

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTÉ DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET

PHYSIOLOGIE ANIMALES

\*\*\*\*\*

LABORATOIRE DE BIOLOGIE

GÉNÉRALE



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ANIMAL

BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

\*\*\*\*\*

LABORATORY OF GENERAL

BIOLOGY

**Communautés de diatomées épilithiques du réseau hydrographique de la Mefou: Composition, structure, variations spatio-temporelles et biosurveillance des cours d'eau en zone tropicale**

THÈSE

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

Par : **ÉBANG MENYE Daniel**  
D.E.A en Hydrobiologie et Environnement

Sous la direction de  
**M. NJINÉ Thomas**  
Professeur Émérite

Année Académique :





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

ATTESTATION DE CORRECTION  
\*\*\*\*\*

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la Thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux (Option : Hydrobiologie et Environnement) de Monsieur EBANG MENYE Daniel, matricule 97Y148, sous le thème « Communautés de diatomées épilithiques du réseau hydrographique de la Mefou: composition, structure, variations spatio-temporelles et biosurveillance des cours d'eau en zone tropicale », soutenance autorisée par la correspondance N°15/147/UYI/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SPD du Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du 21 septembre 2015, attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation faite le 28 octobre 2015 ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

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

Yaoundé, le.....

Examineurs

*[Handwritten signatures of examiners]*  
S. Foto Menbohan

Président du Jury

*[Handwritten signature of the Jury President]*

Chef de Département

*[Handwritten signature of the Department Head]*  
**Charles Félix Bilongo Bilongo**  
Professeur

11 SEP 2020

**UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I**  
*UNIVERSITY OF YAOUNDE I*

**FACULTÉ DES SCIENCES**  
*FACULTY OF SCIENCE*



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

**LABORATOIRE DE BIOLOGIE GÉNÉRALE**  
*LABORATORY OF GENERAL BIOLOGY*

**Communautés de diatomées épilithiques du réseau hydrographique de la Mefou: Composition, structure, variations spatio-temporelles et biosurveillance des cours d'eau en zone tropicale**

**THÈSE**

**Présentée et soutenue le 28 octobre 2015 en vue de l'obtention du  
Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux**

**Option: Hydrobiologie et Environnement**

Par

**ÉBANG MENYE Daniel**

**Matricule: 97Y148**

**D.E.A en Hydrobiologie et Environnement**

*Devant le Jury composé de:*

**Président:** M. NJIOKOU Flobert, Professeur, Université de Yaoundé 1

**Rapporteur:** M. NJINÉ Thomas, Professeur Émérite, Université de Yaoundé 1

**Examineurs:** M. DJIÉTO LORDON Champlain, Maître de Conférences, Université de Yaoundé 1

M. SULEM YONG Stève, Directeur de Recherche, IRAD

M. ZÉBAZÉ TOGOUET Serge Hubert, Maître de Conférences, Université de Yaoundé 1

M. FOTO MENBOHAN Samuel, Maître de Conférences, Université de Yaoundé 1

**Octobre 2015**

<b>UNIVERSITE DE YAOUNDE I</b> <b>FACULTE DES SCIENCES</b> Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		<b>UNIVERSITY OF YAOUNDE I</b> <b>FACULTY OF SCIENCE</b> Division of Programming and follow-up of Academic Affairs
<b>LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS</b>	<b>LIST OF PERMENENT TEACHING STAFF</b>	

**ANNEE ACADEMIQUE 2014/2015**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION: Octobre 2015**

**ADMINISTRATION**

**DOYEN : BILONG Paul, Professeur**

**VICE-DOYEN / DPSAA : NJOPWOUO Daniel, Professeur**

**VICE-DOYEN / DSSE : DONGO Etienne, Professeur**

**VICE-DOYEN / DRC : ESSIMBI ZOBO Bernard, Professeur**

**Chef Division Affaires Académiques, Scolarité et Recherche: ABOSSOLO Monique,**  
 Chargée de Cours

**Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Marie C. F.,** Chargé de Cours

**1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (B.C) (41)**

N°	NOMS ET PRENOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<b>Chef de Département</b>
2	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
3	OBEN Julius EYONG	Professeur	En poste
4	BENG née NINTCHOM PENLAP V.	Maître de Conférences	En poste
5	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
6	FEKAM BOYOM Fabrice	Maître de Conférences	En poste
7	FOKOU Elie	Maître de Conférences	En poste
8	KANSCI Germain	Maître de Conférences	En poste
9	MINKA Samuel	Maître de Conférences	En poste
10	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
11	ACHU Merci BIH	Chargée de Cours	En poste
12	ATOGHO Barbara Mma	Chargée de Cours	En poste
13	BELINGA née NDOYE FOE Marie C. Florentine	Chargée de Cours	<b>Chef DAF / FS</b>
14	BIGOGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
15	DEMMANO Gustave	Chargé de Cours	En poste
16	DJOKAM TAMO Rosine	Chargée de Cours	En poste
17	DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline	Chargée de Cours	En poste
18	EFFA ONOMO Pierre	Chargé de Cours	En poste
19	EVEHE BEBANDOUE Marie –Solange	Chargée de Cours	En poste
20	EWANE Cécile Anne	Chargée de Cours	En poste
21	MOFOR née TEUGWA Clautilde	Chargée de Cours	<i>IA4/MINESUP</i>
22	NGONDI Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
23	NJAYOU Frédéric Nico	Chargé de Cours	En poste
24	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
25	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Chargée de Cours	En poste
26	WAKAM née NANA Louise	Chargée de Cours	En poste
27	AKINDEH MBUH NJI	Assistant	En poste
28	BEBEE FADIMATOU	Assistant	En poste
29	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Assistante	En poste
30	DAKOLE DABOY Charles	Assistant	En poste

31	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Assistante	En poste
32	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Assistant	En poste
33	KOTUE KAPTUE Charles	Assistant	En poste
34	FONKOUA Martin	Assistant	En poste
35	LUNGA Paul KAILAH	Assistant	En poste
36	MANANGA Marlyse Joséphine	Assistante	En poste
37	MBONG ANGIE MOUGANDE Mary Ann	Assistante	En poste
38	MBOUCHE FANMOE Marcelline Joëlle	Assistante	En poste
39	PACHANGOU NSANGOU Sylvain	Assistant	En poste
40	TIENTCHEU DJOKAM Léopold	Assistant	En poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (B.P.A.) (45)

1	BILONG BILONG Charles Félix	Professeur	<b>Chef de Département</b>
2	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
3	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
4	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
5	MIMPFOUNDI Rémy	Professeur	En poste
6	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
7	NOLA Moïse	Professeur	En poste
8	TCHUEM TCHUENTE Louis	Professeur	<i>Coord. Progr. MINSANTE</i>
9	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Maître de Conférences	<i>Chef Dpt/FMSB</i>
10	FOTO MENBOHAN Samuel	Maître de Conférences	<i>IPN MINEE</i>
11	KAMGANG René	Maître de Conférences	<i>C.S. MINRESI</i>
12	NJAMEN Dieudonné	Maître de Conférences	En poste
13	TAN Paul	Maître de Conférences	En poste
14	DJIETO Lordon Champlain	Maître de Conférences	En poste
15	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
16	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Maître de Conférences	En poste
17	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
18	BILANDA Danielle Claude	Chargée de Cours	En poste
19	DJIOGUE Séfirin	Chargé de Cours	En poste
20	AJEAGAH Gidéon AGHAINDOUM	Chargé de Cours	En poste
21	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	<i>CS MINSUP</i>
22	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
23	JATSA MEGAPTCHE Hermine	Chargée de Cours	<i>En poste</i>
24	KEKEUNOU Sévilor	Chargé de Cours	En poste
25	LEKEUFACK FOLEFACK Guy Benoît	Chargé de Cours	En poste
26	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
27	MEGNEKOU Rosette	Chargée de Cours	En poste
28	MONY NTONE Ruth	Chargée de Cours	En poste
29	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Chargée de Cours	En poste
30	NGUEMBOCK	Chargé de Cours	En poste
31	TOMBI Jeannette	Chargée de Cours	En poste
32	ATSAMO Albert Donatien	Assistant	En poste
33	ETEME ENAMA Serge	Assistant	En poste
34	KANDEDA KAVAYE Antoine	Assistant	En poste
35	KOGA MANG'Dobara	Assistant	En poste
36	MBENOUN MASSE Paul Serge	Assistant	En poste
37	MOUNGANG NGAMENI Luciane	Assistante	En poste
38	METCHI DONFACK Mireille	Assistante	En poste
39	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
40	NGOUATEU KENFACK Omer BEBE	Assistant	En poste

41	NJUA Clarisse YAFI	Assistante	En poste
42	OBI OBEN Esther	Assistante	En poste
43	TADU Zéphirin	Assistant	En poste
44	YEDE	Assistant	En poste

### 3-DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES (B. P. V.) (25)

1	YOUMBI Emmanuel	Professeur	<b>Chef de Département</b>
2	AMBANG Zachée	Maître de Conférences	<b>Vice-Doyen/FSE</b>
3	BELL Joseph Martin	Maître de Conférences	En poste
4	DJOCGOUE Pierre François	Maître de Conférences	<i>Chef Projet/ AUF</i>
5	MOSSEBO Dominique Claude	Maître de Conférences	En poste
6	ZAPFACK Louis	Maître de Conférences	En poste
7	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Maître de Conférences	En poste
8	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
9	ANGONI Hyacinthe	Chargé de Cours	En poste
10	BIYE Elvire Hortense	Chargée de Cours	En poste
11	MALLA Armand William	Chargé de Cours	En poste
12	MBARGA BINDZI Marie Alain.	Chargé de Cours	<i>Inspecteur des Services MINESUP</i>
13	MBOLO Marie.	Chargée de Cours	En poste
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Chargé de Cours	En poste
15	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Léonard	Chargé de Cours	<i>Chef Projet/ IRAD</i>
16	NGOOU Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
17	NSOM ZAMO Annie Claude ép. Pial	Chargée de Cours	<i>Expert national./UNESCO</i>
18	TONFACK Libert Brice	Chargé de Cours	En poste
19	TSOATA Esaïe	Chargé de Cours	En poste
20	DJEUANI Astride Carole	Assistante	En poste
21	MAHBOU SOMO TOUKAM Gabriel	Assistant	En poste
22	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Assistante	En poste
23	NGALLE Hermine BILLE	Assistante	En poste
24	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Assistante	En poste
25	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Assistante	En poste

### 4-DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (C.I.) (33)

1	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
2	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>Doyen, UDS</i>
3	NJOPWOUE Daniel	Professeur	<b>Vice-Doyen / DPSAA</b>
4	KETCHA MBADCAM Joseph	Professeur	<b>Chef de Département</b>
5	AGWARA ONDOH Moïse	Maître de Conférences	<i>Insp Génér. MINPMEA</i>
6	AVOM Jérôme	Maître de Conférences	<i>Directeur au IAI Gabon</i>
7	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée mission P.R.</i>
8	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
9	ELIMBI Antoine	Maître de Conférences	En poste
10	GHOGOMU Paul MINGO	Maître de Conférences	<i>Directeur Cabinet PM</i>
11	LAMINSI Samuel	Maître de Conférences	En poste
12	MELO née CHINJE Uphie F.	Maître de Conférences	<i>Directeur Mipromalo</i>
13	NANSEU Charles Péguy	Maître de Conférences	En poste
14	NENWA Justin	Maître de Conférences	En poste
15	NDIKONTAR Maurice KOR	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen/Ubda</i>
16	NGOMO Horace MANGA	Maître de Conférences	<i>S.G. MINESUP</i>
17	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
18	BAIZOUMI ZOUA	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINTOUR</i>

19	EMADACK Alphonse	Chargé de Cours	En poste
20	GWET Simon – Pierre	Chargé de Cours	En poste
21	KEUMEGNE MBOUGUEM Jean Claude	Chargé de Cours	En poste
22	KONG SAKEO	Chargé de Cours	C. M. Au P. M.
23	NJIOMOU Chantale épouse DJANGANG	Chargée de Cours	En poste
24	NJOYA Dayirou	Chargé de Cours	En poste
25	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
26	CHEUMANI YONA Arnaud	Chargé de Cours	En poste
27	KAMGANG YOUNI Georges	Chargé de Cours	En poste
28	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
29	PABOUDAM GBAMBIE Awaou	Chargé de Cours	En poste
30	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
31	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Assistant	En poste
32	NDI Julius NSAMI	Assistant	En poste

**5-DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (C.O.) (34)**

1	DONGO Etienne	Professeur	<b>Vice Doyen / DSSE</b>
2	GHOYOMU TIH ROBERT RALPH	Professeur	En poste
3	MBAFOR Joseph	Professeur	En poste
4	NGADJUI TCHALEU B.	Professeur	<i>Chef de dépt FMBS</i>
5	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département/ UDS
6	NKENGFAK Augustin Ephraïm	Professeur	<b>Chef de Département</b>
7	NYASSE Barthélemy	Professeur	<i>Vice-Recteur UBda</i>
8	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur au MINESUP</i>
9	WANDJI Jean	Professeur	En poste
10	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	<i>CS Rectorat/ UYI</i>
11	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	<i>VD/UB</i>
12	KAPNANG Henriette	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
17	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Conseillé Technique, UYII</i>
18	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
19	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
20	AMBASSA Pantaleon	Chargé de Cours	En poste
21	EYONG Kenneth OBEN	Chargé de Cours	En poste
22	FOTSO WABO Ghislain	Chargé de Cours	En poste
23	KENMOGNE Marguerite	Chargé de Cours	En poste
24	MKOUNGA Pierre	Chargé de Cours	En poste
25	NGO MBING Joséphine	Chargée de Cours	En poste
26	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Chargé de Cours	En poste
27	NOTE LOUGBOT Olivier	Chargé de Cours	En poste
28	OUAHOUE WACHE Blandine Marlyse	Chargée de Cours	En poste
29	TABOPDA KUATE Turibio	Chargé de Cours	En poste
30	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
31	ZONDEGOUNBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
32	KAMTO Eutrophe Ledoux	Assistant	En poste
33	NGINTEDO Dominique	Assistant	En poste
34	NGOMO Orléans	Assistant	En poste

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

1	TCHUENTE Maurice	Professeur	<i>PCA UB</i>
2	ATSA ETOUNDI Roger	Maître de Conférences	<b>Chef de Département</b> <i>Chef Division MINFOPRA</i>
3	FOTSO Pauline Laure	Maître de Conférences	<i>Vice-Recteur Uds</i>
4	FOUDA NDJODO Marcel	Maître de Conférences	<i>IAI MINESUP/Chef Dpt ENS</i>
5	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
6	CHEDOM FOTSO Donatien	Chargé de Cours	En poste
7	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
8	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
10	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
11	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
12	ABESOLO ALO'O Gislain	Assistant	En poste
13	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
14	DJOUWE MEFFEJA Merline Flore	Assistante	En poste
15	EBELE Serge	Assistant	En poste
16	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
17	KAMDEM KENGNE Christiane	Assistante	En poste
18	KAMGUEU Patrick Olivier	Assistant	En poste
19	KENFACK DONGMO Clauvice Viliane	Assistante	En poste
20	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
21	KOUOKAM KOUOKAM Etienne Appolin	Assistant	En poste
22	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
23	MONTHÉ DJIADEU Valery Martial	Assistant	En poste
24	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
25	TAPAMO KENFACK Hyppolite	Assistant	En poste

### 7-DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (35)

1	BEKOLLE David	Professeur	<i>Vice-Recteur UN</i>
2	BITJONG NDOMBOL	Professeur	<i>D.A.C.C, UY II</i>
3	DOSSA COSSY Marcel	Professeur	En poste
4	NGUETSENG Gabriel	Professeur	<i>Chef de stages IUT-Bois, UYI</i>
5	NOUTCHEGUEME Norbert	Professeur	En poste
6	EMVUDU WONO Yves S.	Maître de Conférences	<i>Chef Cellule. MINESUP</i>
7	NKUIIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
8	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	En poste
9	TCHAPNDA NJABO Sophonie Blaise	Maître de Conférences	En poste
10	TONGA Marcel	Maître de Conférences	En poste
11	WAMON François	Maître de Conférences	<b>Chef de Département</b>
12	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	En poste
13	AYISSI Raoult Domingo	Chargé de Cours	En poste
14	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
15	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
16	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
17	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
18	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
19	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
20	MBEHOU Mohamed	Chargé de Cours	En poste
21	MBIANDA Gilbert	Chargé de Cours	En poste
22	MBELE BEDIMA Martin	Chargé de Cours	En poste

23	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
24	NGUEFACK Bertrand	Chargé de Cours	En poste
25	NGUIMTSA Charles	Chargé de Cours	En poste
26	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
27	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
28	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
29	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
30	TIAYA TSAGUE N. Anne- Marie	Chargée de Cours	En poste
31	DJIADEU NGAHA Michel	Assistant	En poste
32	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
33	NIMPA PEFOUKEU Romain	Assistant	En poste
34	TANG AHANDA Barnabé	Assistant	<i>Chef Serv. MINPLAMAT</i>
35	TETSADJIO TCHILEPECK Mesmin Erick	Assistant	En poste

### 8-DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MB) (13)

1	ETOA François-Xavier	Professeur	<i>Recteur / UDLA</i>
2	ESSIA NGANG Jean Justin	Maître de Conférences	<i>Chef de Division recherche IMPM</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste
4	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
5	BOYOMO ONANA	Chargé de Cours	En poste
6	ENO Anna Arey	Chargée de Cours	En poste
7	ESSONO OBOUGOU Germain Gabriel	Chargé de Cours	En poste
8	NYEGUE Maximilienne Ascension	Chargé de Cours	En poste
9	RIWOM Sara Honorine	Chargée de Cours	En poste
10	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Chargé de Cours	En poste
11	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
12	NJIKI BIKOÏ Jacky	Assistante	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Assistant	En poste

### 9-DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE (PH) (40)

1	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	VICE-DOYEN / DRC
2	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	<b>Chef de Département</b>
3	NJOMO Donatien	Professeur	En poste
4	WOAFO Paul	Professeur	En poste
5	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	En poste
6	BEN- BOLIE Germain Hubert	Maître de Conférences	En poste
7	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Maître de Conférences	<i>Chef Dépt UN</i>
8	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Maître de Conférences	<i>Chef Div. MINRESI</i>
9	NOUAYOU Robert	Maître de Conférences	En poste
10	OUMAROU BOUBA	Maître de Conférences	En poste
11	PEMHA Elkana	Maître de Conférences	En poste
12	TABOD Charles TABOD	Maître de Conférences	<i>Doyen/UBda</i>
13	TCHAWOUA Clément	Maître de Conférences	En poste
14	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
15	BIYA MOTTO Frédéric	Chargé de cours	<i>Dir.Gén. B. MEKIM</i>
16	BODO Bernard	Chargé de Cours	En poste
17	DJUIDJE KENMOE Gemaine épse ALOYEM KAZE	Chargée de Cours	En poste
18	EDONGUE Hervais	Chargé de Cours	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean Sire	Chargé de Cours	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Chargé de Cours	En poste
21	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	En Poste

22	HONA Jacques	Chargé de Cours	En poste
23	MBANE BIOUELE	Chargé de Cours	En poste
24	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
25	MBOUSSI NKOMIDIO Aissatou	Chargé de Cours	En Poste
26	NANA NBENDJO Blaise	Chargé de Cours	En poste
27	NDOP Joseph	Chargé de Cours	En poste
28	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	En poste
29	SAIDOU	Chargé de Cours	En poste
30	SIEWE SIEWE Martin	Chargé de Cours	En poste
31	SIMO Elie	Chargé de Cours	En poste
32	TABI Conrad Bertrand	Chargé de Cours	En poste
33	TCHOFFO Fidèle	Chargé de Cours	En poste
34	VONDOU DERBETINI Appolinaire	Chargé de Cours	En Poste
35	WAKATA née BEYA Annie	Chargée de Cours	<i>Chef Serv. MINESUP</i>
36	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
37	ABDOURAHIMI	Assistant	En Poste
38	CHAMANI Roméo	Assistant	En Poste
39	ENYEGUE A NYAM Françoise épouse BELINGA	Assistante	En Poste
40	MBINACK Clément	Assistant	En Poste

**10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (S.T.) (43)**

1	BILONG PAUL	Professeur	<b>Doyen /Chef de Département</b>
2	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
3	BITOM Dieudonné Lucien	Professeur	<i>Doyen / UN</i>
4	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Maître de Conférences	En poste
5	KAMGANG Pierre	Maître de Conférences	En poste
6	MEDJO EKO Robert	Maître de Conférences	<i>D.I.P.D. UYI</i>
7	MVONDO ONDOA Joseph	Maître de Conférences	En poste
8	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Maître de Conférences	En poste
9	NDJIGUI Paul-Désiré	Maître de Conférences	<b>CSMM</b>
10	NGOS III Simon	Maître de Conférences	<i>D.A.A.C./UM</i>
11	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
12	NKOUMBOU Charles	Maître de Conférences	En poste
13	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
14	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. MINFOF</i>
15	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Chargée de Cours	<b>Chef DAASR</b>
16	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
17	BISSO Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Directeur Projet Barage Memve'ele</i>
18	EKOMANE Emile	Chargé de Cours	<i>Dél. Rég. /MINMIDT</i>
19	ESSONO Jean	Chargé de Cours	<i>C.E.A. MINMIDT</i>
20	GANNO Sylvestre	Chargé de Cours	En poste
21	GHOGOMU Richard TANWI	Chargé de Cours	En poste
22	LAMILLEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
23	MBIDA YEM	Chargé de Cours	<i>CS/LABOGENIE</i>
24	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
25	MOUAFU Lucas	Chargé de Cours	En poste
26	MOUNDI Amidou	Chargé de Cours	<i>Inspecteur 1 MINMIDT</i>
27	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
28	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
29	NGUEUTCHOUA Gabriel	Chargé de Cours	En poste
30	NJOM Bernard de Lattre	Chargé de Cours	En poste

31	NYECK Bruno	Chargé de Cours	<i>S/Directeur/MINMIDT</i>
32	ONANA Vincent	Chargé de Cours	En poste
33	TCHAKOUNTE Jacqueline ép. NUMBEM	Chargée de cours	<i>CEA MINRESI</i>
34	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Chargé de Cours	En poste
35	ZO'O ZAME Philémon	Chargé de Cours	<i>S.G. MINTP</i>
36	ANABA ONANA Achille Basile	Assistant	En Poste
37	FUH Calistus Gentry	Assistant	<i>Sec.d'Etat/ MINMIDT</i>
38	METANG Victor	Assistant	En poste
39	NOMO NEGUE Emmanuel	Assistant	En poste
40	TCHAPTCHE TCHATO De Pesquidoux I	Assistant	En poste
41	TEHNA Nathanaël	Assistant	<i>CS/ MINMIDT</i>
42	TEMGA Jean Pierre	Assistant	En poste

### Répartition chiffrée des enseignants permanents par Département (Mars 2015)

Département	Nombre d'enseignants				
	Pr	MC	CC	ASS	Total
<b>BC</b>	3 (0)	8 (2)	17 (10)	14 (6)	<b>40 (18)</b>
<b>BPA</b>	8 (0)	9 (1)	17 (7)	13 (5)	<b>44 (12)</b>
<b>BPV</b>	1 (0)	7 (0)	11 (3)	6 (5)	<b>25 (8)</b>
<b>C.I.</b>	4 (0)	13 (2)	13 (3)	2 (0)	<b>32 (5)</b>
<b>C.O.</b>	9 (0)	10 (3)	11 (5)	4 (0)	<b>34 (8)</b>
<b>IN</b>	1 (0)	4 (1)	6 (0)	14 (4)	<b>25 (5)</b>
<b>MA</b>	5 (0)	6(0)	19 (1)	5 (1)	<b>35 (2)</b>
<b>MB</b>	1 (0)	2 (0)	8 (3)	2 (0)	<b>13 (3)</b>
<b>PH</b>	5 (0)	9 (0)	22 (4)	4 (1)	<b>40 (5)</b>
<b>ST</b>	2 (0)	12 (1)	20 (4)	8 (0)	<b>42 (5)</b>
<b>Total</b>	<b>39 (0)</b>	<b>77 (10)</b>	<b>143 (40)</b>	<b>70 (21)</b>	<b>330 (71)</b>

Soit un total de : 330 (71) dont

- Professeurs 39 (0)
- Maîtres de Conférences 77 (10)
- Chargés de Cours 143 (40)
- Assistants 70 (21)

- ( ) = Nombre de femmes.

Le Doyen de la Faculté des Sciences  
P.O. le Vice-Doyen/PSAA  
Pr D. NJOPWOUO

# SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE.....	i
SOMMAIRE .....	ix
DÉDICACE .....	xi
REMERCIEMENTS .....	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES .....	xiv
LISTE DES FIGURES.....	xv
LISTE DES TABLEAUX.....	xxi
RÉSUMÉ .....	xxii
ABSTRACT .....	xxiii
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
I-1 Structure et fonctionnement des cours d'eau.....	6
I-2 Généralités sur les diatomées.....	8
I-2-1 Morphologie et structure cellulaire .....	8
I-2-2 Cycle de développement .....	9
I-2-3 Systématique.....	10
I-2-4 Habitat et mode de vie.....	11
I-2-5 Structure des communautés de diatomées sur le substrat benthique.....	13
I-3 Facteurs influençant la distribution et l'abondance des diatomées dans les cours d'eau .....	15
I-3-1 Facteurs abiotiques .....	16
I-3-2 Facteurs biotiques.....	21
I-4 Dynamique spatio-temporelle de la biomasse épilithique en rivière et estimation de la productivité.....	22
I-5 Utilisation des diatomées comme indicateurs de la qualité des eaux .....	23
I-6 Méthodes d'évaluation diatomiques de la qualité des eaux.....	25
I-6-1 Métriques de l'intégrité biotique .....	25
I-6-2 Métriques basées sur la réponse structurale et fonctionnelle des communautés.....	26
I-6-3 Indices diatomiques.....	26
I-6-4 Traits biologiques des diatomées. ....	28
I-7 Utilisation des substrats artificiels dans le diagnostic de l'état de santé des milieux aquatiques.....	28
CHAPITRE II: MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	29
II-1 Présentation de la zone d'étude .....	30
II-1-1 Situation géographique, relief, géologie et pédologie.....	30

II-1-2 Climatologie et hydrographie.....	30
II-1-3 Végétation.....	31
II-1-4 Réseau hydrographique de la Mefou .....	33
II-1-5 Stations d'échantillonnage .....	38
II-2 Durée de l'étude. ....	39
II-3 Analyse physico-chimique de l'eau .....	39
II-4 Analyse biologique.....	46
II-4-1 Dosage des teneurs en chlorophylle <i>a</i> .....	48
II-4-2 Caractérisation de la biomasse du biofilm installée sur les substrats artificiels .....	48
II-4-3 Analyse des communautés de diatomées .....	48
II-5 Traitement des données .....	49
II-5-1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau et structure des communautés de diatomées dans l'ensemble des cours d'eau.....	50
II-5-2 Dynamique de colonisation des substrats artificiels et estimation de la productivité du biofilm...	52
CHAPITRE III- RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	53
III-1 RÉSULTATS.....	54
III-1-1 Qualité physico-chimique de l'eau des cours d'eau étudiés .....	54
III-1-2 Caractéristiques biologiques des cours d'eau étudiés .....	103
III-1-3 Evolution spatio-temporelle des diatomées des cours d'eau étudiés.....	120
III-1-4 Adaptation des diatomées à l'habitat benthique: dynamique d'abondance des formes de croissance dans les cours d'eau étudiés. ....	154
III-1-5 Rôle des variables physico-chimiques sur la diversité et la dynamique d'abondance des diatomées collectées.....	157
III-1-6 Application des indices diatomiques aux cours d'eau étudiés.....	167
III-1-7 Dynamique de colonisation des substrats artificiels par les diatomées et comparaison avec les communautés naturelles .....	175
III-2 DISCUSSION.....	182
III-2-1 Physico-chimie des eaux des cours d'eau étudiés .....	182
III-2-2 Caractéristiques biologiques des cours d'eau étudiés.....	188
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	197
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	201
ANNEXES.....	228

## DÉDICACE

À la grande famille **MENENE**, mon épouse **Gwendoline ÉBANG** et mes enfants (**Priscile WAFING ÉBANG**, **Orléane NNE'E ÉBANG**, **Faith Stève ÉBANG**), pour leur amour, leur soutien, leur patience et pour tous les sacrifices consentis à mon égard.

## REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait jamais pu être menée jusqu'à son terme sans le soutien et les conseils avisés de plusieurs personnes, auxquelles je voudrai rendre hommage.

Je voudrai exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance au **Professeur Thomas NJINÉ** qui, non seulement a dirigé ce travail, mais a aussi participé personnellement à sa réalisation. C'est grâce à l'intérêt qu'il a porté à mes travaux de recherche et à mes requêtes, sa disponibilité malgré ses multiples occupations, sa rigueur scientifique, sa patience, ses conseils et ses encouragements que les difficultés rencontrées ont pu être surmontées. Pour tout dire, son soutien a dépassé le cadre académique. Qu'il veuille trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon attachement.

J'exprime mes sincères remerciements aux membres du jury qui me font le grand honneur de juger ce travail et qui ont accepté d'y consacrer une part considérable de leur temps.

Pour l'accomplissement de cette étude, nous avons bénéficié d'un précieux soutien de la FIS (Fondation Internationale pour la Science). J'adresse ma reconnaissance aux responsables de cet organisme, en particulier, **Dr Annika ERIKSSON** et **Mme Josiane LINDBERG**.

Je remercie vivement le **Professeur Jean PRYGIEL** (Agence de l'Eau Artois Picardie, France) pour l'abondante documentation qu'il m'a fournie. Ses conseils et ses suggestions au début de cette étude m'ont permis de forger une idée scientifique solide pour la poursuite de mes travaux.

La réalisation de ce mémoire a été largement facilitée par le **Professeur Victor François NGUÉTSOP** du Laboratoire de Botanique Appliquée de l'Université de Dschang qui m'a reçu avec bienveillance et a manifesté beaucoup d'intérêt vis-à-vis de ce travail. Il m'a initié à la technique de digestion des diatomées et a mis à ma disposition toute sa documentation relative à la taxonomie de ces microalgues.

J'exprime également ma profonde gratitude au **Professeur Claude BOUTIN** (Laboratoire d'Écologie Fonctionnelle et Environnement, Université Paul Sabatier, Toulouse, France) pour sa disponibilité, ses critiques scientifiques et son assistance permanente tout au long de cette étude. Il m'a fait profiter de ses qualités de chercheur et a été à l'origine de mes contacts avec les diatomistes de cette institution, notamment le **Professeur LE COHU** et le **Dr Loïc TUDESQUE**.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de l'Université de Yaoundé 1, particulièrement aux **Professeurs Charles Félix BILONG BILONG, Abraham FOMENA, Moïse NOLA, Samuel FOTO MENBOHAN, Flobert NJIOKOU et Champlain DJIETO LORDON** pour la formation reçue, leurs encouragements, leurs conseils et leurs précieux soutiens.

Je dois toute ma reconnaissance au **Professeur Serge Hubert ZÉBAZÉ TOGOUET** et au **Dr Norbert KEMKA** dont les efforts conjugués ont permis l'aboutissement de ce travail.

Je n'oublie pas l'ensemble des diatomistes (Diatom-List) qui m'ont fait profiter de leurs connaissances à travers des échanges fructueux et m'ont fourni une importante documentation. Je pense particulièrement aux **Professeurs Jan STEVENSON, Luc ECTOR, Herman VAN DAM**, et aux **Drs Michel COSTE, Soizic MORIN, Diane WINTER, Jonathan TAYLOR, Priscila TREMARIN** et **Juliette TISON**.

Je dis aussi merci à **M. Jean Robert KAMENI**, de l'Institut National de Cartographie et au **Dr DAOUA DAWAI**, qui m'ont aidé à confectionner et à mettre en forme les cartes des bassins versants des cours d'eau étudiés.

Je suis reconnaissant à mes camarades de l'équipe d'Hydrobiologie et Environnement du Laboratoire de Biologie Générale qui ont su entretenir autour de moi l'enthousiasme et un climat de bonne collaboration, rendant le travail moins onéreux.

Un grand merci à mes collègues du Département des Sciences de la Vie et de la Terre de l'École Normale supérieure de l'Université de Maroua pour leurs encouragements, particulièrement **M. MOUSSA DJAOUA** pour les discussions constructives durant la rédaction de ce mémoire.

Les autorités de l'Université de Maroua m'ont soutenu via moult permissions d'absence et missions de recherche, indispensables à la finalisation de ce travail à Yaoundé. Je leur dis merci.

Une pensée particulière à ma grande sœur, **Lucette ÉBALÉ**, pour son amour et tous les sacrifices consentis à mon égard. Que le Seigneur te bénisse pour ta grande bonté.

Ma reconnaissance va aussi à l'endroit des familles **ABA'A, ÉBALÉ, NGUÉMA** et **MASSIMB** pour leur affection, leurs conseils et leurs soutiens.

Un grand merci à **Feu Mme Julienne WAFING** pour son amour, sa gentillesse et qui n'avait cessé de me soutenir pendant les moments de doute et de découragement. Reposes-toi en paix Maman.

Une pensée spéciale à mes parents, **Martin MENYE MENENE** et **Hélène MENYE**, mon oncle, **François ABA'A ÉVOUNA** et mon ami **Dr Médard NDJÉMAI HAMADOU**, que Dieu a rappelé auprès de lui et qui ont toujours souhaité voir l'aboutissement de ce travail. Je garde en mémoire leurs conseils, leurs encouragements et leurs sacrifices qui m'ont permis parfois de me surpasser pendant les moments difficiles.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont encouragé et apporté une aide dans la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES**

AFNOR: Association Française de Normalisation  
BUCREP: Bureau Central de Recensements et d'Étude de la Population.  
CCME: Canadian Council of Ministers of the Environment  
CHU: Centre Hospitalier Universitaire  
IBD: Indice Biologique Diatomées  
ICD: Indice de la Communauté diatomique  
IDEP: Indice d'Eutrophisation/Pollution  
IDG: Indice Diatomique Générique  
IPS: Indice de Polluosensibilité Spécifique  
IS: Indice Saprobique  
IDT: Indice Diatomique Trophique  
MSSC: Matières Sèches Sans Cendre  
IRAD: Institut de Recherche Agricole pour le Développement  
OCDE: Organisation de Coopération et de Développement Économique  
PB: Pic de Biomasse  
PET : Polyéthylène Teraphtalate  
SABC: Société Anonyme des Brasseries du Cameroun  
SCDP: Société Camerounaise de Dépôts Pétroliers  
SDAGE: Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
SITRACEL: Société Industrielle de Transformation de la Cellulose  
SOFAVINC: Société de Fabrication du Vin du Cameroun  
SPE: Substances Polymériques Extracellulaires  
WFD: Water Framework Directive

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Structure du frustule d'une diatomée, <i>Navicula</i> sp.....	9
<b>Figure 2:</b> Représentation schématique du cycle de développement des diatomées montrant les différents modes de reproduction .....	10
<b>Figure 3:</b> Photographies des différents morphotypes des diatomées.....	13
<b>Figure 4:</b> Processus de colonisation progressive des substrats par les différentes formes de croissances des diatomées et évolution de la structure du biofilm périphytique dans le temps .....	14
<b>Figure 5:</b> Courbe théorique de croissance de la biomasse d'un biofilm épilithique. ....	23
<b>Figure 6:</b> Diagramme ombrothermique de la ville de Yaoundé et ses environs pendant la période allant de février 2008 à février 2009 .....	32
<b>Figure 7:</b> Bassin versant de la rivière Mefou, et localisation des stations de prélèvements.....	34
<b>Figure 8:</b> Bassin versant du cours d'eau Nga, et localisation des stations de prélèvements .....	35
<b>Figure 9:</b> Bassin versant du cours d'eau Mfoundi, et localisation des stations de prélèvements .....	36
<b>Figure 10:</b> Quelques activités humaines dans le bassin versant de la Mefou et ses principaux affluents: maraîchage (A) et rejet des bouteilles en polyéthylène dans le lit du Mfoundi (B).....	37
<b>Figure 11:</b> photographies des stations de la rivière Mefou .....	43
<b>Figure 12:</b> Photographies des stations du cours d'eau Nga.....	43
<b>Figure 13:</b> Photographies de quelques stations de certains cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi.....	45
<b>Figure 14:</b> Substrats artificiels (A) immergés dans la colonne d'eau de la station(B) et prélèvement du biofilm (C).....	47
<b>Figure 15:</b> Protocole d'analyse des communautés de diatomées périphytiques.....	51
<b>Figure 16:</b> Variations spatio-temporelles de la température dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. ....	55
<b>Figure 17:</b> Variations spatio-temporelles du pH de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	61
<b>Figure 18:</b> Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	64
<b>Figure 19:</b> Variations spatio-temporelles de l'alcalinité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. ....	65
<b>Figure 20:</b> Variations spatio-temporelles des teneurs en ions $Ca^{2+}$ dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	70

<b>Figure 21:</b> Variations spatio-temporelles des teneurs en silice dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	73
<b>Figure 22:</b> Variations spatio-temporelles des teneurs en MES dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	74
<b>Figure 23:</b> Variations spatio-temporelles de la couleur de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	76
<b>Figure 24:</b> Variations spatio-temporelles de la turbidité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	82
<b>Figure 25:</b> Variations spatio-temporelles du taux de saturation en oxygène dissous dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	84
<b>Figure 26:</b> Variations spatio-temporelles des concentrations en azote ammoniacal dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	85
<b>Figure 27:</b> Variations spatio-temporelles des concentrations en nitrites dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	91
<b>Figure 28:</b> Variations spatio-temporelles des concentrations en nitrates dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	93
<b>Figure 29:</b> Variations spatio-temporelles des concentrations en orthophosphates dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	94
<b>Figure 30:</b> Variations spatio-temporelles de l'oxydabilité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	96
<b>Figure 31:</b> Variations spatio-temporelles de la DBO <sub>5</sub> dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	99
<b>Figure 32:</b> Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des paramètres physico-chimiques mesurés dans les stations des différents cours d'eau prospectés du réseau hydrographique de la Mefou.....	101
<b>Figure 33:</b> Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés sur la base de leurs caractéristiques physico-chimiques.....	102
<b>Figure 34:</b> Variations spatio-temporelles de la concentration en chlorophylle <i>a</i> de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	104
<b>Figure 35:</b> Distribution des différentes classes de diatomées épilithiques collectées dans l'ensemble des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. Le pourcentage de chaque classe représente le nombre de ses taxons par rapport à la richesse taxonomique totale dans le réseau .....	106
<b>Figure 36:</b> Variations spatio-temporelles du nombre d'espèces de diatomées épilithiques dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	108

<b>Figure 37</b> :Variations spatio-temporelles de l'indice de diversité de Shannon et Weaver dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	109
<b>Figure 38</b> : Variations spatio-temporelles de l'équitabilité de Piéou dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. ....	111
<b>Figure 39</b> : Dessins de <i>Chaetoceros</i> sp. (a, b, c), <i>Diatoma</i> sp. (d, e)), <i>Trinacria</i> sp. (f, g), <i>Eunotiasp.1</i> (h, i, j, k), <i>Eunotia</i> sp.2 (l, m, n, o) et <i>Eunotia</i> sp.3 (p).....	114
<b>Figure 40</b> : Dessins de <i>Pinnularia</i> sp.1 (a), <i>Pinnularia</i> sp.2 (b), <i>Stenopterobia</i> sp. (c, d), <i>Caloneis ventricosa</i> ( e ) , <i>Achnanthes subhudsonis</i> (f, g) et <i>Brachysira neoexilis</i> (h). ....	116
<b>Figure 41</b> : Dessins de <i>Cyclotella kuetzingiana</i> (a), <i>Eunotia steineckii</i> (b), <i>Eunotia praerupta</i> var. <i>excelsa</i> (c), <i>Navicula perlatoïdes</i> ( d ) , <i>Navicula scutiformis</i> (f), <i>Nitzschia lorenziana</i> (f), <i>Pinnularia acrosphaeria</i> (g), <i>Pinnularia borealis</i> (h) et <i>Ropalodia gibberula</i> (i).....	117
<b>Figure 42</b> : Dessins de <i>Cymbella gracilis</i> (a), <i>Eunotia incisa</i> (b), <i>Fragilaria pinnata</i> (c), <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (d) , <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (e), <i>Gomphonema gracile</i> (f), <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (g), <i>Frustulia rhomboPides</i> var. <i>saxonica</i> (h), <i>Navicula héimansioïdes</i> (i), <i>Nitzschia umbonata</i> (j), <i>Nitzschia palea</i> (k), <i>Pinnularia subcapitata</i> (l) et <i>Pinnularia microstauron</i> (m).....	120
<b>Figure 43</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Navicula heimansioïdes</i> , <i>Navicula</i> sp aff <i>tenella</i> , <i>Navicula mutica</i> var. <i>intermedia</i> et <i>Diademsis contenta</i> le long de la Mefou et du Nga .....	122
<b>Figure 44</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Achnanthes subhudsonis</i> , <i>Achnanthes lanceolata</i> spp <i>rostrata</i> et <i>Achnanthes exigua</i> var. <i>exiguale</i> long de la Mefou et du Nga.....	123
<b>Figure 45</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> , <i>Cymbella silesiaca</i> , <i>Cymbella descripta</i> et <i>Cymbella gracilis</i> le long de la Mefou et du Nga.....	126
<b>Figure 46</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Eunotia incisa</i> , <i>Eunotia praerupta</i> var. <i>exelsa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>undulata</i> et <i>Euntia pectinalis</i> var. <i>minor</i> le long de la Mefou et du Nga .....	126
<b>Figure 47</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> , <i>Fragilaria pinnata</i> , <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> et de <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> le long de la Mefou et du Nga.....	128
<b>Figure 48</b> : Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema gracile</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> , <i>Gomphonema pseudotenellum</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulus</i> et de <i>Gomphonema minutum</i> le long de la Mefou et du Nga .....	129

<b>Figure 49:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Nitzschia brevissima</i> , <i>Gomphonema clevei</i> et de <i>Gomphonema augur</i> le long de la Mefou et du Nga. ....	132
<b>Figure 50:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative <i>Nitzschia palea</i> , <i>Nitzschia frustulum</i> , <i>Navicula arvensis</i> , <i>Navicula geoppertiana</i> , <i>Navicula mutica</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>Diadesmis contenta</i> et <i>Navicula seminulum</i> le long du Mfoundi .....	132
<b>Figure 51:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Navicula constans</i> var. <i>.symmetrica</i> , <i>Gomphonema gracile</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i> , <i>Gomphonema</i> ..... <i>parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulus</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>lagenula</i> , <i>Pinnularia subcapitata</i> et de <i>Pinnularia microstauron</i> le long du Mfoundi.....	134
<b>Figure 52:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Pinnularia</i> sp1, <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Amphora montana</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cyclotella kuetzingiana</i> , <i>Fragilaria ulna</i> .... var. <i>ulna</i> et <i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> le long du Mfoundi .....	135
<b>Figure 53:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Nitzschia palea</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e) , Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).....	137
<b>Figure 54:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>lagenula</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e) , Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).....	138
<b>Figure 55:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulus</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e) , Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).....	139
<b>Figure 56:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué ..... (d), Abiergué (e) , Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).....	140
<b>Figure 57:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i). ....	141
<b>Figure 58:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i) .....	142
<b>Figure 59:</b> Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de <i>Pinnularia subcapitata</i> le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i). ....	143

**Figure 60:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia microstauron* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i) ..... 144

**Figure 61:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia sp11e* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h). ..... 145

**Figure 62:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia braunii* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h). ..... 146

**Figure 63:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula arvensis* le long de quelques affluents du Mfoundi : Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e) , Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).. ..... 147

**Figure 64:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula seminulum* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i). ..... 148

**Figure 65:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula cryptocephala* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i). ..... 149

**Figure 66:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Sellaphora pupula* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h). ..... 150

**Figure 67:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Amphora montana* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i). ..... 151

**Figure 68:** Analyse en Composantes Principales réalisée à partir de 57 taxons de diatomées récoltées dans les stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. .... 152

**Figure 69:** Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés sur la base de leurs assemblages différents de diatomées épilithiques. .... 153

**Figure 70:** Évolution longitudinale des différentes formes de croissance des diatomées épilithiques dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. .... 156

**Figure 71:** Distribution des diatomées selon leur besoin en matières organiques le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. .... 165

**Figure 72:** Distribution des diatomées selon leur besoin en azote le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. .... 166

<b>Figure 73:</b> Distribution des diatomées selon leur besoin en oxygène le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	168
<b>Figure 74:</b> Distribution des valeurs indicielles des différentes stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou en fonction des classes de qualité des eaux . .....	169
<b>Figure 75:</b> Évolution des indices diatomiques (IPS, IBD, IDG, IDEP) le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.....	170
<b>Figure 76:</b> Comparaison de l'évolution de la richesse spécifique (a), de la diversité (b), de l'indice de polluosensibilité spécifique ,IPS (c), de l'indice de pollution organique, IPO (d) et de la saprobie (e) dans le réseau hydrographique de la Mefou.....	174
<b>Figure 77:</b> Comparaison de l'évolution de l'indice Biologique diatomée, IBD (a), de l'Indice diatomique Générique, IDG (b), de l'Indice d'eutrophisation/pollution, IDEP (c), de l'Indice de pollution organique , IPO (d) et de la saprobie (e) dans le réseau hydrographique de la Mefou.....	176
<b>Figure 78:</b> Évolution du poids sec (a), de la matière sèche sans cendre (b) et de la concentration en chlorophylle <i>a</i> (c) des biofilms établis sur les substrats dans le Nga et le Mfoundi pendant 6 semaines de colonisation. ....	177
<b>Figure 79:</b> Évolution de la richesse spécifique et de l'Indice de diversité de Shannon et Weaver des communautés de diatomées établies sur les substrats (a, b) et de l'épilithon naturel (c, d) pendant 6 semaines de colonisation .....	177
<b>Figure 80:</b> Évolution des principales espèces et variétés de diatomées établies sur les substrats (a) et l'épilithon naturel (b) pendant 6 semaines de colonisation dans le Nga et le Mfoundi. ....	179
<b>Figure 81:</b> Analyse en Composantes Principales (ACP) effectuée à partir de 22 espèces et variétés de diatomées dominantes (abondance relative $\geq 5$ %) installées sur les substrats pendant 6 semaines de colonisation dans le Nga et le Mfoundi .....	181

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Classification des diatomées d'après Round et al. (1990).....	12
<b>Tableau II:</b> Valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie, de la température et de l'humidité relative dans la région de Yaoundé de 2008 à 2010.....	32
<b>Tableau III:</b> Caractéristiques générales des cours d'eau étudiés .....	38
<b>Tableau IV:</b> Caractéristiques morphologiques, hydrologiques et environnement physiques des stations des cours d'eau étudiés .....	40
<b>Tableau V:</b> Comparaison des valeurs de la température, de la conductivité électrique, de l'alcalinité, de la dureté calcique, de la silice et des matières en suspension entre les stations du cours d'eau Mefou à l'aide du test U de Mann-Whitney. ....	56
<b>Tableau VI:</b> Comparaison des valeurs de la température, de la conductivité électrique et de l'alcalinité entre les stations du cours d'eau Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney.....	60
<b>Tableau VII:</b> Comparaison des valeurs de la dureté calcique, des matières en suspension et de l'oxygène dissous entre les stations du cours d'eau Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney.....	72
<b>Tableau VIII:</b> Comparaison des valeurs de la couleur, de la turbidité, de l'azote ammoniacal, des nitrites et de l'oxydabilité entre les stations du cours d'eau Mefou à l'aide du test U de Mann-Whitney.....	79
<b>Tableau IX:</b> Comparaison des nitrites, de l'oxygène dissous de l'oxydabilité entre les stations du cours d'eau Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney.....	89
<b>Tableau X:</b> Distribution d'espèces par genre de diatomées inventoriées dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou .....	106
<b>Tableau XI:</b> Coefficient de corrélation de rang (rs) de Spearman entre les variables physico-...chimiques et les taxons de diatomées dominantes et fréquemment dénombrés dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. ....	158
<b>Tableau XII:</b> Coefficient de corrélation de rang de Spearman entre les indices diatomiques et les principales variables physico-chimiques de l'eau.....	171
<b>Tableau XIII:</b> Classes de qualité des eaux des différentes stations des cours d'eau étudiés obtenues à partir des valeurs des indices diatomiques testés, de l'IPO et de la saprobie calculées.....	175

## RÉSUMÉ

Les communautés de diatomées constituent un modèle biologique adapté à l'étude de la qualité des eaux des milieux lotiques. Dans ce travail, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et la structure des communautés de diatomées épilithiques ont été suivies de février 2008 à février 2009 pour évaluer le niveau de santé de 12 cours d'eau drainant la ville de Yaoundé (Mfoundi et ses affluents) et sa périphérie (Mefou et Nga). Pour permettre les études analogues dans les cours d'eau où les pierres sont rares ou difficilement accessibles, la colonisation des lames de verre par ces microalgues a été évaluée dans le Mfoundi et le Nga, de juillet à août 2010. Les données physico-chimiques et biologiques ont été collectées sur 38 stations réparties le long de ces hydrosystèmes. Les caractéristiques des communautés de diatomées récoltées (richesse spécifique, indice de diversité, équitabilité, formes de croissance, abondance relative, indices diatomiques, biomasse de poids sec, matières sèche sans cendre, Chlorophylle *a*) ont été comparées entre les cours d'eau urbains et ceux de la zone rurale afin d'apprécier leur sensibilité aux changements de la qualité des eaux.

Les analyses physico-chimiques ont révélé une pollution organique des cours d'eau urbains, surtout dans leurs tronçons moyen et inférieur, du fait des apports d'eaux usées domestiques et des effluents industriels fortement chargés en matières organiques et en sels dissous. En saison des pluies, les eaux de ruissellement accentuent cette pollution par l'apport considérable des polluants. Comparativement aux cours d'eau urbains, les eaux du Nga et de la Mefou sont oligotrophes à mésotrophes, avec des valeurs faibles à très faibles de la plupart des variables physico-chimiques analysées, caractéristiques des milieux peu perturbés.

Le peuplement diatomique recensé est diversifié, avec 435 espèces et variétés dont l'existence était jusqu'alors insoupçonnée. La composition spécifique et la structure des communautés ont varié en fonction des stations et des saisons, les abondances relatives des différentes espèces étant associées à la nature géologique des bassins versants et aux activités anthropiques. Une biotypologie des stations a ainsi permis de séparer celles situées en milieu urbain, fortement polluées, où prolifèrent les espèces connues pour leur grande résistance à la pollution organique et à la forte minéralisation des eaux, et celles de la zone rurale et du cours supérieur de l'Abiergué, de Tongolo et du Ntsomo, non polluées, dominées par les espèces oligosaprobies, N-autotrophes sensibles et polyoxybiontes. En saison de pluies, les formes prostrées ont été majoritaires dans le Nga et la Mefou, tandis que les formes érigées et mobiles, plus compétitives pour les ressources nutritives, ont affiché des fortes abondances dans le Mfoundi et ses affluents. Les métriques de diversité spécifique, bien que variables d'un cours d'eau à l'autre, n'ont pas permis de caractériser toute l'ampleur de l'altération de la qualité des eaux. Toutefois, les 4 indices diatomiques (IPS, IBD, IDG, IDEP) ont été testés avec succès et révèlent une pollution forte à très forte (3,6 à 10,9) des eaux du Mfoundi et ses affluents, et des eaux de bonne à très bonne qualité (13,5 à 19,8) du Nga et de la Mefou.

L'expérimentation utilisant les lames de verre a montré qu'elles sont bien adaptées à l'étude de l'épilithon des cours d'eau de la région de Yaoundé, confirmant aussi que les eaux du Mfoundi sont plus productives que celles du Nga.

Cette étude suggère que la structure des communautés de diatomées et les indices diatomiques peuvent être utilisés pour le suivi de la santé des cours d'eau du Cameroun.

**Mots clés:** Diversité spécifique, indices diatomiques, diatomées épilithiques, qualité de l'eau, substrats artificiels, Mefou, Nga, réseau hydrographique du Mfoundi, région de Yaoundé.

## ABSTRACT

Diatom communities are known as suitable biological model for the study of the water quality of lotic hydrosystems. In this work, physico-chemical characteristics of the water and the structure of epilithic diatom communities were followed from February 2008 to February 2009 in order to assess the health status of 12 streams draining Yaoundé township and its suburb environment. To allow similar studies in streams where stones are scarce or difficult to access, the colonization patterns of glass slides by these microalgae was evaluated in Mfoundi and Nga, from July to August 2010. The physico-chemical and biological data were collected on 38 stations distributed in these river systems. Characteristics of diatom communities (species richness, diversity index, equitability, growth forms, relative abundance, diatom indices, dry weight and ash-free-dry-weight) were compared between urban and rural streams in order to assess their sensitivity to changes in water quality.

The physico-chemical results revealed a significant organic pollution of urban streams, particularly in their middle and lower stretches, because of the inputs from domestic sewage and industrial effluents highly loaded by organic matters and dissolved salts. In rainy season, runoff waters accentuate this pollution by the significant supply of pollutants. Compared to the urban streams, the waters of Nga and Mefou presented low to very low values of the most physico-chemical variables analyzed, characteristics of the benchmark streams.

The diatom flora collected is diverse, with 435 species and varieties whose existence was hitherto unsuspected. The species composition and community structure varied according to stations and seasons, relative abundance of species was linked with the geological nature of watersheds and to human activities. A biotypology of stations enabled to separate those located in urban areas where proliferate species known to be resistant to organic pollution and high mineralized waters, and those in the rural areas and the upper stretch of some urban streams, dominated by oligosaprobous, N-autotrophic sensitive and polyoxybiontic species. In rainy season, the prostrate taxa were abundant in Nga and Mefou while erect and mobile taxa, more competitive for food resources, showed mass development in Mfoundi and its tributaries. The diversity metrics, although variable from one stream to another, did not reflect the full extent of the impairment of the water quality. However, 4 diatom indices (SPI, BDI, GDI and EPDI) have been successfully tested and revealed a poor to bad water quality (3.6 to 10.9) of Mfoundi and its tributaries, and the high to good water quality (13.5 to 19.8) of Nga and Mefou.

