \pm 0,2 (0 – 0,5)	18,6 \pm 13,9 (3 – 45)	100	34
Cd ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	0,1 \pm 0,3 (0 – 0,9)	2,6 \pm 4,5 * / ** (0,05 – 12)	1	0,45

Légende : M-M = Métalaxyl-M, Pb²⁺ = Plomb, Cu²⁺ = Cuivre, Ni²⁺ = Nickel, Cd²⁺ = Cadmium.

* > norme MINEPDED, ** > norme UE ; (minimum – maximum).

n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

De ce tableau, il ressort que les eaux des deux fleuves ont présenté des teneurs en Métalaxyl-M largement supérieures aux deux normes retenues pour ce travail. Les eaux du Wouri ont présenté une concentration de ce pesticide 3 fois supérieure à celle du Nyong.

En moyenne les concentrations des métaux lourds (Pb²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺) dans les eaux du Nyong ont été plus faibles que les valeurs seuils à ne pas dépasser d'après la norme nationale. Quant aux eaux du Wouri, hormis pour le Nickel dont la concentration est restée en moyenne plus basse que les valeurs seuils des deux normes, les teneurs en Plomb, Cuivre et Cadmium ont été largement supérieures aux valeurs normales.

La comparaison entre les eaux des deux fleuves a révélé que les rapports des concentrations moyennes ont été de 24, 10, 186 et 26 fois supérieures dans le Wouri respectivement pour le Plomb, le Cuivre, le Nickel et le Cadmium.

III. 1. 2. 1 Variation spatiale de la qualité toxicologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Pour le Nyong, les concentrations en Plomb, Nickel, Cadmium et Métalaxyl-M ont présenté des différences statistiquement significatives ($P < 0,05$) entre les stations. En effet, les eaux à N2 ont été les plus concentrées en métaux lourds tandis que celles à N4 ont été les plus riches en pesticide. En revanche, pour le Wouri, aucune différence statistiquement significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les teneurs moyennes des paramètres toxicologiques des différentes stations d'échantillonnage (tableau XX).

Tableau XX : Variation spatiale de la qualité toxicologique des eaux des différentes stations d'échantillonnage du Nyong et Wouri

Fleuve	Stations	Paramètres				
		M-M ($\mu\text{g/L}$)	Pb ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Cu ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Ni ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Cd ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)
Nyong (n = 20)	N1	0,03 ± 0,03 ^c (0 – 0,06)	0,02 ± 0,01 ^c (0 – 0,03)	7,8 ± 3,4 ^a (5 – 12)	0,008 ± 0,02 ^b (0 – 0,03)	0,02 ± 0,02 ^c (0 – 0,05)
	N2	0,003 ± 0,005 ^b (0 – 0,1)	2,5 ± 1,9 ^e (0,6 – 5)	9,3 ± 2,2 ^a (7 – 12)	0,3 ± 0,3 ^d (0,01 – 0,5)	0,6 ± 0,4 ^e (0,1 – 0,9)
	N3	0 ^a	0,6 ± 0,3 ^d (0,3 – 0,9)	7,3 ± 4,2 ^a (3 – 13)	0,01 ± 0,001 ^c (0 – 0,02)	0,1 ± 0,2 ^d (0,02 – 0,4)
	N4	13,1 ± 12,2 ^e (1,5 – 30)	0,008 ± 0,02 ^b (0 – 0,3)	21,8 ± 11,7 ^a (10 – 35)	0 ^a	0,003 ± 0,005 ^b (0 – 0,1)
	N5	6,9 ± 10,8 ^d (0,7 – 23)	0,003 ± 0,005 ^a (0 – 0,01)	10,8 ± 3,5 ^a (7 – 15)	0 ^a	0 ^a
	Valeur P	0,003	0,003	0,09	0,01	0,003
Wouri (n = 10)	W1	23,5 ± 16,3 ^a (12 – 35)	5 ± 2,8 ^a (3 – 7)	73,5 ± 21,9 ^a (58 – 89)	5,5 ± 3,5 ^a (3 – 8)	0,09 ± 0,01 ^a (0,08 – 0,1)
	W2	14,5 ± 9,2 ^a (8 – 21)	7 ± 2,8 ^a (5 – 9)	45,5 ± 16,3 ^a (34 – 57)	8 ± 1,4 ^a (7 – 9)	0,07 ± 0,03 ^a (0,05 – 0,09)
	W3	10,5 ± 2,1 ^a (9 – 12)	11,5 ± 0,7 ^a (11 – 12)	86,5 ± 0,7 ^a (86 – 87)	13 ± 1,4 ^a (12 – 14)	0,5 ± 0,07 ^a (0,4 – 0,5)
	W4	5 ± 0 ^a (5 – 5)	26,5 ± 4,9 ^a (23 – 30)	180 ± 79,2 ^a (124 – 236)	40 ± 7,1 ^a (35 – 45)	7 ± 7,1 ^a (2 – 12)
	W5	1,5 ± 0,7 ^a (1 – 2)	24,5 ± 0,7 ^a (24 – 25)	236 ± 97,6 ^a (167 – 305)	26,5 ± 4,9 ^a (23 – 30)	5,6 ± 6,2 ^a (1,2 – 10)
	Valeur P	0,1	0,09	0,09	0,07	0,08

Légende : M-M = Métalaxyl-M, Pb²⁺ = Plomb, Cu²⁺ = Cuivre, Ni²⁺ = Nickel, Cd²⁺ = Cadmium ; (minimum – maximum) ; n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

Statistique : dans une colonne, les valeurs cotées d'une même lettre sont statistiquement égales.

III. 1. 2. 2 Influence des saisons sur la qualité toxicologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Les eaux du Nyong ont été plus riches en Cuivre au cours de la PSP ($P < 0,05$) comme l'indique le tableau XXI. Pour tous les autres paramètres, aucune différence statistique significative n'a été observée entre les saisons ($P > 0,05$). Par ailleurs, les caractères toxicologiques des eaux du Wouri n'ont présenté aucune différence statistiquement significative entre les saisons ($P > 0,05$).

Tableau XXI : Variation toxicologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri en fonction des saisons

Fleuve	Saisons	Paramètres				
		M-M ($\mu\text{g/L}$)	Pb ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Cu ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Ni ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Cd ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)
Nyong (n = 20)	GSS	2,8 ± 5,7 ^a	0,7 ± 1,3 ^a	7,6 ± 4,2 ^a	0,002 ± 0,004 ^a	0,1 ± 0,2 ^a
	PSP	0,5 ± 0,7 ^a	1,2 ± 2,2 ^a	16,2 ± 10,6 ^b	0,1 ± 0,2 ^a	0,2 ± 0,4 ^a
	PSS	2,2 ± 3,5 ^a	0,2 ± 0,3 ^a	7,2 ± 1,9 ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,04 ^a
	GSP	10,6 ± 14,7 ^a	0,5 ± 0,7 ^a	14,4 ± 8,1 ^a	0,1 ± 0,2 ^a	0,3 ± 0,3 ^a
	Valeur P	0,6	0,5	0,04	0,4	0,6
Wouri (n = 10)	SS	7,2 ± 3,8 ^a	13,4 ± 10,1 ^a	94 ± 52,8 ^a	16 ± 13 ^a	0,7 ± 0,8 ^a
	SP	14,8 ± 13,6 ^a	16,4 ± 10,1 ^a	154,6 ± 109,3 ^a	21,2 ± 15,9 ^a	4,5 ± 5,9 ^a
	Valeur P	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8

Légende : M-M = Métalaxyl-M, Pb²⁺ = Plomb, Cu²⁺ = Cuivre, Ni²⁺ = Nickel, Cd²⁺ = Cadmium.

Statistique : dans une colonne, les valeurs cotées d'une même lettre sont statistiquement égales.

n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 3 Caractères bactériologiques des fleuves Nyong et Wouri

III. 1. 3. 1 Bactéries isolées dans les eaux du fleuve Nyong

Cinquante-cinq (55) espèces bactériennes ont été identifiées dans les eaux du fleuve Nyong, le long du transect choisi, de décembre 2011 à novembre 2012. Elles appartenaient à 3 embranchements, 6 classes, 17 familles et 34 genres (tableau XXII). L'embranchement des Proteobacteries et plus précisément la classe des Gammaproteobacteries ont été les plus diversifiées ; tout comme la famille des Enterobacteriaceae avec 19 espèces identifiées. Celles des Pseudomonadaceae et des Aeromonadaceae ont eu chacune 4 espèces identifiées.

Quatre genres ont été prédominants. A savoir :

- le genre *Bacillus* avec 4 espèces : *Bacillus pumilus*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus firmus* et *Bacillus licheniformis* ;
- le genre *Staphylococcus* avec 4 espèces : *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Staphylococcus aureus* et *Staphylococcus cohnii* ;
- le genre *Aeromonas* avec 4 espèces : *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas sobria*, *Aeromonas veronii* et *Aeromonas salmonicida* ;
- le genre *Pseudomonas* avec 4 espèces : *Pseudomonas pseudomallei*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Pseudomonas luteola* (tableau XXII).

Tableau XXII : Espèces bactériennes isolées des eaux du fleuve Nyong de décembre 2011 à novembre 2012

Nyong (n = 120)				
Embranchement	Classe	Famille	Genre	Espèce
Firmicutes	Bacilli	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus pumilus</i>
				<i>Bacillus coagulans</i>
				<i>Bacillus firmus</i>
				<i>Bacillus licheniformis</i>
		Listeriaceae	<i>Listeria</i>	<i>Listeria innocua</i>
				<i>Listeria grayi</i>
				<i>Listeria murrayi</i>
		Planococcaceae	<i>Kurthia</i>	<i>Kurthia gibsonii</i>
		Enterococcaceae	<i>Enterococcus</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
			<i>Streptococcus</i>	<i>Streptococcus bovis</i>
	Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	
			<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	
			<i>Staphylococcus aureus</i>	
<i>Staphylococcus cohnii</i>				
Lactobacillaceae	<i>Alloiococcus</i>	<i>Alloiococcus otitidis</i>		
	<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactobacillus</i> spp.		
Erysipelotrichia	Erysipelotrichaceae	<i>Erysipelotrix</i>	<i>Erysipelotrix rhusiopathia</i>	
Bacteroidetes	Sphingobacteria	Sphingobacteriaceae	<i>Sphingobacterium</i>	<i>Sphingobacterium multivorum</i> <i>Sphingobacterium spiritivorum</i>
	Flavobacteria	Flavobacteriaceae	<i>Flavobacterium</i>	<i>Flavobacterium</i> spp.
			<i>Weeksella</i>	<i>Weeksella virosa</i>
Proteobactéries	β – proteobactéries	Alcaligenaceae	<i>Achromobacter</i>	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>
			<i>Alcaligenes</i>	<i>Alcaligenes faecalis</i>
		Neisseriaceae	<i>Chromobacterium</i>	<i>Chromobacterium violaceum</i>
	γ – Proteobactéries	Xanthomonadaceae	<i>Xanthomonas</i>	<i>Xanthomonas maltophilia</i>
		Aeromonadaceae	<i>Aeromonas</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>
				<i>Aeromonas sobria</i>
				<i>Aeromonas veronii</i>
				<i>Aeromonas salmonicida</i>
		Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas pseudomallei</i>
				<i>Pseudomonas alcaligenes</i>
				<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
				<i>Pseudomonas luteola</i>
		Moraxellaceae	<i>Acinetobacter</i>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
		Enterobacteriaceae	<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia coli</i>
			<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
				<i>Pantoea agglomerans</i>
				<i>Enterobacter sakazakii</i>
			<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella enterica</i>
			<i>Plesiomonas</i>	<i>Plesiomonas shigelloides</i>
			<i>Shigella</i>	<i>Shigella dysenteriae</i>
	<i>Citrobacter</i>		<i>Citrobacter freundii</i>	
	<i>Klebsiella</i>		<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
			<i>Klebsiella ornithinolytica</i>	
<i>Klebsiella oxytoca</i>				
<i>Edwardsiella</i>	<i>Edwardsiella tarda</i>			
<i>Serratia</i>	<i>Serratia marescens</i>			
	<i>Serratia ficaria</i>			
<i>Erwinia</i>	<i>Erwinia</i> spp.			
<i>Proteus</i>	<i>Proteus mirabilis</i>			
<i>Morganella</i>	<i>Morganella morganii</i>			
<i>Rhanella</i>	<i>Rhanella aqualitis</i>			
<i>Leclercia</i>	<i>Leclercia adecarboxylata</i>			
Vibrionaceae	<i>Vibrio</i>	<i>Vibrio alginolyticus</i> <i>Vibrio vulnificus</i>		

Légende : n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

❖ Répartition des bactéries par station

Quatorze (14) espèces bactériennes parmi les 55 identifiées ont été retrouvées à toutes les stations ; il s'est agi de : *Bacillus pumilus*, *Bacillus coagulans*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus bovis*, *Flavobacterium*, *Weeksella virosa*, *Alcaligenes faecalis*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas veronii*, *Enterobacter cloacae*, *Shigella dysenteriae*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* et *Vibrio alginolyticus* (tableau XXIII).

Indépendamment des mois de prélèvement, le plus grand nombre d'espèces (39) a été obtenu à la station N3 c'est-à-dire au marché Japon et le plus petit (26 espèces) à N5 au village Ekoudendi (tableau XXIII).

Tableau XXIII : Répartition des bactéries par station d'échantillonnage du fleuve Nyong

Espèces bactériennes	Nyong (n = 120)				
	N1	N2	N3	N4	N5
<i>Bacillus pumilus</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus coagulans</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus firmus</i>	+	-	+	+	+
<i>Bacillus licheniformis</i>	+	-	+	-	-
<i>Listeria innocua</i>	+	-	+	-	-
<i>Listeria grayi</i>	+	-	+	-	+
<i>Listeria murrayi</i>	-	+	+	+	+
<i>Kurthia gibsonii</i>	-	-	+	+	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	+	+
<i>Streptococcus bovis</i>	+	+	+	+	+
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	-	-	-	-	+
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	+	-	-	+	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-
<i>Staphylococcus cohnii</i>	-	-	-	-	+
<i>Alloiococcus otitidis</i>	-	+	+	-	-
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	+	-	-	-	-
<i>Erysipelotrix rhusiopathia</i>	-	+	-	-	-
<i>Sphingobacterium multivorum</i>	-	-	+	-	-
<i>Sphingobacterium spiritivorum</i>	+	-	-	-	-
<i>Flavobacterium breve</i>	+	+	+	+	+
<i>Weeksella virosa</i>	+	+	+	+	+
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	-	-	+	-	-
<i>Alcaligenes faecalis</i>	+	+	+	+	+
<i>Chromobacterium violaceum</i>	+	-	+	+	-
<i>Xanthomonas maltophilia</i>	-	-	+	-	-
<i>Aeromonas hydrophila</i>	+	+	+	+	+
<i>Aeromonas sobria</i>	-	-	+	+	-
<i>Aeromonas veronii</i>	+	+	+	+	+

Tableau XXIII (suite)

<i>Aeromonas salmonicida</i>	+	-	+	+	-
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	-	+	-	-	+
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	-	+	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	+	+	-
<i>Pseudomonas luteola</i>	+	-	+	+	+
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	-	+	+	+	+
<i>Escherichia coli</i>	+	-	-	+	-
<i>Enterobacter cloacae</i>	+	+	+	+	+
<i>Pantoea agglomerans</i>	+	+	+	-	+
<i>Enterobacter sakazakii</i>	-	+	-	-	-
<i>Salmonella enterica</i>	+	+	+	-	+
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	-	+	+	+	-
<i>Shigella dysenteriae</i>	+	+	+	+	+
<i>Citrobacter freundii</i>	+	+	+	+	+
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	+	+	+	+	+
<i>Klebsiella ornithinolytica</i>	+	-	-	-	-
<i>Klebsiella oxytoca</i>	+	-	+	+	-
<i>Edwardsiella tarda</i>	+	-	-	-	-
<i>Serratia marescens</i>	+	+	+	+	-
<i>Serratia ficaria</i>	-	-	+	+	+
<i>Erwinia spp.</i>	-	-	-	+	-
<i>Proteus mirabilis</i>	+	-	+	-	-
<i>Morganella morganii</i>	-	-	-	+	-
<i>Rhanella aqualitis</i>	-	+	-	-	-
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	-	+	-	-	-
<i>Vibrio alginolyticus</i>	+	+	+	+	+
<i>Vibrio vulnificus</i>	-	-	+	-	-
Richesse spécifique totale	34	28	39	32	26

Légende : + = présence, - = absence, n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

❖ Concentrations des bactéries isolées dans les eaux du fleuve Nyong

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XXIV. Il en ressort l'existence de grands écarts entre les données des différentes stations ; ainsi de fortes concentrations bactériennes ont été enregistrées à N3 et N4, et des faibles en amont à N1, N2 et en aval à N5.

S'agissant des saisons, c'est au cours de la petite saison des pluies (PSP) que les bactéries ont été les plus abondantes ($p < 0,05$), surtout au niveau des rives ($p > 0,05$).

Indépendamment des stations et des mois de prélèvement (tableau XXIV), les espèces les plus abondantes ont été : *Aeromonas hydrophila*, *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus coagulans*, *Flavobacterium breve*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus bovis*, *Plesiomonas shigelloides*, *Chromobacterium violaceum*, *Pantoea agglomerans*, *Enterococcus faecalis* et *Enterobacter cloacae*.

Tableau XXIV : Concentrations bactériennes par station

Espèce bactérienne	Nyong (n = 120) en UFC/100 mL				
	N1	N2	N3	N4	N5
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	0	0	2×10^2	0	0
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	0	3×10^1	2×10^2	6×10^1	1×10^1
<i>Aeromonas salmonicida</i>	1×10^1	0	1×10^2	$0,7 \times 10^2$	0
<i>Aeromonas veronii</i>	1×10^1	3×10^1	2×10^2	$2,8 \times 10^1$	1×10^1
<i>Aeromonas hydrophila</i>	$0,4 \times 10^1$	$0,9 \times 10^2$	3×10^2	$1,5 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$
<i>Aeromonas sobria</i>	0	0	2×10^2	$1,3 \times 10^2$	0
<i>Alcaligenes faecalis</i>	$0,8 \times 10^1$	$1,6 \times 10^2$	2×10^2	$1,3 \times 10^2$	1×10^1
<i>Bacillus licheniformis</i>	$1,8 \times 10^2$	0	2×10^2	0	0
<i>Bacillus pumilus</i>	$0,6 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$	3×10^2	$0,9 \times 10^2$	$0,8 \times 10^1$
<i>Bacillus coagulans</i>	$0,3 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	2×10^2	$1,3 \times 10^2$	$0,9 \times 10^1$
<i>Bacillus firmus</i>	$1,2 \times 10^1$	0	$1,9 \times 10^2$	2×10^2	$0,4 \times 10^1$
<i>Enterobacter sakazakii</i>	0	2×10^2	0	0	0
<i>Enterobacter cloacae</i>	$2,7 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	8×10^2	$4,1 \times 10^2$	$2,8 \times 10^1$
<i>Flavobacterium breve</i>	$2,3 \times 10^1$		5×10^2	$1,4 \times 10^2$	$0,5 \times 10^1$
<i>Klebsiella ornithinolytica</i>	1×10^2	0	0	0	0
<i>Klebsiella oxytoca</i>	$0,7 \times 10^1$	0	1×10^2	$2,1 \times 10^1$	0
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	$0,3 \times 10^2$	2×10^1	2×10^2	$1,2 \times 10^1$	$0,5 \times 10^1$
<i>Listeria innocua</i>	$0,6 \times 10^1$	0	1×10^2	0	0
<i>Listeria grayi</i>	$2,2 \times 10^1$	0	2×10^2	0	$0,3 \times 10^1$
<i>Listeria murrayi</i>	0	$0,8 \times 10^1$	1×10^2	$2,1 \times 10^1$	$0,3 \times 10^1$
<i>Salmonella enterica</i>	$0,5 \times 10^1$	$0,3 \times 10^2$	1×10^2	0	$0,6 \times 10^1$
<i>Serratia ficaria</i>	0	0	2×10^2	$1,6 \times 10^2$	$0,5 \times 10^1$
<i>Serratia marcescens</i>	$0,7 \times 10^2$	$0,3 \times 10^1$	1×10^2	$1,2 \times 10^1$	0
<i>Shigella dysenteriae</i>	$0,3 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	1×10^2	$0,6 \times 10^2$	$0,7 \times 10^1$
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	0	1×10^2	0	0	0
<i>Pseudomonas luteola</i>	$0,6 \times 10^1$	0	8×10^1	2×10^2	$0,4 \times 10^1$
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	0	1×10^2	0	0	$0,5 \times 10^1$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$0,9 \times 10^1$	0	1×10^2	$1,5 \times 10^1$	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	$1,2 \times 10^1$	$0,7 \times 10^1$	2×10^2	$0,6 \times 10^1$	0
<i>Staphylococcus cohnii</i>	0	0	0	0	1×10^2
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	0	0	0	0	1×10^2
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	$0,3 \times 10^1$	0	0	$0,7 \times 10^1$	1×10^2
<i>Streptococcus bovis</i>	$2,3 \times 10^2$	$4,5 \times 10^3$	1×10^4	5×10^2	1×10^2
<i>Enterococcus faecalis</i>	$4,2 \times 10^2$	8×10^2	6×10^3	$3,4 \times 10^2$	2×10^1
<i>Vibrio alginolyticus</i>	$0,6 \times 10^1$	$0,3 \times 10^1$	1×10^2	$0,7 \times 10^1$	$0,5 \times 10^1$
<i>Vibrio vulnificus</i>	0	0	1×10^2	0	0
<i>Xanthomonas maltophilia</i>	0	0	1×10^2	0	0
<i>Alloiococcus otitidis</i>	0	$1,2 \times 10^1$	2×10^2	0	0
<i>Citrobacter freundii</i>	$3,2 \times 10^1$	$0,5 \times 10^2$	2×10^2	$0,7 \times 10^1$	0
<i>Edwardsiella tarda</i>	1×10^2	0	0	0	0
<i>Erwinia spp.</i>	0	0	0	1×10^2	0
<i>Erysipelotrix rhusiopathia</i>	0	3×10^1	0	0	0
<i>Kurthia gibsonii</i>	0	0	1×10^2	$0,6 \times 10^1$	0
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	1×10^2	0	0	0	0
<i>Morganella morganii</i>	0	0	0	1×10^2	0
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	0	$5,1 \times 10^1$	2×10^2	$8,3 \times 10^1$	0
<i>Rhanella aqualitris</i>	0	5×10^1	0	0	0
<i>Sphingobacterium multivorum</i>	0	0	2×10^2	0	0
<i>Sphingobacterium spiritivorum</i>	3×10^2	0	0	0	0
<i>Weeksella virosa</i>	$0,6 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	1×10^2	$0,9 \times 10^1$	$0,6 \times 10^1$
<i>Chromobacterium violaceum</i>	$5,7 \times 10^1$	0	3×10^2	$1,6 \times 10^1$	0
<i>Escherichia coli</i>	2×10^2	0	0	$4,3 \times 10^1$	0
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	0	5×10^1	0	0	0
<i>Pantoea agglomerans</i>	$8,2 \times 10^1$	$7,8 \times 10^1$	4×10^2	0	$2,3 \times 10^1$
<i>Proteus mirabilis</i>	$0,7 \times 10^1$	0	1×10^2	0	0

Légende : n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 3. 2 Bactéries isolées des eaux du fleuve Wouri

Cinquante-trois (53) espèces bactériennes ont été identifiées dans les eaux du fleuve Wouri (tableau XXV). Elles appartenaient à 4 embranchements, 6 classes, 16 familles et 26 genres. L'embranchement des Proteobacteries et la classe des Gammaproteobacteries ont été les plus diversifiés ; tout comme la famille des Enterobacteriaceae avec 12 espèces. Deux genres ont été prédominants, à savoir :

- Le genre *Vibrio* avec 6 espèces : *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio mimicus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae* et *Vibrio metschnikovii* ;
- Le genre *Pseudomonas* avec 5 espèces : *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas acidovorans* et *Pseudomonas cepacia* (tableau XXV).

Tableau XXV : Espèces bactériennes isolées dans les eaux du fleuve Wouri

Wouri (n = 120)				
Embranchement	Classe	Famille	Genre	Espèce
Firmicutes	Bacilli	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus coagulans</i>
				<i>Bacillus subtilis</i>
				<i>Bacillus megaterium</i>
				<i>Bacillus firmus</i>
		Listeriaceae	<i>Listeria</i>	<i>Listeria grayi</i>
				<i>Listeria murrayi</i>
		Enterococcaceae	<i>Enterococcus</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
			<i>Streptococcus</i>	<i>Streptococcus bovis</i>
		Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus</i>	<i>Streptococcus faecium</i>
				<i>Staphylococcus epidermidis</i>
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>				
<i>Staphylococcus aureus</i>				
Actinobacteria	Actinobacteria	Micrococcaceae	<i>Micrococcus</i>	<i>Staphylococcus cohnii</i>
				<i>Micrococcus candidus</i>
Bacteroidetes	Flavobacteria	Flavobacteriaceae	<i>Flavobacterium</i>	<i>Micrococcus roseus</i>
				<i>Flavobacterium multivorum</i>
			<i>Chryseobacterium</i>	<i>Flavobacterium balustinum</i>
				<i>Flavobacterium breve</i>
Proteobactéries	α – proteobactéries	Rhizobiaceae	<i>Agrobacterium</i>	<i>Agrobacterium radiobacter</i>
	β – proteobactéries	Alcaligenaceae	<i>Achromobacter</i>	<i>Achromobacter (groupe vd1)</i>
			<i>Alcaligenes</i>	<i>Achromobacter (groupe vd2)</i>
		Neisseriaceae	<i>Chromobacterium</i>	<i>Alcaligenes xyloisidans</i>
		Burkholderiaceae	<i>Burkholderia</i>	<i>Chromobacterium violaceum</i>
	γ – Proteobactéries	Aeromonadaceae	<i>Aeromonas</i>	<i>Burkholderia cepacia</i>
				<i>Aeromonas hydrophila</i>
		Xanthomonadaceae	<i>Xanthomonas</i>	<i>Aeromonas sobria</i>
				<i>Aeromonas caviae</i>
		Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
				<i>Pseudomonas stutzeri</i>
				<i>Pseudomonas fluorescens</i>
				<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
		Moraxellaceae	<i>Acinetobacter</i>	<i>Pseudomonas acidovorans</i>
<i>Pseudomonas cepacia</i>				
Enterobacteriaceae	<i>Enterobacter</i>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>		
		<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia coli</i>	
		<i>Enterobacter cloacae</i>		
		<i>Enterobacter hafniae</i>		
		<i>Pantoea agglomerans</i>		
		<i>Enterobacter sakazakii</i>		
<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella</i> spp.			

Tableau XXV (suite)

			<i>Shigella</i>	<i>Shigella sonnei</i>
			<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
			<i>Serratia</i>	<i>Serratia marescens</i> <i>Serratia rubidea</i>
			<i>Proteus</i>	<i>Proteus mirabilis</i>
			<i>Leclercia</i>	<i>Leclercia adecarboxylata</i>
		Vibrionaceae	<i>Vibrio</i>	<i>Vibrio alginolyticus</i>
				<i>Vibrio vulnificus</i>
				<i>Vibrio mimicus</i>
				<i>Vibrio parahaemolyticus</i>
				<i>Vibrio cholerae</i>
				<i>Vibrio metschnikovii</i>

❖ Répartition des bactéries par station

De décembre 2011 à novembre 2012, 23 espèces bactériennes ont été retrouvées à toutes les stations, il s'agissait de : *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus cohnii*, *Micrococcus candidus*, *Flavobacterium breve*, *Chryseobacterium indologenes*, *Agrobacterium radiobacter*, *Achromobacter* (groupe *vd1*), *Chromobacterium violaceum*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Pantoea agglomerans*, *Enterobacter sakazakii*, *Salmonella*, *Klebsiella pneumoniae*, *Vibrio alginolyticus* et *Vibrio vulnificus*. Indépendamment des mois de prélèvement, le plus grand nombre d'espèces (41) a été obtenu à la station W4, dans la zone industrielle de Bonabéri et le plus petit (31 espèces) à la station W1 à Jébalé (tableau XXVI).

Tableau XXVI : Répartition des bactéries par station d'échantillonnage du fleuve Wouri

Espèces bactériennes	Wouri (n = 120)				
	W1	W2	W3	W4	W5
<i>Bacillus coagulans</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus subtilis</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus megaterium</i>	+	-	+	-	+
<i>Bacillus firmus</i>	-	-	+	-	-
<i>Listeria grayi</i>	-	-	-	+	-
<i>Listeria murrayi</i>	-	+	+	+	+
<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	+	+
<i>Streptococcus bovis</i>	-	+	+	+	+
<i>Streptococcus faecium</i>	-	-	-	+	+
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	+	+	+	+	+
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	-	-	+	+	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+
<i>Staphylococcus cohnii</i>	+	+	+	+	+
<i>Micrococcus candidus</i>	+	+	+	+	+
<i>Micrococcus roseus</i>	-	+	-	-	-
<i>Flavobacterium multivorum</i>	-	-	-	-	+
<i>Flavobacterium balustinum</i>	-	+	+	-	+
<i>Flavobacterium breve</i>	+	+	+	+	+
<i>Chryseobacterium indologenes</i>	+	+	+	+	+
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	+	+	+	+	+
<i>Achromobacter</i> (groupe <i>vd1</i>)	+	+	+	+	+

Tableau XXVI (suite)

<i>Achromobacter (groupe vd2)</i>	+	-	+	+	+
<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>	+	+	-	-	-
<i>Chromobacterium violaceum</i>	+	+	+	+	+
<i>Burkholderia cepacia</i>	-	+	-	+	-
<i>Aeromonas hydrophila</i>	+	+	+	+	+
<i>Aeromonas sobria</i>	+	+	-	-	-
<i>Aeromonas caviae</i>	-	+	-	+	-
<i>Xanthomonas campestris</i>	-	+	-	-	-
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	+	-	+	-	-
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas acidovorans</i>	+	-	-	+	-
<i>Pseudomonas cepacia</i>	-	-	-	+	-
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	-	-	-	+	+
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+	+
<i>Enterobacter cloacae</i>	+	+	+	+	+
<i>Enterobacter hafniae</i>	-	-	-	+	-
<i>Pantoea agglomerans</i>	+	+	+	+	+
<i>Enterobacter sakazakii</i>	+	+	+	+	+
<i>Salmonella</i>	+	+	+	+	+
<i>Shigella sonnei</i>	-	-	+	+	+
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	+	+	+	+	+
<i>Serratia marcescens</i>	+	+	+	-	+
<i>Serratia rubidea</i>	-	-	+	+	-
<i>Proteus mirabilis</i>	-	-	-	-	+
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	+	+	-	+	+
<i>Vibrio alginolyticus</i>	+	+	+	+	+
<i>Vibrio vulnificus</i>	+	+	+	+	+
<i>Vibrio mimicus</i>	-	+	+	-	-
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	-	-	+	+	+
<i>Vibrio cholerae</i>	-	-	-	+	-
<i>Vibrio metschnikovii</i>	-	-	+	+	+
Richesse spécifique totale	31	35	37	41	37

Légende : + = présence, - = absence, n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

❖ Concentrations des bactéries isolées dans les eaux du fleuve Wouri

Les résultats obtenus pour cette analyse sont présentés dans le tableau XXVII. Comme pour le Nyong, de grands écarts ont été observés entre les données des différentes stations ; de fortes concentrations bactériennes ont été enregistrées à W4 et W5 et des faibles concentrations en amont à W1, W2 et W3.

Ici, c'est au cours de la saison sèche (SS) que les bactéries ont été abondantes ($p < 0,05$). Les espèces concernées (tableau XXVII) ont été : *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter sakazakii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptococcus faecium*, *Streptococcus bovis*, *Vibrio alginolyticus*, *Chryseobacterium indologenes*, *Micrococcus candidus*, *Chromobacterium violaceum*, *Escherichia coli* et *Enterococcus faecalis*.

Tableau XXVII : Concentrations bactériennes par station

Espèce bactérienne	Wouri (n = 120) en UFC/100 mL				
	W1	W2	W3	W4	W5
<i>Achromobacter</i> groupe vd1	$0,5 \times 10^1$	$0,7 \times 10^1$	$0,9 \times 10^1$	4×10^2	$3,4 \times 10^2$
<i>Achromobacter</i> groupe vd2	$0,2 \times 10^1$	0	$0,5 \times 10^1$	1×10^2	$0,8 \times 10^2$
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	0	0	0	1×10^2	$0,8 \times 10^1$
<i>Aeromonas caviae</i>	0	$0,8 \times 10^1$	0	2×10^2	0
<i>Aeromonas hydrophila</i>	$0,8 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$2,3 \times 10^2$	4×10^2	$3,4 \times 10^2$
<i>Aeromonas sobria</i>	$0,8 \times 10^1$	1×10^2	0	0	0
<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>	$0,5 \times 10^1$	1×10^2	0	0	0
<i>Bacillus megaterium</i>	$0,3 \times 10^1$	0	$0,7 \times 10^1$	0	1×10^2
<i>Bacillus subtilis</i>	$0,2 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$	9×10^1	2×10^2	$1,7 \times 10^2$
<i>Bacillus coagulans</i>	$0,4 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$0,8 \times 10^2$	2×10^2	$1,5 \times 10^2$
<i>Bacillus firmus</i>	0	0	2×10^2	0	0
<i>Enterobacter hafniae</i>	0	0	0	1×10^2	0
<i>Enterobacter sakazakii</i>	$0,8 \times 10^1$	1×10^1	$1,3 \times 10^1$	3×10^2	$2,6 \times 10^2$
<i>Enterobacter cloacae</i>	$0,9 \times 10^1$	1×10^1	$1,2 \times 10^1$	2×10^2	$1,8 \times 10^2$
<i>Flavobacterium balustinum</i>	0	$0,8 \times 10^1$	1×10^1	0	2×10^2
<i>Flavobacterium multivorum</i>	0	0	0	0	1×10^2
<i>Flavobacterium breve</i>	$0,3 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$	$0,5 \times 10^2$	1×10^2	$0,8 \times 10^2$
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	$0,8 \times 10^1$	1×10^1	$1,5 \times 10^1$	3×10^2	$2,3 \times 10^2$
<i>Listeria grayi</i>	0	0	0	1×10^2	0
<i>Listeria murrayi</i>	0	$0,2 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$	1×10^2	$0,5 \times 10^2$
<i>Salmonella</i> spp.	$0,5 \times 10^1$	$1,9 \times 10^1$	2×10^1	3×10^2	$2,1 \times 10^1$
<i>Serratia rubidae</i>	0	0	$0,6 \times 10^1$	1×10^2	0
<i>Serratia marescens</i>	$0,6 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$2,2 \times 10^1$	0	1×10^2
<i>Shigella sonnei</i>	0	0	$0,9 \times 10^1$	2×10^2	$1,4 \times 10^1$
<i>Pseudomonas acidovorans</i>	$0,7 \times 10^1$	0	0	1×10^2	0
<i>Pseudomonas cepacia</i>	$0,9 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$2,3 \times 10^1$	4×10^2	$2,8 \times 10^1$
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	$0,8 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$5,1 \times 10^1$	3×10^2	$2,8 \times 10^2$
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	$0,6 \times 10^1$	0	1×10^2	0	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$0,5 \times 10^1$	$1,4 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	2×10^2	$1,4 \times 10^2$
<i>Staphylococcus aureus</i>	$0,6 \times 10^1$	$0,4 \times 10^1$	$0,7 \times 10^1$	1×10^2	$0,8 \times 10^2$
<i>Staphylococcus cohnii</i>	$0,2 \times 10^2$	$0,8 \times 10^1$	$0,6 \times 10^1$	1×10^2	$0,4 \times 10^2$
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$0,3 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$0,8 \times 10^2$	2×10^2	$1,1 \times 10^2$
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	0	0	$0,7 \times 10^1$	1×10^2	0
<i>Streptococcus faecium</i>	0	0	0	8×10^3	$2,1 \times 10^2$
<i>Streptococcus bovis</i>	0	$0,8 \times 10^1$	$1,1 \times 10^2$	2×10^3	$1,8 \times 10^2$
<i>Enterococcus faecalis</i>	$1,3 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	$1,8 \times 10^2$	9×10^3	$4,1 \times 10^3$
<i>Vibrio cholerae</i>	0	0	0	1×10^2	0
<i>Vibrio metschnikovii</i>	0	0	$1,2 \times 10^1$	2×10^2	$1,4 \times 10^2$
<i>Vibrio mimicus</i>	0	$0,8 \times 10^1$	1×10^2	0	0
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0	0	$1,7 \times 10^1$	1×10^2	$0,7 \times 10^2$
<i>Vibrio alginolyticus</i>	$0,5 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	2×10^2	$1,2 \times 10^2$
<i>Vibrio vulnificus</i>	$0,4 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	1×10^2	$0,8 \times 10^2$
<i>Xanthomonas campestris</i>	0	1×10^2	0	0	0
<i>Burkholderia cepacia</i>	0	$0,7 \times 10^1$	0	1×10^2	0
<i>Chryseobacterium indologenes</i>	$0,9 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	$0,8 \times 10^2$	2×10^2	$1,1 \times 10^2$
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	$0,8 \times 10^1$	1×10^1	$1,8 \times 10^1$	3×10^2	$1,2 \times 10^2$
<i>Micrococcus candidus</i>	$0,9 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	3×10^1	1×10^2	$0,6 \times 10^2$
<i>Micrococcus roseus</i>	0	1×10^2	0	0	0
<i>Chromobacterium violaceum</i>	$0,5 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$3,2 \times 10^1$	2×10^2	$1,7 \times 10^2$
<i>Escherichia coli</i>	$0,1 \times 10^1$	$0,8 \times 10^1$	3×10^2	$2,8 \times 10^2$	$2,2 \times 10^2$
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	$0,9 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	0	1×10^2	$0,8 \times 10^2$
<i>Pantoea agglomerans</i>	$0,8 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	2×10^2	$1,2 \times 10^2$
<i>Proteus mirabilis</i>	0	0	0	0	1×10^2

Légende : n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

III. 1. 3. 3 Comparaison des richesses spécifiques bactériennes entre les fleuves Nyong et Wouri

Vingt-six (26) espèces bactériennes ont été communes aux deux fleuves. Vingt-neuf (29) supplémentaires ont été identifiées uniquement dans le Nyong, tandis que 27 l'ont été dans le Wouri. La similarité spécifique entre les deux fleuves a été égale à 51 % tel que révélé par l'indice de whittaker (0,51) comme indiqué au tableau XXVIII.