The experiment using glass slides showed that they are well suited to study the stream epilithon of Yaoundé region, and also confirmed that the Mfoundi's waters are more productive than those of Nga. This study suggests that the structure of diatom communities and diatom indices can be used to assess the health status of streams in Cameroon.

**Keywords:** Species diversity, diatom indices, epilithic diatoms, water quality, artificial substrates, Mefou, Nga, Mfoundi's drainage network, Yaounde region.

# **INTRODUCTION**

Les usages de plus en plus croissants et diversifiés des milieux aquatiques par l'homme sont à l'origine de l'altération plus ou moins importante de leur santé (Saeijs & Van Berkel, 1995; Costanza *et al.*, 1997). La forte urbanisation, l'agriculture intensive et les industries produisent des quantités importantes de déchets solides et liquides qui sont rejetés dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable (Debenest, 2007; Beyene *et al.*, 2009; Moresco & Rodrigues, 2014). Ces rejets polluants non traités (essentiellement riches en nutriments, en matières organiques, en métaux lourds,...) dégradent la qualité de l'eau et modifient la biodiversité de ces hydrosystèmes avec la régression voire la disparition des taxons sensibles (Winter et Duthie, 1998; Foto Menbohan *et al.*, 2011a; Della Bella *et al.*, 2012). Cette altération de la qualité de l'eau peut se manifester par l'eutrophisation, l'acidification, la pollution organique et métallique. Il s'ensuit une réduction considérable des usages de l'eau et l'émergence des microorganismes potentiellement pathogènes à l'origine des maladies hydriques (Ajeegah *et al.*, 2010; Tamatcho *et al.*, 2012). Au Cameroun comme dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, l'altération de l'état de santé des cours d'eau surtout dans les grandes villes à l'instar de Yaoundé s'est aggravée d'année en année avec la poussée démographique, la multiplication des activités et des structures polluantes, l'insuffisance des stations d'épuration fonctionnelles, l'inexistence d'un système d'assainissement approprié et l'augmentation des surfaces imperméables des bassins versants (Tchotsoua, 1993; Njiné *et al.*, 2001; Tanawa *et al.*, 2003, Ébang Menye, 2004).

Ces constats signalent l'urgence de protéger les hydrosystèmes face à l'accroissement important des pollutions d'origines anthropiques. Cette protection des écosystèmes est d'autant plus urgente dans la zone équatoriale qui regorge une forte biodiversité dont 70 % environ des espèces restent encore inconnues (Hamilton, 2005). Pour ce faire, il est nécessaire de connaître au préalable l'état de santé des cours d'eau, intimement lié aux caractéristiques de leurs bassins versants et de la région afin d'adapter les usages en fonction de la qualité effective du milieu et situer les effets des altérations sur le milieu pour une gestion efficiente et durable de ces écosystèmes aquatiques (WFD, 2000; Foster *et al.*, 2001; Wasson *et al.*, 2002).

L'évaluation de l'état écologique des cours d'eau repose essentiellement sur leurs qualités physico-chimique et biologique. Les analyses physico-chimiques des eaux permettent de connaître la nature et la concentration des contaminants présents dans l'eau seulement au moment où les prélèvements ont été effectués, et se trouvent souvent limitées face à un nombre élevé de substances dont la plupart est difficilement quantifiable (WFD, 2000). Ces analyses ne considèrent pas aussi les aspects possibles de synergie ou d'antagonisme entre les divers polluants. Par l'étude des organismes, on procède à une meilleure évaluation de l'intégrité des écosystèmes aquatiques car la

composition ou la structure des peuplements reflète les conditions biotiques et abiotiques du milieu qui se sont succédées durant leur développement sur de longues périodes de temps (Stevenson & Pan, 1999; Soininen, 2002; Beyene *et al.*, 2009; Bere & Tundisi, 2011). En Afrique Centrale et au Cameroun en particulier, la plupart d'études sur l'état écologique des cours d'eau se sont limitées sur le zooplancton, les macroinvertébrés et la microflore bactérienne (Ébang Menye, 2004; Egnima Bamou, 2007; Ajeegah *et al.*, 2010; Nougang *et al.*, 2011; Foto Menbohan, 2012; Onana *et al.*, 2014; Tchakonté *et al.*, 2014). Elles ont montré que les cours d'eau urbains des régions de Yaoundé et Douala sont soumis à une pollution organique importante et hébergent une faune diversifiée et des germes pathogènes. Ces travaux ont porté, soit sur les cours d'eau urbains, soit ceux situés en zone rurale, l'étude simultanée des milieux lotiques de ces deux faciès n'ayant encore été entreprise. De telles approches parcellaires ne permettent pas toujours d'évaluer aisément le niveau d'altération des milieux étudiés, en absence d'un référentiel dans la même région sur la base duquel on peut établir des comparaisons.

Les études floristique et taxonomique des diatomées des cours d'eau en complément à l'évaluation physico-chimique des eaux sont encore naissantes au Cameroun, bien que les données paléontologiques sur ces microalgues sont disponibles pour quelques lacs du pays (Servant-Vildary, 1978; Nguetsop, 1997; Nguetsop *et al.*, 2011, 2013). Pourtant, les diatomées ont longtemps été utilisées dans plusieurs pays d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie, ainsi qu'en Afrique du Sud pour diagnostiquer l'état de santé des cours d'eau en raison de leur grande richesse en espèces présentant des degrés différenciés de sensibilité à des gammes de paramètres de la qualité des eaux, de leur large distribution, de leur cycle de vie court et de leur rôle de producteurs primaires à la base des chaînes alimentaires de ces milieux (Eulin, 1997; Rott *et al.*, 1998; Blinn & Bailey, 2001; Morin, 2006; Debenest, 2007; Triest *et al.*, 2012; Tao Tang *et al.*, 2013). De nombreux indices, basés sur la composition spécifique et les préférences écologiques des espèces, ont ainsi été mis au point pour indiquer les différents niveaux d'altération des écosystèmes d'eau courante et sont largement utilisés dans les programmes de biosurveillance des eaux (Lange-Bertalot, 1979; Coste & Ayphassorho, 1991; Prygiel & Coste, 1993; Wu & Kow, 2002; Potapova & Charles, 2007; Taylor *et al.*, 2007). Ces études ont montré que les caractéristiques des communautés de diatomées en réponse aux changements de la qualité de l'eau diffèrent significativement d'un cours d'eau à l'autre dans la même région, et des régions différentes. Ces différences sont surtout attribuées au taux d'anthropisation des bassins versants de ces biotopes et aux caractéristiques écorégionales (sols drainés, roches encaissantes, relief, climat). La connaissance de la biodiversité et de l'écologie des communautés de diatomées des cours d'eau de divers niveaux de santé d'une région est donc essentielle avant d'appliquer,

d'adapter ou d'élaborer les indices biocénotiques pour le biosuivi de ces hydrosystèmes. La présente étude vise donc à caractériser la diversité et la structure spatio-temporelle des communautés de diatomées épilithiques du réseau hydrographique de la Mefou et évaluer un outil de biosurveillance basée sur ces microalgues dans la région de Yaoundé, zone équatoriale du Cameroun.

De manière spécifique, il s'agit de:

- déterminer la qualité physico-chimique des eaux des cours d'eau exposés à divers degrés de pollution;
- caractériser la flore diatomique de ces cours d'eau en terme de diversité, composition spécifique, abondance relative des espèces et des formes de croissance;
- évaluer les relations entre les caractéristiques des communautés de ces microalgues et les paramètres physico-chimiques;
- tester l'efficacité des indices diatomiques développés en zone tempérée comme outil pratique pour estimer la qualité des eaux de ces cours d'eau;
- évaluer l'emploi des substrats artificiels dans le diagnostic de l'état de santé des cours d'eau, en comparant leur colonisation par les communautés de diatomées avec celle de l'épilithon naturel.

Le présent manuscrit est subdivisé en trois chapitres. Le premier, consacré à la revue de la littérature, fait le point des connaissances sur la structure et le fonctionnement des cours d'eau, donne une présentation générale des diatomées benthiques et les facteurs qui influencent la distribution et l'abondance des taxons. Il donne également une vue d'ensemble de l'utilisation des diatomées comme outil fiable pour évaluer la qualité des eaux. Le second chapitre situe le cadre de l'étude en décrivant les caractéristiques géographiques, géologiques, pédologiques, climatiques et hydrologiques de la région de Yaoundé, et expose les critères de sélection des cours d'eau et des stations d'étude, ainsi que le matériel et les méthodes utilisés. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion. Il décrit la variabilité spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau, de la diversité et de la structure des communautés de diatomées benthiques des cours d'eau étudiés. Des analyses statistiques ont été réalisées afin d'établir les «biotypes» selon le niveau de pollution, en plus de mettre en relation les changements physico-chimiques et la réponse des communautés de diatomées. Des indices diatomiques et biocénotiques ont été calculés afin d'évaluer leur utilisation pratique dans le biosuivi de la qualité des eaux. En fin, la dynamique de colonisation des lames de verres par les diatomées dans le Nga et le Mfoundi a permis d'évaluer leur emploi dans le diagnostic de la qualité de l'eau via les critères généraux et spécifiques. Une conclusion, suivie des recommandations et des perspectives achève ce manuscrit.

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

## I-1 Structure et fonctionnement des cours d'eau

Les écosystèmes aquatiques lotiques, généralement appelés cours d'eau, sont des chenaux superficiels naturels dans lesquels s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Ces hydrosystèmes regroupent les ruisselets, les ruisseaux, les rivières et les fleuves, et se distinguent entre eux par la longueur du chenal, la largeur du lit, le débit de l'eau, la nature du substrat et éventuellement la position (rang de Strahler) dans le réseau hydrographique (Strahler, 1957; Dussart, 1992; Wasson *et al.*, 2002). Contrairement à d'autres milieux aquatiques, les cours d'eau sont fondamentalement caractérisés par les flots d'eau unidirectionnels (gradient amont-aval imposé par la pente et la nature du substrat) avec un haut degré d'hétérogénéité spatiale et temporelle à toutes les échelles jusqu'aux microhabitats (Frissell *et al.*, 1986; Souchon *et al.*, 2000; Berrahou *et al.*, 2001; Wasson *et al.*, 2002). Cette dynamique spatio-temporelle des hydrosystèmes lotiques, liée aux processus physiques (hydraulique, substrat), biochimiques (métabolisme conditionnant l'autoépuration) et écologiques (structure, biologie et fonction de la biocénose), dépend de la géologie (nature des roches), du relief (géomorphologie), du climat (température, précipitations) et de l'occupation du sol de la région concernée (Vannote *et al.*, 1980; Biggs, 1995; Stevenson, 1997; Wasson *et al.*, 2001). Ainsi, plusieurs essais de typologie des cours d'eau, visant à déterminer leurs traits caractéristiques à l'état naturel (conditions de référence), ont été proposés pour expliquer les types de fonctionnement et de décrire la distribution de la biocénose ou d'identifier les tronçons homogènes:

- la typologie géodynamique fonctionnelle ou typologie du fonctionnement physique du cours d'eau, basée sur les caractéristiques hydromorphologiques (pente, vitesse du courant, substrat, débit), rend compte de l'intensité de l'activité géodynamique d'une rivière, c'est-à-dire la vitesse avec laquelle le cours d'eau s'ajuste aux modifications de sa morphologie;

- la zonation écologique des cours d'eau, étroitement liée à l'évolution de l'amont vers l'aval des caractéristiques hydromorphologiques et de la physico-chimie de l'eau, vise à identifier la nature et la structure des peuplements aquatiques en absence d'altération. Dans cette catégorie, Illies et Botosaneanu (1963) ont scindé le cours d'eau en trois zones abritant chacune des peuplements d'invertébrés benthiques qualitativement homogènes: le crénon (zone des sources), le rithron (cours supérieur, rapide) et le potamon (cours inférieur, lent). De même, d'autres auteurs (Pierre, 1968; Biggs & Close, 1989; Penny, 1993; Medley & Clements, 1998; Passy, 2007; Berthon *et al.*, 2011; Rimet, 2012) ont utilisé d'autres descripteurs (pente, nature du substrat, vitesse du courant, fréquence et intensité des crues, chimie de l'eau) pour expliquer la structure spatio-temporelle des diatomées benthiques des cours d'eau. En effet, il a été observé que les espèces de diatomées prostrées ou adnées (*Cocconeis*, *Achnanthes*, *Eunotia*, *Navicula* spp), généralement de petite taille et

très adhérentes aux substrats, sont majoritaires au niveau des sources et du cours supérieur des rivières où le courant est important avec l'eau de bonne qualité. Les taxons érigés et mobiles (*Gomphonema*, *Nitzschia*), très sensibles à l'érosion par les courants élevés et souvent tolérants aux fortes charges en nutriments et en matières organiques de l'eau, dominent le peuplement diatomique dans les tronçons moyen et inférieur des cours d'eau, surtout en milieu urbain.

Dans l'ensemble, les cours d'eau comme d'autres milieux aquatiques sont des systèmes unitaires et fonctionnels intégrant les communautés d'organismes vivants et leur environnement, intimement liés aux caractéristiques régionales et des bassins versants. En effet, chaque organisme ou groupe d'organismes présente des préférences écologiques ou des exigences vis-à-vis des différents facteurs abiotiques (physico-chimie de l'eau, géomorphologie, hydrologie) et biotiques (broutage, compétition, prédation, parasitisme) de l'environnement (Steinman, 1992; Blinn & Bailey, 2001; Passy, 2007; Della Bella *et al.*, 2012; Rimet, 2012; Kovács *et al.*, 2013). Dans les conditions naturelles, la structure des peuplements faunistiques et floristiques des cours d'eau répond à un certain équilibre. Lorsqu'une modification des facteurs clés du fonctionnement écologique de ces biotopes survient, il s'effectue un bouleversement de l'édifice biologique qui se manifeste par un changement de l'abondance relative des différentes espèces, par des substitutions faunistiques et floristiques pouvant aller jusqu'à la disparition totale des biocénoses (Biggs & Close, 1989; Leland & Porter, 2000; Ravindra *et al.*, 2003; Beyene *et al.*, 2009; Foto Menbohan *et al.*, 2011 a; Triest *et al.*, 2012). Les espèces fragiles, plus sensibles, sont plus affectées par ces modifications du milieu comparées à celles qui résistent aux perturbations. Ces organismes polluosensibles sont généralement utilisés comme signaux d'alarme de l'évolution de la qualité des eaux et du niveau d'altération de l'environnement aquatique (Moisson & Pelletier, 2008; Duong *et al.*, 2012). En retour, la composition et la structure des biocénoses modifient constamment les propriétés physico-chimiques de l'eau (notamment les teneurs en sels et gaz dissous, en matières organiques dissoutes et particulaires). Ce qui contribue au processus d'autoépuration à l'origine de la résilience des hydrosystèmes lotiques face aux perturbations naturelles ou anthropiques légères (Pullin & Hammer, 1991; Mulholland, 1992; Teissier *et al.*, 2007).

De manière générale, l'étude de la structure et du fonctionnement des cours d'eau doit intégrer les caractéristiques des bassins versants (nature des sols drainés, modèles d'occupation de l'espace, structure de la végétation) et de la région concernée (géologie, relief, climat), potentiellement influencées par les activités humaines (Naiman *et al.*, 1992; Tison *et al.*, 2005; Leira & Sabater, 2005; Wasson *et al.*, 2006). Par ailleurs, l'évaluation plus rationnelle de l'intégrité écologique des hydrosystèmes lotiques en vue de l'élaboration ultérieure des stratégies de gestion

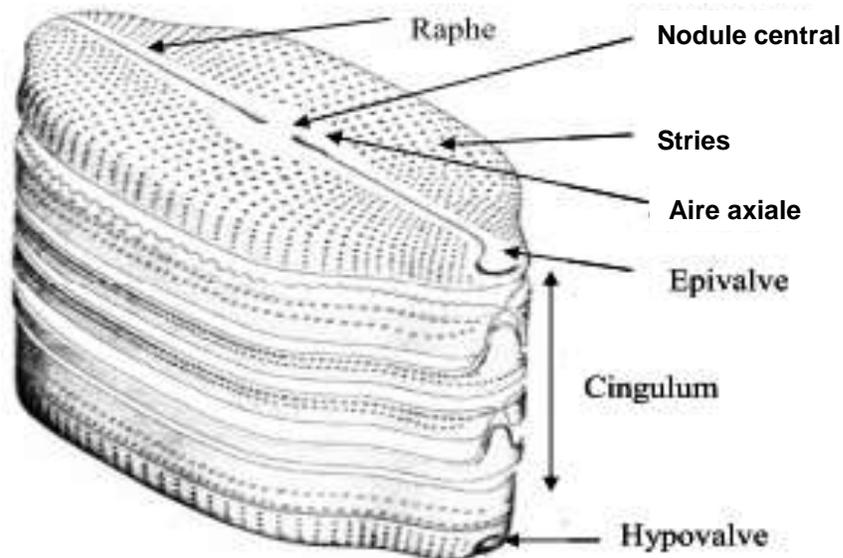
pour garantir les usages potentiels de ces milieux devrait se faire en mesurant l'écart observé par rapport aux conditions de référence (état naturel du milieu relativement non perturbé par l'homme) (Barbour *et al.*, 1999; Stoddard *et al.*, 2006; Kelly *et al.*, 2008). La terminologie du mot communauté dans ce travail désigne un ensemble de populations de microalgues d'espèces différentes en interactions qui cohabitent dans un tronçon du cours d'eau à un moment donné. La structure et la composition spécifique de la communauté reflètent l'héritage des événements et les paramètres qui les ont influencés (Wetzel, 1983).

## **I-2 Généralités sur les diatomées**

Les diatomées ou bacillariophycées sont des microalgues unicellulaires souvent coloniales appartenant à l'embranchement des Chromophytes (algues brunes). Ce sont des microorganismes photosynthétiques et leur taille varie de quelques micromètres à plus de 500 µm pour les plus grandes (Prygiel & Coste, 2000). Les diatomées sont apparues dès le Jurassique (200 millions d'années) et constituent la majeure partie du phytoplancton lacustre et marin, contribuant à près de 25 à 45 % à la production primaire totale de la planète (Werner, 1977; Nelson *et al.*, 1995; Kooistra & Medlin, 1996; Medlin, 2011). Ces algues sont également abondantes dans les cours d'eau où elles forment un tapis brunâtre dans les fonds, rendant les substrats immergés glissants. Les diatomées sont riches en espèces (environ 100.000 actuellement répertoriées) et colonisent divers types de substrats dans des conditions et des milieux très différents, des eaux pures aux plus polluées (Round *et al.*, 1990; Van Den Hoek *et al.*, 1995).

### **I-2-1 Morphologie et structure cellulaire**

Les diatomées sont des cellules eucaryotes enfermées dans une paroi essentiellement constituée de silice hydratée (frustule). Cette paroi siliceuse externe est formée de deux valves emboîtées: l'épivalve (ou valve supérieure) de grande dimension et l'hypovalve (ou valve inférieure), de petite taille. Ces deux valves sont reliées entre elles par des ceintures connectives (Figure 1) composées de fines bandes siliceuses appelées copulae (Round *et al.*, 1990). La cohérence de cet ensemble est renforcée par les substances mucilagineuses (substances polymériques extracellulaires ou SPE) excrétées par la cellule au niveau des perforations réparties sur toute la surface du frustule (Round *et al.*, 1990; Hoagland *et al.*, 1993). Ces substances mucilagineuses peuvent également s'organiser en tubes, pédoncules et fibrilles, et jouent un rôle important dans la formation et la protection des colonies, la mobilité, l'adhésion au substrat, la flottaison et la reproduction (Van Der Hoek *et al.*, 1995; Bertrand, 1999; Prygiel & Coste, 2000). Selon les individus, la forme et la taille des valves, leur structure et leur ornementation (stries, côtes, pores, cloisons, ponctuations, soies, perles, épines, aiguillons... etc) sont extrêmement variables



**Figure 1:** Structure du frustule d'une diatomée, *Navicula* sp. (d'après Round *et al.*, 1990, modifié)

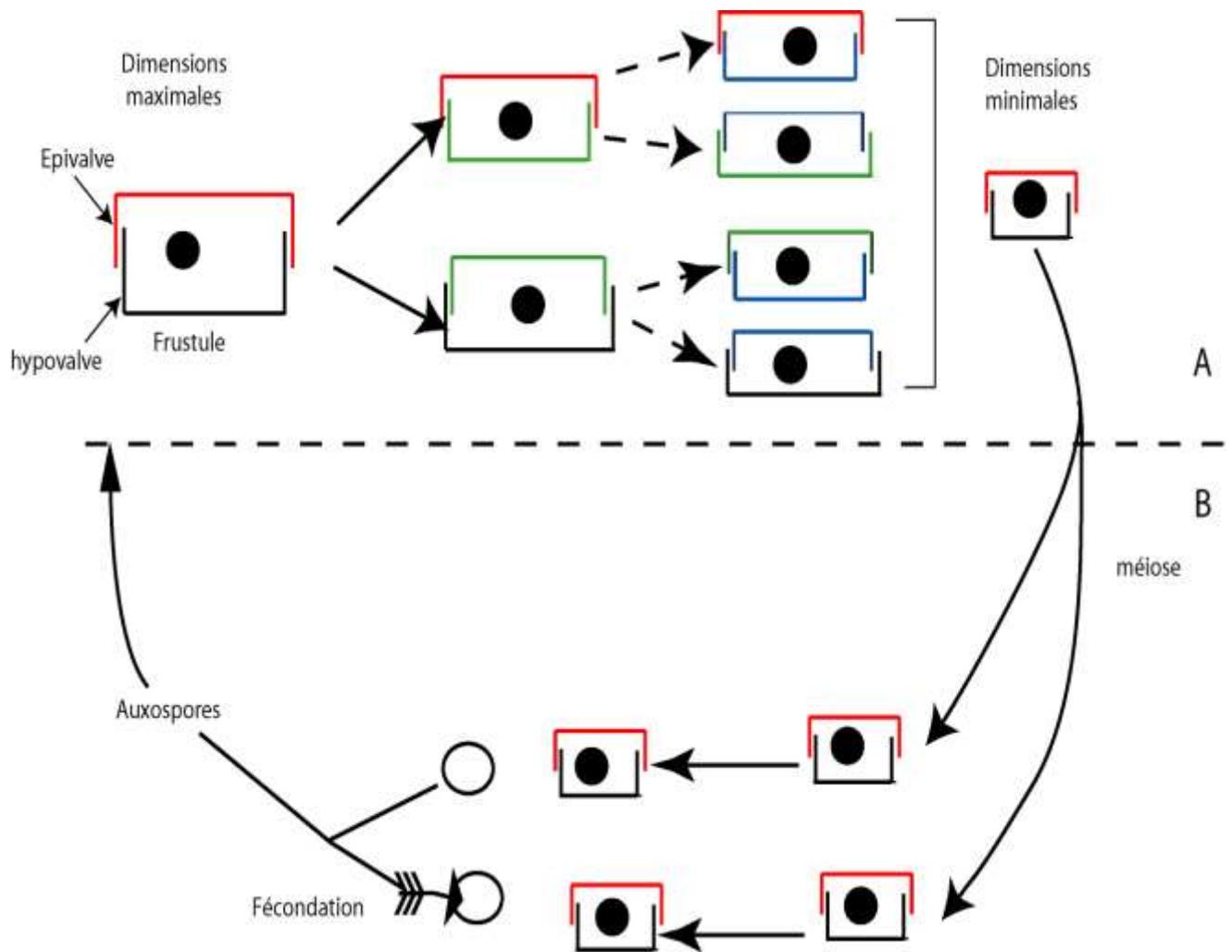
d'une espèce à l'autre. Ces critères morphologiques sont donc utilisés pour identifier les différentes unités taxonomiques, lors de l'examen microscopique (Bourrelly, 1968; Compère, 1975; Round *et al.*, 1990; Dixit *et al.*, 1992).

Le protoplasme des diatomées présente les mêmes structures que celles des autres algues eucaryotes (noyau, mitochondries, appareil de Golgi, réticulum endoplasmique, ribosome, vacuoles, chloroplastes). Les chloroplastes, de couleur jaune pâle ou brun, contiennent des chlorophylles a et c, masquées par une quantité importante de pigments caroténoïdes ( $\beta$ -carotène, diadinoxanthine, diatoxanthine, fucoxanthine) (Bourrelly, 1968; Cox, 1996).

### **I-2-2 Cycle de développement**

Les diatomées ont un cycle de développement relativement court (allant de quelques heures à quelques jours) selon les espèces et les conditions du milieu (Baar, 1983; Debenest, 2007). Elles se reproduisent essentiellement par voie végétative, et rarement par voie sexuée (Round *et al.*, 1990; John, 2000).

Lors de la multiplication végétative, chaque cellule fille reçoit après la mitose, une valve de la cellule mère et régénère la valve manquante, plus petite que la première. Il est observé au fil des générations une réduction progressive de la taille des cellules jusqu'à l'obtention de la taille minimale (Figure 2). La reproduction sexuée, induite par la réduction de la taille de la cellule (40 % environ), permet de restituer les individus de taille normale. Les modalités de cette reproduction sexuée varient chez les diatomées centriques (oogamie) et les diatomées pennées (isogamie et anisogamie), mais l'auxosporulation (production d'auxospores ou cellules œufs) est toujours



**Figure 2:** Représentation schématique du cycle de développement des diatomées montrant les différents modes de reproduction (A: multiplication végétative avec réduction progressive de la taille de la cellule; B: reproduction sexuée avec formation d'auxospores qui donnent des individus de taille normale) (d'après Bourrelly, 1968; Round *et al.*, 1990; Prygiel & Coste, 2000, modifié).

observée (Bourrelly, 1968). Lorsque les conditions de vie deviennent défavorables, les diatomées peuvent former à l'intérieur du frustule des kystes de résistance (Bourrelly, 1968; McQuoid, 2002).

### I-2-3 Systématique

La taxinomie et l'identification des diatomées sont fondées sur les caractéristiques structurales du frustule en vue valvaire (de face) et connective (de profil). Il s'agit de la forme, la taille, la symétrie, l'agencement et la densité des ornements des valves, la nature des ceintures connectives et la présence du raphé. Toutes ces caractéristiques du frustule, extrêmement variables d'une espèce à l'autre, sont observables au microscope photonique (grossissement 1000x) après

élimination par traitement chimique du protoplasme des cellules et de la couche extérieure de matières organiques.

Les essais de classifications des diatomées sont abondants et fréquemment révisés; ceci est dû à une diversité exceptionnelle de ces microalgues. L'ensemble de ces classifications, y comprise celle de Round *et al.* (1990) utilisée dans ce travail, distingue deux grands groupes de diatomées: les diatomées centriques et les diatomées pennées (Tableau I). Les diatomées centriques (classe des Coscinodiscophyceae), majoritairement pélagiques présentent une symétrie axiale et portent des ornements radiales ou concentriques. Les valves peuvent être circulaires, cylindriques ou polygonales. Les diatomées pennées (classes des Fragilariophyceae et des Bacillariophyceae), essentiellement benthiques, ont des valves allongées (linéaires, lancéolées ou ovales) et une symétrie généralement bilatérale des ornements du frustule. Certaines présentent une interruption des stries dans l'axe longitudinale de la valve (pseudoraphé) ou une fente longitudinale (raphé). La présence ou non du raphé permet de distinguer les Araphydées (diatomées sans raphé) et les Raphidés. Les caractéristiques du raphé permettent de distinguer les Proraphidés (raphé court, restreint aux pôles des valves), les Monoraphidés (raphé présent sur une seule valve) et les Biraphés (raphé présent sur chaque valve). Au sein des Biraphés, le raphé peut être placé longitudinalement au centre des valves (*Navicula*), décalé latéralement (*Cymbella*), excentré (*Nitzschia*) ou confiné aux marges de toute la valve (*Surirella*).