Tableau XXVIII : Comparaison des richesses spécifiques bactériennes entre les fleuves Nyong et Wouri

Biodiversité bactérienne	du Nyong	du Wouri	Bactéries communes	
Espèces recensées	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	<i>Achromobacter</i> groupe vd1 <i>Achromobacter</i> groupe vd2	/	
	<i>Aeromonas salmonicida</i> <i>Aeromonas veronii</i>	<i>Aeromonas caviae</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Aeromonas sobria</i>	
	<i>Alcaligenes faecalis</i>	<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>		
	<i>Bacillus licheniformis</i> <i>Bacillus pumilus</i>	<i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus coagulans</i> <i>Bacillus firmus</i>	
	/	<i>Enterobacter hafniae</i>	<i>Enterobacter sakazakii</i> <i>Enterobacter cloacae</i>	
	/	<i>Flavobacterium balustinum</i> <i>Flavobacterium multivorum</i>	<i>Flavobacterium breve</i>	
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i> <i>Klebsiella oxytoca</i>	/	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
	<i>Listeria innocua</i>	/	<i>Listeria grayi</i> <i>Listeria murrayi</i>	
	<i>Salmonella enterica</i>	<i>Salmonella</i> spp.		
	<i>Serratia ficaria</i>	<i>Serratia rubidae</i>	<i>Serratia marescens</i>	
	<i>Shigella dysenteriae</i>	<i>Shigella sonnei</i>	/	
	<i>Pseudomonas alcaligenes</i> <i>Pseudomonas luteola</i> <i>Pseudomonas pseudomallei</i>	<i>Pseudomonas acidovorans</i> <i>Pseudomonas cepacia</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
	/	<i>Streptococcus faecium</i>	<i>Streptococcus bovis</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	
	/	/	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus cohnii</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Staphylococcus saprophyticus</i>	
	/	<i>Vibrio cholerae</i> <i>Vibrio metschnikovii</i> <i>Vibrio mimicus</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	<i>Vibrio alginolyticus</i> <i>Vibrio vulnificus</i>	
	<i>Xanthomonas maltophilia</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>	/	
	<i>Alloiococcus otitis</i> <i>Citrobacter freundii</i> <i>Edwardsiella tarda</i> <i>Erwinia</i> spp. <i>Erysipelotrix rhusiopathia</i> <i>Kurthia gibsonii</i> <i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>Morganella morganii</i> <i>Plesiomonas shigelloides</i> <i>Rhanella aqualitis</i> <i>Sphingobacterium multivorum</i> <i>Sphingobacterium spiritivorum</i> <i>Weeksella virosa</i>	<i>Burkholderia cepacia</i> <i>Chryseobacterium indologenes</i> <i>Agrobacterium radiobacter</i> <i>Micrococcus candidus</i> <i>Micrococcus roseus</i>	<i>Chromobacterium violaceum</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Leclercia adecarboxylata</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Proteus mirabilis</i>	
	Indice de Whittaker	0,51		

III. 1. 3. 4 Bactéries indicatrices de contamination fécale présentes dans les fleuves

Nyong et Wouri

La présence des bactéries indicatrices de contamination fécale a été mise en évidence dans les eaux des deux fleuves.

Le rapport CF/SF a été inférieur à 0,7 dans toutes les stations de notre étude, indiquant une origine principalement animale de ladite contamination (tableau XXIX).

Tableau XXIX : Valeurs du rapport CF/SF dans les stations d'échantillonnage du Nyong et du Wouri

Fleuve	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5
Nyong (n = 120)	0,1	0,4	0,1	0,2	0,2
Wouri (n = 120)	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1

Légende : n = nombre d'échantillons d'eau analysés.

Dans l'ensemble, le fleuve Wouri a été plus contaminé ($P < 0,05$) que le Nyong (tableau XXX). En fonction de la concentration des différents indicateurs, le classement ci-après a été obtenu : $CF < CT < SF < BHAM$.

Tableau XXX : Valeurs moyennes des indicateurs de pollution fécale des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Groupes bactériens	Nyong ($\times 10^3$)	Wouri ($\times 10^3$)	Valeur P
BHAM	1,6 \pm 2,3 (0,1 – 16,6)	2,4 \pm 2,1 (0,4 – 9,9)	<0,001
CT	0,27 \pm 0,22 (0 – 1,1)	0,24 \pm 0,14 (0 – 0,6)	0,01
CF	0,15 \pm 0,11 (0 – 0,6)	0,19 \pm 0,11 (0 – 0,5)	0,01
SF	1,0 \pm 2,3 (0 – 1,6)	1,5 \pm 2,0 (0 – 9)	0,004

Légende : BHAM = Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles, CT = Coliformes Totaux, CF = Coliformes Fécaux, SF = Streptocoques Fécaux ; (minimum – maximum).

La comparaison des valeurs moyennes des abondances des différents groupes bactériens à la norme de la Directive du Conseil des Communautés Européennes pour les eaux de baignade a montré que les concentrations moyennes en CT ont été inférieures aux valeurs guides et impératives de la norme, tandis que celles en CF ont été supérieures à la valeur guide mais inférieures à la valeur impérative. Les concentrations moyennes en SF dans les deux fleuves ont été supérieures à la valeur guide (tableau XXXI).

Tableau XXXI : Qualité microbiologique des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Groupes bactériens	Norme n° 76/160 de Qualité microbiologique des eaux de baignade		Nyong ($\times 10^2$)	Wouri ($\times 10^2$)
	Norme guide ($\times 10^2$)	Norme impérative ($\times 10^2$)		
CT	5,0	100	2,7	2,4
CF	1,0	20	1,5	1,9
SF	1,0	/	10	15

Légende : BHAM = Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles, CT = Coliformes Totaux, CF = Coliformes Fécaux, SF = Streptocoques Fécaux.

La norme n° 76/160 sont celles de la Directive du Conseil des Communautés Européennes concernant la qualité microbiologique des eaux de baignade (CEE, 1975).

L'évaluation du niveau de contamination fécale de chaque station a révélé que N3 a été la station la plus contaminée pour le Nyong et W4 pour le Wouri ; N5 a été la station la moins polluée par les différents groupes bactériens dans le Nyong tandis que pour le Wouri, W1 ($P < 0,05$) s'est distinguée pour les BHAM et les SF, et W2 ($P > 0,05$) pour les CT et les CF (tableau XXXII).

L'influence des saisons sur le peuplement bactérien a révélé que la petite saison sèche a favorisé une forte présence des coliformes dans le Nyong ($P < 0,05$). Tandis que dans le Wouri, la saison de pluies a avantagé la multiplication des BHAM et la saison sèche celle des CF et des SF ($P < 0,05$) comme le montre le tableau XXXIII.

Tableau XXXII : Concentrations moyennes des indicateurs de pollution fécale des eaux du Nyong et Wouri

Fleuve	Stations	Groupes bactériens (UFC/100 mL)			
		BHAM	CT	CF	SF
Nyong (n = 120)	N1	$2,0 \times 10^3 \pm 1,6 \times 10^{3c}$	$3,2 \times 10^2 \pm 1,8 \times 10^{2c}$	$1,6 \times 10^2 \pm 0,3 \times 10^{2b}$	$1,4 \times 10^3 \pm 1,7 \times 10^{3c}$
	N2	$1,2 \times 10^3 \pm 0,5 \times 10^{3b}$	$3,4 \times 10^2 \pm 1,4 \times 10^{2d}$	$1,8 \times 10^2 \pm 0,6 \times 10^{2c}$	$4,9 \times 10^2 \pm 4,4 \times 10^{2b}$
	N3	$2,8 \times 10^3 \pm 1,5 \times 10^{3d}$	$3,9 \times 10^2 \pm 1,8 \times 10^{2e}$	$2,1 \times 10^2 \pm 1,0 \times 10^{2d}$	$1,8 \times 10^3 \pm 1,7 \times 10^{3d}$
	N4	$1,2 \times 10^3 \pm 0,8 \times 10^{3b}$	$2,8 \times 10^2 \pm 1,7 \times 10^{2b}$	$1,5 \times 10^2 \pm 0,6 \times 10^{2b}$	$4,6 \times 10^2 \pm 6,9 \times 10^{2b}$
	N5	$8,8 \times 10^2 \pm 4,2 \times 10^{2a}$	$1,6 \times 10^2 \pm 0,8 \times 10^{2a}$	$0,8 \times 10^2 \pm 0,6 \times 10^{2a}$	$3,4 \times 10^2 \pm 4,3 \times 10^{2a}$
	Valeur P	0,001	0,02	0,001	0,02
Wouri (n = 120)	W1	$1,2 \times 10^3 \pm 2,7 \times 10^{3a}$	$2,1 \times 10^2 \pm 0,7 \times 10^{2a}$	$1,9 \times 10^2 \pm 0,7 \times 10^{2a}$	$3,3 \times 10^2 \pm 2,4 \times 10^{2a}$
	W2	$2,1 \times 10^3 \pm 4,6 \times 10^{3b}$	$2,0 \times 10^2 \pm 1,1 \times 10^{2a}$	$1,6 \times 10^2 \pm 0,7 \times 10^{2a}$	$1,3 \times 10^3 \pm 0,4 \times 10^{3b}$
	W3	$2,4 \times 10^3 \pm 1,3 \times 10^{3c}$	$2,6 \times 10^2 \pm 0,2 \times 10^{2a}$	$2,2 \times 10^2 \pm 0,3 \times 10^{2a}$	$1,4 \times 10^3 \pm 1,3 \times 10^{3c}$
	W4	$2,7 \times 10^3 \pm 1,6 \times 10^{3e}$	$2,8 \times 10^2 \pm 0,5 \times 10^{2a}$	$2,3 \times 10^2 \pm 0,5 \times 10^{2a}$	$1,9 \times 10^3 \pm 1,6 \times 10^{3e}$
	W5	$2,5 \times 10^3 \pm 1,3 \times 10^{3d}$	$2,5 \times 10^2 \pm 0,7 \times 10^{2a}$	$2,2 \times 10^2 \pm 0,6 \times 10^{2a}$	$1,7 \times 10^3 \pm 1,2 \times 10^{3d}$
	Valeur P	0,01	0,54	0,33	0,02

Légende : BHAM = Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles, CT = Coliformes Totaux, CF = Coliformes Fécaux, SF = Streptocoques Fécaux.

Tableau XXXIII : Comparaison des concentrations saisonnières des indicateurs de pollution fécale pour le Nyong et le Wouri

Fleuve	Saisons	Groupes bactériens (UFC/100 mL)			
		BHAM	CT	CF	SF
Nyong (n = 120)	GSS	$2,1 \times 10^3 \pm 3,5 \times 10^3$ ^a	$2,8 \times 10^2 \pm 2,8 \times 10^2$ ^b	$1,6 \times 10^2 \pm 1,3 \times 10^2$ ^c	$1,6 \times 10^3 \pm 3,4 \times 10^3$ ^a
	PSP	$1,6 \times 10^3 \pm 2,5 \times 10^3$ ^a	$1,5 \times 10^2 \pm 1,0 \times 10^2$ ^a	$1,2 \times 10^2 \pm 1,0 \times 10^2$ ^a	$1,0 \times 10^3 \pm 2,3 \times 10^3$ ^a
	PSS	$1,2 \times 10^3 \pm 0,6 \times 10^3$ ^a	$4,5 \times 10^2 \pm 1,7 \times 10^2$ ^d	$1,8 \times 10^2 \pm 5,8 \times 10^2$ ^d	$3,4 \times 10^3 \pm 4,7 \times 10^3$ ^a
	GSP	$1,3 \times 10^3 \pm 1,1 \times 10^3$ ^a	$3,0 \times 10^2 \pm 2,1 \times 10^2$ ^c	$1,5 \times 10^2 \pm 1,1 \times 10^2$ ^b	$7,0 \times 10^3 \pm 1,1 \times 10^3$ ^a
	Valeur P	0,09	<0,001	0,04	0,06
Wouri (n = 120)	SP	$2,8 \times 10^3 \pm 2,3 \times 10^3$ ^b	$2,4 \times 10^2 \pm 1,4 \times 10^2$ ^a	$1,8 \times 10^2 \pm 1,0 \times 10^2$ ^a	$2,0 \times 10^3 \pm 2,3 \times 10^3$ ^b
	SS	$1,5 \times 10^3 \pm 1,0 \times 10^3$ ^a	$2,4 \times 10^2 \pm 1,3 \times 10^2$ ^a	$2,3 \times 10^2 \pm 1,2 \times 10^2$ ^b	$6,5 \times 10^2 \pm 9,8 \times 10^2$ ^a
	Valeur P	0,003	0,95	0,03	0,0001

Légende : GSS = grande saison sèche, PSP = petite saison des pluies, PSS = petite saison sèche, GSP = grande saison des pluies, SP = saison des pluies, SS = saison sèche.

III. 1. 4 Impact potentiel sur la santé des populations riveraines de la qualité des eaux des fleuves Nyong et Wouri

III. 1. 4. 1 Classes OMS, eaux récréatives auxquelles appartiennent les eaux du Nyong et du Wouri

Les résultats obtenus au cours de l'inspection sanitaire ont révélé qu'aucune latrine n'était aménagée à N1, N4 et N5 ; plus de la moitié des latrines inspectées à N2, N4, N5 et à W1, W2 et W5 étaient situées à moins de 100 m du fleuve. Toutefois, dans l'ensemble, pour leurs besoins naturels, les populations utilisaient les latrines. Au niveau des stations, il est apparu qu'à N4 (Nsen Nlong), seuls 30% des riverains utilisaient les latrines, 30% déféquaient dans le fleuve et 40% associaient les deux modalités. À W3, 33,3% utilisaient les latrines et 66,7% déféquaient dans le fleuve.

La présence d'animaux domestiques ayant un accès libre aux cours d'eau, a renforcé la pollution fécale (tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Evaluation du niveau de vulnérabilité des fleuves Nyong et Wouri

Eléments d'inspection		Nyong (%)					Wouri (%)				
		N1	N2	N3	N4	N5	W1	W2	W3	W4	W5
Utilisation des latrines		88,5	96,2	91,7	30	70	75	66,7	33,3	—	40
Latrines aménagées		0	11,4	40,9	0	0	75	100	100	—	100
Latrines non aménagées		100	84,6	59,1	100	100	25	0	0	—	0
Défécation dans le fleuve		0	0	0	30	10	0	0	66,7	—	50
Défécation dans les latrines et le fleuve		3,8	0	0	40	0	25	11,1	0	—	10
Défécation à l'air libre		7,7	3,8	8,3	0	20	0	22,2	0	—	0
Distance latrines - fleuve (en mètres)	< 50 m	16	53,8	36,4	50	30	62,5	66,7	0	—	100
	50 – 100 m	28	0	0	50	40	37,5	0	0	—	0
	> 100 m	56	46,2	63,6	0	30	0	33,3	100	—	0
Présence d'animaux	Domestiques (a)	0	0	0	0	0	12,5	0	0	—	0
	Bovins (b)	11,5	15,4	12,5	0	0	0	0	0	—	0
	Ovins (c)	11,5	0	0	15	30	25	66,7	0	—	0
	a + c	0	0	0	0	0	25	33,3	0	—	0
	b + c	19,2	3,8	0	0	0	0	0	66,7	—	0

Légende : — = zone non habitée

Latrine aménagée = latrine ayant un toit, une suprastructure (murs en terre ou en parpaings) et une fosse avec couvercle (la présence d'une dalle est un plus).

Sur la base de leurs charges en streptocoques fécaux (SF), les eaux du Nyong et du Wouri sont classables dans deux catégories de l’OMS (tableau XXXV). Pour le Nyong, les eaux des stations N2 et N5 ont été rangées dans la catégorie C (avec des charges en SF comprises entre 201 et 500 UFC/100 mL) et celles de N1, N3 et N4 dans la catégorie D (avec des charges en SF > 500 UFC/100 mL). Pour le Wouri, à l’exception de la station W1 rangée dans la catégorie C, les eaux de toutes les autres stations ont appartenues à la catégorie D ; la station W4 (zone industrielle de Bonabéri et portuaire) a montré une particularité : aucune habitation n’a été observée aux alentours.

Par ailleurs, les eaux ont été classées de très mauvaise qualité aux stations N3, W3 et W5, de mauvaise qualité aux stations N1, N4 et W2 et de qualité assez bonne aux stations N2, N5 et W1.

Tableau XXXV : Classification des eaux des stations des fleuves Nyong et Wouri en fonction des charges en streptocoques fécaux

Fleuve		Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5
	Catégorie	D	C	D	D	C
Nyong	Vulnérabilité	Modérée	Faible	Elevée	Modérée	Faible
	Qualité de l’eau	Mauvaise	Assez bonne	Très mauvaise	Mauvaise	Assez bonne
	Catégorie	C	D	D	D	D
Wouri	Vulnérabilité	Faible	Modérée	Elevée	—	Elevée
	Qualité de l’eau	Assez bonne	Mauvaise	Très mauvaise	—	Très mauvaise

Légende : — zone non habitée

Concentration en SF : C : 201 à 500 UFC/100 mL ; D : > 500 UFC/ 100 mL.

III. 1. 4. 2 Usages de l’eau et plaintes sanitaires des riverains

Vingt (20) et 25 personnes ont été interrogées par station respectivement pour le Nyong et le Wouri, soit un total de 100 personnes par fleuve ; pour évaluer le niveau d’usage de son eau. Pour le Nyong, toutes les personnes interrogées utilisaient l’eau du fleuve. Les associations « lessive+baignade », « lessive+vaisselle+baignade » ont été plus enregistrées avec des pourcentages variant de 21% à 40%. La baignade, seule ou en association, a été l’activité la plus pratiquée (tableau XXXVI). Contrairement au Nyong, toutes les personnes interrogées n’utilisaient pas l’eau du fleuve Wouri. Toutefois, la pêche et la baignade ont été les activités les plus pratiquées avec des pourcentages supérieurs à 41%. Les usages tels que la lessive et la vaisselle n’ont été notés qu’à W1 (tableau XXXVII).

Dans l’ensemble, le niveau des usages par les riverains du fleuve Wouri était plus bas que celui du fleuve Nyong.

Tableau XXXVI : Niveau des usages par les riverains des fleuves Nyong et Wouri

Usages	Stations d'échantillonnage									
	N1	N2	N3	N4	N5	W1	W2	W3	W4	W5
a	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
b	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
c	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Faible
d	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
e	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
F	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Très élevé	Élevé	–	Nul
g	Très faible	Moyen	Faible	Moyen	Très faible	Moyen	Nul	Nul	–	Très élevé
H	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
I	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Moyen
b+c	Nul	Nul	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
b+g	Très faible	Moyen	Élevé	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	–	Moyen
e+g	Très faible	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul
f+g	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Moyen	Moyen	Élevé	–	Moyen
a+b+g	Moyen	Moyen	Très faible	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	–	Nul
a+f+g	Nul	Nul	Nul	Très faible	Nul	Moyen	Élevé	Nul	–	Nul
b+c+f	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	–	Nul
b+c+g	Moyen	Moyen	Élevé	Moyen	Très faible	Élevé	Nul	Nul	–	Nul
b+f+g	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Élevé	Moyen	Nul	–	Nul
a+b+c+g	Moyen	Faible	Très faible	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	–	Nul
b+c+d+g	Très faible	Nul	Faible	Faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	–	Nul
b+c+e+g	Nul	Très faible	Faible	Faible	Nul	Nul	Nul	Nul	–	Nul

Tableau XXXVI (suite)

b+c+f+g	Très faible	Nul	Nul	Très faible	Très faible	Moyen	Nul	Nul	—	Faible
b+e+f+g	Très faible	Nul	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Nul
b+c+d+f+g	Très faible	Nul	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Nul
a+b+c+d+g	Nul	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
a+b+c+f+g	Moyen	Nul	Nul	Très faible	Moyen	Nul	Nul	Nul	—	Nul
b+c+e+f+g	Très faible	Faible	Nul	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Nul
b+c+d+g+h	Très faible	Très faible	Nul	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Nul
a+b+c+d+f+g	Très faible	Nul	Nul	Très faible	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Nul
b+c+d+e+f+g	Nul	Faible	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
a+b+c+d+e+f+g	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
Autres	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Élevé	—	Nul

Légende : a = boisson, b = lessive, c = vaisselle, d = cuisine, e = agriculture maraîchère, f = pêche, g = baignade, h = ménage, i = nettoyage du poisson, autres = n'utilise pas l'eau du fleuve, — = zone non habitée

0 = nul ; 1% - 5% = très faible ; 6% - 10% = faible ; 11% - 20% = moyen ; 21% - 40% = élevé ; > 41% = très élevé.

Des enquêtes menées auprès des populations riveraines des deux fleuves, on peut relever que les infections cutanées (gale, prurit), moins que les gastroentérites fébriles ou non (diarrhée, vomissements, douleurs au ventre, nausées) et leurs associations, ont particulièrement été signalées (tableau XXXVII). De plus, les infections respiratoires (toux, rhume, bronchite) ont été rapportées à W1 et W2 ; les infections urogénitales seules ou associées aux affections cutanées ont concerné une bonne proportion (30% et 20%) de la population à W5 ; l'association « affections cutanées + gastroentérites + infections respiratoires » a été remarquable avec des taux de 11,6% et 16% à N1 et N2.

Toutes les personnes se plaignant de démangeaisons avaient déclaré utiliser l'eau des fleuves pour le bain, la lessive et/ou la vaisselle. La plupart des personnes ayant souffert de gastroentérites non fébriles buvaient et/ou faisaient la vaisselle avec l'eau des fleuves ; toutes celles se servant de ces eaux pour le bain et la lessive avaient souffert de gastroentérites fébriles.

Tableau XXXVII : Niveau de plaintes émises par les usagers des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Plaintes enregistrées chez les usagers des eaux	Stations d'échantillonnage									
	N1	N2	N3	N4	N5	W1	W2	W3	W4	W5
C	Moyen	Élevé	Très faible	Faible	Très faible	Nul	Nul	Élevé	—	Moyen
E	Moyen	Faible	Élevé	Élevé	Très faible	Élevé	Moyen	Très élevé	—	Faible
R	Nul	Nul	Très faible	Nul	Très faible	Moyen	Moyen	Nul	—	Nul
U	Nul	Nul	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	—	Élevé
C + E	Très élevé	Élevé	Moyen	Très élevé	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
C + U	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Moyen
E + R	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
E + U	Nul	Nul	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
C + E + G	Très faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
C + E + R	Moyen	Moyen	Faible	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	—	Nul
Aucune plainte	Nul	Faible	Élevé	Faible	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Nul	—	Moyen

Légende : C = affections cutanées (gale, prurit), E = gastroentérites fébriles ou non (diarrhée, vomissements, douleurs au ventre, nausées, fièvre),

R = infections respiratoires (toux, rhume, bronchite), U=infections uro-génitales. — = zone non habitée

0 = nul ; 1% - 5% = très faible ; 6% - 10% = faible ; 11% - 20% = moyen ; 21% - 40% = élevé ; > 41% = très élevé.

III. 1.4.3 Risques sanitaires estimés pour les eaux des fleuves Nyong et Wouri

Après exposition aux eaux des stations N2, N5 et W1, le risque sanitaire correspondrait à 5 - 10% pour les gastroentérites et à 1,9 - 3,9% pour les infections respiratoires. Pour les stations N1, N3, N4, W2, W3, W4 et W5, ce risque serait >10% pour les gastroentérites et >3,9% pour les infections respiratoires (tableau XXXVIII).

En corollaire aux plaintes émises par les usagers de l'eau, il est apparu que :

- à N2 le taux de gastroentérites isolées était faible (6% à 10%), alors qu'en association avec les affectations cutanées et les infections respiratoires, ce taux devenait moyen (11% à 20%) voire très élevé (supérieur à 41%) en association avec les affections cutanées ;

- à N5, le taux de plaintes de gastroentérites était très faible (1% à 5%). Aucune plainte liée aux infections respiratoires n'a été enregistrée ;

- à W1, le taux de plaintes de gastroentérites a été élevé (21% à 40%) et celui des infections respiratoires était moyen (11% à 20%).

Plus de 41% de personnes interrogées aux stations N1, N3, N4, W2 et W3, ont déclaré avoir souffert de gastroentérites fébriles ou non, tandis que 6 à 10% des enquêtés seulement ont déclaré les avoir à W5.

Parlant des infections respiratoires, 40% des répondeurs ont déclaré en avoir souffert à N1, alors qu'aucune plainte n'a été enregistrée aux stations N3, N4, W2, W3 et W5.

Tableau XXXVIII : Risques sanitaires estimés pour les eaux des fleuves Nyong et Wouri

Fleuve	Paramètres	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	
Nyong (n = 120)	SF/100 ml	1,3×10³ (0 – 1,6 × 10 ⁴)	4,9×10² (0 – 3,4 × 10 ³)	2,1×10³ (0 – 1,0 × 10 ⁴)	6,5×10³ (0 – 5,0 × 10 ⁴)	3,3×10² (0 – 3,9 × 10 ³)	
	Catégorie	D	C	D	D	C	
	Pourcentage risque	Gastroentérites	>10%	5 - 10%	>10%	>10%	5 - 10%
		Infections respiratoires	>3,9%	1,9 – 3,9%	>3,9%	>3,9%	1,9 – 3,9%
Wouri (n = 120)	SF/100 ml	3,8×10² (0 – 2,0 × 10 ³)	1,4×10³ (0 – 7,1 × 10 ⁴)	1,7×10³ (0 – 9,0 × 10 ⁴)	2,3×10³ (0 – 8,1 × 10 ⁴)	1,8×10³ (0 – 5,0 × 10 ⁴)	
	Catégorie	C	D	D	D	D	
	Pourcentage risque	Gastroentérites	5 - 10%	>10%	>10%	>10%	>10%
		Infections respiratoires	1,9 – 3,9%	>3,9%	>3,9%	>3,9%	>3,9%

Légende : Catégories d'évaluation de la qualité microbienne de l'eau : C = eau moyennement contaminée, D = eau très contaminée (source : OMS, 2003) ; (minimum – maximum).

III. 1. 5 Compétence des bactéries isolées des eaux des fleuves Nyong et Wouri à dégrader le Métalaxyl-M

III. 1. 5. 1 Bactéries sélectionnées et concentration du polluant retenue

Il s'agit de *Bacillus coagulans* pour le Nyong, *Chryseobacterium indologenes*, *Pseudomonas fluorescens* et *Chromobacterium violaceum* pour le Wouri. Le consortium bactérien a été constitué des 3 bactéries isolées du Wouri.

La concentration du polluant retenue a été de 5% v/v.

III. 1. 5. 2 Performance de *Bacillus coagulans*

En présence de cette espèce bactérienne, une réduction de la concentration du Métalaxyl-M a été observée à partir du 2^{ème} jour d'incubation. La concentration du Métalaxyl-M était de 0,2 mg/L au 5^{ème} jour et de 0,1 mg/L dès le 10^{ème} jour d'incubation (figure 24 a).

La croissance de *Bacillus coagulans* a été maximale (150×10^6 UFC/mL) au 2^{ème} jour d'incubation avec une densité optique de 0,382. Elle a brutalement chuté à J5 (45×10^6 UFC/mL) et a modérément poursuivi sa baisse pour devenir presque nulle à J30 (4×10^6 UFC/mL) comme l'indique la figure 24 a'.

III. 1. 5. 3 Performance de *Pseudomonas fluorescens*

En présence de cette bactérie, une réduction du Métalaxyl-M a été observée à partir du 2^{ème} jour d'incubation. La concentration de ce substrat a été de 0,25 mg/L au 5^{ème} jour et de 0,2 mg/L dès le 10^{ème} jour d'incubation (figure 24 b).

La croissance de *Pseudomonas fluorescens* a été plus forte au 5^{ème} jour d'incubation (150×10^6 UFC/mL) avec une densité optique de 0,382 ; elle a baissé au 10^{ème} jour (20×10^6 UFC/mL) pour presque s'annuler au 30^{ème} jour (2×10^6 UFC/mL) ainsi que le montre la figure 24 b'.

III. 1. 5. 4 *Chromobacterium violaceum*

En présence de cette espèce bactérienne, une réduction du Métalaxyl-M a été notée à partir du 2^{ème} jour d'incubation. La concentration de ce polluant a été égale à 0,25 mg/L dès le 5^{ème} jour (figure 24 c).

La croissance de *Chromobacterium violaceum* a été plus forte à partir du 2^{ème} jour d'incubation (140×10^6 UFC/mL) avec une densité optique de 0,385 ; elle a ensuite baissé et atteint 11×10^6 UFC/mL au 10^{ème} jour, pour presque s'annuler au 30^{ème} jour ($0,4 \times 10^6$ UFC/mL) comme le montre la figure 24 c'.

III. 1. 5. 5 Performance de *Chryseobacterium indologenes*

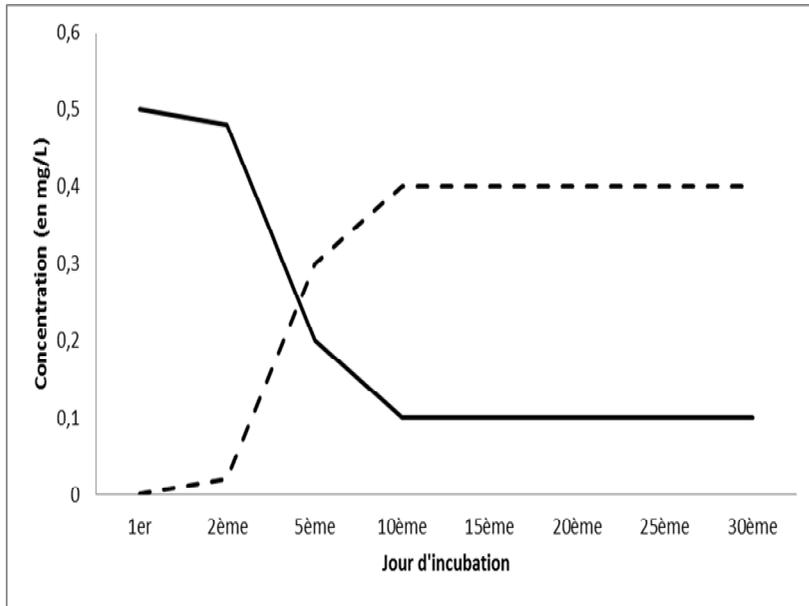
Au contact de ce microbe, une réduction du Métalaxyl-M a été relevée à partir du 2^{ème} jour d'incubation. La concentration de ce produit a été égale à 0,2 mg/L dès le 5^{ème} jour (figure 24 d).

La croissance de *Chryseobacterium indologenes* a été plus forte au 2^{ème} jour d'incubation (140×10^6 UFC/mL) avec une densité optique de 0,404 ; elle a ensuite diminué dès le 5^{ème} jour (32×10^6 UFC/mL) pour presque s'annuler au 30^{ème} jour ($0,4 \times 10^6$ UFC/mL) comme l'indique la figure 24 d'.

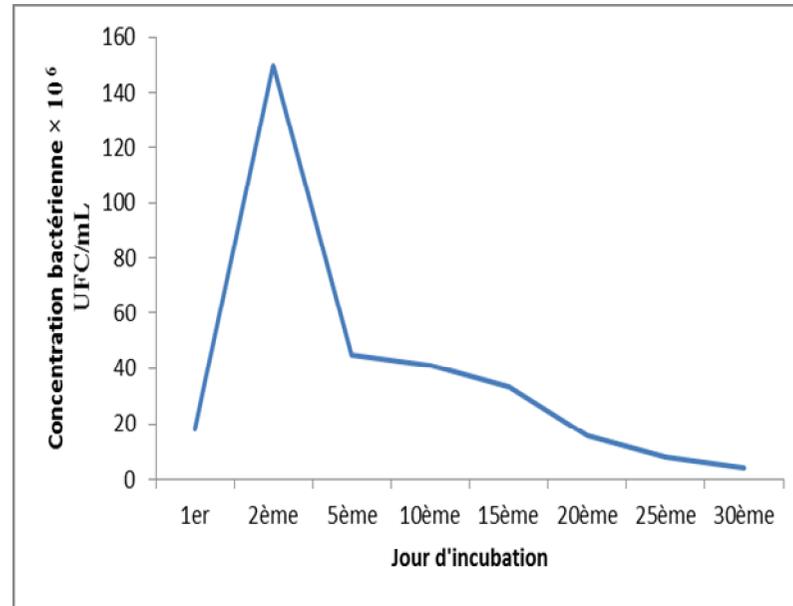
III. 1. 5. 6 Performance du consortium bactérien

Une réduction du Métalaxyl-M a été observée à partir du 2^{ème} jour d'incubation. La concentration de ce substrat a été estimée à 0,1 mg/L au 5^{ème} jour et de 0,05 mg/L au 10^{ème} jour d'incubation à partir duquel il n'y avait plus dégradation du polluant (figure 24 e).

La croissance des bactéries du consortium a été plus forte à partir du 2^{ème} jour d'incubation (180×10^6 UFC/mL) avec une densité optique de 0,404 ; elle a fortement chuté au 5^{ème} jour (32×10^6 UFC/mL) pour être presque nulle au 30^{ème} jour ($0,4 \times 10^6$ UFC/mL) comme le montre la figure 24 e'.

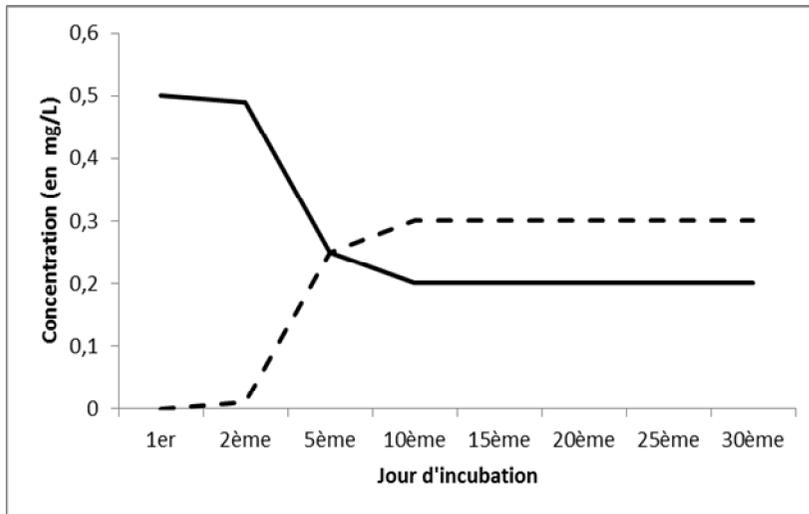


(a)

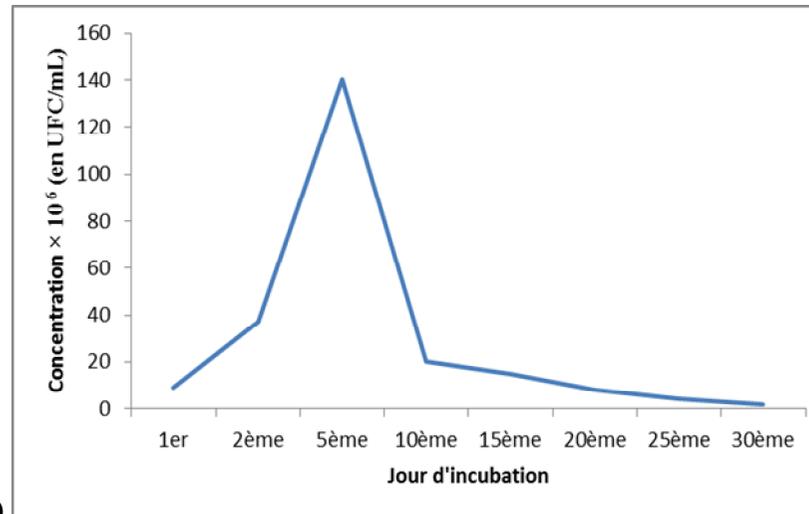


(a')

Bacillus coagulans

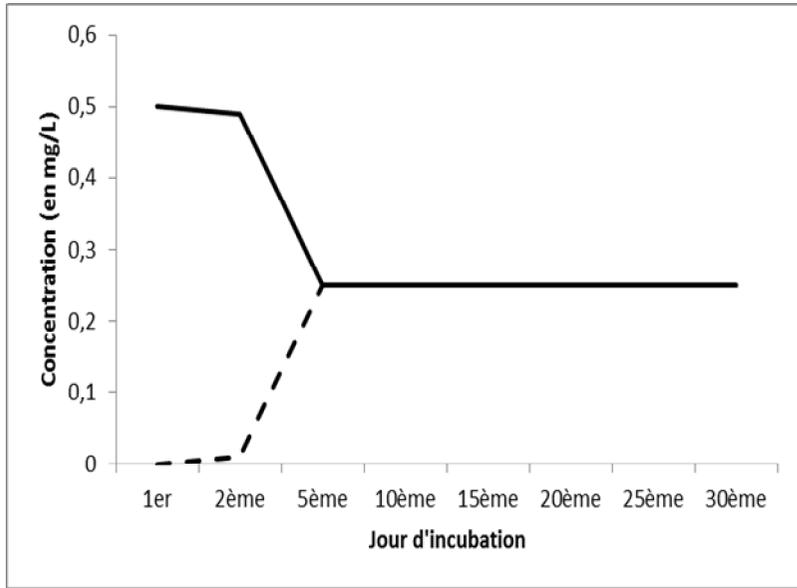


(b)

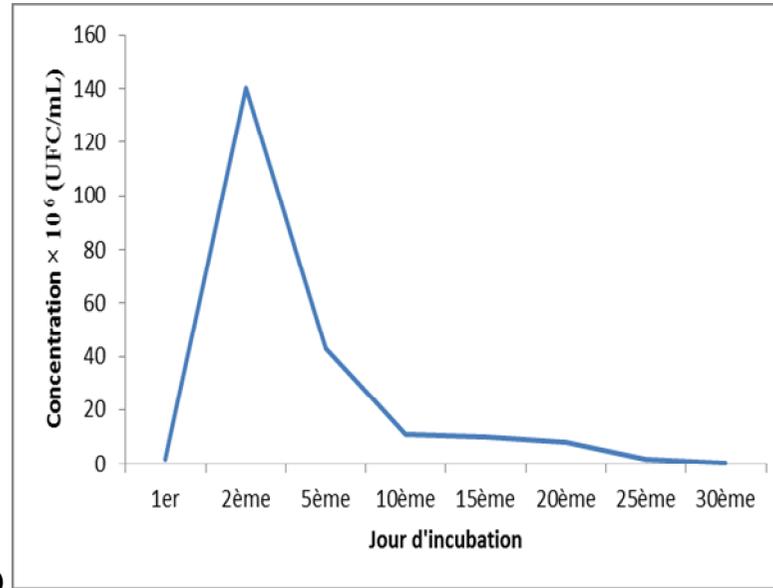


(b')