#### **I-2-4 Habitat et mode de vie**

Les diatomées possèdent une grande amplitude écologique qui leur confère une très grande ubiquité. Ces microalgues peuvent donc coloniser non seulement les milieux aquatiques (marin et continentaux), mais aussi les milieux aériens et terrestres (sols humides, parois de caverne), dans les conditions des plus favorables aux plus inhospitalières (Elster *et al.*, 2001; Bernard *et al.*, 2004).

Dans les écosystèmes aquatiques, les diatomées présentent deux modes de vie: certaines espèces sont planctoniques alors que d'autres sont périphytiques. Les diatomées planctoniques vivent libres dans la colonne d'eau et sont abondantes dans les milieux marins et lacustres, et dans les tronçons moyen et inférieur des cours d'eau. Mises à part quelques diatomées pennées araphidées (*Asterionella*, *Tabellaria*), les diatomées planctoniques sont surtout représentées par les centriques isolées (*Stephonodiscus*, *Cyclotella*, *Thalassiosira*) ou associées en chaînes (*Aulacoseira*, *Melosira*). Les diatomées périphytiques ou benthiques, essentiellement composées d'espèces pennées, se développent à la surface des substrats immergés en zone photique et sont généralement responsables d'une grande proportion de la production primaire au sein des cours d'eau (Stevenson, 1996; Eulin, 1997). Le type de substrat colonisé détermine en général les communautés de

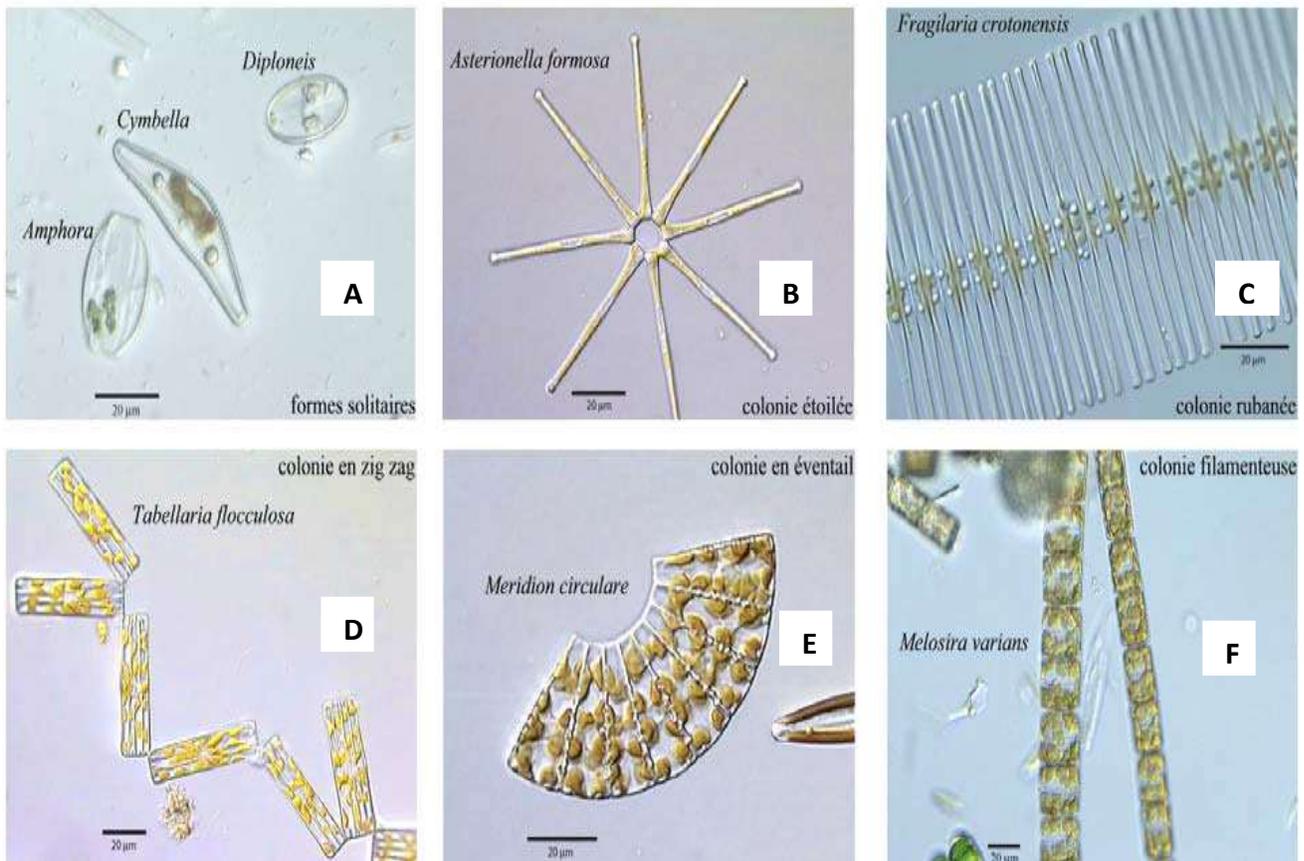
**Tableau I :** Classification des diatomées d'après Round et al. (1990).

Classes	Ordres	Familles	Genres
Coccinodiscophyceae	Thalassiosirales Gletzer et Makarova, 1986	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira</i>
		Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i> <i>Stephanodiscus</i>
	Melosirales Crawford, 1990	Melosiraceae	<i>Melosira</i>
		Stephanopyxidaceae	<i>Stephanopixis</i>
	Aulacoseirales Crawford, 1990	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>
	Orthoseirales Crawford, 1990	Orthoseiraceae	<i>Orthoseira</i>
	Coccinodiscales Round et Crawford, 1990	Coccinodiscaceae	<i>Coccinodiscus</i>
	Hemiaulales Round et Crawford, 1990	Hemiaulaceae	<i>Trinacria</i>
Chaetocerotales Round et Crawford, 1990	Chaetoceraceae	<i>Chaetoceros</i>	
Fragilariophyceae	Fragilariales Silva, 1962	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>
			<i>Diatoma</i>
			<i>Opephora</i>
	Tabellariales Round, 1990	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i> <i>Tetracyclus</i>
Bacillariophyceae	Eunotiales Silva, 1962	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i>
	Cymbellales Mann D.G., 1990	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>
		Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>
	Achnanthes Silva, 1962	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>
	Naviculales Bessey, 1907	Diadesmidaceae	<i>Diadesmis</i>
		Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>
			<i>Amphipleura</i>
		Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>
		Neidiaceae	<i>Neidium</i>
		Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i>
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>
		Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>
		Pleurosigmataceae	<i>Gyrosigma</i>
	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	
	Thalassiosiphysales Mann D.G., 1990	Catenulaceae	<i>Amphora</i>
	Bacillariales Hendey, 1937	Bacillariaceae	<i>Bacillaria</i>
			<i>Denticula</i>
			<i>Hantzschia</i>
<i>Nitzschia</i>			
Rhopalodiales Mann D.G., 1990	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia</i>	
		<i>Rhopalodia</i>	
		<i>Cymatopleura</i>	
Surirellales Mann D.G., 1990	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	
		<i>Stenopterobia</i>	

diatomées souvent très différentes qui s'y installent (Prygiel & Coste, 2000). Ainsi, les diatomées qui forment l'épiphyton se fixent sur les plantes, l'épipsammon sur les grains de sable, l'épipelon sur les sédiments fins et la vase, et l'épilithon sur les pierres. D'autres communautés, l'épizoon, peuvent éventuellement vivre fixer sur certains animaux aquatiques (Round *et al.*, 1990; Romagnoli *et al.*, 2007). Les communautés de diatomées épilithiques (épilithon) constituent le compartiment privilégié dans l'évaluation de la qualité de l'eau des milieux lotiques (Prygiel & Coste 2000; Tao tang *et al.*, 2013).

De manière générale et quelque soit le mode de vie des diatomées, les cellules peuvent être solitaires ou fixées à l'aide des stipes mucilagineux (*Gomphonema*), vivre dans des tubes muqueux

(*Cymbella*). Elles peuvent également former des colonies rubanées (*Fragilaria*), étoilées (*Asterionella*), filamenteuses (*Melosira*), en ziz zag ou en éventail (Figure 3).



**Figure 3:** Photographies des différents morphotypes des diatomées: formes solitaires (A) et coloniales (B, C, D, E, F) (source : <http://www.bio.mtu.edu>, 2006) (barre d'échelle = 20 µm)

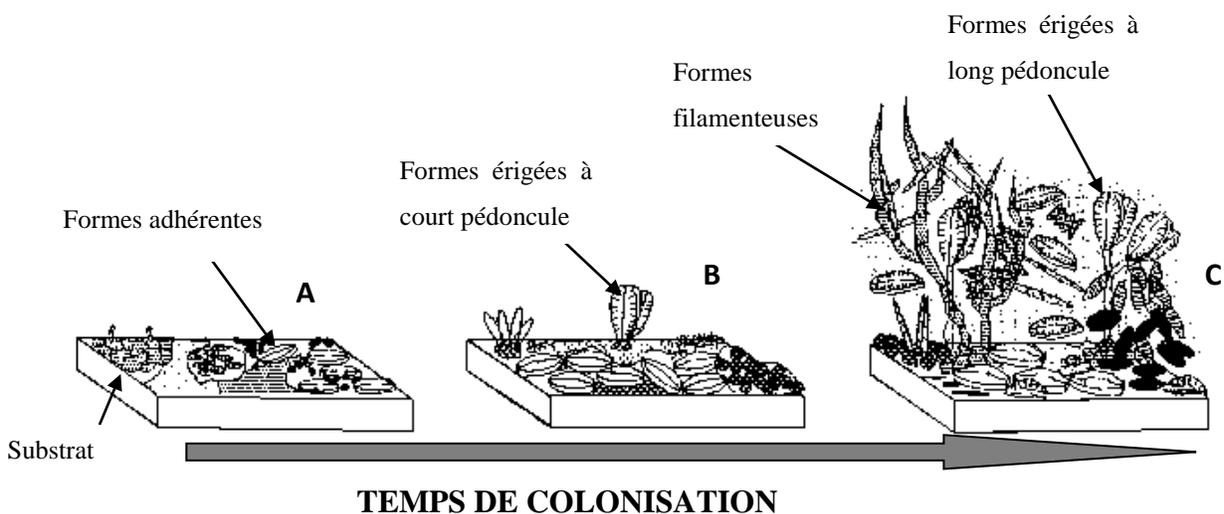
### I-2-5 Structure des communautés de diatomées sur le substrat benthique

Dans les écosystèmes aquatiques, la surface des pierres et d'autres substrats immergés est généralement couverte d'une couche visqueuse de couleur brune ou verte d'épaisseur variable, allant de quelques micromètres à quelques centimètres. Cette couche visqueuse, qualifiée de biofilm, est un assemblage complexe de microorganismes (algues, bactéries, champignons, invertébrés) associés à des particules détritiques enchevêtrées entre elles grâce à une matrice organique composée de substances polymériques extracellulaires (Wetzel, 1983; Carr *et al.*, 2005). Dans les cours d'eau, le biofilm épilithique est dominé par les communautés algales dont les diatomées constituent la composante prépondérante, le développement du phytoplancton étant limité par le courant. Ces microalgues servent comme principal producteur de biomasse et source d'énergie pour les niveaux trophiques supérieurs (Keithan & Lowé, 1985; Biggs, 1996; Stevenson, 1996;

Artigas *et al.*, 2012).

La structure et l'architecture du biofilm épilithique dépendent des caractéristiques morphologiques des espèces algales (formes solitaires, coloniale), leur mode de fixation au substrat (formes prostrées, érigées ou en chaînes) et leur mobilité au sein du biofilm (formes mobiles ou immobiles) (Hudon & Legendre, 1987; Katoh, 1992; Passy, 2007; Taotang *et al.*, 2013). Ainsi, le biofilm peut présenter une ou plusieurs strates d'algues (ayant des formes de croissance différentes) en fonction des conditions hydrologiques, de la disponibilité des ressources (lumière, nutriments) et d'autres facteurs environnementaux (température, broutage par les invertébrés et les poissons) (Tornes & Sabater, 2010; Kovacs *et al.*, 2013).

La colonisation d'un substrat vierge débute généralement par la formation d'une matrice de matières organiques et de bactéries. Les premières algues à s'installer sont des diatomées de petite taille (*Cocconeis sp.*, *Navicula sp.*), accolées solidement au substrat par toute leur surface valvaire (Eulin, 1997; Sekar *et al.*, 2004) (Figure 5 A). Elles sont suivies par les espèces adnées et érigées rattachées au substrat par leur apex (*Eunotia sp.*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*) ou par un court pédoncule (*Achnanthes munitissima*) (Figure 5 B). L'ensemble de ces diatomées, formant la strate d'algues basale du biofilm, est recouvert par les diatomées plus ou moins attachées au substrat par de longs tubes ou pédoncules et celles qui forment des colonies arborescentes (*Cymbella sp.*, *Gomphonema sp.*) (Passy, 2007; Steuer *et al.*, 2009; Berthon *et al.*, 2011). Enfin, une troisième strate d'algues constituées d'espèces filamenteuses (*Melosira sp.*, *Aulacoseira sp.*) peut recouvrir tardivement les diatomées adhérentes et érigées. Le biofilm devient de plus en plus épais et la communauté de diatomées présente alors une structure en trois dimensions, qualifiée de mûre (Figure 5 C).



**Figure 4:** Processus de colonisation progressive des substrats par les différentes formes de croissances des diatomées et évolution de la structure du biofilm périphytique dans le temps (A: Attachement; B: Formation des colonies et production des exopolymères; C: Epaisseur et maturation du biofilm (d'après Gold, 2002, modifié).

L'épaississement graduel du biofilm, soumis à un double contrôle allogène (facteurs extérieurs: vitesse du courant, disponibilité des ressources, température, broutage) et autogène (facteurs internes: compétition, allélopathie), s'accompagne d'une modification de la composition des communautés de diatomées (biodiversité) et de la nature des échanges avec la colonne d'eau. Les espèces qui forment la couche basale du biofilm sont par exemple exposées à une limitation des ressources (nutriments, lumière), mais sont mieux protégées contre l'érosion par le courant ou l'abrasion provoquée par les crues (Pringle, 1990; Eulin, 1997; Stevenson, 1997; Biggs *et al.*, 1998; Kovacs *et al.*, 2013).

Au sein du biofilm, il est également observé des diatomées mobiles (*Nitzschia* sp., *Navicula* sp., *Pinnularia* sp., *Frustulia* sp., *Brachysira* sp.) capables de se déplacer à travers les différentes couches d'algues grâce aux substances polysaccharidiques qu'elles sécrètent (Hoagland *et al.*, 1993; Stevenson, 1996). Aussi, les diatomées planctoniques (*Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp.) peuvent être piégées dans la matrice du biofilm comme c'est souvent le cas dans les tronçons moyen et inférieur de certains cours d'eau où la vitesse du courant est relativement faible (Lamb & Lowé, 1987).

### **I-3 Facteurs influençant la distribution et l'abondance des diatomées dans les cours d'eau**

Dans les cours d'eau, le développement des diatomées périphtiques, la structure des communautés et la distribution des différents taxons dans divers habitats sont régulés par de nombreux facteurs abiotiques et biotiques du milieu. Les facteurs abiotiques les plus évoqués comprennent les ressources (nutriments, lumière), la température, la vitesse du courant, le pH, la conductivité électrique, les matières organiques et la nature du substrat (Prygiel & Coste, 2000; Simkhada *et al.*, 2006; Potapova & Charles, 2005 a; Blanco *et al.*, 2008; Laviale, 2008; Della Bella *et al.*, 2012; Wojtal & Sobczyk, 2012). Quant aux facteurs biotiques, les plus incriminés dans la régulation de la biomasse des biofilms périphtiques et la composition des communautés concernent le broutage, la compétition (pour les ressources et l'espace) et l'allélopathie (Patrick, 1977; Steinman *et al.*, 1991; Eulin, 1997; Graba, 2011; Passy, 2007; Weerman *et al.*, 2011). À l'échelle de l'hydrosystème, l'ensemble de ces facteurs est contrôlé par d'autres facteurs indirects tels que le climat, la géologie, le relief, l'occupation des sols et les activités humaines potentielles du bassin versant (Biggs, 1995; Stevenson, 1997; Leland & Porter, 2000; Blinn & Bailey, 2001; Wasson *et al.*, 2001; Soininen, 2004; Pan *et al.*, 2004). Les spécificités écorégionales et les activités humaines doivent donc être considérées dans l'étude des cours d'eau pour établir leur état écologique et les conditions de référence, importants pour la conservation et la gestion durable de ces milieux aquatiques lotiques (WFD, 2000).

## **I-3-1 Facteurs abiotiques**

### **I-3-1-1 Température**

La température agit plus ou moins directement sur le métabolisme des diatomées en affectant la vitesse des réactions chimiques et biochimiques, la viscosité de l'eau, la solubilité des gaz, des sels et leur diffusion (Hecky, 2000; Prygiel & Coste, 2000). En effet, les températures relativement élevées (25 à 30 °C) engendrent une augmentation du taux de croissance des algues et de la biomasse des biofilms épilithiques, ainsi que la reproduction sexuée des diatomées (notamment la formation d'auxospores) (DeNicola, 1996; Finlay *et al.*, 2001). Il a été observé que la variation du régime thermique des eaux entraîne des modifications de la composition, de l'abondance et de la diversité spécifique des communautés de diatomées des cours d'eau (Mc Cornick & Stevenson, 1991; Ndiritu *et al.*, 2003; Boulêtreau, 2007; Kovacs *et al.*, 2013). L'indice de diversité s'accroît pour les températures fluctuant entre 20 et 30°C, et diminue lorsque les températures dépassent 30°C. Ce qui traduit le fait que chaque espèce diatomique dispose d'une température optimale de développement et une température létale (Finlay *et al.*, 2001).

Par ailleurs, l'activité de broutage par la méiofaune est importante pendant les périodes de fortes températures. Il s'ensuit alors une modification de la structure des communautés de diatomées, et partant la réduction de la biomasse épilithique (Steinman, 1996; Eulin, 1997; Graba, 2011).

### **I-3-1-2 Lumière**

La lumière est une ressource indispensable au développement des diatomées périphtiques. Ces microalgues l'utilisent comme source d'énergie pour la photosynthèse (transformation des composés inorganiques en biomasse vivante). Ainsi, la disponibilité de la lumière, son intensité et sa composition spectrale affectent significativement la croissance des diatomées, la biomasse et la production primaire dans les cours d'eau (Hill, 1996; Laviale, 2008).

Dans les hydrosystèmes lotiques principalement les tronçons fortement ombragés ou présentant des eaux très turbides, colorées et riches en matières en suspension, la lumière devient limitante et a un impact sur la biomasse, la composition spécifique et la structure de la florule diatomique (Steinman *et al.*, 1992; Guasch & Sabater, 1998). Dans ces conditions de faible éclaircissement, la biomasse des diatomées prostrées (*Cocconeis* sp., *Achnanthes* sp., *Eunotia* sp.), qui occupent la couche basale du biofilm augmente alors que celle des diatomées érigées et filamenteuses (*Cyclotella* sp., *Gomphonema* sp., *Aulacoseira* sp.), plus compétitives pour la lumière et colonisant les strates supérieures du biofilm, baisse (Steinman & McIntire, 1987; Michel, 1998; Hillebrand, 2005; Passy, 2007). Par ailleurs, il a été montré que les communautés de diatomées qui

se développent dans les cours d'eau fortement couverts par la canopée ou collectées pendant les périodes de faible insolation renferment moins de pigments chlorophylliens dans leurs cellules que celles exposées à une forte intensité lumineuse (Hill & Knight, 1988; Laviale, 2008). Stevenson *et al.* (1985) ont aussi indiqué que la diversité spécifique et la biomasse du périphyton diminuent avec la profondeur de l'eau, suite à la réduction de la transparence de l'eau.

### **I-3-1-3 Vitesse du courant**

La distribution des diatomées dans les cours d'eau est directement liée à leur mode de fixation au substrat benthique. De nombreux travaux ont montré que d'importantes vitesses du courant augmentent les forces de cisaillement qui s'exercent sur les communautés de diatomées et jouent un rôle primordial dans la compétition entre les espèces, en affectant leur capacité de colonisation (immigration), de résistance au détachement (émigration), et donc la composition et la diversité spécifique, ainsi que la structure verticale de l'assemblage (Lamb & Lowé, 1987; Wendker, 1992; Kovacs *et al.*, 2013). Ainsi, les diatomées très adhérentes au substrat (formes prostrées) sont généralement dominantes pendant les périodes pluvieuses, du fait de l'augmentation de la vitesse du courant et du brassage des eaux. Ces formes écologiques se développent aussi abondamment dans le tronçon supérieur (rithron) des cours d'eau à forte vitesse de courant (Penny, 1993; Graba, 2011; Taotang *et al.*, 2013). L'effet abrasif du courant se trouve amplifié lorsque l'eau contient de fortes teneurs en MES comme c'est généralement le cas après une crue (Francoeur & Biggs, 2006). Aussi, la richesse spécifique et la densité cellulaire sont le plus souvent importantes dans les secteurs de rivière relativement calmes (courant faible) comparés aux zones torrentielles où prolifère un nombre limité d'espèces (Lamb & Lowé, 1987).

Par ailleurs, la vitesse du courant peut stimuler la consommation des nutriments, la photosynthèse et la respiration du périphyton dans les cours d'eau en augmentant les échanges et le transfert de métabolites entre les algues et la colonne d'eau (Riber & Wetzel, 1987; Ghosh & Gaur, 1998).

### **I-3-1-4 pH**

Le pH des eaux d'une rivière varie avec les conditions édaphiques, l'activité photosynthétique et les pressions anthropiques du bassin versant (McNeely *et al.*, 1984; Dejoux, 1988). Il conditionne la distribution des diatomées par ses effets induits sur la solubilité de différentes substances et sur la disponibilité du carbone liée à l'équilibre carbonates-bicarbonates (Patrick, 1977; Wetzel & Likens, 1991; Ludes & Coste, 1996). Ainsi, à pH faible (acide), le carbone disponible pour le développement des diatomées est sous forme de dioxyde de carbone et d'ions

bicarbonates, alors qu'à pH élevé (neutre ou basique), ce sont les bicarbonates et les carbonates qui prédominent. Plusieurs classements des espèces de diatomées en fonction du pH du milieu (Häkansson, 1993; Van Dam *et al.*, 1994) ont permis de distinguer six catégories:

- les diatomées acidobiontes (espèces des genres *Eunotia*, *Frustulia*, *Pinnularia*, *Staurineis*, *Stephanodiscus*) vivent dans les eaux de pH généralement inférieur à 5,5 et se rencontrent abondamment dans les milieux riches en acides humiques;
- les diatomées acidophiles (certaines espèces des genres *Cyclotella*, *Cymbella* et *Nitzschia*) se développent de façon optimale dans les eaux ayant un pH inférieur à 7;
- les diatomées neutrophiles (certaines espèces des genres *Gomphonema*, *Fragilaria* et *Cyclotella*) se multiplient de préférence dans les milieux ayant un pH égal ou voisin de 7;
- les diatomées alcaliphiles (certaines espèces des genres *Cocconeis*, *Cyclotella* et *Nitzschia*) se développent mieux à des pH supérieurs à 7;
- les diatomées alcalibiontes (certaines espèces des genres *Cymbella* et *Gomphonema*) sont inféodées aux milieux basiques;
- les diatomées indifférentes tolèrent une large gamme de pH pour leur développement.

### **I-3-1-5 Conductivité électrique**

Les diatomées rencontrées dans les milieux aquatiques dulcicoles sont généralement sténohalines (faible pouvoir osmorégulateur et ne supportant pas de fortes variations de salinité) et leur distribution est surtout liée à la quantité de sels ionisables dissous dans l'eau, et partant, au degré de minéralisation de l'eau (Prygiel & Coste, 2000; Potapova & Charles, 2003; Bere & Tundisi, 2011). En effet, les espèces de diatomées qui se développent abondamment dans les cours d'eau (ou leurs tronçons) pollués ont besoin des fortes concentrations en sels comparées à celles rencontrées dans les hydrosystèmes relativement non perturbés par l'homme qui exigent de faibles teneurs en sels pour leur croissance (Bellinger *et al.*, 2006; Triest *et al.*, 2012; Niamien-Ébrottié *et al.*, 2013). En plus de ce gradient de conductivité, les diatomées peuvent également présenter des préférences pour certains ions majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) nécessaires à leur développement. C'est par exemple le cas de plusieurs espèces des genres *Eunotia* et *Frustulia* qui sont rencontrées dans les eaux pauvres en ions calcium et magnésium, mais riches en ions sodium et potassium. A l'opposé, certaines espèces appartenant aux genres *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Diatoma*, *Sellaphora* et *Nitzschia* prolifèrent mieux lorsque les eaux renferment des teneurs élevées en ions calcium et magnésium (Potapova & Charles, 2003; Bere & Tundisi, 2011).

### **I-3-1-6 Matières organiques**

Les matières organiques des cours d'eau drainant les zones forestières sont composées essentiellement des substances humiques issues de la transformation des litières (Lecerf, 2005) alors qu'en milieu urbain, elles sont principalement apportées par les rejets domestiques et industriels. De nombreux travaux entrepris sur les diatomées des milieux lotiques ont montré que la contamination des eaux par les matières organiques modifie considérablement la richesse et la composition spécifiques, ainsi que la structure des communautés de ces microalgues (Krstic *et al.*, 1999; Maznah & Mansor, 2002; Fawzi *et al.*, 2002; Salomoni *et al.*, 2006; Beyene *et al.*, 2009).

L'affinité pour les matières organiques étant différente d'une espèce à une autre, cinq classes de tolérance ont été définies (Sladeczek, 1986; Van Dam *et al.*, 1994):

-les diatomées oligosaprobies (*Eunotia incisa*, *Navicula heimansioides*, *Frustulia rhomboides*, *Gomphonema gracile*, *Pinnularia nodosa*) sont électives des eaux non polluées, pauvres en matières organiques et presque saturées en oxygène (> 85% de saturation). Elles sont généralement abondantes dans la zone rithrale des cours d'eau;

-les diatomées  $\beta$ -mésosaprobies (*Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Diademsis contenta*, *Eunotia pectinalis* var. *minor*, *Fragilaria capucina*) sont capables de supporter de faibles charges en matières organiques. Elles prolifèrent mieux dans les eaux légèrement dégradées des cours d'eau non ou moins soumis aux pressions anthropiques;

-les diatomées  $\alpha$ -mésosaprobies (*Navicula cryptocephala*, *Pinnularia subcapitata*, *Nitzschia clausii*, *Navicula mutica*) se développent abondamment dans les eaux fortement polluées avec une minéralisation incomplète des matières organiques qui se trouvent au stade d'acides aminés ou de sels ammoniacaux. Elles supportent un déficit en oxygène (25 à 60 % de saturation);

-les diatomées  $\alpha$ -mésos à polysaprobies (*Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Navicula geoppertiana*, *N. arvensis*, *Cyclotella meneghiniana*) sont rencontrées également dans les eaux fortement polluées, mais très pauvres en oxygène (10 à 25 % de saturation) que les précédentes;

-les diatomées polysaprobies (*Nitzschia palea*, *N. umbonata*, *Navicula subminuscula*) prédominent dans les eaux très polluées par les matières organiques, pauvres en oxygène (< 10% de saturation) et riches en gaz carbonique, en hydrogène sulfureux et en sulfure de fer.

### **I-3-1-7 Nutriments**

La silice, l'azote et le phosphore constituent les éléments les plus indispensables à la croissance des diatomées. Il s'y ajoute divers oligoéléments métalliques et organiques (vitamines) (Ludes & Coste, 1996; House *et al.*, 2001). L'azote et le phosphore, surtout facteur le plus fréquemment limitant en eau douce, interviennent dans la définition du statut trophique des cours

d'eau. Bien que les nutriments soient directement consommés pour le métabolisme et la reproduction des diatomées (production de biomasse périphytique), ils affectent substantiellement la composition et la richesse spécifique, ainsi que la structure des communautés de ces microalgues (Pan & Lowé, 1994; Michel, 1998; Passy, 2007; Berthon *et al.*, 2011). Il a été montré que l'enrichissement des eaux en azote et en phosphore, comme c'est généralement le cas des cours d'eau urbains ou drainant les zones agricoles, entraîne une augmentation significative de la production primaire et un développement important des diatomées eutrophes et hypereutrophes (Kelly, 1998; Lavoie *et al.*, 2004; Potapova & Charles, 2007; Bere & Tundisi, 2011). Aussi, la biodisponibilité de l'azote et du phosphore influence la dynamique de colonisation des substrats par les diatomées. En effet, les faibles concentrations en nutriments favorisent l'installation des diatomées prostrées et adnées qui prédominent dans les tronçons non pollués des cours d'eau, alors que les diatomées érigées, mobiles et filamenteuses sont très abondantes dans les eaux riches en nutriments (Berthon *et al.*, 2011; Kovacs *et al.*, 2013).

Bien que la silice soit rarement limitante en eau douce, le besoin en cet élément varie d'une espèce de diatomée à l'autre, mais également au sein d'une même espèce, selon son stade de développement (Prygiel & Coste, 2000; Blanco *et al.*, 2004). Certaines espèces (*Stephanodiscus astraea*, *Cyclotella ocellata*, *Nitzschia fonticola*) se développent généralement en présence de faibles teneurs en silice (< 1 mg/L). D'autres espèces (*Aulacoseira granulata*), par contre, abondent uniquement dans les eaux riches en silice (atteignant au moins 7 mg/L) (Ludes & Coste, 1996; Ferris & Lehman, 2007). Ces diatomées à forte affinité pour la silice peuvent développer des formes anormales si cet élément devient limitant dans le milieu. La silice biodisponible (entrant dans la composition du frustule des diatomées) provient de l'altération des silicates des minéraux de roches ou de la dissolution dans les sols des phytolithes provenant de la végétation en décomposition (Meybeck, 1986).

#### **I-3-1-8 Substrat**

Les diatomées benthiques colonisent différents types de substrats dans les écosystèmes aquatiques, pouvant être durs (pierres, galets, bois mort, plantes aquatiques) ou meubles (sable, sédiments) (Townsend & Gell, 2005; Potapova & Charles, 2005a; Bere & Tundisi, 2011). Les substrats artificiels comme les lames de verre sont également immergés dans les hydrosystèmes pour suivre la dynamique de colonisation de ces supports par les diatomées (en terme de richesse et composition spécifique des communautés) et estimer la biomasse (productivité) du biofilm, en réponse aux conditions environnementales du milieu pendant une durée déterminée (Gold *et al.*, 2002; Duong *et al.*, 2006 a; Morin *et al.*, 2007). Ces substrats artificiels permettent d'homogénéiser

la nature des supports et de réaliser des prélèvements quantitatifs simples par raclage, rapides, dans les conditions relativement reproductibles d'une station à l'autre et réduisant la variabilité entre les échantillons liée au prélèvement.

Il a été montré que la composition spécifique et l'abondance des espèces, ainsi que la structure des communautés de diatomées échantillonnées au niveau d'un même site diffèrent significativement, dans la plupart des cas, d'un type de substrat à l'autre (Michelutti *et al.*, 2003; Townsend & Gell, 2005; Fisher & Dunhar, 2007). Ces différences sont attribuées aux caractéristiques du substrat telles que sa structure, sa stabilité, sa rugosité et sa taille. En effet, une structure ouverte, permettant une circulation facile de l'eau et des organismes, favorise l'accrochage et le développement des diatomées. De même, un substrat stable et de grande dimension est plus hospitalier pour l'installation d'une florule diatomique importante. Aussi, un support lisse, comparativement à celui qui est rugueux, désavantage l'accrochage d'un nombre élevé de diatomées périphtiques, surtout lorsqu'il n'est pas préalablement recouvert par une couche de matières organiques et la colonisation s'y effectue lentement (Sekar *et al.*, 2004 b). Par ailleurs, la profondeur d'immersion du substrat et son orientation par rapport au courant de l'eau peuvent également influencer significativement la structure des communautés de diatomées périphtiques en favorisant l'immigration de certaines espèces au détriment des autres (Kralj *et al.*, 2006).

### **I-3-2 Facteurs biotiques**

#### **I-3-2-1 Broutage**

Les biofilms phototrophes représentent une importante source de nourriture pour la faunule herbivore dans les cours d'eau. En effet, les macroinvertébrés (nématodes, mollusques, larves de chironomidés et de trichoptères) et le zooplancton (ciliés, rotifères, copépodes, cladocères) modifient considérablement la composition spécifique et la structure des communautés de diatomées périphtiques par un broutage sélectif des algues les plus accessibles (Steinman *et al.*, 1991; Eulin, 1997; Muller-Navarra *et al.*, 2000; Alverson & Courtney, 2002; Weerman *et al.*, 2011; Graba, 2011). Les diatomées prostrées et adnées, occupant la couche basale du biofilm, prédominent lorsque la pression exercée par le broutage devient importante. Plusieurs études ont montré que le type de pièces buccales de l'organisme brouteur, la taille de l'algue et le morphotype (forme solitaire ou coloniale) sont d'autres facteurs pouvant affecter l'abondance et la distribution des espèces de diatomées (Mc Collum *et al.*, 1998; Holomuzki & Biggs, 2006; Lange *et al.*, 2011). Certains macroinvertébrés comme les gastéropodes et les larves d'insectes (*Blepharicera* sp.) sont capables de racler toutes les couches d'algues du biofilm à l'aide de la radula (gastéropodes) ou de

grosses mandibules (*Blepharicera* sp.). De plus, beaucoup d'organismes brouteurs préfèrent des algues de petite taille, faciles à ingérer et à digérer (Peterson *et al.*, 1998; Alverson & Courtney, 2002). Il a également été noté que certaines diatomées érigées (*Fragilaria* sp; *Gomphonema* sp.), en s'enchaînant pour former des colonies à l'aide des tubes mucilagineux très compacts, résistent mieux au broutage (Peterson *et al.*, 1998; Graba, 2011).

### **I-3-2-2 Compétition**

Pour se développer, différentes espèces de diatomées périphtiques compétissent pour les ressources (nutriments, lumière) et l'espace. En effet, les diatomées érigées qui occupent les strates supérieures du biofilm se multiplient abondamment dans les eaux riches en nutriments et fortement éclairées. Les diatomées adhérentes, recouvertes par les précédentes, disposent moins de ressources et peuvent mieux se développer dans les tronçons des cours d'eau non pollués et fortement ombragés (Michel, 1998; Passy, 2007; Kovacs *et al.*, 2013). Concernant la compétition pour l'espace, les communautés de diatomées matures (présentant une structure tridimensionnelle) renferment plus d'espèces que les communautés jeunes monostratifiées. En effet, les communautés matures offrent plus d'espace pour l'installation de nombreuses espèces qui peuvent se fixer sur le substrat, le mucilage, les espèces adhérentes et le pédoncule des espèces érigées (Hoagland *et al.*, 1982; Hudon & Legendre, 1987; King *et al.*, 2005).

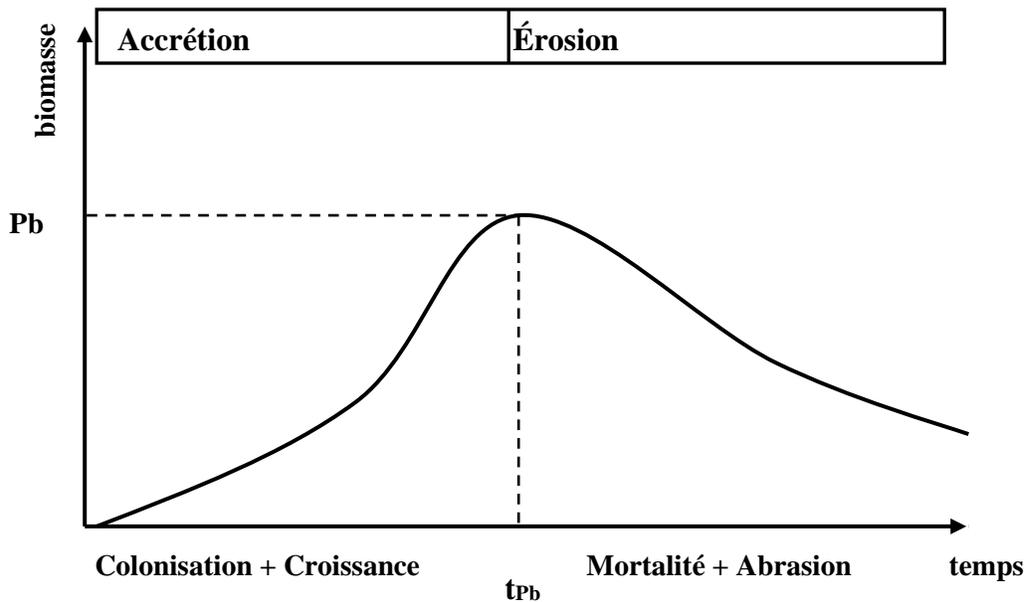
Les diatomées du biofilm excrètent les composées organiques qui peuvent être autotoxiques, hétérotoxiques ou stimulants (Townsend, 1989). C'est par exemple le cas de *Nitzschia palea* et d'*Asterionella formosa* qui libèrent des métabolites hétérotoxiques freinant le développement d'un grand nombre d'espèces algales (Patrick, 1977).

## **I-4 Dynamique spatio-temporelle de la biomasse épilithique en rivière et estimation de la productivité**

La dynamique temporelle à court terme de la biomasse épilithique en rivière résulte de l'équilibre entre des processus d'accrétion (immigration et multiplication de cellules en place) et de perte (mort et émigration de cellules). Selon Biggs (1996), cette dynamique de la biomasse peut être décrite par une courbe théorique (Figure 6) comportant deux phases. La première phase (ou phase de croissance), présentant une évolution exponentielle de la biomasse, est dominée par les processus de colonisation et de croissance. La deuxième phase, quant à elle, se caractérise par les pertes liées à la sénescence, au parasitisme, au broutage ou au détachement autogène (perte soudaine de biomasse due à la diminution de la résistance du biofilm aux forces de cisaillement) (Peterson *et al.*, 1990; Biggs, 1996; Bouletreau, 2007). On assiste à une diminution de la biomasse accumulée sur le

substrat ainsi que l'épaisseur du biofilm. Enfin, la biomasse atteint un palier (ou biomasse maximale) correspondant à la capacité de charge de l'assemblage pendant un temps (tPB) qui varie suivant l'état trophique et l'activité hydrodynamique du cours d'eau (ou du tronçon donné), et suivant les propriétés morphotypiques, taxonomiques et physiologique (histoire et l'âge) du biofilm (Peterson & Stevenson, 1992; Bouletreau, 2007).

En milieu naturel, cette évolution théorique de la biomasse est très rarement observée, le processus de croissance étant le plus souvent interrompu par une perturbation hydrodynamique (vitesse du courant élevée, substrat instable, abrasion) à l'origine d'une perte brutale de biomasse, mais sans disparition complète du biofilm



**Figure 5:** Courbe théorique de croissance de la biomasse d'un biofilm épilithique (**pb**: pic de biomasse; **tpb**: temps nécessaire pour atteindre le pic de biomasse) (d'après Biggs, 1996).

### I-5 Utilisation des diatomées comme indicateurs de la qualité des eaux

Face à l'accroissement important des pollutions d'origine anthropique dans les cours d'eau, les organismes sont de plus en plus utilisés pour diagnostiquer l'état de santé de ces hydrosystèmes, en complément aux analyses physico-chimiques jugées ponctuelles (Sonneman *et al.*, 2001; Salomoni *et al.*, 2006; Debenest, 2007; Porter *et al.*, 2008). En effet, les organismes aquatiques sont en constante interaction physique, chimique et biologique avec leurs habitats, et sont ainsi capables d'intégrer les évolutions environnementales à court terme et à long terme, mais aussi les effets antagonistes ou synergiques des différents polluants, impossibles à mettre en évidence avec les analyses physico-chimiques (Ferris & Lehman, 2007; Kovacs *et al.*, 2013).

L'utilisation des caractéristiques biologiques (présence d'une espèce ou groupe d'espèces,

leur abondance et leur distribution au sein d'une communauté) pour évaluer les critères environnementaux est appelée bioindication. Ces pratiques de bioindication sont relativement simples d'observation, fiables et moins coûteuses, comparées aux analyses physico-chimiques qui demandent parfois des équipements extrêmement chers. La notion de bioindicateur désigne une espèce ou une population qui, du fait des particularités écologiques des espèces composant l'assemblage, est apte à rendre compte de façon intégrée dans le temps de l'ambiance écologique régnant dans un milieu aquatique et à révéler précocement des modifications naturelles ou provoquées de l'environnement (Blandin, 1986; Morin, 2006). Pour permettre une évaluation rigoureuse de la qualité des cours d'eau, les bioindicateurs diatomiques doivent présenter un ensemble de caractéristiques:

**-Cosmopolitisme:** les organismes sélectionnés doivent avoir une large répartition géographique possible. Les diatomées sont présentes dans tous les milieux aquatiques et une grande partie des espèces est ubiquiste. Ce qui permet de comparer les études réalisées sur différents sites, au niveau local et international (Van Dam *et al.*, 1994; Triest *et al.*, 2012).

**-Localisation en début de la chaîne alimentaire, au plus proche de transfert de matières et d'énergie:** les diatomées sont des producteurs primaires les plus abondants dans les cours d'eau et sont directement affectées par les variations environnementales, mêmes légères (Eulin, 1997; Duong *et al.*, 2012; Taotang *et al.*, 2013).

**-Forte abondance et importante biodiversité:** Les diatomées, en tant que microorganismes peuvent former des vastes populations sur des surfaces réduites. Ce qui permet un échantillonnage fiable, facile et rapide sur les substrats. De plus, elles sont riches en espèces présentant des degrés différenciés de sensibilité à des gammes de paramètres de la qualité des eaux (Wendker, 1992; Maznah & Mansor, 2002; Potapova & Charles, 2007; Bere & Tundisi, 2011).

**-Cycle de vie court et sédentarité:** les diatomées sont peu mobiles et ne se déplacent qu'à l'échelle du microhabitat. Elles ont également un cycle de développement allant de quelques heures à quelques jours. Ce qui leur permet de révéler les changements ponctuels, ainsi que les modifications sur le long terme (Krstic *et al.*, 1999; Debenest, 2007; Duong *et al.*, 2012).

**-Échantillonnage et conservation des prélèvements simplifiés:** Les protocoles d'échantillonnage et de préparation de lames de diatomées sont normalisées (AFNOR, 2003; Taylor *et al.*, 2005). Ce qui favorise une utilisation à large échelle par les opérateurs pour la surveillance en routine de l'état écologique des cours d'eau. De plus, la rémanence des frustules de diatomées permet la conservation à long terme des échantillons pour les études ultérieures, assurant ainsi une certaine traçabilité des informations recueillies *in situ*.

Dans l'ensemble, ces critères font des diatomées d'excellents bioindicateurs de la qualité des cours d'eau et permettent d'estimer le niveau de pollution ou le succès des actions de restauration des milieux lotiques (Prygiel *et al.*, 1999).

## **I-6 Méthodes d'évaluation diatomiques de la qualité des eaux**

Dans plusieurs pays d'Europe, d'Amérique du nord et d'Asie, ainsi qu'en Afrique du sud, de nombreuses méthodes permettant d'estimer la qualité des eaux à partir de l'analyse des communautés de diatomées ont été développées (Coste & Ayphassorho, 1991; Gomez, 1998; Wu & Kow, 2002; Potapova & Charles, 2007; Taylor *et al.*, 2007). Ces méthodes, basées généralement sur les préférences écologiques des différentes espèces constituant l'assemblage, ont conduit, dans la plupart des cas, au développement des indices mathématiques. On peut citer les métriques simples de l'intégrité biotique (richesse spécifique, indice de diversité, équitabilité), les métriques basées sur la réponse structurale et fonctionnelle des diatomées, les indices diatomiques et les traits biologiques de diatomées.

### **I-6-1 Métriques de l'intégrité biotique**

Les métriques de l'intégrité biotique permettent d'apprécier la structure et l'organisation des communautés de diatomées, ainsi que leur degré de maturité (Dajoz, 2000).

#### **I-6-1-1 Richesse spécifique**

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces présentes dans un échantillon. Elle indique la variété spécifique du peuplement et fluctue d'un écosystème à l'autre, et d'une station à l'autre au sein d'un même écosystème (Bellinger *et al.*, 2006).

#### **I-6-1-2 Indices de diversité**

Les indices de diversité indiquent le rapport entre le nombre d'espèces et le nombre d'individus faisant partie d'une même communauté, et informent sur la structure de la dite communauté dont est issu l'échantillon (Dajoz, 2000). L'indice de diversité le plus utilisé est celui de Shannon et Weaver ( $H'$ ) qui prend en compte la taille de l'échantillon et l'abondance relative des différentes espèces. Cet indice permet d'apprécier l'organisation des peuplements et leur degré de maturité. En effet, un indice de diversité faible indique généralement une communauté jeune à haut pouvoir de multiplication avec dominance d'un nombre réduit d'espèces ou alors une communauté régulièrement soumise au stress environnemental favorisant la prolifération des espèces tolérantes (Iltis, 1974; Kemka, 2000). Un indice élevé, par contre, caractérise des communautés matures composées de plusieurs espèces ayant trouvé des conditions favorables à leur développement. L'indice  $H'$  de Shannon et Weaver a pour formule:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right)$$

où  $H'$  = indice de Shannon et Weaver exprimé en bits/individu;

$n_i$  = effectif de l'espèce  $i$ ;

$N$  = effectif total des individus récoltés de l'échantillon.

### **I-6-1-3 Équitabilité de Pielou**

L'équitabilité ( $E$ ) de Pielou (1966) est un indicateur qui permet de comparer la diversité calculée à une diversité théorique maximale. Elle traduit également la qualité d'organisation de la communauté via la répartition des effectifs des différentes espèces constituant l'assemblage (Dajoz, 2000; Kemka, 2000), et varie de 0 (dominance d'une seule espèce) à 1 (toutes les espèces ont le même effectif). L'équitabilité est calculée suivant la formule:

$E = H' / \log_2 S$  où  $E$  = équitabilité;  $H'$  = indice de Shannon et Weaver;  $S$  = nombre d'espèces de l'échantillon.

### **I-6-2 Métriques basées sur la réponse structurale et fonctionnelle des communautés**

Ces métriques prennent en compte la composition spécifique des communautés de diatomées et l'abondance relative des différentes espèces, ainsi que la biomasse de l'ensemble de la communauté. Elles permettent d'obtenir des biotypes ou groupes fonctionnels, associés à la qualité physico-chimique des eaux, aux conditions hydrologiques des cours d'eau et aux caractéristiques de leurs bassins versants et de la région (Wendker, 1992; Soininen, 2004; Salomoni *et al.*, 2006; Bere & Tundisi, 2011). Ces métriques font appel aux analyses multivariées (Analyse en Composantes Principales, Analyse Canonique de Correspondance) qui aident à identifier, pour une large base de données incluant les abondances relatives des espèces collectées dans plusieurs sites ayant des caractéristiques environnementales propres, les facteurs qui influencent la distribution d'une espèce ou groupe d'espèces, et partant, la composition spécifique de la communauté (Dixit *et al.*, 1992; Winter & Duthie, 1998; Soininen, 2004). On peut ainsi scinder les cours d'eau en tronçons homogènes caractérisés chacun par des assemblages différents de diatomées, ou alors estimer leur productivité via la mesure de la biomasse périphytique ou de la teneur en chlorophylle  $a$  (Salomoni *et al.*, 2006; Bouletreau, 2007).

### **I-6-3 Indices diatomiques**

Les indices diatomiques s'appuient essentiellement sur les préférences écologiques des espèces de diatomées vis-à-vis des différentes variables physico-chimiques de l'eau (Coste, 1982). Ils prennent en compte la composition spécifique des communautés de diatomées, l'abondance

relative des différentes espèces, leur tolérance et leur sensibilité à la pollution. Ces indices sont calculés selon la formule proposée par Zelinka & Marvan (1961):

$$ID = \frac{\sum A_j V_j I_j}{\sum A_j v_j}$$

Où:

$A_j$  = abondance relative de l'espèce  $j$ ;

$V_j$  = valeur indicatrice de l'espèce  $j$  variant de 1 (espèces plus ubiquistes) à 5 (espèces plus caractéristiques);

$I_j$  = sensibilité à la pollution de l'espèce  $j$ , variant de 1(espèces plus résistantes) à 5 (espèces plus sensibles).

Les indices diatomiques peuvent traduire les différentes altérations des cours d'eau comme la pollution organique, l'eutrophisation, la salinité et l'acidification des eaux, ainsi que la qualité générale du milieu (Coste, 1982; Sladeczek, 1986; Prygiel & Coste, 1993; Coring, 1996; Kelly, 1998). En effet, selon l'objectif poursuivi lors de la mise au point de l'indice diatomique, on distingue:

-les indices de type saprobique: ils traduisent l'enrichissement du milieu en matières organiques biodégradables. Ils comprennent l'indice saprobique (IS) de Sladeczek (1986), l'indice de la communauté diatomique (IDC) de Watanabe *et al.* (1986) et l'indice diatomique (ID) de Descy (1979);

-les indices de type trophique: ils expriment l'enrichissement du milieu en substances nutritives (phosphore, azote) et permettent d'estimer l'eutrophisation. Dans cette catégorie se rangent l'indice d'eutrophisation/pollution (IDEP) de Dell'uomo (1996) et l'indice diatomique trophique (IDT) de Kelly (1998);

-les indices diatomiques visant à évaluer la qualité générale de l'eau: ces derniers intègrent diverses caractéristiques physico-chimiques de l'eau (matières organiques, substances nutritives, chlorures, pH, conductivité électrique, sulfates). Ils regroupent l'indice de polluosensibilité spécifique (IPS) de Coste (1982), l'indice biologique diatomées (IBD) de Lenoir & Coste (1996), et l'indice diatomique générique (IDG) de Coste & Ayphassorho (1991).

Il faut noter que les indices diatomiques présentent certaines limites pour leur utilisation en routine. En effet, ils sont inadaptés à certains contextes hydrochimiques (eaux saumâtres) et aux forts gradients naturels. Ces indices ne prennent pas également en compte les pollutions toxiques, par manque de descripteurs abiotiques correspondants dans le jeu de données. De même, le choix taxonomique et/ou écologique a un impact considérable sur l'efficacité de l'indice (Prygiel & Coste, 1993; Prygiel *et al.*, 1996; Martín *et al.*, 2010).

Bien que ces indices aient été appliqués avec succès dans plusieurs pays en zone tempérée, peu d'informations concernant ces métriques sont disponibles en zone équatoriale. Leur utilisation ultérieure dans ces régions (notamment au Cameroun) pour l'estimation de la qualité des cours d'eau nécessite des études préalables, suivies dans la plupart des cas des calibrations liées généralement à la polluosensibilité différenciée des espèces peuplant ces biotopes (Prygiel & Coste, 1993; Taylor *et al.*, 2007; Kupe *et al.*, 2007).

#### **I-6-4 Traits biologiques des diatomées.**

Ces métriques prennent en compte les formes de croissance et des guildes écologiques basées sur les caractéristiques morphologiques des espèces, leur mode de fixation au substrat et leur mobilité, ainsi que la distribution des différents groupes d'espèces dans les couches du biofilm (Hudon & Legendre, 1987; Katoh, 1992; Passy, 2007, Stevenson *et al.*, 2010). Les traits biologiques des diatomées permettent d'estimer le statut trophique et la pollution organique des cours d'eau, ainsi que les perturbations hydrologiques survenant lors des crues ou des travaux de construction des ouvrages d'art (Berthon *et al.*, 2011; Taotang *et al.*, 2013; Kovacs *et al.*, 2013).

#### **I-7 Utilisation des substrats artificiels dans le diagnostic de l'état de santé des milieux aquatiques**

Les microalgues (diatomées et cyanophycées) sont ubiquistes et colonisent différents microhabitats dans les milieux aquatiques. Ces communautés algales formant le biofilm peuvent se développer sur différents types de substrats naturels comme les pierres, le bois mort, les plantes, le sable et la vase (Blinn *et al.*, 1980; Passy *et al.*, 1999; Benny Chan *et al.*, 2003; Niamen Ebrottié *et al.*, 2008; Bere et Tundisi, 2011; morales et Rivera, 2012). Dans les programmes de biosuivi et du contrôle des caractéristiques écologiques des hydrosystèmes, l'épilithon (algues fixées sur les pierres) est fortement recommandé (Salomoni *et al.*, 2006; Gesierich et Kofler, 2010; Kovacs *et al.*, 2013). Cependant, lorsque les substrats naturels sont rares ou difficilement accessibles dans certains tronçons des cours d'eau, on recourt aux substrats artificiels tels que les lames de verre, les briques, les plaques de polyéthylène ou d'aluminium, les blocs de pierre pour suivre la dynamique de colonisation de ces supports par les diatomées. Les substrats artificiels ont également l'avantage de permettre l'homogénéisation des supports, la collecte quantitative des communautés indicatrices du passé récent du milieu et de favoriser les études comparatives et reproductibles d'une station à l'autre, et d'un cours d'eau à l'autre (Ács et Kiss, 1993; Gold, 2002; Patil et Anil, 2005; Morin *et al.*, 2007).