Pseudomonas fluorescens

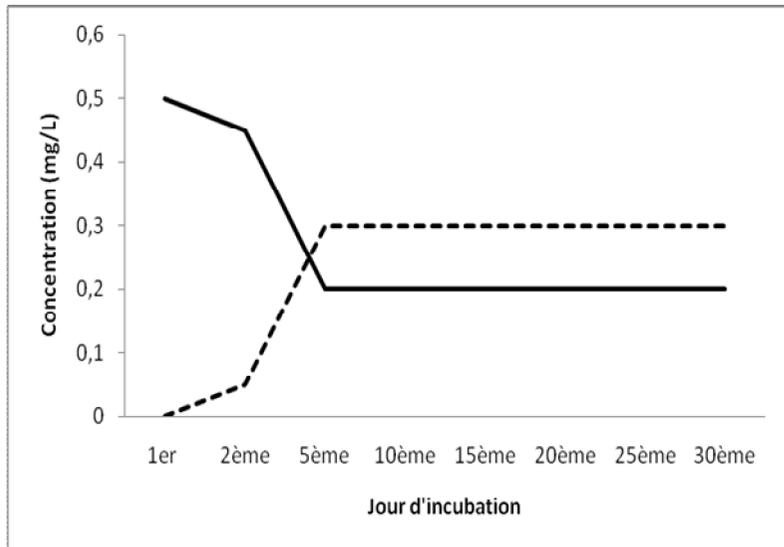


(c)

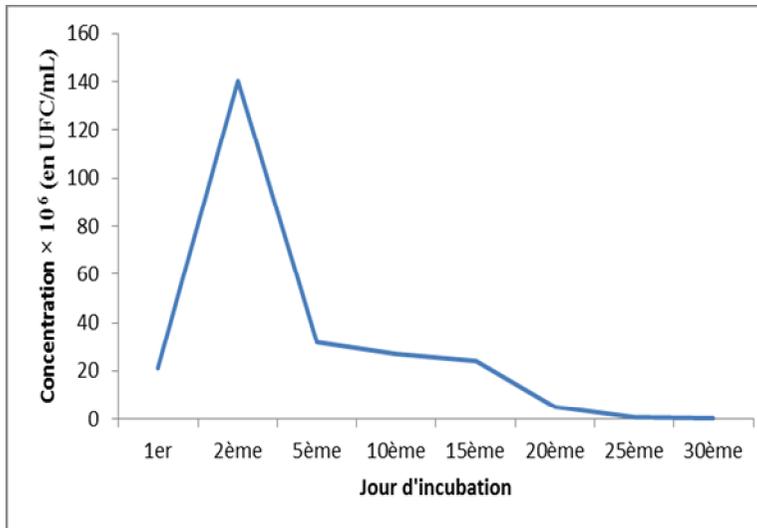


(c')

Chromobacterium violaceum

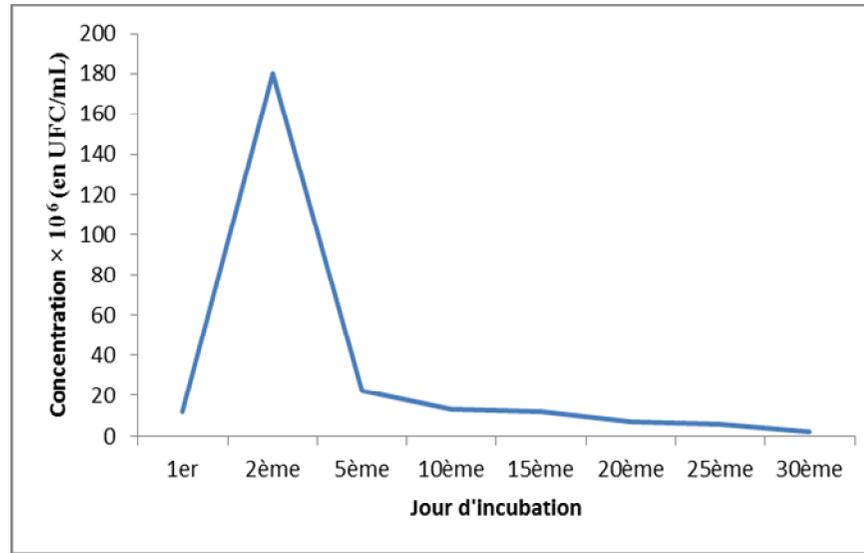
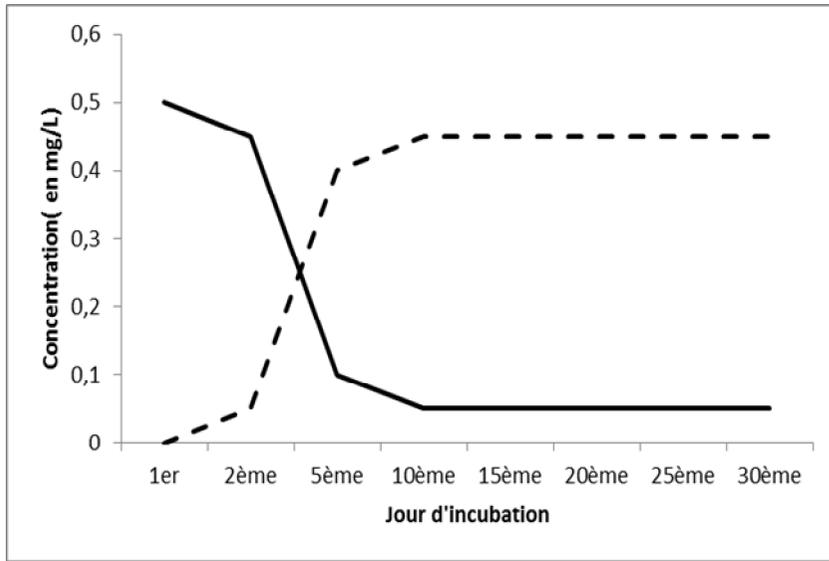


(d)



(d')

Chryseobacterium indologenes



Consortium bactérien

Légende : ----- Métabolite, ——— Métalaxyl-M

Figure 24 : Cinétique de biodégradation du Métalaxyl-M par les bactéries sélectionnées (a, b, c, d, e) et évolution de la concentration bactérienne en fonction du nombre de jour d'incubation (a', b', c', d', e').

III. 2 Discussion

Caractères physico-chimiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Pour les paramètres tels que la conductivité électrique, les solides totaux et l'oxygène dissous, le pH et les nitrates, les eaux des fleuves Nyong et Wouri ont respecté les normes nationale et internationale alors qu'elles ont eu des valeurs largement supérieures à celles-ci pour la couleur, les matières en suspension et les orthophosphates. La forte coloration de ces eaux serait liée à la nature des terrains traversés (Rodier *et al.*, 2009). Dans le cas particulier du Nyong, la présence dans les sols irrigués des matériaux argileux (géothite, kaolinite) associés aux oxydes de fer jouerait un rôle important dans la coloration noire de ses eaux (Braun *et al.*, 1998 ; Nkoue Ndongo, 2008). La forte teneur en matières en suspension et orthophosphates s'expliquerait par le fait qu'en Afrique subsaharienne, 95% des eaux usées domestiques sont rejetées dans la nature, du fait de l'absence de systèmes de leur collecte et du manque de stations de traitement (Adjagodo *et al.*, 2016). La température de ces eaux a respecté la normale nationale mais excédé la norme internationale. D'après, Ngonde Elon et Champenois (2011), une norme environnementale dépend généralement de la situation géographique et du climat.

La comparaison de la physico-chimie des eaux des fleuves Nyong et Wouri a révélé que celles du Wouri ont été plus chaudes que celles du Nyong. En effet, la température d'un cours d'eau est fonction des saisons ; elle est influencée par la température atmosphérique (Rodier *et al.*, 2009). Ainsi, la température atmosphérique moyenne annuelle élevée à Douala (29°C) comparée à Mbalmayo (25°C) comme le rapportent Olivry (1986) et Tsalefac (2006) pourrait justifier les fortes valeurs de température enregistrées dans les eaux du Wouri. En outre, la présence des industries aux berges du Wouri favoriserait cet état de choses. En effet, en circuit ouvert, les eaux de refroidissement issues des procédés industriels et déversées dans le cours d'eau présentent généralement des températures plus élevées que celles du milieu récepteur (Suez, 2020). Amde Eshete Gebre *et al.* (2016) ajoutent que 70% des déchets industriels des pays en développement sont rejetés dans les écosystèmes aquatiques sans traitement préalable.

Les eaux du Nyong ont été acides tandis que celles du Wouri étaient neutres. Le pH d'une eau naturelle, tout comme sa couleur, est lié à la nature des terrains traversés (Rodier *et al.*, 2009). Ainsi, l'acidité de l'eau du Nyong trouve son origine des sols ferrallitiques de son bassin versant ; ce sont des sols acides et riches en matière organique (Ramade, 2005). Par

contre la neutralité des eaux du Wouri se justifie par la faible teneur en calcaire des sols hydromorphes et peu évolués qu'il traverse (Olivry, 1986 ; Ramade, 2005).

Les eaux du Wouri ont présenté une conductivité électrique et des teneurs en solides totaux dissous trois fois supérieures à celles du Nyong. Ces paramètres sont étroitement liés à la température de l'eau ; d'après Rodier *et al.* (2009), plus une eau est chaude, plus elle sera minéralisée. De plus, la proximité du Wouri à l'Océan Atlantique renforcerait cette minéralisation (Olivry, 1986).

Les eaux des deux fleuves ont été bien oxygénées. D'après IBGE (2005), la concentration en oxygène dissous dans l'eau varie de manière journalière, et saisonnière et dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, la superficie de la surface de l'eau, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. La largeur du Wouri (1830 m environ) offre une importante interface d'échange entre l'eau et l'atmosphère. Aussi, les mouvements de marées (basse et haute) observés au niveau ce fleuve favoriseraient une bonne oxygénation des eaux (<https://mareespeche.com>cameroon>, 2020). Le Nyong, quant à lui, a une faible vitesse d'écoulement des eaux soit un débit de 134 m³/s à Mbalmayo (Nkoue Ndong, 2008) qui ne permet pas une bonne agitation des eaux. Toutefois, cette faible vitesse est favorable à une forte activité photosynthétique des algues et autres plantes aquatiques ; cette dernière serait la raison de cette bonne oxygénation (Villeneuve *et al.*, 2006). D'une manière générale, l'oxygène dissous constitue l'un des plus importants paramètres de la qualité des eaux de surface (Rodier *et al.*, 2009). En effet, plus la concentration en oxygène dissous est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande (IBGE, 2005).

Les matières en suspension (MES) ont été plus abondantes dans le Wouri que dans le Nyong. Elles comprennent toutes les matières minérales et organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau (IBGE, 2005). Elles sont, comme le pH et la couleur, fonction de la nature des terrains traversés mais aussi de la pluviométrie. Plus la pluviométrie est élevée, plus le seront les MES (Rodier *et al.*, 2009). A Douala, la pluviométrie annuelle est comprise entre 4000 et 5500 mm contre 1500 et 2000 mm à Mbalmayo (Olivry, 1986). Sur un autre plan, les faibles concentrations en MES dans le Nyong pourraient se justifier par le fait que le couvert forestier relativement préservé des régions drainées par ce fleuve et l'extension de la zone marécageuse entre Abong-Mbang et Mbalmayo limitent le transport de matières qu'elles soient solides ou dissoutes vers le fleuve (Braun *et al.*, 1998).

Le Nyong a eu des valeurs relativement plus élevées en nitrates et orthophosphates que le Wouri. Ceci trouve une justification par la forte activité agricole, notamment l'agriculture maraîchère observée aux berges du Nyong. En effet, dans une étude socio-économique menée sur le fleuve Nyong à Mbalmayo par Nougou Bissoué *et al.* en 2017, 43% de la population effectuaient de l'agriculture maraîchère sur les rives du fleuve. Cette activité entraîne une contamination des eaux par les engrais.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sur la qualité physico-chimique des eaux du Nyong se rapprochent de ceux obtenus par Ajeegah *et al.* (2017), qui ont travaillé sur le Nyong en aval de notre site d'étude. Pour le fleuve Wouri, les caractéristiques physico-chimiques se rapprochent de celles obtenues par Mbida Mbida *et al.* (2018), qui ont analysé les eaux du Wouri dans le cadre d'une étude de la répartition de sa faune culcicienne.

La comparaison de la qualité physico-chimique des eaux entre la rive et le lit mineur a révélé que, pour le Nyong, les valeurs de la température, des MES, de la couleur, de l'oxygène dissous et des orthophosphates, n'ont pas varié significativement. En revanche, celles du pH, de la conductivité électrique et des solides totaux dissous ont été plus élevées au niveau de la rive. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les eaux de rive sont généralement utilisées par les riverains pour diverses activités (lessive, vaisselle). Au cours de ces activités anthropiques, les détergents et autres débris alimentaires sont souvent rejetés dans le fleuve, conduisant à une forte activité microbienne et par conséquent à une minéralisation de l'eau (Amblard *et al.*, 1998). Concernant les nitrates, leur teneur a été plus élevée au niveau du lit. Les nitrates proviennent principalement du lessivage des terres agricoles fertilisées (Mohamed Ould Sid', 2004). En plus des nitrates issus des champs cultivés sur les berges, ces ions proviendraient de l'amont des cours d'eau où se trouvent de grands bassins agricoles.

Pour le Wouri, les valeurs obtenues pour les MES, le pH et les orthophosphates n'ont montré aucune différence entre la rive et le lit mineur ; par contre les eaux de rive ont été plus colorées probablement à cause du rejet des eaux industrielles et domestiques. Les eaux du lit mineur ont été plus chaudes, minéralisées, oxygénées et riches en nitrates ; la largeur du fleuve, l'important degré d'agitation de la surface de l'eau et le mouvement des marées pourraient en être les raisons. L'origine de la pollution par les nitrates serait, comme dans le cas du Nyong, issue des grands bassins agricoles situés en amont du cours d'eau.

La comparaison de la qualité physico-chimique des eaux entre les stations d'échantillonnage a montré que, pour le Nyong, la station N3 a présenté des valeurs les plus élevées pour la plupart des paramètres tandis que la station N5 a eu les valeurs les plus basses. La présence d'une forte activité anthropique à N3 (présence de marché, centre-ville,

habitations, hôpitaux) contrairement à N5 (zone rurale) pourrait expliquer cette différence. De plus, le faible peuplement du village à N5 soit une densité de 5 habitants/km² environ (BUCREP, 2010) aide à la conservation de l'état du fleuve.

Pour le Wouri, les différentes stations d'échantillonnage ont pratiquement présenté les mêmes caractéristiques physico-chimiques. L'action des marées permettant le mélange régulier des eaux pourrait en être la raison. En effet, le Wouri est touché par les marées jusqu'à 45 km en amont de Douala (Hughes et Hughes, 1992). Toutefois, pour certains paramètres tels que la conductivité électrique et les solides totaux dissous, des facteurs intrinsèques aux stations (proximité à la mer, présence de la zone industrielle et portuaire, présence de mangroves...) ont rendu quelques différences statistiquement significatives. En effet, la conductivité électrique a été plus élevée à W5 (126,5 µS/cm en moyenne) qu'à W1 (75,8 µS/cm en moyenne) sans doute du fait que W5 se trouve à l'estuaire du fleuve et est plus proche de la mer ; ses eaux sont ainsi saumâtres (Olivry, 1986).

La grande saison de pluies et la petite saison sèche pour le Nyong et la saison des pluies pour le Wouri ont influencé la qualité physico-chimique des eaux. En effet, les valeurs des différents paramètres ont été les plus élevées au cours de ces saisons. Le transport des eaux de ruissellement (urbaines, hospitalières) et la forte fréquentation des fleuves en seraient les principales raisons.

Caractères toxicologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Les eaux des deux fleuves étudiés ont rendu des teneurs en Métalaxyl-M largement supérieures aux normes. En effet, ce pesticide est utilisé, aussi bien en cacaoculture qu'en culture maraîchère par 71,4% des agriculteurs camerounais (Mahob, 2013). La concentration en Métalaxyl-M dans les eaux du Wouri a été 3 fois supérieure à celle du Nyong. En effet, l'utilisation de ce biocide est intensive dans les zones à forte pluviométrie du Littoral et du Sud-ouest, deux régions qui représentent environ la moitié de la production nationale du cacao (FAO, 2018). Aussi, il existe des grands bassins de production de cacao situés en amont de notre zone d'étude, notamment dans la ville de Yabassi (Mahob *et al.*, 2014). La présence des teneurs élevées de ce pesticide dans le Nyong procéderait de la pratique de la cacaoculture dans ce bassin versant, notamment à Atok dans le Département du Haut-Nyong dans la Région de l'Est et à Akonolinga dans le Département du Nyong-et-Mfoumou dans la Région du Centre (Mahob *et al.*, 2014 ; MINADER, 2016).

En moyenne les concentrations des métaux lourds (Pb²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺) dans les eaux du Nyong ont été plus faibles que les valeurs seuils à ne pas dépasser d'après la norme

nationale, mais ont excédé les seuils de la norme internationale. La prolifération des PME (garages, laveries, scieries) dans la ville de Mbalmayo et leurs rejets dans les eaux du Nyong entraînent des pollutions diffuses en métaux lourds. Aussi, l'extraction du sable du lit du fleuve, bien qu'étant une activité généralement artisanale, et génératrice de revenus, ne serait pas sans conséquence sur l'environnement (NHPC, 2017). Quant aux eaux du Wouri, hormis le Nickel dont la concentration est restée en moyenne plus basse que les valeurs seuils des deux normes, les teneurs en Plomb, Cuivre et Cadmium ont été largement supérieures aux valeurs normales. En effet, les eaux du Wouri concentrent divers polluants dont les sources de contamination sont la galvanoplastie, la raffinerie de pétrole industries, les déchets organiques, les industries de transformation et la production d'énergie (Sama, 1996).

La comparaison de la qualité toxicologique des eaux des deux fleuves a révélé que les concentrations moyennes sont de 24, 10, 186 et 26 fois supérieures dans le Wouri respectivement pour le Plomb, le Cuivre, le Nickel et le Cadmium. En effet, environ 95% des industries du Cameroun sont basées dans ou autour de Douala. Leurs déchets liquides sont rejetés dans l'estuaire avec peu ou pas de traitement. Des charges élevées en métaux lourds (Plomb et Cadmium) dans les eaux sont un sujet de préoccupation (Mundes, 2011).

Caractères bactériologiques des eaux des fleuves Nyong et Wouri

Des bactéries isolées des fleuves Nyong et Wouri, la famille des Enterobacteriaceae a été la plus diversifiée. Les espèces de cette famille étant généralement allochtones aux fleuves. Elles avaient pour la plupart une origine fécale car elles sont commensales du tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud (Servais *et al.*, 2007a).