## **CHAPITRE II: MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## **II-1 Présentation de la zone d'étude**

### **II-1-1 Situation géographique, relief, géologie et pédologie**

La région de Yaoundé (3°52' N, 11°32' E) se trouve dans le centre-sud forestier du Cameroun à une altitude moyenne de 750 m. Le relief est dominé par des terrains ondulés (52,8 % de la superficie de la région) où il s'observe une alternance de collines à fortes pentes, d'inselbergs, d'interfluves, de talwegs et de vallées (Olivry, 1986; Onguéné Mala, 1993; Tchotsoua, 1993). De ce relief naissent des ruisseaux et des rivières permanents coulant en direction du nord vers la Sanaga ou en sens opposé vers le Nyong (Olivry, 1986).

Les formations géologiques de la région appartiennent au complexe de base d'âge précambrien composé essentiellement de gneiss, de migmatites (embréchites et anatexites), de schistes chloriteux et calco-alcalins, de micaschistes et de quartzites (Pelletier, 1969; Eno Belinga, 1984; Vicat & Bilong, 1998). Sur le plan minéralogique, ces roches hétérogènes sont constituées de la biotite, du grenat, de la muscovite, de la chlorite, de la calcite, de l'amphibole, du disthène, du quartz, du pyroxène et du feldspath potassique accompagné de plagioclase (Pelletier, 1969; Vicat & Bilong, 1998; Nzolang *et al.*, 2003).

Les sols de la région se regroupent en trois grandes classes: les sols ferrallitiques, les sols hydromorphes et les sols peu évolués (Bitom, 1988; Onguéné Mala, 1993). Les sols ferrallitiques rouges et jaunes sont observés respectivement sur les sommets des collines et en bas des pentes. Ces sols sont constitués par un assemblage d'argile (kaolinite), de sable, d'oxy-hydroxydes de fer (géothite, hématite) et d'aluminium (Onguéné Mala, 1993). Les sols hydromorphes dont l'évolution est dominée par un engorgement aqueux temporaire (pseudogley) ou permanent (gley) sont localisés dans les vallées marécageuses et forment des bandelettes au voisinage des cours d'eau. Ces sols sont généralement riches en matières organiques. Les sols peu évolués, quant à eux, se situent sur les massifs montagneux et les talwegs à forte pente. Dans l'ensemble, tous les sols de la région de Yaoundé sont acides avec un pH généralement inférieur à 6 unités conventionnelles (Bachelier, 1959; Vallerie, 1973; Temgoua *et al.*, 2001).

### **II-1-2 Climatologie et hydrographie**

La région de Yaoundé est soumise au climat équatorial classique de type guinéen, chaud et humide, caractérisé par 4 saisons de durée variable d'une année à l'autre (Olivry, 1986; Suchel, 1987). Ces saisons sont réparties de la manière suivante: une grande saison sèche qui va de la mi-novembre à la mi-mars; une petite saison des pluies qui s'étend de la mi-mars à la fin du mois de juin; une petite saison sèche qui va de juillet à la fin du mois d'août et une grande saison de pluies

qui s'étend de septembre à la mi-novembre. Ce climat se distingue aussi par l'abondance de précipitations (1650 à 2000 mm/an), une température variant entre 16 et 31°C selon les saisons pour une moyenne annuelle de 23,5°C, une humidité relative moyenne de 80 % sans grande variation saisonnière et une insolation d'environ 1841 heures par an (Moby Étia, 1979; Olivry, 1986).

Le tableau II et la figure 6 illustrent quelques caractéristiques climatiques dans la région de Yaoundé de 2008 à 2010. Ces données ont été obtenues à la station météorologique de Yaoundé. Il est noté de faibles variations mensuelles de la température avec une amplitude de 2,9°C pendant la période d'étude. La température moyenne annuelle est de 25,9°C en 2008 et de 24,3°C en 2009. L'humidité relative de l'air varie aussi peu dans le temps avec une moyenne interannuelle de 79,6 %. La pluviométrie annuelle s'évalue à 2037 mm en 2008 et à 1217,4 mm en 2009, la moyenne interannuelle étant de 1627,2 mm. Les mois les plus pluvieux de cette étude ont été avril 2008 (522 mm) et mai 2009 (332,8 mm). Les mois où on a enregistré une faible pluviométrie ont été février 2008 (12 mm) et décembre 2009 (1,4 mm). Dans l'ensemble, les caractéristiques climatiques dans la région de Yaoundé pendant la période d'étude ne marquent pas de variations significatives avec les valeurs moyennes du climat équatorial guinéen décrit par Suchel (1987).

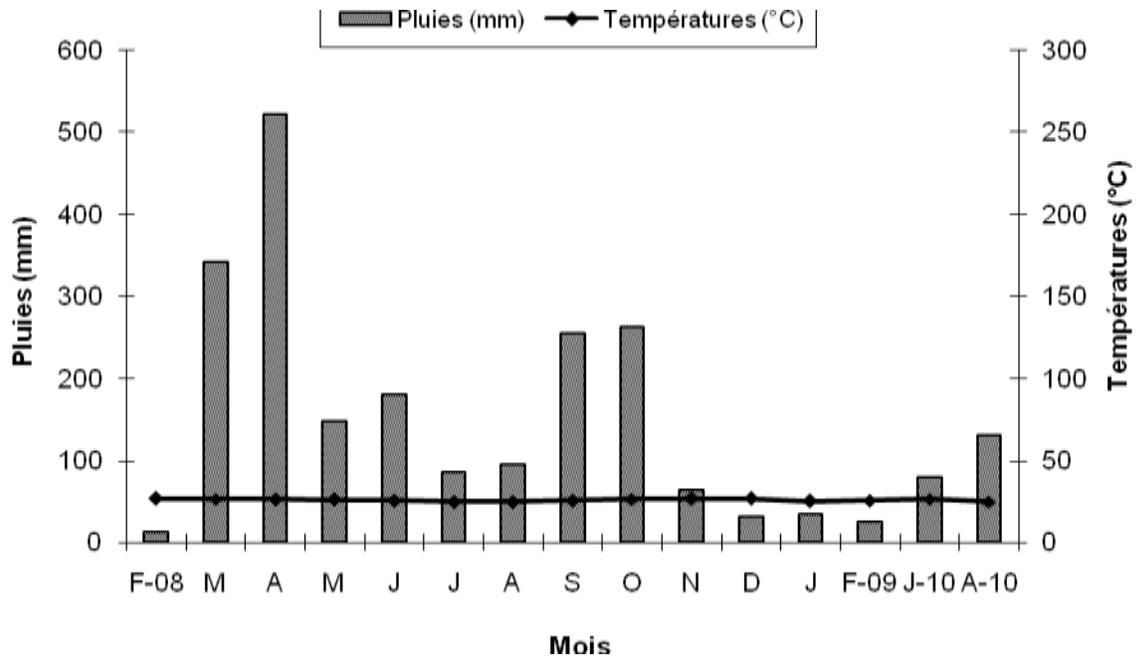
Le réseau hydrographique de la région de Yaoundé est dense, très ramifié et se présente en forme "d'arrêtes de poisson" dont les cours d'eau d'ordre 1, 2 et 3 qui sont pour la plupart permanents, contribuent à plus de 70 % du linéaire cumulé du chenal. De nombreux ruisseaux se jettent dans les trois principales rivières que sont la Mefou (à l'Ouest et Sud-Ouest), l'Anga'a (à l'Est et Sud-Est) et le Foulou (au Nord-Est). La Mefou qui appartient au bassin du Nyong reçoit au Nord de Yaoundé de nombreux affluents dont les principaux sont le Nga (rive droite) et le Mfoundi (rive gauche). Le régime hydrologique de ce réseau est surtout régulé par les précipitations et l'architecture orogénique de la région (Olivry, 1986; Liéno *et al.*, 2008; Ndam *et al.*, 2007). Ces hydrosystèmes sont en crue pendant la grande et la petite saison de pluies, l'étiage correspondant à la grande et la petite saison sèche.

### **II-1-3 Végétation**

La végétation, avec le relief et le sol, influence le régime hydrologique des cours d'eau (Amou'ou Jam *et al.*, 1985; Olivry, 1986). Dans la région de Yaoundé se développent la forêt dense semi-caducifoliée et les forêts atlantique et congolaise (Letouzey, 1968). La forêt dense semi-caducifoliée y est très répandue et se caractérise par l'abondance des Sterculiacées (*Sterculia rhinopetala*, *Sterculia tragacantha*, *Mansonia altissima*, *Cola cordifolia*, *Triplochiton scleroxylon*) et des Ulmacées (plusieurs espèces du genre *Celtis*). Les Moracées et les Maranthacées y sont

**Tableau II:** Valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie, de la température et de l'humidité relative dans la région de Yaoundé de 2008 à 2010

mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
pluies (mm)	27,8	31,5	193	346,9	239,9	131,6	56,4	60,1	218,5	234,9	67,4	16,2
Température (°C)	25,6	25,5	26,1	25,7	25,2	24,3	24,2	24,2	24,4	24,9	25,6	25,4
Humidité relative (%)	76,5	72,5	79,5	82,5	81,5	83	81	74,5	82	87,5	78,5	75,5



**Figure 6:** Diagramme ombrothermique de la ville de Yaoundé et ses environs pendant la période allant de février 2008 à février 2009 et de juillet à août 2010 (Source : Service Régional de la Météorologie du Centre et de l'IRAD de Yaoundé, 2010).

également bien représentées. Les forêts atlantique et congolaise se situent en aval de Mbalmayo et se distinguent par la prédominance des Légumineuses (*Afzelia bipindensis*, *Daniella klainei*, *Detarium macrocarpum*) et un développement remarquable des Irvingiacées, des Rosacées, des Méliacées et des Sapotacées (Letouzey, 1968; Olivry, 1986). Il est souvent observé des arbres provenant des recrus secondaires (*Ricinodendron africanum*, *Albizzia gummifera*, *Terminalia superba*, *Tetrapleura tetraptera*).

En zone urbaine, la végétation est réduite à quelques arbres fruitiers et d'espèces herbacées. Les bas fonds marécageux sont occupés par les macrophytes et parfois des raphiales.

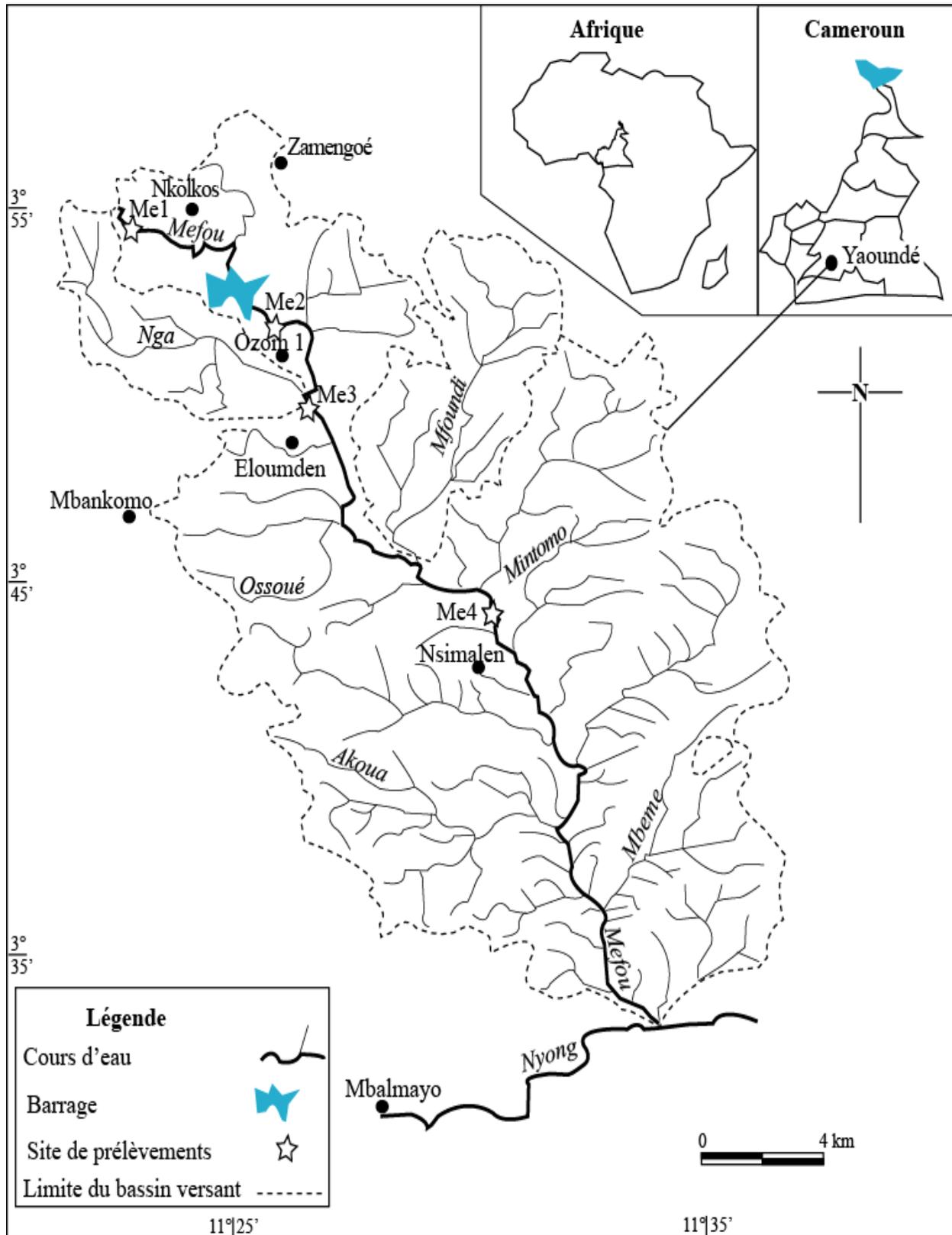
## II-1-4 Réseau hydrographique de la Mefou

L'étude a été réalisée sur le réseau hydrographique de la Mefou qui draine deux faciès importants: une zone faiblement anthropisée, essentiellement couverte d'une forêt secondaire (secteurs Nord et Ouest du bassin versant de la Mefou et le sous-bassin versant du Nga qui servent de conditions de référence) et une zone urbanisée (sous-bassin versant du Mfoundi). Au total, 12 cours d'eau ont été retenus pour l'étude dont deux en zone rurale (Mefou et Nga) et 10 en milieu urbain (Mfoundi et ses principaux affluents que sont Abiergué, Mingo, Olézoa et Ntsomo à la rive droite; Tongolo, Ntem, Ébogo, Éwoué et Aké à la rive gauche) (Figures 7, 8, 9). Ces cours d'eau ont été choisis en tenant compte des caractéristiques de leurs bassins versants (occupation des sols, activité humaines), leur localisation sur le réseau et par rapport aux sources de pollutions.

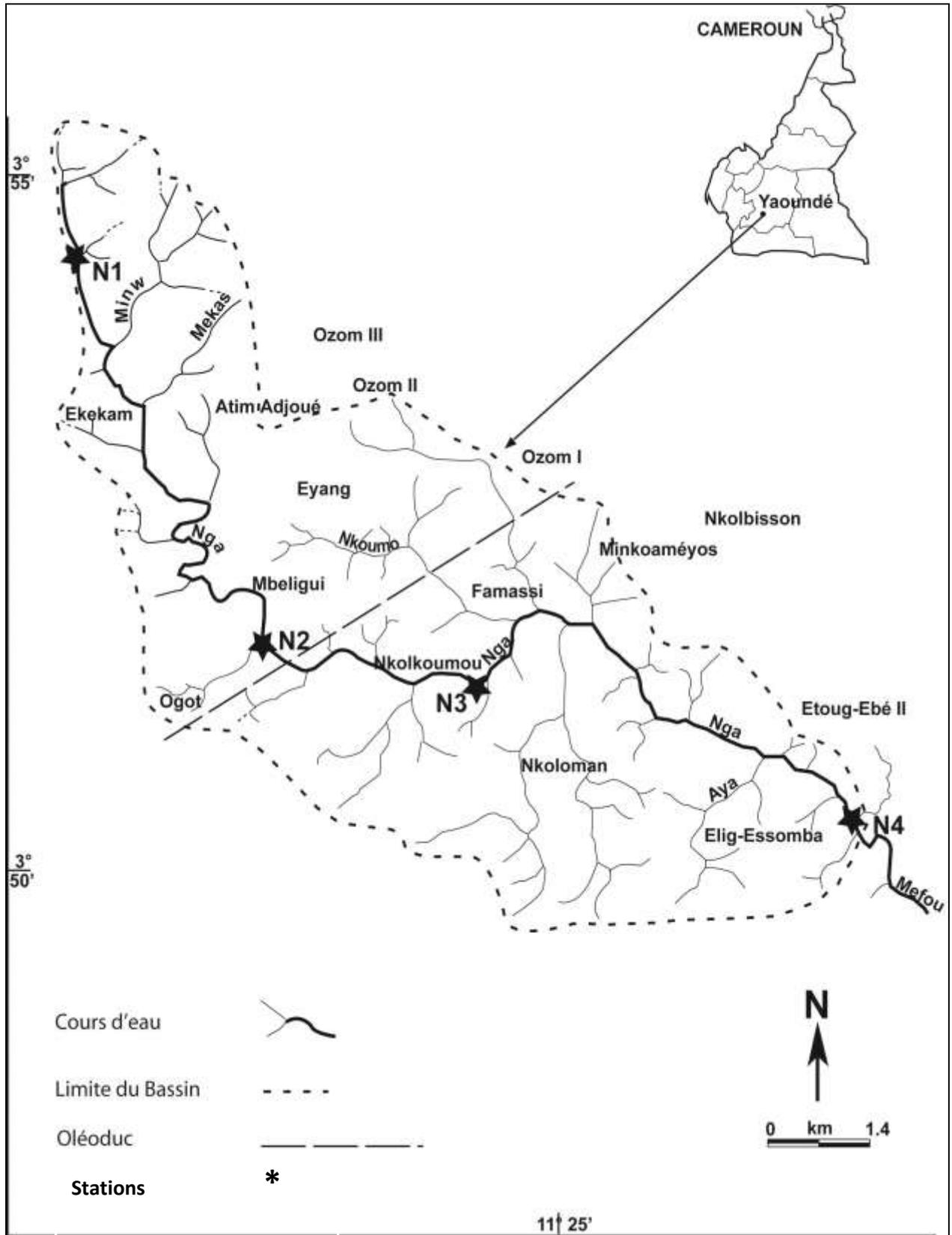
La rivière Mefou est l'un des plus importants affluents de la rive droite du fleuve Nyong (Olivry, 1986). Elle prend sa source à 18 km environ au nord-ouest de la ville de Yaoundé sur le flanc du mont Odou à 1225 m d'altitude à Akolafit. Orientée NW-SE, la Mefou coule d'abord en cascade entre la source et le barrage de la Mefou au niveau d'Ozom I dans une zone de forte pente (8 ‰). À partir du barrage, son écoulement se fait sur une faible pente (3 ‰) jusqu'à Nsimalen. Dans ce tronçon, cet hydrosystème draine la périphérie ouest de Yaoundé (quartiers Nkolbisson et Mendong). De Nsimalen à sa confluence avec le fleuve Nyong à Mbalmayo, la Mefou coule en pente douce d'environ 1 ‰ (Onguéné Mala, 1993). Le long de son trajet, la rivière traverse plusieurs zones inondables. Son bassin versant, d'une superficie de 840 km<sup>2</sup>, est situé entre les latitudes 3°30' et 3°58' Nord et les longitudes 11°20' et 11°40' Est (Figure 7). Il draine les départements de la Lékoumou, du Mfoundi et de la Mefou et Akono.

Le Nga prend sa source au pied des massifs Nkolman et Nkolbot à 860 m d'altitude. Il s'écoule en suite dans la direction NO-SE jusqu'à sa confluence avec la rivière Mefou en contrebas du mont Éloumden à 680 m d'altitude. D'une longueur de 19 km, le cours d'eau Nga draine les cantons Ekekam, Ongot, Nkolkoumou, Nkolman et Elig-Essomba dans une zone de forêt dense humide peu dégradée par l'homme. Son bassin versant (53,17 km<sup>2</sup>) est localisé au nord-ouest de Yaoundé entre les latitudes 3°50' et 3°55' Nord et les longitudes 11°21' et 11°27' Est (Figure 8).

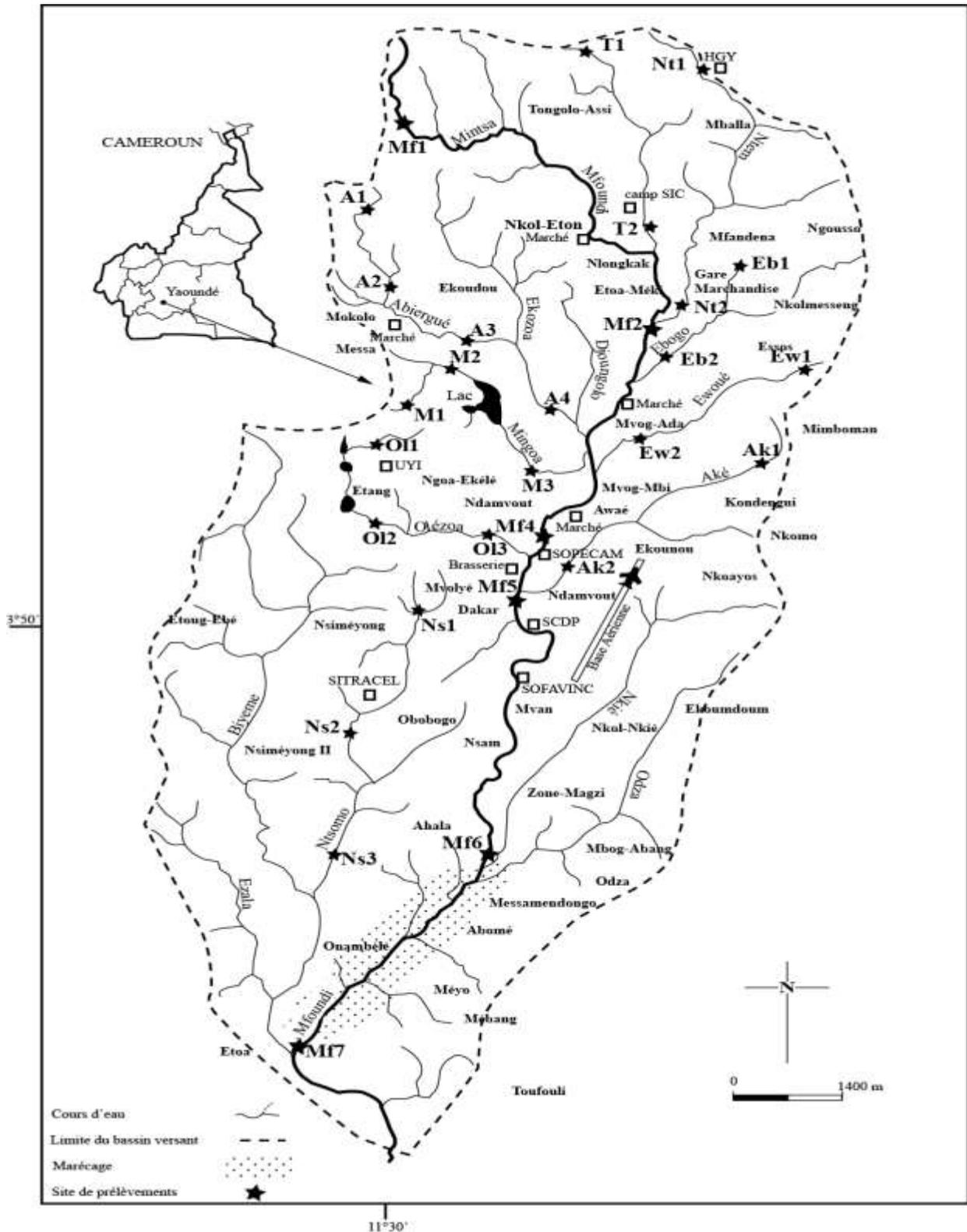
Le Mfoundi est le principal cours d'eau de la ville de Yaoundé et représente le collecteur privilégié des déchets liquides et solides (eaux usées domestiques, eaux résiduelles des industries alimentaires, ordures ménagères, bouteilles PET, décharges publiques) produits par la cité ainsi que le flux polluant drainé par ses affluents. Orienté ONE-ESE, il prend sa source sur le versant nord-est du mont Mbankolo à 950 m d'altitude (Figure 9) et s'engage d'abord sur un court trajet à forte pente (13 ‰) de 2 km environ, puis commence son parcours urbain où il traverse des quartiers



**Figure 7:** Bassin versant de la rivière Mefou, et localisation des stations de prélèvements (Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, stations Mefou 1 à Mefou 4) (source: Fond topographique de Yaoundé réduit au 1/400000).



**Figure 8:** Bassin versant du cours d'eau Nga, et localisation des stations de prélèvements (N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, stations Nga 1 à Nga 4) (Source: Fond topographique de Yaoundé au 1/50000).



**Figure 9:** Bassin versant du cours d'eau Mfoundi, et localisation des stations de prélèvements (Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: O<sub>1</sub> à O<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>). (Source: Fond topographique de Yaoundé au 1/50000)

populeux aux activités diverses et reçoit ses principaux affluents (Abiergué, Mingoa, Olézoa, Ntsomo, Tongolo, Ntem, Ébogo, Éwoué et Aké). Dans les cours moyen et inférieur du Mfoundi, l'écoulement se fait péniblement dû à la faiblesse de la pente et au rejet des déchets solides dans le lit. Le Mfoundi se jette dans la rivière Mefou au niveau d'Afan-Oyoo, à 620 m d'altitude, après un parcours de plus de 3 km dans une zone marécageuse. Son bassin versant (97,7 km<sup>2</sup>), situé entre les latitudes 3°45' et 3°55' Nord et les longitudes 11°27' et 11°34' Est, couvre le département du même nom.

Concernant les activités humaines dans le bassin versant de la Mefou et ses affluents, il est aisé de distinguer l'agriculture, l'urbanisation, les exploitations traditionnelles de la forêt et l'extraction des granulats. L'agriculture se fait en zone rurale de façon artisanale et concerne essentiellement les cultures vivrières (arachides, maïs, manioc, banane plantain, macabo, haricot, cucurbitacées) et les cultures de rente (Cacaoyer, palmier à huile). Le maraîchage se pratique dans les bas fonds marécageux surtout dans le bassin versant du Mfoundi (Figure 10 a). La ville de Yaoundé avec ses 1.969.874 habitants (BUCREP, 2005) est bâtie sur le sous-bassin versant du Mfoundi. 95 % environ de la superficie de ce sous-bassin versant sont entièrement anthropisés avec 60 % des espaces imperméabilisés. Il y est observé de nombreuses structures polluantes (industries alimentaires et de traitement de la cellulose, marchés, établissements hospitaliers et hôteliers, abattoirs, lotissements SIC, garages et laveries, entrepôts de produits pétroliers, etc) dont les déchets sont rejetés dans le Mfoundi et ses affluents (Figure 10 b).



**Figure 10:** Quelques activités humaines dans le bassin versant de la Mefou et ses principaux affluents: maraîchage (A) et rejet des bouteilles en polyéthylène dans le lit du Mfoundi (B).

Quelques caractéristiques générales des cours d'eau étudiés, les usages de l'eau et les zones drainées sont présentés dans le tableau III.

**Tableau III** : Caractéristiques générales des cours d'eau étudiés.

Cours d'eau	Longueur (Km)	Altitude/ source (m)	Superficie du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Zone drainée/ quartiers	Usage de l'eau
Mefou	65	1225	840	Départements Lékié, Mfoundi, Mefou et Akono	Boisson, lessive, irrigation, baignade, travaux ménagers
Nga	19	860	53,2	Cantons Ekekam, Ongot, Nkolkoumou, Nkolman, Elig-Essomba	Boisson, lessive, baignade, irrigation, travaux ménagers
Mfoundi	19.5	950	97.7	Ville de Yaoundé	Arrosage des cultures et leur nettoyage pour la vente, lessive, baignade
Abiergué	5.4	775	6.8	Tsinga, Nkomkana, Ntougou II, Mokolo, Messa, Briqueterie	Irrigation, lavage des automobiles
Mingoa	3.9	734.5	3.8	Elig-Effa, Melen, Messa	irrigation
Olézoa	5.2	745	4.2	Ngoa-Ekelé, Obili, Olézoa	irrigation
Aké	4.6	775	4.9	Nkondengui, Anguissa, Ekounou, Etam-Bafia, Mvog Mbi, Ndamvout	Irrigation, lessive, lavage des automobiles
Tongolo	3.7	778	3.5	Etoudi, Tongolo-Assi, Manguier, Mballa II, Etoa-Meki	Lessive, baignade, arrosage des cultures
Ntem	5.6	755	5.8	Santa Barbara, Mbala II, Mfandena	Irrigation
Ebogo	3.6	730	3.4	Mfandena, Nkolmesseng, Fouda, Essos, Mvog-Ada	Irrigation, lavage des automobiles
Ewoué	4.7	730	3.7	Minboman, Essos, Anguissa, Nkol-Ewoué, Mvog-Ada, Nkol-Ndongo	Boisson, irrigation et nettoyage des cultures
Ntsomo	5.6	760	6.8	Mvolye, Efoulan, Obobogo, Nsimeyong II, Ahala II	Irrigation, lessive, baignade

### II-1-5 Stations d'échantillonnage

Les stations de la Mefou et du Nga ont été choisies en fonction de la longueur de l'hydrosystème, leur accessibilité et leur environnement immédiat (état des rives, abondance de la végétation rivulaire, couverture ou non par la canopée). Dans la ville de Yaoundé, les stations ont été sélectionnées de manière à couvrir l'ensemble du réseau hydrographique du Mfoundi en se basant sur l'accessibilité, les quartiers traversés et les sources de pollution auxquelles les cours d'eau sont soumis. En tenant compte de ces critères, 38 stations ont été choisies le long des 12 cours d'eau étudiés (Figures 7, 8 et 9). Dans la Mefou, 4 stations nommées Me<sub>1</sub>, Me<sub>2</sub>, Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub> sont réparties sur un tronçon de 36 km correspondant aux cours supérieur et moyen (figure 8). Dans le Nga, 4 stations désignées N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> et N<sub>4</sub> sont localisées respectivement dans les cours supérieur, moyen

et inférieur, et à proximité de la confluence avec la rivière Mefou (figure 9). Dans le Mfoundi, 7 stations notées Mf<sub>1</sub>, Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>7</sub> sont réparties respectivement dans les tronçons supérieur (Mf<sub>1</sub>, Mf<sub>2</sub>), moyen (Mf<sub>3</sub> à Mf<sub>5</sub>) et inférieur (Mf<sub>6</sub>, Mf<sub>7</sub>). Les 23 autres stations sont distribuées dans les neuf affluents du Mfoundi notamment Tongolo (T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>), Ntem (Nt<sub>1</sub> et Nt<sub>2</sub>), Ébogo (Eb<sub>1</sub> et Eb<sub>2</sub>), Éwoué (Ew<sub>1</sub> et Ew<sub>2</sub>), Aké (Ak<sub>1</sub> et Ak<sub>2</sub>), Abiergué (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>4</sub>), Mingoa (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>), Olézoa (Ol<sub>1</sub>, Ol<sub>2</sub> et Ol<sub>3</sub>) et Ntsomo (Ns<sub>1</sub>, Ns<sub>2</sub> et Ns<sub>3</sub>). L'étude expérimentale *in situ* de la dynamique de colonisation des substrats artificiels (lames de verre) par les diatomées benthiques a été conduite dans 3 stations du Mfoundi (Mf<sub>4</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub>) et une station du Nga (N<sub>2</sub>) servant de témoin.

Les éléments de description de l'ensemble des stations des cours d'eau étudiés (coordonnées GPS, localisation, altitude, distance par rapport à la source, largeur du lit, vitesse moyenne du courant, environnement immédiat et sources de pollution) sont présentés dans le tableau IV. Les figures 12, 13 et 14 présentent les photographies des stations de la Mefou, du Nga et celles de quelques cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi.

## **II-2 Durée de l'étude**

Cette étude a été menée en deux phases sur une période de 15 mois. Ces phases ont été précédées par des prospections préliminaires pendant lesquelles les stations ont été choisies dans l'ensemble des cours d'eau, suivie de la collecte des diatomées et de quelques données physico-chimiques sur le Mfoundi. La première phase (février 2008 à février 2009) a consisté en un suivi mensuel (Mefou, Nga et Mfoundi) et saisonnier (affluents du Mfoundi) de la structure des communautés de diatomées épilithiques (se développant sur les substrats naturels) et la qualité de l'eau des sites prospectés. La deuxième phase, consacrée à l'étude du processus de colonisation des substrats artificiels par les diatomées, a été effectuée pendant la petite saison sèche (juillet à août 2010) à partir des prélèvements hebdomadaires pour une durée de six semaines. Tous les prélèvements ont été effectués dans la matinée entre 7 h et 11 h.

## **II-3 Analyse physico-chimique de l'eau**

Les paramètres physico-chimiques suivants ont été considérés dans cette étude: la température, le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, l'alcalinité, la dureté calcique, la silice, les matières en suspension, la turbidité, la couleur, les formes d'azote (azote ammoniacal, nitrites, nitrates), les orthophosphates et les matières organiques (DBO<sub>5</sub> et oxydabilité).

Les techniques utilisées pour les analyses sont celles décrites par APHA (1985) et Rodier (1996). Les échantillons d'eau destinés à ces analyses ont été prélevés dans les flacons en polyéthylène de 1000 ml à double bouchage, en les immergeant dans la colonne d'eau de chaque

**Tableau IV** : Caractéristiques morphologiques, hydrologiques et environnement physique des stations des cours d'eau étudiés. N: latitude Nord ; E: longitude Est

Stations	Coordonnées GPS	Localisation	Altitude (m)	Distance /source (Km)	Largeur du lit (m)	Vitesse du courant (Cm/s)	Environnement immédiat et sources potentielles de pollution
Me <sub>1</sub>	3°91'N 11°40'E	Nkolbot, Département de la Lékié	743,6	5	3	36,6	Végétation abondante, forte couverture par la canopée réduisant l'éclairement, extraction du sable
Me <sub>2</sub>	3°88'N 11°43'E	Ozom I, aval du barrage de retenu	717,3	18	5	37,3	Végétation abondante, ripisylve composée en majorité des graminées, éclairement atténué
Me <sub>3</sub>	3°84'N 11°45'E	Pied du Mont Eloumden, Elig-Essomba	688,3	23	10	20,8	Maraîchage pratiqué sur les rives, eaux de ruissellement des parcelles exploitées par l'IRAD, éclairement important
Me <sub>4</sub>	3°44'N 11°32'E	Pont, à 3 km de l'Aéroport de Nsimalen	643,2	36	13	36	Végétation rivulaire abondante, dominée par <i>Pennisetum</i> , <i>Echinochloa</i> , palétuviers, éclairement important
N <sub>1</sub>	3°89'N 11°36'E	Ekekam III	789	0,75	1,5 à 2	15,3	Ripisylve abondante, forte couverture par la canopée réduisant l'éclairement, substrat vaseux
N <sub>2</sub>	3°86'N 11°39'E	Ongot, amont de l'Oléoduc Tchad-Cameroun	730,8	9,1	2 à 2,8	24,4	Eclairement atténué, abondante végétation dominée par <i>Alchonea</i> , <i>Acroceras</i> et <i>Aspilia</i> , affleurement de gneiss
N <sub>3</sub>	3°85'N 11°41'E	Nkolkoumou	707,9	12,1	4,8	37,7	Eclairement important, végétation dominée par les hautes herbes comme <i>Mariscus</i> et <i>Acrocerus</i> , point de lessive
N <sub>4</sub>	3°84'N 11°45'E	Pied, Mont Eloumden, Elig-Essomba	689,6	18,5	5 à 6	21,5	Couverture par la canopée et de hautes herbes réduisant l'éclairement, jachère à 5 m de la rive droite
Mf <sub>1</sub>	3°90'N 11°49'E	Club Golf, Ntougou	756,1	1,8	1,5	26,1	Maraîchage pratiqué sur les rives, eaux usées domestiques et de ruissellement, ordures ménagères et bouteilles PET dans le lit, latrine à 5 m, éclairement important
Mf <sub>2</sub>	3°87'N 11°53'E	Etoa-Meki/aval confluence avec le Ntem au niveau de la gare ferroviaire	716	8	6	20,4	Eaux résiduaires du marché de Nkol-Eton et des ménages, lisiers des latrines perchées sur les rives, hydrocarbures du garage des trains, lit totalement encombré par les bouteilles
Mf <sub>3</sub>	3°85'N 11°53'E	Voirie Municipale, aval confluence avec le Mingoa	704,1	10,5	6 à 7	21,7	Eau turbide, lit encombré par les bouteilles PET, détritiques et ordures ménagères, effluents du marché du Mfoundi et rejets municipaux.
Mf <sub>4</sub>	3°85'N 11°52'E	Mvog-Mbi, amont des Brasseries	702,6	11,5	7 à 8,5	30,7	Eaux usées des ménages et latrines construites sur les rives, effluents du marché de Mvog-Mbi, lit encombré par les embâcles et atterrissements, végétation dominée par <i>Echinochloa</i> , <i>Panicum</i> et <i>Paspalum</i>
Mf <sub>5</sub>	3°81'N 11°51'E	Ndamvout, aval Brasseries du Cameroun (SABC)	701	12,7	10,9	63,3	Effluents des Brasseries, huiles de vidange et hydrocarbures, eau parfois d'aspect noir ou blanc fortement chargée de drêche, levure et résidus de malt et de maïs
Mf <sub>6</sub>	3°81'N 11°51'E	Nsam, aval SOFAVINC et SCDP	682,9	16	8 à 9	49	Effluents de SOFAVINC et de la SCDP, eaux usées de la laverie, nombreuses bouteilles PET et atterrissements obstruant le lit

**Tableau IV** (suite)

Stations	Coordonnées GPS	Localisation	Altitude (m)	Distance/ source (Km)	Largeur du lit (m)	Vitesse du courant (Cm/s)	Environnement immédiat et sources potentielles de pollution
Mf <sub>7</sub>	3°78'N 11°49'E	Nkolbon-Etoa, à côté Camps AES SONEL	665,7	18,5	15 à 17	13	Zone marécageuse dominée par les raphias, <i>Acroceras</i> , <i>Ageratum</i> et <i>Rhynchospora</i> , lit encombré par les troncs d'arbres et branches mortes, cultures vivrières sur la rive gauche, éclairement faible
T <sub>1</sub>	3°91'N 11°52'E	Etoudi, flanc Nord du Palais de l'Unité	748,6	0,02	0,8	30	Zone boisée à macrophytes dominée par <i>Echinochloa</i> , <i>Cyperus</i> , <i>Acroceras</i> et <i>Aquilinum</i> , fort éclairement, affleurement rocheux servant parfois de point de lessive, eau claire
T <sub>2</sub>	3°88'N 11°53'E	Djoungolo IV, aval du pont Elig-Edzoa	724	2,9	3	37	Eaux résiduaires du Camp SIC Nlongkak et des ménages, rejets des latrines perchées sur les rives, lit encombré par les ordures ménagères, morceaux de tissus et bouteilles PET, fort éclairement, eau noire et ripisylve dominé par <i>Echinochloa</i>
Nt <sub>1</sub>	3°91'N 11°54'E	Santa Barbara, à côté de la voie ferrée et Hôpital Gynéco-obstét.	723,6	1,2	1,5	33	Eaux résiduaires des ménages et du marché d'Etoudi, rejets des latrines et huiles de vidange des garages, eau grisâtre, macrophytes dominés par <i>Echinochloa</i> et <i>Pennisetum</i> , fort éclairement
Nt <sub>2</sub>	3°88'N 11°53'E	Gare ferroviaire, aval garage des trains	707,7	5,4	1,8	24	Eaux résiduaires du marché d'Elig-Edzoa, huiles et graisses du garage, ripisylve à <i>Echinochloa</i> et <i>Setaria</i> , fort éclairement
Eb <sub>1</sub>	3°88'N 11°55'E	Mfandena, contrebas Camp SIC Omnisport	738,9	0,1	0,7	31	Eaux résiduaires du camp SIC et des ménages, rejets des latrines, macrophytes dominés par <i>Echinochloa</i> et <i>Pennisetum</i> , fort éclairement, eaux noire
Eb <sub>2</sub>	3°86'N 11°52'E	Quartier Fouda, à côté du siège HYSACAM	707,1	3	1,5	26	Eaux résiduaires de l'Hôpital de la CNPS, de l'hôtel Cablys et des ménages, huiles de la laverie, fort éclairement, ripisylve dominée par <i>Echinochloa</i> , <i>Pennisetum</i> et <i>Cynodon</i>
Ew <sub>1</sub>	3°87'N 11°55'E	Mimboman Liberté	732,7	0,04	0,6	28	Eaux usées des ménages et rejets des latrines, lit encombré par les ordures et bouteilles PET, fort éclairement, ripisylve à <i>Cyperus</i>
Ew <sub>2</sub>	3°85'N 11°52'E	Voirie municipale, aval Boulangerie Acropole	707,1	4,5	3,5	31	Eaux résiduaires de la Boulangerie et des ménages de Mvog-Ada et Nkolndongo, rejets des latrines, lit encombré par des ordures et bouteilles PET, fort éclairement, ripisylve à <i>Pennisetum</i>
Ak <sub>1</sub>	3°89'N 11°54'E	Nkondengui, zone marécageuse	712,4	0,95	1,2	24	Lisiers des porcheries et latrines, eaux usées des ménages, eaux noire et lit vaseux encombré par les ordures, cultures maraîchères sur les rives, fort éclairement, ripisylve à <i>Pennisetum</i> , <i>Ageratum</i>
Ak <sub>2</sub>	3°84'N 11°51'E	Ndamvout, à côté des Brasseries (SABC)	702,2	4,1	3	33	Effluents des Brasseries, eaux chaudes issues du refroidissement des cuves, huiles et hydrocarbures, éclairement atténué, ripisylve à <i>Cynodon</i> et <i>Echinochloa</i>
A <sub>1</sub>	3°89'N 11°49'E	Tsinga, contrebas de la Foire Promo	754,8	0,01	0,5	30	Cultures maraîchères sur les berges utilisant parfois des fongicides, ripisylve à <i>Echinochloa</i> , <i>Setaria</i> et <i>Acroceras</i> , fort éclairement

**Tableau IV** (suite)

Stations	Coordonnées GPS	Localisation	Altitude (m)	Distance/ source (Km)	Largeur du lit (m)	Vitesse du courant (Cm/s)	Environnement immédiat et sources potentielles de pollution
A <sub>2</sub>	3°87'N 11°48'E	Mokolo-Élobi, à côté école abandonnée	720,7	2,5	2,5	28	Cultures maraîchères sur la berge, effluents de l'abattoir des porcs et de la fabrique des marmites, égouts de Nkomkana, lisiers des porcheries et latrines, nombreux embâcles dans le lit, ripisylve à <i>Cucumerus</i> et <i>Setaria</i> , fort éclaircissement, eau noire
A <sub>3</sub>	3°87'N 11°51'E	Briqueterie, amont de l'Église Évangélique	715	3,7	2,5	25	Eaux résiduaires du marché de Mokolo, des ménages de Briqueterie et Messa, lisiers des porcheries et latrines, huiles des garages, ordures ménagères et nombreuses bouteilles PET dans le lit, fort éclaircissement, ripisylve à <i>Cyperus</i> et <i>Echinochloa</i>
A <sub>4</sub>	3°87'N 11°50'E	Warda, Bois Sainte Anastasie	710,5	4,3	3,5	40	Eaux résiduaires du centre Pasteur et flux polluant de Ekozoa, ripisylve à <i>Commelina</i> , <i>Echinochloa</i> et <i>Pennisetum</i>
M <sub>1</sub>	3°86'N 11°50'E	Élig-Éffa, face École Polytechnique	729,3	0,7	1,5	24	Cultures maraîchères sur la berge, eaux usées des ménages et lisiers des latrines, lit encombré par les ordures, détritiques et bouteilles PET, fort éclaircissement, ripisylve à <i>Echinochloa</i> et <i>Pennisetum</i>
M <sub>2</sub>	3°87'N 11°51'E	Messa, à 350 m du Lac Municipal	711	2,4	2,5	21	Eaux résiduaires de la station d'épuration du Camp SIC Messa, rejets du Camp Yeyap et Bata Mokolo et des latrines, cultures maraîchères sur les rives, ripisylve à <i>Echinochloa</i> et <i>Pennisetum</i>
M <sub>3</sub>	3°85'N 11°52'E	Voirie Municipale	707,6	3,8	2	25	Zone marécageuse exploitée pour le maraîchage, eaux usées domestiques, huiles de vidange et détergents des laveries, fort éclaircissement, ripisylve à <i>Alternanthera</i> , <i>Cynodon</i> et <i>Echinochloa</i>
Ol <sub>1</sub>	3°86'N 11°50'E	Ngoa-Ékélé, contrebas Amphithéâtre 1001, Université-Yaoundé 1	736,2	0,7	0,8	26	Eaux résiduaires des ménages et rejets des latrines, lit encombré par les ordures ménagères, eau noire, fort éclaircissement, macrophytes dominées par <i>Setaria</i> , <i>Ageratum</i> et <i>Acanthospermum</i>
Ol <sub>2</sub>	3°85'N 11°49'E	Melen, aval des étangs Atemengué	718,2	1,6	1,5	30	Zone marécageuse à <i>Echinochloa</i> , <i>Ludwigia</i> et <i>Pteridium</i> , eaux résiduaires du CHU, de la Cité Universitaire, des restaurants, des laboratoires de la Faculté des Sciences, eau noire
Ol <sub>3</sub>	3°84'N 11°51'E	Olézoa (Trois Statues)	702,7	4,7	2,5	42	Lit vaseux, eaux résiduaires des ménages d'Obili, Melen et Ngoa-Ékélé, rejets des latrines, huiles de vidange des garages
Ns <sub>1</sub>	3°84'N 11°50'E	Mvolyé, derrière Collège Vogt	741,8	0,015	0,4	46	Eclaircissement atténué par les arbres fruitiers et les palmiers, jachère à <i>Ageratum</i> , <i>Chromolaena</i> et <i>Tithonia</i> , affleurement rocheux
Ns <sub>2</sub>	3°82'N 11°49'E	Obobogo, à 500 m de SITRACEL	687,7	4,2	1,8	31	Zone marécageuse à <i>Rektophyllum</i> , <i>Ludwigia</i> , <i>Alternanthera</i> et <i>Setaria</i> exploitée pour maraîchage, effluents de SITRACEL et eaux résiduaires des habitations clairsemées, fort éclaircissement
Ns <sub>3</sub>	3°81'N 11°49'E	Nsimeyong-Nsam, après la voie ferrée	685	4,8	2,3	21	Zone marécageuse à <i>Echinochloa</i> , <i>Ageratum</i> , <i>Ludwigia</i> , <i>cynodon</i> , <i>alternanthera</i> et <i>Acroceras</i> , fort éclaircissement



**Figure 11:** Photographies des stations de la rivière Méfou : Me<sub>1</sub> (A) ; Me<sub>2</sub> (B) ; Me<sub>3</sub> (C) et Me<sub>4</sub> (D).



**Figure 12:** Photographies des stations du cours d'eau Nga: N<sub>1</sub> (A); N<sub>2</sub> (B); N<sub>3</sub>(C) et N<sub>4</sub> (D).



**Figure 13 :** Photographies de quelques stations de certains cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi: Mf<sub>3</sub> (A); Mf<sub>5</sub> (B); Mf<sub>6</sub>(C); Mf<sub>7</sub> (D); Ol<sub>1</sub> (E) et Ak<sub>1</sub> (F).

station, puis remplis à ras bord et bouchés. Ces échantillons ont ensuite été transportés au laboratoire dans une enceinte réfrigérée.

### II-3-1 Température

La température a été mesurée sur le terrain au moyen d'un thermomètre à colonne de mercure graduée au 1/10<sup>e</sup> de degré. Les résultats sont exprimés en degré Celsius (°C).

### II-3-2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH a été évalué sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre de marque HACH, model HQ11d. Les résultats sont exprimés en unités conventionnelles.

### II-3-3 Conductivité électrique

Elle a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un TDS/conductimètre portatif de marque HACH, type HI 8733. Les résultats sont exprimés en microsiemens par centimètre (μS/cm).

### II-3-4 Oxygène dissous

La teneur en oxygène dans l'eau a été déterminée sur le terrain à l'aide d'un oxymètre

portatif de marque OXI, série 3210 SET. Les résultats sont exprimés en mg/l. Le pourcentage de saturation de ce gaz a été estimé au moyen de l'abaque de Mortimer (1956) en tenant compte de la température de l'eau et de l'altitude du point de prélèvement.

### **II-3-5 Alcalinité**

La détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) a été effectuée par volumétrie au moyen d'une solution d'acide sulfurique N/50, en présence du mélange de rouge de méthyl et du vert de bromocrésol utilisé comme indicateur coloré. Les résultats sont exprimés en mg  $\text{HCO}_3^-$ /l.

### **II-3-6 Dureté calcique**

Elle a été déterminée par complexométrie au moyen de l'idranal III, en utilisant le réactif de Patton et Reeder, H.H.S.N.N (acide 2-hydroxy-4-sulfo-1-naphtyl-azo)-3-naphtoïque) des établissements Siegfried Zofingue (Suisse), comme indicateur coloré. Les résultats sont exprimés en mg/l.

### **II-3-7 Silice**

La silice a été évaluée par colorimétrie au spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 selon la méthode «Heteropoly blue» qui consiste à fixer la silice par le molybdate en milieu acide et à éliminer l'excès de phosphate par l'acide citrique. La lecture est effectuée à 450 nm et les résultats sont exprimés en mg/l.

### **II-3-8 Matières En Suspension**

Les MES ont été mesurées à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 à la longueur d'onde de 810 nm, les valeurs lues étant exprimées en mg/l.

### **II-3-9 Turbidité**

Elle a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 et les résultats sont exprimés en unités de Turbidité de la Formazine (FTU).

### **II-3-10 Couleur**

Elle a été évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR/2000. La lecture est faite à 455 nm et les résultats sont exprimés en Unités Platiniun-Cobalt (Pt.Co).

### **II-3-11 Formes d'azote**

Les différentes formes d'azote ont été dosées par colorimétrie au spectrophotomètre de marque HACH DR/2000. Les teneurs en azote ammoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) ont été mesurées par la méthode de Nessler et la lecture a été faite à 425 nm. Les nitrites ( $\text{N-NO}_2^-$ ) et les nitrates ( $\text{N-NO}_3^-$ ) ont été dosés en utilisant respectivement comme réactifs le nitraver III et le nitraver V. La lecture a été faite

respectivement à 507 et 400 nm. Les résultats sont exprimés en mg/l de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$  respectivement.

### **II-3-12 Orthophosphates**

Les orthophosphates ont été mesurés par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR/2000, le réactif utilisé étant le phosver III. La lecture est effectuée à 890 nm et les résultats sont donnés en mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$ /l.

### **II-3-13 Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) et Oxydabilité**

Ces deux paramètres évaluent la quantité de matières organiques dissous ou en suspension dans l'eau. La DBO<sub>5</sub> a été mesurée selon la méthode respirométrique à l'aide d'un incubateur de marque LIEBHERN. Les échantillons sont incubés à 20°C pendant 5 jours (Norme AFNOR NFT 90-103) et la montée du mercure dans le tube du manomètre correspondant à la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies est lue tous les jours pendant 5 jours. L'oxydabilité, quant à elle, a été déterminée par volumétrie, à chaud en milieu acide, au moyen du permanganate de potassium après décoloration par le sel de Mohr. Les résultats de ces deux paramètres sont exprimés en mg/l d'oxygène.

### **II-4 Analyse biologique**

L'analyse biologique a porté sur le dosage des teneurs en chlorophylle *a* de l'eau, la caractérisation de la biomasse du biofilm (poids sec, matières sèches sans cendre, chlorophylle *a*) développé sur les lames de verre et l'analyse des communautés de diatomées.

Les diatomées ont été prélevées aux différentes stations en faciès lotiques, en débit stabilisé et en zone éclairée, par brossage de la partie supérieure des pierres ou des cailloux sur des surfaces d'environ 100 cm<sup>2</sup> (Kelly *et al.*, 1998; Taylor *et al.*, 2005). Selon leur taille, 5 à 10 substrats ont été collectés. La suspension de diatomées obtenue par rinçage des substrats avec l'eau de la station a été transférée dans un flacon en polyéthylène de 250 ml, puis fixée directement au formol à 4%.

Pour l'expérimentation sur la dynamique de colonisation des substrats artificiels par les diatomées, le biofilm a été récolté par brossage des lames de verre (27 x 7 cm; soit 189 cm<sup>2</sup> par face). Ces lames (12) ont préalablement été insérées dans une cage en plastique (Figure 14 a), puis immergées dans la colonne d'eau des stations (figure 15 b). La cage est rattachée à la berge par une corde et maintenue dans la zone photique. A chaque campagne, 2 lames sont prélevées, raclées et rincées avec de l'eau distillée (Figure 14 c). Ce biofilm a ensuite été dilué dans un volume d'eau distillée de 200 ml, puis recueilli dans un flacon en polyéthylène de 250 ml et conservé en enceinte réfrigérée. Au laboratoire, chaque réplikat est homogénéisé et séparé en diverses aliquotes destinées



**Figure 14:** substrats artificiels (A) immergés dans la colonne d'eau de la station(B) et prélèvement du biofilm (C)

aux différentes analyses. Chaque prélèvement sur substrat artificiel a été accompagné d'un échantillonnage des diatomées sur les pierres afin de comparer la composition taxonomique et la structure des communautés de ces deux types de substrats.