L'étude de la richesse spécifique a révélé que cette dernière était plus élevée pour les genres *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Aeromonas* et *Pseudomonas*, au Nyong, et *Vibrio* au Wouri. Il est connu que les genres *Pseudomonas* et *Bacillus* sont largement répandus dans le sol et l'eau (Aysel *et al.*, 2012) et jouent un rôle majeur dans la biodégradation, la remédiation et la restauration des sites pollués (Samina *et al.*, 2013). Les bactéries du genre *Vibrio* sont halophiles et peuvent coloniser des environnements hydriques fortement concentrés en sels (Aysel *et al.*, 2012). Toutefois, quelques unes de ces bactéries peuvent être des pathogènes opportunistes pour l'homme (Servais *et al.*, 2007b). Plusieurs auteurs ont démontré que les bactéries autochtones les plus fréquemment isolées des cours d'eau appartiennent aux genres *Aeromonas*, *Bacillus* et *Pseudomonas* (Tiago, 2004 ; Tiquia *et al.*, 2008). Grâce à diverses enzymes, ces bactéries dégradent les polluants par oxydation respiratoire. La plupart utilisent

les matières organiques comme source de Carbone et d'énergie (Allen *et al.*, 2004 ; Pelmont, 2005).

Hormis la famille bactérienne suscitée, nous avons également recensé des espèces appartenant aux familles des Bacillaceae, Listeriaceae, Staphylococcaceae, Micrococcaceae, Sphingobacteriaceae, Alcaligenaceae pour ne citer que celles-là. Elles font ainsi partie des microorganismes de nos environnements aquatiques.

Le plus grand nombre d'espèces bactériennes a été recensé des eaux des stations N3 (marché dit japon) et W4 (zone industrielle de Bonabéri). Pour expliquer ce résultat, il est important de remarquer que ces deux stations sont des lieux d'une intense activité anthropique (centre urbain pour l'un et zone industrielle et portuaire pour l'autre). En effet, le rejet des eaux usées d'origines diverses (domestiques et industrielles) a été observé en ces lieux ; tous ces éléments ne peuvent que favoriser une croissance de plusieurs taxa bactériens. Des auteurs tels que Nola *et al.* (2002), Servais *et al.* (2007b), Hamid Boub Saab *et al.* (2007) et Ceseau (2018) soulignent d'ailleurs que les sources de bactéries dans les eaux sont : les eaux usées, les eaux de ruissellement et les activités anthropiques. La richesse spécifique bactérienne minimale des eaux de N5 (Ekoudendi) et W1 (Jébalé) serait liée à leur éloignement du centre urbain. En effet, il s'agit des zones rurales où la densité de la population est très faible (environ 5 habitants/km² et 17 habitants/km² respectivement).

La présence d'*Escherichia coli* à toutes les stations du Wouri et aux stations N1 (Akomnyada) et N4 (Nsen Nlong) indique une pollution d'origine fécale (Lyautey *et al.*, 2010). En effet au Cameroun, la proportion de la population qui défèque à l'air libre est de 7% et concerne la zone rurale (MINEE/UNICEF, 2017). Toutefois, il a été relevé que l'origine de la contamination fécale des eaux du Nyong et du Wouri était principalement animale ; ceci pourrait s'expliquer par la présence du bétail qui a libre accès au cours d'eau et par la présence d'un abattoir municipal dont les eaux usées sont directement déversées dans le fleuve, pour le cas du Nyong. Ce résultat se rapproche de celui rapporté par LARIF *et al.* (2013) au Maroc où la contamination des cours d'eau était majoritairement d'origine animale. Néanmoins, selon Rodier *et al.* (2009), ce type de pollution des eaux ne procède pas exclusivement des activités humaines ou animales. En effet, les paramètres physico-chimiques tels que la température et le pH contribuent au métabolisme microbien et donc à la multiplication de ces organismes (Chigbu *et al.*, 2004).

La comparaison de nos résultats à la Directive du Conseil des Communautés Européennes pour les eaux de baignade relève que les eaux de nos fleuves sont en général de mauvaise qualité pour la baignade et peuvent présenter un risque sanitaire pour les riverains.

En effet, les SF atteignent des valeurs 10 fois (cas de Nyong) et 15 fois (cas du Wouri) supérieures aux normes guides de cette Directive. Il est à noter qu'en Afrique subsaharienne, moins de 3% des ménages évacuent correctement leurs eaux usées domestiques (Adjagodo *et al.*, 2016) ce qui pourrait accroître la vulnérabilité à la pollution de ces fleuves. D'après Servais *et al.* (2007b), plusieurs études ont montré que l'abondance des streptocoques fécaux était mieux corrélée à l'apparition des maladies chez les baigneurs fréquentant des eaux contaminées que l'abondance des CT ou des CF. De plus, les SF survivent plus longtemps en milieu naturel que les CT et les CF. A cet effet, ils permettent d'identifier une contamination fécale ancienne.

En comparant nos résultats à ceux d'autres auteurs, il apparaît que les abondances des germes trouvés dans le Nyong et le Wouri sont restées largement en deçà des valeurs rapportées par El Ouali Lalami *et al.* (2011), pour les cours d'eau de Fès (Maroc), qui ont trouvé des valeurs de 6×10^5 pour CT, $2,6 \times 10^4$ pour CF et $1,2 \times 10^4$ UFC/100ml pour SF.

L'évaluation du niveau de contamination fécale par les différents groupes bactériens à chaque station a révélé que N3 et W4 étaient les plus contaminées, tandis que N5 et W1 l'étaient moins. En effet, la présence du marché Japon, le déversement des eaux usées urbaines et hospitalières en N3 justifieraient la plus forte contamination fécale des eaux du Nyong en cette station. Le Nyong traverse la réserve forestière de Mbalmayo avant d'atteindre N5 (Ekoudendi), station la moins polluée. Cette aire protégée jouerait un rôle d'épurateur (Piegay *et al.*, 2003). Aussi, la présence de la laitue d'eau ou *Pistia stratiotes* dans les eaux du Nyong (Ajeegah *et al.*, 2017 ; Nougou Bisoué *et al.*, 2017) pourrait être responsable de la diminution de la charge des contaminants fécaux (Mahamane *et al.*, 2009). Les eaux de la So'o, qui se jettent dans le Nyong en amont de N5, peuvent aussi avoir dilué les concentrations des contaminants de ce fleuve. Cet affluent qui a un débit de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, est responsable de 20% des apports en eau du fleuve Nyong (Nkoué Ndong, 2008). De plus, la forte vitesse d'écoulement remarquable à N5 avec un débit de $203 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $134 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les autres stations (Nkoué Ndong, 2008) favoriserait aussi la diminution de la charge bactérienne. Dans cet ordre d'idées, Hamid Bou Saab *et al.* (2007) ont noté une baisse de la contamination bactérienne de l'eau de la rivière Nahr Ibrahim (Liban) en aval des points de confluence de ce fleuve et ses affluents.

La situation géographique de W4 au niveau de la zone industrielle de Douala a probablement avantagé sa plus forte contamination. Cette pollution est accentuée par la présence, en amont de cette station, du marché de Bonassama, des habitations et des latrines. De plus, les activités portuaires, industrielles et le rejet des effluents urbains dans les eaux en

cette station seraient à l'origine de la forte contamination bactérienne de ses eaux. Le faible niveau de pollution fécale enregistré à W1 peut s'expliquer par la faible densité de peuplement de la presqu'île de Jébalé (environ 17 habitants/km²) et par son éloignement (environ 7 km) en amont de Douala.

D'une manière générale, pendant les périodes d'étiage que les concentrations de la plupart des groupes bactériens ont augmenté pour le fleuve Nyong. C'est aussi pendant ces périodes que les riverains fréquentent plus le cours d'eau pour la baignade, la lessive, la vaisselle, etc. Ces activités anthropiques favorisent une forte contamination des eaux comparée à la période des crues. Récemment, Larif *et al.* (2013) ont aussi montré que dans l'oued Boufekrane (Maroc), les plus fortes concentrations en bactéries indicatrices de contamination fécale sont relevées en période d'étiage, arguant que l'augmentation de la température pendant cette période pourrait stimuler la multiplication des bactéries. En plus de ce paramètre, nous suggérons que la faible vitesse d'écoulement des eaux du Nyong à Mbalmayo, soit 134 m³/s (Nkoue Ndong, 2008) maintient aussi les bactéries dans la colonne d'eau. Pour le Wouri, la présence des latrines construites sur ses berges et le fort ruissellement des effluents urbains justifieraient les fortes concentrations de la plupart des groupes bactériens identifiés pendant la saison des pluies. En effet, Weiwei Zhang *et al.* (2013) soulignent que les pluies sont responsables d'un apport exogène de contaminants dans les eaux de surface. De plus, les eaux du Wouri ayant une dureté élevée du fait de la proximité de l'Océan Atlantique (Olivry, 1986) ne sont surtout utilisées par les riverains qu'en période des crues. Leur faible contamination bactérienne notée en saison sèche pourrait aussi être liée à l'effet des radiations ultraviolettes (Créteur, 1998), c'est-à-dire à l'ensoleillement particulièrement important (193 h/mois à Douala pendant les périodes les plus chaudes de décembre et janvier) comparé à la région du Centre soit 172 h/mois à Yaoundé pendant les mêmes mois (<http://www.meteofrance.com>, 2016). Ces rayonnements ont en général un pouvoir germicide (Créteur, 1998).

Impact potentiel sur la santé des riverains de la qualité de l'eau

Mis à part les associations de deux ou plusieurs maladies, la prédominance des gastroentérites dans nos résultats conforte l'idée de Prüss (1998), que ces affections sont les plus enregistrées chez les baigneurs car leurs agents étiologiques sont les plus présents dans les eaux contaminées par les matières fécales. De plus, Fleisher *et al.* (1998) et l'OMS (2003) précisent que la probabilité pour les baigneurs de contracter une infection respiratoire, cas souvent graves, est beaucoup plus faible que celle d'avoir une gastroentérite.

Sur la base de leurs teneurs en SF, les eaux de la station W1 ont été classées dans la catégorie C de l’OMS (2003). On s’attendrait donc que les taux de risque lié tant aux infections respiratoires qu’aux gastroentérites soient plus faibles en ce lieu comparés à ceux des stations W2 à W5. Ce n’est malheureusement pas le cas. On peut donc penser comme APHA (2005) et Lawrence *et al.* (2009) que le faible ensoleillement (dû à la mangrove qui crée un bon ombrage) et les matières organiques ont favorisé plus la multiplication des germes en W1. Ces résultats sont confortés par l’inspection sanitaire et la classification des eaux des fleuves Nyong et Wouri suivant les normes OMS relatives aux eaux récréatives, qui ont révélé que la baignade reste une activité à risque dans ces fleuves, exceptées quelques stations qui sont moins polluées par les matières fécales.

Biodégradation aérobie du Métalaxyl-M

Des bactéries isolées de l'environnement naturel ont été étudiées *in vitro* afin d’évaluer leurs potentialités à métaboliser le Métalaxyl-M. Ce pesticide impacte les écosystèmes aquatiques et pose des problèmes écotoxicologiques pour la santé humaine. Des travaux de terrain ont notamment révélé que le Métalaxyl-M, fongicide sélectif des cacaoyères, contamine annuellement les cours d’eau avoisinant les terres agricoles durant trois à quatre mois post traitement (Monkiedje et Spiteller, 2005 ; FAO, 2018). Nos résultats ont montré que les espèces bactériennes *Bacillus coagulans* pour le Nyong, et *Chryseobacterium indologenes*, *Pseudomonas fluorescens* et *Chromobacterium violaceum* pour le Wouri, dégradent le Métalaxyl-M. Le consortium bactérien, composé de *Chryseobacterium indologenes*, *Pseudomonas fluorescens* et *Chromobacterium violaceum*, a présenté des meilleurs résultats. En effet, les avantages de l’utilisation des cultures mixtes au détriment des cultures pures, c’est-à-dire monospécifiques, dans la biodégradation des substrats ont été largement démontrés et découlent des effets synergiques des interactions entre les microorganismes (Mukred *et al.*, 2008, Lémé *et al.*, 2016 ; Ntsama *et al.*, 2017). Des auteurs ont montré que la présence de polluants dans un cours d’eau conduit à une sélection naturelle des espèces bactériennes capables de les dégrader (De Liphtay *et al.*, 2004 ; Pelmont, 2005 ; Lucas Françoise, 2011). L’étude du devenir des composés xénobiotiques dans les eaux et l’identification des bactéries capables de les dégrader est d’un grand intérêt. En effet, ces bactéries pourraient être intégrées dans des procédés de traitement des effluents industriels et agricoles avant leur rejet dans la nature (Sayada Ali *et al.*, 2011).

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET
PERSPECTIVES**

CONCLUSION

La présente étude, dont les prélèvements des eaux ont été effectués entre de décembre 2011 à novembre 2012, a montré que sur le plan physico-chimique les eaux des fleuves Nyong et Wouri étaient bien oxygénées par l'action combinée des activités des organismes photosynthétiques, des mouvements des marées (pour le Wouri) et de la température. Les concentrations élevées de ces eaux en nitrates semblent liées à la présence d'une forte activité agricole. S'agissant de la toxicologie, les concentrations en métaux lourds des eaux du Nyong ont été inférieures aux valeurs seuils admises, alors que celles du Wouri, ont excepté le Nickel, été supérieures aux valeurs normales. Aussi, les teneurs en Métalaxyl-M des eaux de ces fleuves ont été supérieures aux normes. Dans l'ensemble, les eaux du Wouri ont été plus polluées que celles du Nyong. Sur le plan bactériologique, les Gammaprotéobactéries et plus particulièrement les bactéries de la famille des Enterobacteriaceae ont majoritairement été isolées des eaux du Nyong et du Wouri. Les espèces *Aeromonas hydrophila*, *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus coagulans*, *Flavobacterium breve*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus bovis*, *Plesiomonas shigelloides*, *Chromobacterium violaceum*, *Pantoea agglomerans*, *Enterococcus faecalis* et *Enterobacter cloacae* pour le Nyong, et *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter sakazakii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptococcus faecium*, *Streptococcus bovis*, *Vibrio alginolyticus*, *Chryseobacterium indologenes*, *Micrococcus candidus*, *Chromobacterium violaceum*, *Escherichia coli* et *Enterococcus faecalis* pour le Wouri, ont rendu les concentrations les plus élevées.

Les eaux du Nyong et du Wouri ont appartenu aux classes C et D, elles auraient donc un impact sur la santé des populations riveraines. Les gastroentérites (fébriles ou non) seules ou en association avec d'autres pathologies et les infections respiratoires ont été les plaintes les plus enregistrées chez les enquêtés.

Des bactéries isolées des eaux de ces fleuves se sont révélées compétentes à dégrader le Métalaxyl-M. il s'est agi de *Bacillus coagulans*, *Chryseobacterium indologenes*, *Pseudomonas fluorescens* et *Chromobacterium violaceum* agissant de façon isolée et de *Chryseobacterium indologenes*, *Pseudomonas fluorescens* et *Chromobacterium violaceum* en consortium. La dégradation complète était obtenue en 10 jours.

Cette étude a établi la nécessité sur le plan sanitaire de manipuler avec prudence les eaux du Nyong et celles du Wouri, ainsi que et la possibilité d'utiliser des bactéries dans la résolution de l'épineux problème que représente la pollution des eaux de surface.

RECOMMANDATIONS

Aux populations riveraines :

- de se doter de latrines aménagées ;
- de construire des enclos pour leurs animaux d'élevage (bovins, ovins) ;
- d'éviter de déposer des ordures ménagères sur les rives des cours d'eau ;
- d'utiliser des puisards pour les eaux usées domestiques.

Aux pouvoirs publics:

- de sensibiliser les populations sur les risques de pollution des cours d'eau et l'impact sur leur santé ;
- d'établir un système de surveillance, d'information et de contrôle de la qualité des eaux de surface du Cameroun ;
- de produire périodiquement une classification des eaux de surface du Cameroun en fonction des normes nationale et internationale ;
- d'exiger de toute entreprise l'installation d'un système de traitement des eaux usées.

PERSPECTIVES

Nous envisageons dans un futur proche:

- de caractériser du point de vue moléculaire les bactéries compétentes à dégrader le Métalaxyl-M ;
- élucider les mécanismes mis en œuvre pour la biodégradation ;
- d'élaborer un modèle de biodépollution de l'environnement aquatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelkarim A., Mahamat S. H., Ketchemen B. T., Yetoh W. F., Sanoussi R., Ismaghil B., Madubuko C. M., Adedeji A., Foto E., Backo S. et Huneau F. 2017.** *Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du Sahel : le bassin du lac Tchad.* Rapport sur le projet régional de coopération technique RAF/7/011. 50 p.
- ABN. 2008.** Autorité du Bassin du Niger, *étude pour la mise en place d'un réseau recherche et de développement à l'échelle du bassin du Niger.* Programme de lutte contre l'ensablement / bassin du Niger (PLCE / BN), Rapport final, 109 p.
- Achoundong. 2006.** *Le Cameroun. Végétation.* In *Atlas du Cameroun*, Collection Atlas de l'Afrique, Ben Yamed D., Houstin N., Seignobos C. (eds). Les Editions J.A. Paris, France, 64-65p.
- Adjagodo A., Agassounon M., Kelome N. et Lawani R. 2016.** Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **10(3)**: 1459-1472.
- Ajeegah Aghaindum G., Yogback G. E., Foto Menbonhan S., Tchakonté S. et Djiéto-Lordon C., 2017.** Facteurs environnementaux et répartition spatiale des crustacés dans un cours d'eau peu anthropisé à Makak (Région du Centre Cameroun). *Physio-géo* **11(11)**: 181-196. DOI: [104000/physio-geo.5487](https://doi.org/10.4000/physio-geo.5487).
- Alexander M. 1981.** Biodegradation of chemicals of environmental concern. *Science*, **211** : 132- 138.
- Allen M. J., Edberg S. C. and Reasoner D.J. 2004.** Heterotrophic plate count bacteria - what is their significance in drinking water? *International Journal of Food Microbiology*, **92** : 265– 274.
- Amblard C., Boisson J.C., Bourdier G., Fontvieille D., Gayte X. et Sime-Ngando T. 1998.** Ecologie microbienne en milieu aquatique : des virus aux protozoaires. *Revue des sciences de l'eau*, **11** : 145-162. DOI : <https://doi.org/10.7202/705336ar>.
- Amde E. G., Hailu F. D., Mengesha S. T. et Tafa S. M. 2016.** The Pollution Profile of Modjo River Due to Industrial Wastewater Discharge, in Modjo Town, Oromia, Ethiopia. *Journal of Environmental and analytical toxicology*, **6 (3)** :363 – 367. DOI:[10.4172/2161-0525.1000363](https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000363).
- Annadif M. A., Mahamat S. H., Ketchemen T. B., Yetoh F. W., Sanoussi R., Ismaghil B., Madubuko M. C., Adedeji A., Foto E., Backo S. et Huneau F. 2017.** *Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du*

- Sahel : le bassin du lac Tchad*. Rapport sur le projet régional de coopération technique RAF/7/011. 50 p.
- APHA/AWWA/WEF. 2005.** *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21^e édition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.
- ATLAS. 2016.** Disponible sur le site <http://www.atlas-monde.net>
- Aw S. E., N’goran B. Z., Siaka S. et Parinet B. 2011.** Intérêt de l’analyse multidimensionnelle pour l’évaluation de la qualité physico-chimique de l’eau d’un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d’Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* **38**: 2573-2585.
- Aysel U., Özgür C. et Belma A. 2012.** Characterization of *Pseudomonas* spp. from seawater of the southwest coast of Turkey. *Journal of Biology Environment Sciences*, **6**: 15-23.
- Bawa M. L., Djaneye-Boundjou G. et Boukari Y. 2005.** Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d’impact sur l’environnement. *Afr. Sci.*, **02**: 57 – 68.
- Ben Yamed D., Houstin N., Seignobos C. 2006.** *Le continent africain. Géologie*. In *Atlas du Cameroun*, Collection Atlas de l’Afrique. Les Editions J.A Paris, France, 12-13p.
- Bénazeth S., Boniface M., Demarquilly C., Lassene V., Lembani M. et Nicolas I. 2007.** *Biomathématiques : analyse, algèbre, probabilités, statistiques*. Elsevier ed. Masson, Paris, France, 122p.
- Bikié H., Collomb J. G., Djomo L., Minnemeyer S., Ngoufo R. et Nguiffo S. 2000.** *Aperçu de la Situation de l’Exploitation Forestière au Cameroun*. Un rapport de l’Observatoire Mondial des Forêts Cameroun. World Resources Institute.
- Bordet J. 2007.** *L’eau dans son environnement rural : hydraulique et cycle de l’eau, l’alimentation en eau potable, l’assainissement des agglomérations*, Editions Johanet, Paris, 318 p (ISBN 978-2-900086-71-1).
- Borrego A. F. et Romero P. 1982.** *Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral areaII. Relation ship between fecal coliforms and fecal streptococci*. Vie journée étud. Pollutions, Cannes, France 561-569 p.
- Budzinski H., Raymond N., Nadalig T., Gilewiicz M., Carrigues P., Bertrand J. C. et Caumette P. 1998.** Aerobic biodegradation of Alkylated aromatic hydrocarbons by a bacterial community. *Organic Geochemistry*, **28 (5)**: 337-348.
- Carbannelle B., Denis F., Marmonier A., Pinon G. et Vargues R. 1991.** *Bactériologie médicale - techniques usuelles*. SIMEP Ed, Paris, 108-109p.

- Carluer N., Gouy V. et Gril J.J. 1996.** Contamination des eaux par les produits phytosanitaires : apports de la modélisation. *Ingénieries-Eau Agriculture Territoire*, **6** : 3-15.
- Cebron A. 2004.** *Nitrification, Bactéries nitrifiantes et émissions de NO₂, La Seine en aval de Paris*. Thèse de Doctorat, spécialité Écologie microbienne – Sciences de l’eau, Université Paris VI – Pierre et Marie Curie. 289 p.
- CESEAU. 2018.** Centre de l’Expertise au Service de l’Eau Souterraine, préservation de la ressource en eau, éducation à l’environnement. Disponible sur le site <http://www.ceseau.org>
- Connor R., Uhlenbrook S. et Koncagül E. 2019.** *Ne laisser personne pour compte*, Rapport mondial des Nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 12p. Disponible sur le site <http://www.unesco.org/water/wwap>
- Cox J. R. 2005.** *Echantillonnage en vue de l'analyse de résidus de pesticides*. Natural Resources Institute, University of Greenwich at Medway, Royaume-Uni. 23p.
- De Liphay J. R., Kaare J., Hans-Jørgen A., Rosenberg P. et Jens A. 2004.** Bacterial diversity and community structure of a sub-surface aquifer exposed to realistic low herbicide concentrations. *FEMS Microbiology Ecology*, **49**: 59–69.
- Debreuil P., Guiscafre J., Nouvelot J. F. et Olivry J.C. 1975.** *Le bassin de la rivière Sanaga*, Office de la Recherche Scientifique et technique Outre-mer, paris, France, 431p.
- Demba N’diaye A., Ould Sid’ahmed Ould Kankou M., Baidy Lo et Khalid Ibno N. 2011.** Caractérisation de la pollution bactériologique des effluents de la ville de Nouakchott, irrigués dans le périmètre maraîcher de Sebka. *International Journal of Bioliological and Chemical Sciences*, **5(2)**: 748-754. DOI : <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- Denis F., Ploy M.C., Martin C., Bingen E. et Quentin R. 2007.** *Bactériologie médicale-Techniques usuelles*. Édition Elsevier Masson, Paris, France, 500 p.
- FAO. 2005.** Food and Agriculture Organization of the United States , Conservation in situ des ressources génétiques forestières au Cameroun. Disponible sur le site <http://www.fao.org>
- FAO. 2018.** Food and Agriculture Organization of the United States. Département de l’Agriculture et de la Protection des Consommateurs, production et santé animales, consommation de viande. Disponible sur le site <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/fr/meat/background.html>

- Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P. et Tricard D. 2003.** *Qualité de l'eau In : Environnement et santé publique – Fondements et pratiques.* Edition Edisem / Tec & Doc, Acton Vale, Paris, pp 333 – 368.
- Flemming B. W., Delafontaine M. T. et Gerd L. 2000.** *Muddy coast dynamics and resource management*, Elsevier, 225 p. ISBN : 0-444-50464-8.
- Georges I. et Servais P. 2002.** *Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la seine.* Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, France, 46 p.
- Guillaumet J. L., Chevillotte H. et Valton C. 2009.** *Les Forêts Tropicales Humides Africaines*, éditions IRD, Marseille, France 58 p.
- Guiscafre J. et Nouvelot J. F. 1971.** *Les facteurs conditionnels du régime in : Monographie hydrologique de la Sanaga (Cameroun)*, Office de la Recherche Scientifique et technique Outre-mer, paris, 559 p.
- Hamid Bou Saab, Nassif N., El Samrani A. G., Daoud R., Medawar S. et Ouaiïni N. 2007.** Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des Sciences de l'Eau*, **20(4)**: 341-352. DOI : <http://id.erudit.org/iderudit/016909ar>
- Hughes R. H et Hughes J. S. 1992.** A directory of African wetlands, IUCN 146 p (ISBN 2-99032-949-3).
- INERIS. 2011.** Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. *Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE)*. Chochois L. et Migné-fouillen V. Rapport d'étude DRC-11-118981-08866A. 34 p.
- Joffin J. N. et Leyral G. 2005.** *Microbiologie technique, dictionnaire des techniques.* Scérén 3^e édition, 312p.
- Kouam Kenmogne G. R., Mpakam H. G., Ayonghe Ndonwy S., Djomoudou Bopda S. L. et Ekodeck G.E. 2006.** Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique : cas du Cameroun. *Vertigo – la Revue en Sciences de l'Environnement*, **17(2)**: 1 – 9.
- Lallemand B. A. 1993.** *Méthodes de dépollution des sols et des eaux polluées par les métaux.* BRGM, Paris, France. 58 p.
- Laurent F. 2012.** *Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales.* Sciences de l'environnement. Université du Maine. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00773259>

- Lawrence B., Cahoon et Bongkeun S. 2009.** *Microbiological threats to water quality*. In : *Handbook of Water Purity and Quality*. Chap 8. Édition Elsevier, Paris, France, 181-19p.
- Lémé B. L., Ntsama E. C., Dumitra R., Iuliana C., Abologo A. L. et Bilong Bilong C. F. 2016.** Gasoline and diesel aerobic biodegradation investigated by spectral and chemometrics techniques. *Environmental Engineering and Management Journal*, **15** (3): 605-612.
- Letouzey R. 1968.** *Etude Phytogéographique du Cameroun*. Édition Lechevalier, Paris, France 56 p.
- Levêque C. 1996.** Ecosystèmes aquatiques. Édition Hachette, Paris, France, 102 p. <https://www.cnrs.fr>
- Lopez L., Pozo C., Rodelas B., Calvo C. et Gonzalez-Lopez G. 2006.** Influence of pesticides and herbicides presence on phosphatase activity and selected bacterial microbiota of a natural lake system. *Ecotoxicology*, **15**: 487–493.
- Lucas F. 2011.** *Diversité microbienne en milieu aquatique urbain*. Mémoire présenté pour l'obtention d'habilitation à diriger les recherches, Université Paris-Est, 150 p.
- Lyautey E., Zexun L., Lapen D. R., Wilkes G., Scott A., Berkers T., Edge T. A. et Topp E. 2010.** Distribution and diversity of *Escherichia coli* populations in the south nation river drainage basin, Eastern Ontario, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, **76** (5): 1486-1496.
- Magniez F. 2014.** Méthode de dénombrement des microorganismes en milieu liquide (méthode dite du nombre le plus probable). *Biotechnologie*, **4** : 1-5.
- Mahamane S. L., Sanoussi A., Harouna A., Zoubeyrou A., Ibro G., Marafa D. et Saadou M. 2009.** Valorisation des eaux usées épurées pour la production du bois-énergie et fourrage au Niger. *Science et changements planétaires/sécheresse*, **20** (4): 367-72. DOI: [10.1684/sec.2009.0207](https://doi.org/10.1684/sec.2009.0207)
- Mahob R. J., Ndoumbè-Nkeng M., Ten Hoopen G. M., Dibog L., Nyassé S., Rutherford M., Mbenoun M., Babin R., Amang A Mbang J., Yede et Bilong Bilong C.F. 2014.** Pesticides use in cocoa sector in Cameroon : characterization of supply source, nature of actives ingredients, fashion and reasons for their utilization. *International Journal of Biologicial and Chemical Sciences*, **8**(5): 1976-1989.
- Mbida Mbida A., Ntonga Akono P., Awono-Ambene P., Simo Wopo H., Talipouo A., Tchoffo Fobasso R., Dogmo A., Lehman G. et Mimpfoundi R. 2018.** Contribution à

- la gestion durable du bassin versant du Wouri par une étude de la répartition de sa faune culcidiennne (Littoral-Cameroun). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, **73(4)** : 550-558.
- Météo France. 2016.** Disponible sur le site <http://www.meteofrance.com>, consulté le 03 mars 2016.
- MICS. 2014.** *Enquête par grappes à indicateurs multiples*, Rapport de résultats clés. Yaoundé, Cameroun, Institut National de la Statistique, 12p.
- MINADER. 2016.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Relance de la filière cacao : le MINADER sur le terrain. Disponible sur le site cameroon-tribune.cm, consulté le 20 avril 2020.
- MINEE. 1998.** Ministère de l'Eau et de l'Energie. *Loi N°98/005 du 14 Avril 1998 portant Régime de l'Eau*. 79 p.
- MINEE. 2017.** Ministère de l'Eau et de l'Energie. *Politique Nationale de l'Eau du Cameroun*. Volume 1 : rapport diagnostique du secteur de l'eau, version finale, 141 p.
- MINEE/UNICEF. 2011.** Ministère de l'Eau et de l'Energie / Fonds des Nations Unies pour l'Enfance Cameroun. *Stratégie nationale d'assainissement liquide*, 46 p.
- MINEE/UNICEF. 2017.** Ministère de l'Eau et de l'Energie / Fonds des Nations Unies pour l'Enfance Cameroun. *Stratégie nationale de l'assainissement total piloté par la communauté*, 40 p.
- MINEPDED. 2010.** Ministère de l'Environnement de la Protection de la Nature et du Développement Durable. *Normes environnementales et procédure d'inspection des installations industrielles et commerciales au Cameroun*. 120 p.
- Monkiedje A. et Spiteller M. 2005.** Degradation of Metalaxyl and Mefenoxam and Effects on the Microbiological Properties of Tropical and Temperate Soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2(2)**: 272–285.
- Morin S. 1979 a.** *Relief et hydrographie*. In *Atlas de la République Unie du Cameroun*, édition Laclavère G, Paris; France 5–8 p.
- Morin S. 1979 b.** *Géomorphologie*. In *Atlas de la République Unie du Cameroun*, édition Laclavère G, Paris; France, 13-15 p.
- Mouchet J. 1994.** Le DDT en santé publique. *Cahiers santé*, **4** : 257-62.
- Ngonde E. et Champenois A. C. 2011.** *Inventaire des normes et standards environnementaux : force juridique dans les pays membres du SEEAC*. Rapport final, 36p.

- Nguimalet C. R., Balikouzou-Hinna D. A., Rosoanantoandro M. C., Gothard-Bassebe et Semballa S. 2005.** Gestion de la qualité de l'eau, conflits et risques dans la ville de Bangui (République Centrafricaine). *Géocarrefour* **80 (4)**: 325-334.
- NHPC. 2017.** Nachtigal Hydro Power Company. *Projet hydroélectrique de Nachtigal amont, résumé des études environnementales et sociales*. Ref : 8541191 ; 65p.
- Nicolau R. 2005.** *Caractérisation et quantification des transferts dus aux petites rivières côtières méditerranéennes*. Thèse de doctorat/PhD, Université du Sud Toulon Var. 198p.
- Nola M., Njine T., Djuikom E. et Sikati F. V. 2002.** Faecal coliforms and faecal streptococci community in the underground water in an equatorial area in Cameroon (Central Africa): the importance of some environmental chemical factors. *Water Research*, **36 (13)** : 3289 – 97.
- Nouga Bissoué A., Njumewang Enjoh, Ndjouondo G. P. et Dibong S. D. 2017.** Socio-economic aspect of battle against invasive aquatic plants of Nyong river in Mbalmayo District. *Geography*, **19 (2)** : 117-121.
- Noyer M. L., Belkessam M., Caous J. Y., Courouble L., Laperche V., Malvielle P., Mardhel V., Pinson S., Vidart B. et Vinchon C. 2003.** *Impact de l'activité industrielle sur la qualité de la nappe de la craie (champ captant du Sud de Lille-59)*. Synthèse générale. BRGM/RP-52215-FR. 60 p.
- Ntsama E. C., Lémé B. L., Abologo A. L., Tombédi M. C. et Bilong Bilong C. F. 2017.** Biodégradation aérobie du gasoil par des souches de *Bacillus Sp.* et *Sphingomonas Paucimobilis* isolées des eaux des plages de Kribi et Limbe, Cameroun. *Health Sciences and Diseases*, **18 (4)**: 10-14.
- Oberg K., Shelton J. M., Gardiner N. et Jackson P. R. 2008.** *Discharge and Other Hydraulic Measurements for Characterizing the Hydraulics of Lower Congo River*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Rep. 8p.
- OFAC. 2019.** Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale. Disponible sur le site <https://www.observatoire-comifac.net/afrika>
- Olivry J. C. 1986.** *Fleuves et rivières du Cameroun*. Coll. Monographies Hydrologiques ORSTOM n°9 edn. Paris. 733 p.
- OMS. 2003.** Organisation Mondiale de la Santé. *Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and fresh waters. Chapter 4 faecal pollution and water quality*. Genève, Suisse. Disponible sur le site <http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241545801.pdf>

- OMS. 2014.** Organisation Mondiale de la Santé. *Eau et santé*. Genève, Suisse. Disponible sur le site <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/fr/>
- Onana J. M. 2018.** Cartographie des écosystèmes du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **12(2)**: 940-957. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.25>.
- Ouazzani J. 2002.** La biodégradation des polluants organiques, métabolisme, estimation des risques, dépollution et biodétection. *Catalyse et environnement*, 52-57.
- Oudot J. 2000.** Biodégradabilité du fuel de l'Erika. *Microbiologie*, **923**: 945-950.
- PANGIRE. 2015.** *Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Rapport final*, Ministère de l'Eau et de l'Energie du Cameroun. 130 p.
- Pelmont J. 2005.** *Biodegradation et métabolisme, les bactéries pour les technologies de l'environnement*. Éditions EDP Sciences, Paris, France, 800 p.
- Phu Duc Nguyen, Villeneuve J. P., Toumbou B., Duchesne S. et Nomessi K. 2018.** Utilisation de la modélisation de la qualité de l'eau en rivière pour l'évaluation du respect des normes en contexte de données restreintes : cas d'application du bassin versant de la rivière Cau. *Revue des sciences de l'eau* **31 (3)** : 271 – 290. DOI : <https://doi.org/10.7202/1054307ar>
- Pichard A., Bisson M., Diderich R., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J. P., Levêque S., Magaud H., Morin A. et Pepin G. 2005.** *Fiches des données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Le Cadmium et ses dérivés*. INERIS –DRC-01-25590-00DF249.doc. 60 p.
- PNUE. 2017.** Programme des Nations Unies pour l'Environnement, *Stratégie pour l'eau douce 2017–2021*, Nairobi, Kenya, 28 p. Disponible sur le site wedocs.unep.org
- Ramade F. 2005.** *Éléments d'écologie. Ecologie appliquée : action de l'Homme sur la biosphère*. 7^{ème} édition DUNOD, Paris, France, 789 p.
- Rodier J., Legube B., Marlet N., et Brunet R. 2009.** *L'analyse de l'eau*. Editions Dunod, 9^e édition, Paris, France, 1579 p.
- Sama D. A. 1996.** The constraints in managing the pathways of persistent organic pollutants into the large marine ecosystem of the gulf of Guinea – case of Cameroon. Intergouvernemental forum on chemical safety, 17 – 19 June 1996.
- Samina W. T. et Masood A. 2013.** Use of *Pseudomonas spp.* For the bioremediation on environmental pollutants: a review. *Environmental Monitoring Assessment*, **185**: 8147-8155.

- Sayeda A. M., Shawky S. Z., Fayez M., Monib M. et Nabil Hegazi A. 2011.** The influence of agro-industrial effluents on River Nile pollution. *Journal of Advanced Research*, **2**: 85–95.
- Schwarzenbach P. R., Egli T., Hofstetter T. B., Urs von Gunten et Bernhard W. 2010.** Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*, **35** : 109-136. DOI : <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- Servais P., Billen G., Garcia-Armisen T., Isabelle G., Goncalvez A. et Thibert S. 2007 b.** *La contamination microbienne des eaux du bassin de la Seine*. Rapport PIREN Seine, 35 p.
- Servais P., Garcia-Armisen T., Isabelle G. et Billen G. 2007 a.** Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network (France) : Sources, fate and modeling. *Science of the Total Environment*, **375(1-3)**: 152–167. DOI : [10.1016/j.scitotenv.2006.12.010](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.010).
- Sharpe R. M. and Skakkebaek N. E. 1993.** Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract? *Lancet*, **341**: 1392-1395.
- Suez. 2020.** *Memento degremont, eaux industrielles, circuits de refroidissement*. Disponible sur le site <https://www.suezwaterhandbook.fr>.
- Suraud P. 1954.** Le front intertropical en Afrique occidentale. In : *Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer* : année 1952. ORSTOM, Paris, France 29-36 p.
- Tchawa P. 2006.** Le Cameroun. Relief et hydrographie. In *Atlas du Cameroun*. Collection Atlas de l'Afrique, Ben Yamed D, Houstin N, Seignobos C (eds). Les Editions J.A. : Paris; 58-59 p.
- Tiago I., Chung A. P. et Verissimo A. 2004.** Bacterial diversity in a nonsaline alkaline environment: heterotrophic aerobic populations. *Applied and Environmental Microbiology*, **70 (12)** : 7378 – 87.
- Tiquia S.M., Schleibak M., Schlaff J., Floyd C., Benipal B., Zakhem E. et Murray K.S. 2008.** Microbial community profiling and characterization of some heterotrophic bacterial isolates from river waters and shallow groundwater wells along the Rouge River, southeast Michigan. *Environ technol*, **29 (6)**: 651 – 63.
- Tohazin F., Ringo F. Avahounlin et Expédit Vissin W. 2018.** Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution d'un écosystème aquatique: La rivière Sô et son bassin versant (Sud Benin, Afrique de l'Ouest). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **24 (1)** : 181 – 195.

- Tsaléfac M. 2006.** *Le Cameroun. Climat. In Atlas du Cameroun*, Collection Atlas de l'Afrique, Ben Yamed D, Houstin N, Seignobos C (eds). Les Editions J.A. : Paris; 62-63 p.
- Tsaléfac M., Ngoufo R., Nkwambi W., Djoumessi T. E. et Lengue F. B. 2003.** Fréquences et quantités des précipitations journalières sur le territoire camerounais. *Association Internationale de Climatologie*, **15** : 359 – 367.
- UE. 2013.** Union Européenne, Directive du 2013/39/UE du parlement Européen et du conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). 17 pp.
- UNESCO/WMO. 2012.** United Nations Educationnal, Scientific and Cultural Organization/World Meteorological Organization. *Glossaire international d'hydrologie* (2012). (ISBN 978-92-63-03385-8).
- Villeneuve V., Légaré S., Painchaud J. et Warwick V. 2006.** Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des sciences de l'eau* **19 (4)** : 259-274. DOI : <https://doi.org/10.7202/01441ar>.
- Yerima P. K. et Van Ranst E. 2005.** *Major Soil Classification Systems Used in the Tropics:: Soils of Cameroon*, Trafford Publishing. 144 p. ISBN : 1-4120-5789-2.
- Zerrouqi Z., Sbaa M., Chafi A. et Aqil H. 2013.** Contribution à l'étude de la qualité des eaux de la lagune de Nador: Impact de l'anthropisation. *Bulletin de l'Institut Scientifique* **35**: 51-59.

ANNEXES

Annexe 1 : Grille d'observation pour la sélection des stations d'échantillonnage

Enquêteur :

Date / Heure :

Ville :

Site d'étude :

Présence d'industries : oui non

Si oui,

1) Type d'industries : chimiques agroalimentaires

Autre précisez :

2) Distance approximative par rapport au cours d'eau (en mètres) :

3) Traces de rejet des déchets dans le cours d'eau ? oui non

Présence de zones agricoles : oui non

Si oui,

1) Type de culture : vivrières cacao palmeraie

Autre, précisez :

2) Distance approximative par rapport au cours d'eau (en mètres) :

3) Indices d'utilisation des pesticides : oui non

Si oui, lesquels : ----- ; ----- ; -----

Présence des zones d'habitations : oui non

Si oui,

1) Distance approximative par rapport au cours d'eau (en mètres) :

2) Traces de rejet des déchets urbains dans le cours d'eau ? oui non

Autres sources de pollution : oui non

Si oui, précisez : ----- ; ----- ; -----

Annexe 2 : Normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (PNUE, 2008) relatives à la qualité physico-chimique des eaux de surface

Paramètres physico-chimiques	Normes nationales (MINEPDED, 2010)	Normes internationales (PNUE, 2008)
T (°C)	< 30	≤ 25
pH	6 – 9	6,5 – 9
CE (μS/cm)	< 500	< 500
TDS (mg/L)	< 1000	< 600
OD (% saturation)	> 80	> 80
OD (mg/L)	6 – 9,5	6 – 9,5
C (Pt. Co)	≤ 50	≤ 50
MES (mg/L)	< 40	≤ 30
NO ₃ ⁻ (mg/L)	≤ 20	≤ 50
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	≤ 10	≤ 1

Légende : T = température, pH = potentiel d'Hydrogène, CE = conductivité électrique, TDS = solides totaux dissous, OD = oxygène dissous, C = couleur, MES = matières en suspension, NO₃⁻ = nitrates, PO₄³⁻ = orthophosphates.

Annexe 3 : Normes nationales (MINEPDED, 2010) et internationales (UE, 2013) relatives à la qualité toxicologique des eaux de surface

		Normes nationales (MINEPDED, 2010)	Normes internationales (UE, 2013)
Paramètres	Pesticides	M-M (μg/L)	< 0,1
		Pb ²⁺ (μg/L)	< 10
	Métaux	Cu ²⁺ (μg/L)	< 100
	lourds	Ni ²⁺ (μg/L)	< 100
		Cd ²⁺ (μg/L)	< 1

Légende : M-M = Métalaxyl-M, Pb²⁺ = Plomb, Cu²⁺ = Cuivre, Ni²⁺ = Nickel, Cd²⁺ = Cadmium.

Annexe 4 : Confection d'un frottis bactérien

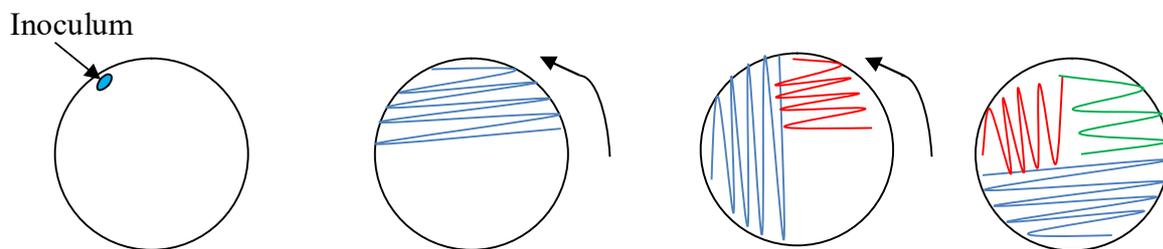
À l'aide d'une anse de Platine préalablement stérilisée à la flamme du bec Bunsen, une goutte de la suspension test est déposée sur une lame porte-objet. Un mouvement circulaire centrifuge est effectué de façon à obtenir un étalement mince et homogène. Le frottis ainsi réalisé est séché à l'aide d'une plaque chauffante et fixé à la flamme du bec Bunsen.

Annexe 5 : Coloration de Gram

Le frottis bactérien a été recouvert d'une solution de violet de gentiane durant 1 minute et rincé à l'eau du robinet ; puis, il a été recouvert de lugol durant 1 minute et rincé. Ensuite, il a été décoloré avec un mélange d'alcool acétone, pour cela, la lame porte-objet a été tenue verticalement, et le mélange d'alcool-acétone a été versé jusqu'à ce que l'éluat soit clair (environ 15 secondes) ; suivi d'un rinçage abondant à l'eau du robinet ; enfin, le frottis a été recouvert d'une solution de fuschine basique durant 1 minute, rincé à l'eau et séché entre deux papiers buvards.

Annexe 6 : Méthode des quadrants

Une boîte de Pétri contenant un milieu gélosé a été divisée en quatre secteurs équivalents numérotés de 1 à 4. A l'aide d'une anse de Platine, Une goutte de la suspension test a été prélevée, puis déposée en un point du quadrant 1. Par des stries serrées, l'inoculum a été étalé sur la moitié de la boîte (quadrant 1 et 2). Après l'avoir retourné d'un quart de tour, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, d'autres stries serrées ont été effectuées (quadrant 2 vers 3). Enfin, des stries plus distantes ont été faites dans le quadrant 4.



Annexe 7 : Critères macroscopiques des colonies

Ils ont été évalués au cours de l'interprétation des résultats de l'étape d'isolement, en fonction des milieux de culture.

Sur la gélose Trypticase-Soja (TSA), cinq groupes de colonies ont été définies :

- Groupe A : les colonies sont blanches, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques ;
- Groupe B : les colonies sont jaunes ou beiges, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques ;
- Groupe C : les colonies sont jaunes, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, creuses et translucides ;
- Groupe D : les colonies sont rouges ou roses, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques ;
- Groupe E : les colonies sont blanches, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, creuses, translucides, avec des pigments bleus ou verts.

Sur la gélose Chapman, deux groupes de colonies ont été définies :

- Groupe F : dont les colonies sont jaunes, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques ;
- Groupe G : avec des colonies rouges, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques.

Sur la gélose BEA, un seul type de colonie a été défini, le groupe H ; ses colonies sont blanches avec un halo noir, de 1 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques.

Sur la gélose Mc conkey, deux types de colonies ont été définies :

- Groupe I : dont les colonies sont rouges ou roses, de 1 à 5 mm de diamètre, rondes, bombées ou creuses, opaques ou translucides ;
- Groupe J : qui forme des colonies jaunes ou incolores, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques.

Sur la gélose TCBS, deux types de colonies ont été définies :

- Groupe K : qui forme des colonies jaunes, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, bombées et opaques ;
- Groupe L : avec des colonies vertes, de 2 à 3 mm de diamètre, rondes, creuses et opaques.

Annexe 8 : Coloration des spores

Un frottis a été confectionné avec des colonies bactériennes âgées de 4 jours et coloré au bleu de méthylène. La lame a été chauffée sur une plaque, puis refroidie et chauffée à nouveau. Après lavage, la lame a été recouverte de mercurochrome durant 1 minute. Elle a été rincée et séchée avec du papier absorbant (Denis *et al.*, 2007). L'observation a été faite au microscope optique à l'objectif 100. Les spores étaient bleues et les corps des bactéries rouges (Denis *et al.*, 2007).

Annexe 9 : Quelques tests biochimiques effectués sur galerie API 20 E et API 20 NE

*** Etude du métabolisme glucidique

Elle a consisté à mettre en évidence l'utilisation des sucres par les bactéries et la présence des enzymes (β -galactosidase, citrate perméase). Les sucres mis en évidence par la galerie API 20 E étaient : l'amygdaline, le L-arabinose, le D-glucose, l'inositol, le D-mannitol, le D-melibiose le L-rhamnose, le D-saccharose et le sorbitol. Ceux mis en évidence par la galerie API 20 NE étaient : le L-arabinose, le D-glucose, le D-maltose, le D-mannose, le N-acétyl-glucosamine et le potassium gluconate.

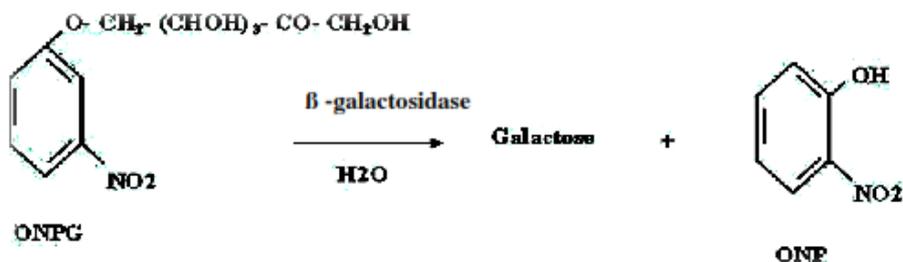
➤ Principes

- Mise en évidence de l'utilisation des sucres

L'utilisation d'un glucide (ose, diholoside, polyoside) par une bactérie produit du CO_2 ou des acides organiques qui acidifient le milieu en provoquant un changement de sa coloration grâce à la présence d'un indicateur coloré (Joffin & Leyral, 2005).

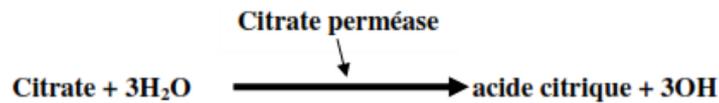
- Mise en évidence de la β -galactosidase

L'hydrolyse de l'orthonitrophényl-D-galacto-pyranoside (ONPG, composé incolore) par les bactéries libère l'orthonitrophényl (ONP) qui donne au milieu une coloration jaunâtre (Djerbaoui, 2011). La réaction se déroule comme suit :



- **Mise en évidence de la citrate perméase**

Le citrate de Simmons ou citrate Trisodium est assimilé par la citrate perméase des bactéries en entraînant une alcalinisation du milieu qui vire l'indicateur coloré (bleu de bromothymol) au bleu. Cette réaction est la suivante (Djerbaoui, 2011) :



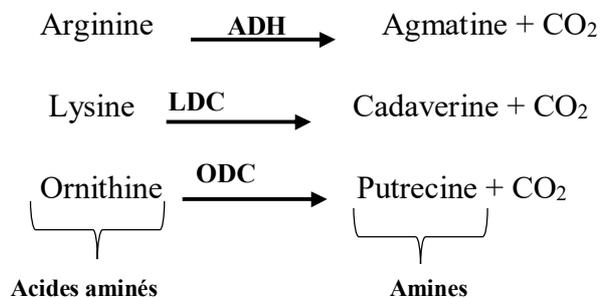
*** **Etude du métabolisme protéique**

Elle a été réalisée par des tests de mise en évidence de l'arginine dihydroxylase (ADH), de la lysine décarboxylase (LDC), de l'ornithine décarboxylase (ODC), de l'uréase, de la gélatinase, de la nitrate réductase, de l'indole, de la tryptophane-désaminase (TDA), de la production du sulfure d'hydrogène ainsi que la réaction de Voges-Proskauer.

➤ **Principes**

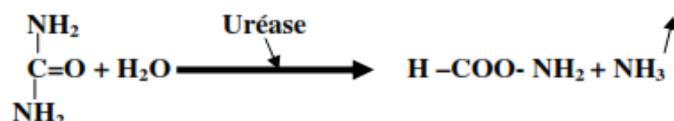
- **Mise en évidence des décarboxylases (ADH, LDC, ODC)**

En milieu acide et anaérobique, les décarboxylases des bactéries scindent les acides aminés en amines (agmatine, cadaverine, putrecine) correspondant avec libération du CO₂ suivant la réaction ci-après (Djerbaoui, 2011). L'alcalinisation du milieu fait virer l'indicateur coloré (bromocrésol pourpre) au violet.



- **Mise en évidence de l'uréase**

L'uréase présente chez les bactéries hydrolyse l'urée, la formation du carbonate d'ammonium alcalinise le milieu qui vire au rouge violacé en présence du rouge de phénol (Djerbaoui, 2011) suivant l'équation :



- **Mise en évidence de la gélatinase (collagénase)**

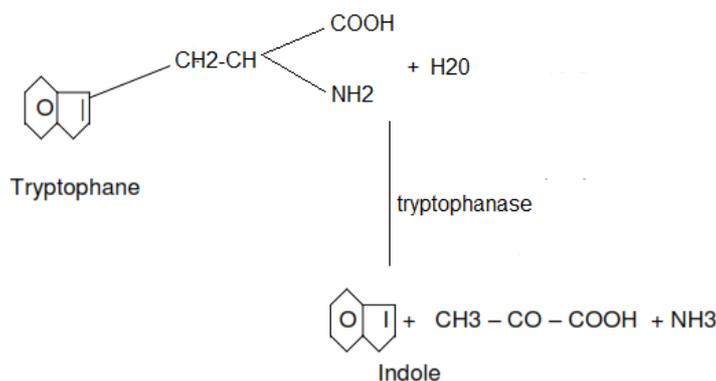
La gélatinase hydrolyse le collagène en acides aminés ou en peptides, ceci détruit le disque de gélatine et libère des particules de charbon végétal dans le liquide qui prend une teinte noire (Denis *et al.*, 2007).

- **Mise en évidence de la nitrate réductase**

Les nitrates sont dégradés en nitrites grâce à la nitrate réductase des bactéries sous l'action du zinc. Ces nitrites donnent une coloration rose en présence de l'acide sulfanilique et de l'alphanaptylamine (Denis *et al.*, 2007).

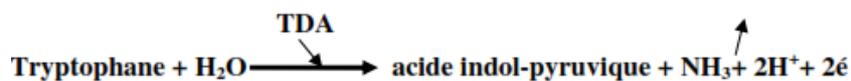
- **Mise en évidence de l'indole**

Le tryptophane dégradé par la tryptophanase des bactéries, forme l'indole, l'acide pyruvique et l'ammoniac. L'indole étant apolaire réagit fortement, en milieu acide, avec le paradiméthyl amino-benzaldéhyde contenu dans le réactif de Kovacs en formant un anneau rouge qui remonte en surface (Denis *et al.*, 2007). La réaction est la suivante :



- **Mise en évidence de la tryptophane-désaminase (TDA)**

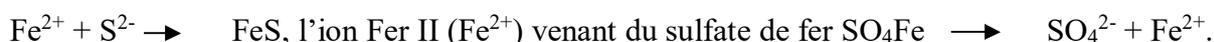
La TDA agit sur le L- tryptophane pour former l'acide indol-pyruvique qui donne avec le perchlorure de fer une coloration brune (Djerbaoui, 2011) selon la réaction :



- **Production du sulfure d'hydrogène (H₂S)**

La production du H₂S est liée aux ions Fer III (F³⁺) qui forment, avec le sulfure d'hydrogène un précipité noir de sulfure de fer (Denis *et al.*, 2007). Le soufre est réduit et passe de l'état S²⁺ à l'état S²⁻ selon la réaction : $\text{S}^{2+} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{S}^{2-}$.

Par la suite, le soufre se combine avec du fer ferreux Fe²⁺ selon la réaction :



- **Réaction de Voges-Proskauer (VP)**

En présence d'une base forte, les bactéries oxydent l'acétoïne en diacétyle qui réagit avec le groupement guanidine de α - naphthol pour donner un composé rouge (Denis *et al.*,2007).

Annexe 10 : Fiche d'enquête

Date :...../...../.....

Fiche numéro :.....

Nom du village / Quartier :.....Station de prélèvement numéro :.....

Age :.....

Sexe : Féminin

Masculin

1) Où vous approvisionnez vous en eau ? Pour boire :

Pour vos autres besoins domestiques :

2) Quels usages faites-vous habituellement de l'eau du fleuve ?

Boisson Lessive Vaisselle Cuisine Agriculture

Pêche Bain Si baignade, tête dans l'eau ? Oui Non

Ménage Autres Précisez :.....

3) Avez-vous souffert durant ces 3 derniers mois des symptômes suivants :

Fièvre Diarrhées Vomissements Douleurs au ventre Nausées

Toux Rhume Affection cutanée Prurit Infection urinaire

Conjonctivite Autres Précisez :.....

4) Où faites-vous vos besoins ?

5) A Quelle distance de l'eau se situent vos latrines (approximativement, en mètres) ?

6) Vos latrines sont-elles aménagées avec :

Un toit : oui non

Une suprastructure (murs) : oui non

Une dalle : oui non

Une fosse avec couvercle : oui non

7) Avez-vous des animaux domestiques ? Oui Non

Si oui, sont-ils dans un enclos ?

Annexe 11 : Fiche de recueil de consentement éclairé

Titre de l'étude : Caractérisation physico-chimique, toxicologique et microbiologique des eaux, du cours moyen du fleuve Nyong et de l'estuaire du fleuve Wouri; essai de biodégradation du Métalaxyl-M

Investigateur principal : ABOLOGO AZEME Larissa, Doctorante, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun, Tel : 699238955

But de l'étude : Contribuer à la préservation de l'environnement aquatique.

Un questionnaire vous sera administré et porte principalement sur les usages que vous faites de l'eau, les maladies d'origine hydrique dont vous avez souffert ce dernier trimestre et sur l'utilisation de vos latrines. Vos réponses resteront confidentielles et aucun élément de votre identité ne sera révélé. Aussi, votre participation à la présente étude est volontaire. Tout refus de participer n'entraînera aucune conséquence. Vous pouvez suspendre à tout moment votre interview sans que cela puisse vous poser un quelconque préjudice.

Signature du participant

Signature de l'enquêteur

**PUBLICATION ISSUE DE LA
THESE**