#### II-4-1 Dosage des teneurs en chlorophylle *a*

La teneur en chlorophylle *a* de chaque échantillon d'eau a été déterminée par colorimétrie. 300 ml de l'échantillon sont filtrés sous vide à travers la membrane en microfibrilles de verre (Whatman GF/C; 0,45µm de porosité). La membrane est ensuite emballée dans du papier aluminium et placée dans un dessiccateur contenant du silicagel pendant 24 heures. La membrane est transférée dans un tube à essai contenant 10 ml d'une solution à 90 % d'acétone et à 10 % de carbonate de magnésium saturé; puis conservée au réfrigérateur (4°C) et à l'obscurité pendant 24 heures pour l'extraction des pigments (APHA, 1985; Wetzel et Likens, 1991). L'extrait acétonique obtenu est centrifugé (2000 tours/mn pendant 15 minutes) pour éliminer les particules en suspension. La densité optique du surnageant recueilli est ensuite lue au spectrophotomètre de marque HACH DR/2000 respectivement aux longueurs d'onde 630, 645, 663 et 750 nm. La concentration en chlorophylle *a* est calculée d'après l'équation du groupe de travail n° 17 SCOR-UNESCO (Anonyme, 1966).

$$\text{Chl. } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = [(11, 64 \text{ DO } 663) - (2, 16 \text{ DO } 645) - (0, 1 \text{ DO } 630)] \times v/V \times l$$

Où:

Chl. *a* = concentration en chlorophylle *a* en mg/m<sup>3</sup>;

DO = densité optique;

v= volume de l'extrait acétonique en ml;

l= trajet optique de la cuve du spectrophotomètre en cm;

V = volume de l'échantillon d'eau filtré en litre.

## II-4-2 Caractérisation de la biomasse du biofilm installée sur les substrats artificiels

Le poids sec (PS), la quantité de matières sèches sans cendre (MSSC) correspondant à la biomasse organique, et la concentration en chlorophylle *a*. du biofilm développé sur les lames de verres ont été évalués.

### II-4-2-1 Poids sec et matières sèches sans cendre

5 à 10 ml de la suspension de périphyton ont été filtrés sous vide à travers la membrane en microfibre de verre (Whatman GF/C; 0,45 µm de porosité). Cette membrane a été ensuite séchée à l'étuve, à 105°C pendant 24 heures, puis pesée pour déterminer le poids du résidu retenu sur le filtre. La même membrane a été transférée dans un four à une température de 550°C pendant 2 heures, puis pesée de nouveau. La fraction organique du biofilm correspond à la perte au feu. Ces deux paramètres, mesurés suivant la norme NF EN 872, ont été calculés d'après les formules suivantes:

$$\text{PS (mg/cm}^2\text{)} = (\text{M}_{\text{étuve}} - \text{M}_{\text{filtre}}) / \text{S}$$

$$\text{MSSC (mg/cm}^2\text{)} = \text{PS} \times [1 - (\text{M}_{\text{four}} - \text{M}_{\text{filtre}}) / (\text{M}_{\text{étuve}} - \text{M}_{\text{filtre}})]$$

Où:

PS = poids sec en mg/cm<sup>2</sup>;

MSSC = matières sèches sans cendre en mg/cm<sup>2</sup>;

M<sub>filtre</sub> = masse initiale de la membrane Whatman vierge en mg;

M<sub>étuve</sub> = masse de la membrane Whatman après filtration de l'échantillon et passage à l'étuve en mg;

M<sub>four</sub> = masse de la membrane Whatman après passage au four en mg;

S = surface de support gratté en cm<sup>2</sup>.

### II-4-2-2 Concentration en chlorophylle *a* du biofilm

5 ml de la suspension du périphyton ont été requis pour déterminer la concentration en chlorophylle *a* selon la méthode précédemment décrite (section II-4-1). Les résultats sont exprimés en mg/cm<sup>2</sup> correspondant à la surface de support gratté.

### II-4-3 Analyse des communautés de diatomées

L'identification des diatomées présentes dans l'échantillon est réalisée d'après l'examen microscopique de leur squelette siliceux (frustule), rendu possible par un traitement chimique préalable qui permet de les débarrasser des matières organiques (Figure 15). Les échantillons de diatomées ont d'abord été concentrés par sédimentation au laboratoire pendant 24 heures. Une partie du dépôt a ensuite été portée à ébullition dans de l'eau oxygénée (3 volumes d'eau distillée pour un volume d'eau oxygénée à 50 %) pendant une à deux heures pour digérer la matière organique et

déflocculer les éventuelles particules d'argiles. Quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré (35 %) ont été ajoutées au mélange pour éliminer le carbonate de calcium dissous et les oligoéléments formés. Le mélange a ensuite été soumis à plusieurs cycles de lavage successifs (4 au minimum) à l'eau distillée pour éliminer le reste de solvant. À chaque lavage, le bécher est rempli à nouveau d'eau distillée et on laisse sédimenter les diatomées pendant 2 à 3 heures, le surnageant étant par la suite éliminé par siphonage. Le dernier dépôt résiduel renfermant les diatomées nettoyées a été dilué dans l'eau distillée en fonction de sa richesse en diatomées.

Deux à trois gouttes de la suspension de diatomées nettoyées ont été montées entre lame et lamelle en utilisant le Naphrax® comme médium (norme AFNOR NF EN 13946, 2003). L'identification et le comptage des diatomées ont été effectués à l'aide d'un microscope optique Leitz orthoplan, équipé d'un objectif à immersion de 100 x, en faisant des transects verticaux sur la lame. La détermination des diatomées au niveau spécifique ou infraspécifique a été réalisée suivant les critères morphologiques décrits par Bourrelly (1968), Compère (1975) et Schoeman (1973), complétés par les descriptions de Carter et Denny (1982-1992), Gasse (1986), Krammer et Lange-Bertalot (1986-1991), et Lange-Bertalot et Metzeltin (1996).

Pour évaluer le pourcentage de chaque taxon par rapport à l'ensemble de la florule contenue dans l'échantillon (ou abondance relative), tous les frustules observés dans les champs du microscope ont été comptés. L'unité de comptage est la valve. Sont également comptés comme valve entière, les fragments de taille supérieure ou égale au  $\frac{3}{4}$  de la valve (*Eunotia*, *Fragilaria*) ou présentant une aire centrale complète (*Pinnularia*). Un minimum de 400 à 500 valves a été compté par échantillons, sachant qu'au-delà de 500 valves, le nombre d'espèces n'augmente plus de façon significative (Coste, 1978; Bate et Newall, 2002). Dans les échantillons où une ou deux espèces étaient dominantes, nous avons compté 1000 à 1500 individus dans le but de rechercher les taxons rares. Les dessins de quelques taxons ont été réalisés à la chambre claire du microscope optique WILD M 20 au grossissement 1000 x.

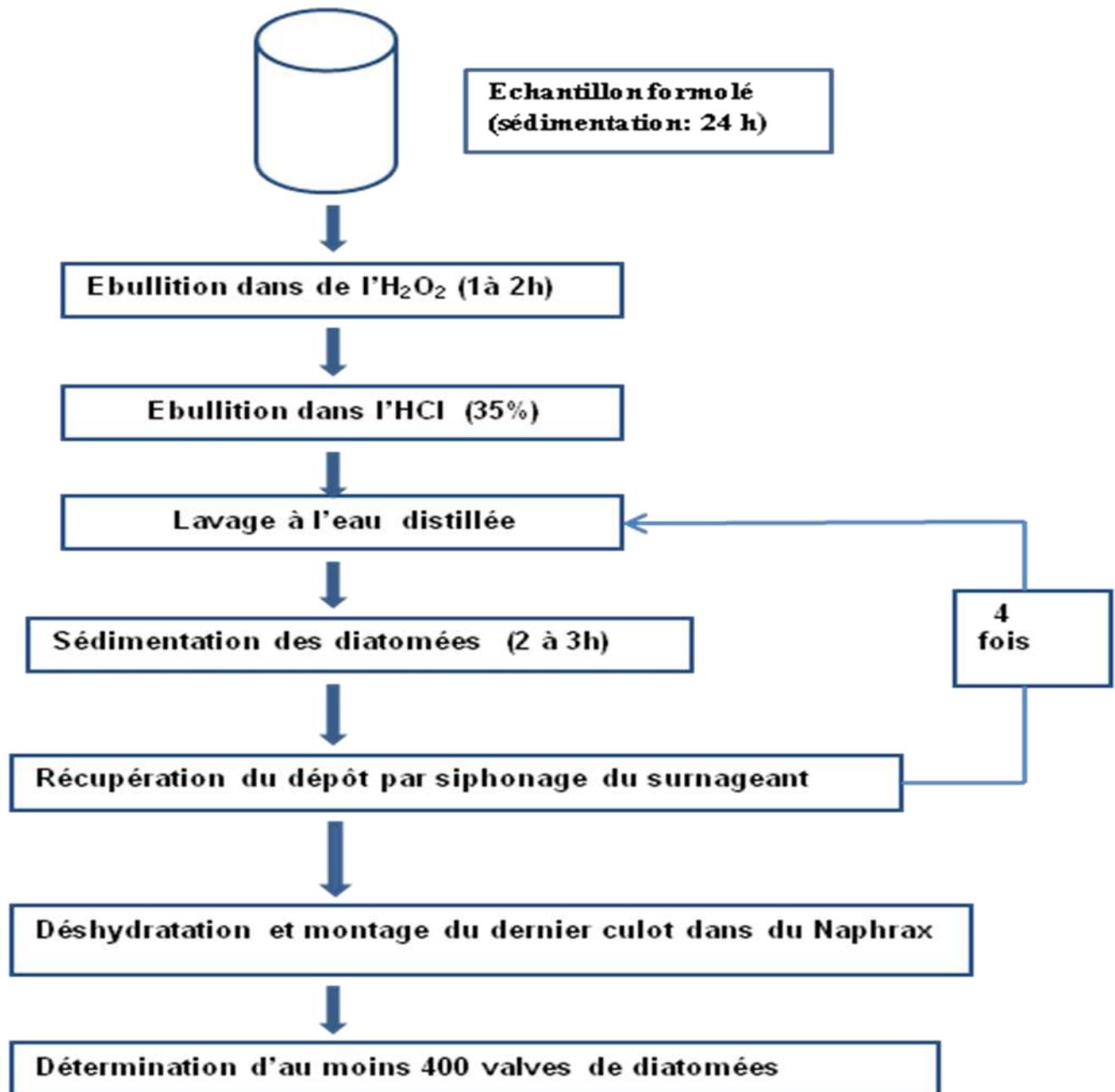
## **II-5 Traitement des données**

### **II-5-1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau et structure des communautés de diatomées dans l'ensemble des cours d'eau**

Les données obtenues pendant l'étude ont fait l'objet de plusieurs analyses.

\*Le calcul des métriques tels que la richesse spécifique (RS), l'indice de diversité H' de Shannon et Weaver (1949) et l'équitabilité (E) de Pielou a permis d'évaluer la biodiversité et l'organisation du peuplement diatomique dans les différentes stations des cours d'eau étudiés (Dajoz, 2000).

\* Les préférences écologiques des diatomées (vis-à-vis des matières organiques, de l'azote et



**Figure 15:** Protocole d'analyse des communautés de diatomées épilithiques

de l'oxygène dissous) et les formes de croissance (définies sur la base de la morphologie, de la posture et de la mobilité des taxons) ont permis respectivement d'évaluer, d'une part, la réponse de ces algues à ces facteurs abiotiques, et d'autre part, leur adaptation à l'habitat benthique le long de chaque cours d'eau. Ces prédicteurs ont été obtenus par le cumul des abondances relatives des différentes espèces et variétés de diatomées à l'intérieur des classes définies sur la base des travaux

de Katoh (1992), Van Dam *et al.* (1994), Hofmann (1994), Kelly (1998), Passy et Larson (2001), Passy (2007), Totti *et al.* (2007), Berthon *et al.* (2011), Kovács *et al.* (2013) et Taotang *et al.* (2013).

\* Quatre indices diatomiques ont été testés pour évaluer la qualité de l'eau dans chaque station des cours d'eau étudiés: l'indice de polluosensibilité spécifique ou IPS (Coste, 1982); l'indice biologique diatomées ou IBD (Lenoir & Coste, 1996); l'indice diatomique générique ou IDG (Coste & Ayphassorho, 1991) et l'indice diatomique d'eutrophisation/pollution ou IDEP (Dell'uomo, 1996). Ces indices ont été sélectionnés du fait qu'ils prennent en compte une proportion élevée ( $\geq 75$  %) des taxons inventoriés dans cette étude. Ces indices sont calculés selon la formule proposée par Zelinka & Marvan (1961) précédemment décrite (section I-6-3). Les notes obtenues ont été ramenées à 20 pour faciliter les comparaisons. Ainsi, cinq classes de qualité sont proposées pour ces indices suivant le niveau d'altération de la station: ID = 16-20: pollution nulle ou eutrophisation faible; ID = 13,5-15,9: pollution faible ou eutrophisation modérée; ID=11-13,49: pollution moyenne ou forte eutrophisation; ID=7-10,9: pollution forte ou dégradation marquée ; ID=1-6,9: pollution très forte ou dégradation majeure.

Le calcul de l'équitabilité, des indices de diversité et diatomiques a été effectué à l'aide du logiciel OMNIDIA version 5.3 (Lecointe *et al.*, 1993).

\*Les données des différents paramètres physico-chimiques et biologiques sont présentées sous forme de courbes ou d'histogrammes pour illustrer leur fluctuation temporelle le long de chaque cours d'eau. Le test H de Kruskal-Wallis (niveau de signification étant de 5 %) a ensuite permis de comparer globalement les paramètres physico-chimiques, la chlorophylle *a*, la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et Weaver, l'équitabilité et les indices diatomiques entre les stations de chaque cours d'eau étudié. Ce test a été utilisé du fait que les données ne suivent pas une distribution normale d'après le test de Kolmogorov-Smirnov au seuil de  $\alpha = 5\%$ . Lorsque la différence significative était observée, le test U de Mann-Whitney a été appliqué pour rechercher la source de variation de la variable considérée, toujours au seuil de  $\alpha = 5\%$ . Ce test a également été utilisé pour comparer l'ensemble des cours d'eau urbains et ceux localisés en zone rurale. Ces tests non paramétriques ont été réalisés à l'aide du logiciel SPSS version 17.0.

\*Les Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été effectuées avec les données moyennes de la physico-chimie d'une part, et de l'abondance relative des principales espèces et variétés de diatomées (ayant au minimum 2% d'abondance relative cumulée dans au moins un prélèvement) d'autre part, des différentes stations. Ces ACP ont permis de décrire les conditions physico-chimiques discriminantes entre les stations et de comparer la composition spécifique des communautés diatomiques entre elles. Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de

graphique pour mieux visualiser la distribution des échantillons et les variables (physico-chimie ou espèces de diatomées). Seul, le plan factoriel formé des composantes 1 et 2, restituant la plus grande partie de l'information (fort pourcentage d'inertie), a été considéré et les variables les plus fortement corrélées à ces axes identifiées.

Afin de compléter l'interprétation de l'ACP, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été appliquée aux données de manière à classer objectivement les stations sous forme de dendrogramme selon leurs caractéristiques physico-chimiques et la composition spécifique des communautés diatomiques. Les cours d'eau étudiés ont pu être délimités en tronçons homogènes selon leur niveau d'altération et caractérisés par des assemblages différents de diatomées (biotypes). Ces deux analyses multivariées ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT-2007.

\*Le test  $r$  de corrélation de rang de Spearman a permis d'évaluer le degré de sensibilité des principales espèces et variétés de diatomées inventoriées aux paramètres physico-chimiques analysées dans les différentes stations d'une part, et entre les indices diatomiques et ces facteurs abiotiques, d'autre part. Cette analyse a également été faite avec le logiciel SPSS version 17.0.

## **II-5-2 Dynamique de colonisation des substrats artificiels et estimation de la productivité du biofilm**

Les caractéristiques générales (poids sec, matière sèche sans cendre, chlorophylle *a*) et spécifiques (richesse spécifique, indice de diversité, composition taxinomique) des communautés de diatomées installées sur les lames de verre dans chaque station ont été évaluées.

Une comparaison globale des données des différentes variables biotiques analysées (poids sec, matière sèche sans cendre, chlorophylle *a*, richesse spécifique, indice de diversité) a également été faite par le test H de Kruskal-Wallis (seuil de  $\alpha = 5\%$ ) pour apprécier l'effet des stations et de la durée de colonisation (semaines) sur l'évolution de ces variables. Le test U de Mann-Whitney a ensuite été appliqué en cas de différence significative observée, pour isoler les stations ou les semaines qui diffèrent significativement.

Les ACP ont aussi été effectuées avec les abondances relatives des espèces et variétés de diatomées dominantes (abondance relative supérieure ou égale à 5 % dans au moins un prélèvement) pour apprécier la distribution de ces algues dans les différentes stations, et leur succession pendant la colonisation des substrats.

## **CHAPITRE III- RÉSULTATS ET DISCUSSION**

## **III-1 RÉSULTATS**

### **III-1-1 Qualité physico-chimique de l'eau des cours d'eau étudiés**

Les données des différents paramètres physico-chimiques analysés sont présentées sous forme de courbes pour illustrer leur fluctuation mensuelle le long de chaque cours d'eau. Les valeurs extrêmes et moyennes de ces paramètres à chaque site de prélèvement des différents hydrosystèmes sont consignées dans les annexes 1, 2 et 3.

#### **III-1-1-1 Température**

La température des eaux du cours d'eau Mefou a fluctué de 19°C (station Me<sub>1</sub> en février 2008) à 29°C (station Me<sub>2</sub> en octobre 2008) avec une amplitude de 10°C (Figure 16 a). Elle évolue de façon irrégulière dans l'ensemble des stations au cours des différents mois d'étude et augmente en général de l'amont vers l'aval de l'hydrosystème; les valeurs les plus élevées étant obtenues au point Me<sub>2</sub> situé après le barrage. Les valeurs de ce paramètre varient significativement entre les différentes stations du cours d'eau (H= 25,68; p=0,0001), notamment entre Me<sub>1</sub> et Me<sub>2</sub>; Me<sub>1</sub> et Me<sub>3</sub>; Me<sub>1</sub> et Me<sub>4</sub>; Me<sub>2</sub> et Me<sub>3</sub> et Me<sub>2</sub> et Me<sub>4</sub> (Tableau V).

Dans le Nga, la température s'échelonne de 19,5°C (station N<sub>1</sub> en février 2008) à 24,5°C (station N<sub>4</sub> en janvier 2009) (Figure 16 b). Le cours inférieur affiche des valeurs de température nettement élevées comparées à celles obtenues dans les secteurs supérieur et moyen de l'hydrosystème (H=13,91; p=0,003).

La température de l'eau varie très peu le long des cours d'eau Tongolo, Ntem et Ébogo et fluctue respectivement de 20,8°C à 28°C dans le Tongolo et l'Ébogo (Figure 16 c et d), et de 20,9°C à 29°C dans le Ntem (Figure 16e). Les valeurs de ce paramètre ne diffèrent pas significativement entre les stations de ces écosystèmes, les moyennes oscillant autour de 24,5°C.

Les valeurs de la température des eaux de l'Éwoué se situent entre 21,5°C (station Ew<sub>2</sub> en avril 2008) et 27°C (station Ew<sub>1</sub> en décembre 2008). Elles baissent légèrement de l'amont vers l'aval, même si les différences notables ne sont pas observées entre les stations (Figure 16 f).

La température des eaux de l'Abiergué est comprise entre 23°C (station A<sub>1</sub> en avril 2008) et 27°C (station A<sub>4</sub> en août, octobre et décembre 2008). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le cours inférieur notamment à la station A<sub>4</sub>, et les plus faibles étant obtenues à la source et dans le cours moyen (Figure 16 g). Des différences significatives ne sont pas observées entre les valeurs de la température des différentes stations.

Les eaux du cours d'eau Mingoa ont une température qui oscille entre 24,5°C et 31°C, avec une amplitude de 6,5°C (Figure 16 h). La température baisse légèrement de l'amont vers l'aval du

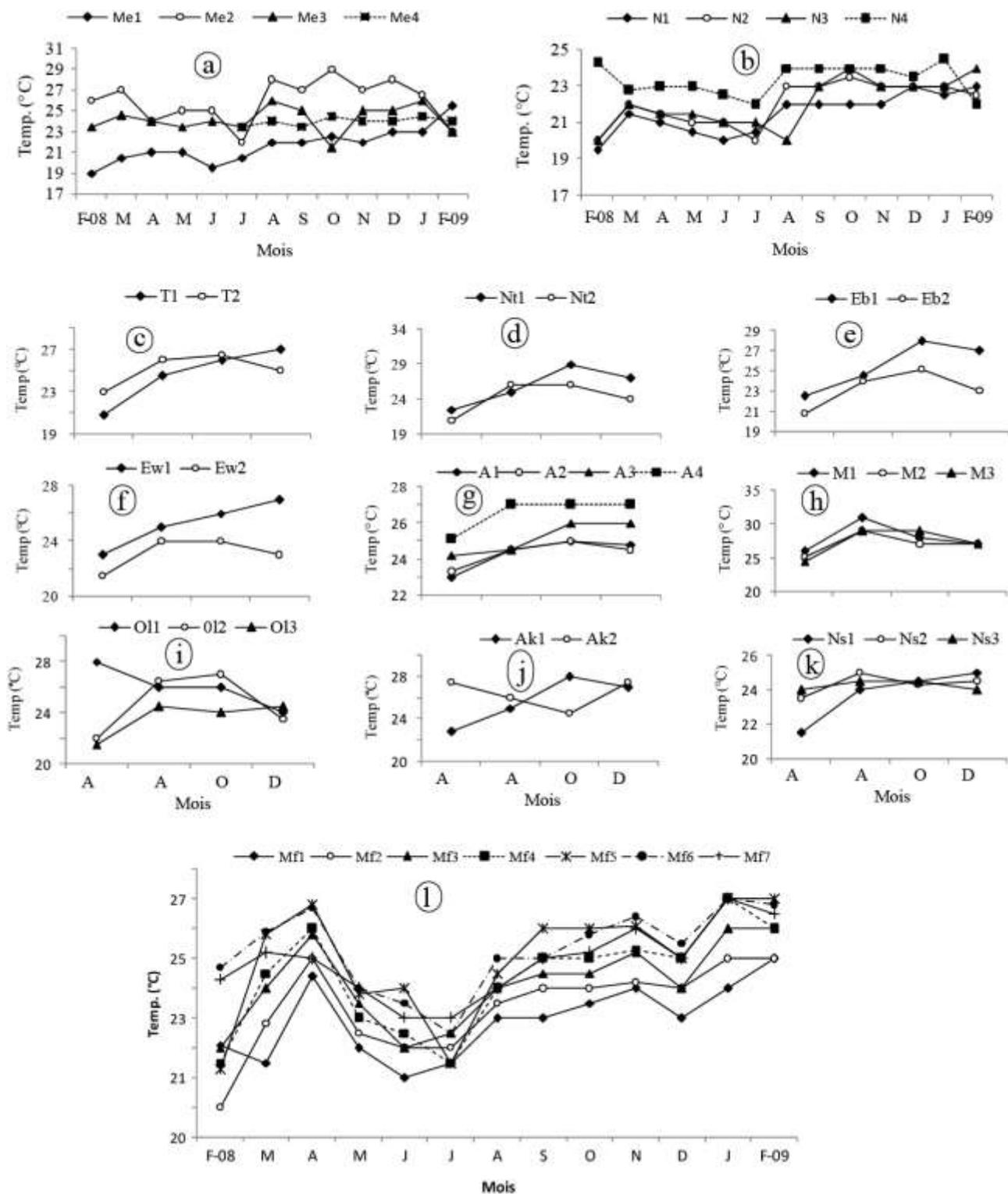


Figure 16: Variations spatio-temporelles de la température dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

**Tableau V:** Comparaison des valeurs de la température, de la conductivité électrique, de l'alcalinité, de la dureté calcique, de la silice et des matières en suspension entre les stations du cours d'eau Mefou à l'aide du test U de Mann-Whitney. Les valeurs de Mann-Whitney (U) et la probabilité (p en gras) correspondantes sont données.

Stations	Température			conductivité électrique			Alcalinité			Ca <sup>++</sup>			SiO <sub>2</sub>			MES		
	Me1	Me2	Me3	Me1	Me2	Me3	Me1	Me2	Me3	Me1	Me2	Me3	Me1	Me2	Me3	Me1	Me2	Me3
Me2	10,5 <b>0,000*</b>			78 <b>0,739</b>			73,5 <b>0,569</b>			74,5 <b>0,599</b>			34,5 <b>0,010*</b>			67,5 <b>0,382</b>		
Me3	18 <b>0,001*</b>	38,5 <b>0,018*</b>		39,5 <b>0,021*</b>	39 <b>0,020*</b>		39,5 <b>0,020*</b>	54,5 <b>0,121</b>		53 <b>0,099</b>	64,5 <b>0,300</b>		78 <b>0,739</b>	54 <b>0,118</b>		42 <b>0,029*</b>	23,5 <b>0,002*</b>	
Me4	13 <b>0,000*</b>	32,5 <b>0,006*</b>	75 <b>0,611</b>	12 <b>0,000*</b>	19 <b>0,001*</b>	40 <b>0,022*</b>	15,5 <b>0,000*</b>	29 <b>0,004*</b>	56 <b>0,143</b>	5 <b>0,000*</b>	29 <b>0,004*</b>	29 <b>0,004*</b>	78 <b>0,739</b>	28 <b>0,004*</b>	64 <b>0,293</b>	12,5 <b>0,000*</b>	14 <b>0,000*</b>	42,5 <b>0,031*</b>

\*P< 0,05; N=52 observations; ddl= 3.

cours d'eau. L'ensemble des stations affichent les fortes valeurs en août, et les plus faibles en avril, ces valeurs n'étant pas significativement différentes le long de l'hydrosystème.

Les valeurs de la température des eaux de l'Olézoa fluctuent de 21,5°C (station Ol<sub>3</sub>) à 28°C (station Ol<sub>1</sub>) au mois d'avril pour les deux stations et baisse de l'amont vers l'aval du cours d'eau (Figure 16 i). Aucune différence significative n'est observée entre les valeurs de la température de ces deux stations.

Dans le cours d'eau Aké, la température la plus élevée (28°C) est obtenue en octobre et la plus faible (22,8°C) en avril à la station Ak<sub>1</sub> (Figure 16j). Les valeurs mensuelles de ce paramètre ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre. La température moyenne de l'ensemble des stations oscille autour de 25,7°C.

La température des eaux du cours d'eau Ntsomo est restée relativement stable dans l'ensemble des stations (Figure 16 k) et se situe entre 21,5°C et 25°C, l'amplitude thermique ne dépassant pas 3,5°C.

Les valeurs de la température des eaux du cours d'eau Mfoundi sont comprises entre 20°C et 27°C. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les cours moyen et inférieur de l'hydrosystème, notamment dans les stations Mf<sub>4</sub> à Mf<sub>6</sub>; et les plus faibles sont concentrées à la station Mf<sub>1</sub> (Figure 16l). Des différences significatives sont observées entre les valeurs de ce paramètre d'une station à l'autre ( $H=35,58$ ;  $p=0,0001$ ), surtout entre la station Mf<sub>1</sub> et les autres localisées en aval du cours d'eau (Tableau VI).

Lorsqu'on considère l'ensemble des stations des cours d'eau étudiés, la température augmente généralement de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau (Mefou, Nga, Mfoundi, Abiergué, Ntsomo, Tongolo). Toutefois, d'autres présentent des eaux relativement plus chaudes dans leurs cours supérieur (Ébogo, Éwoué, Olézoa). Il est également observé que les valeurs les plus élevées de la température ont été enregistrées dans les cours d'eau urbains comparativement à ceux situés en zone rurale où les plus faibles températures ont été obtenues.

### **III-1-1-2 pH**

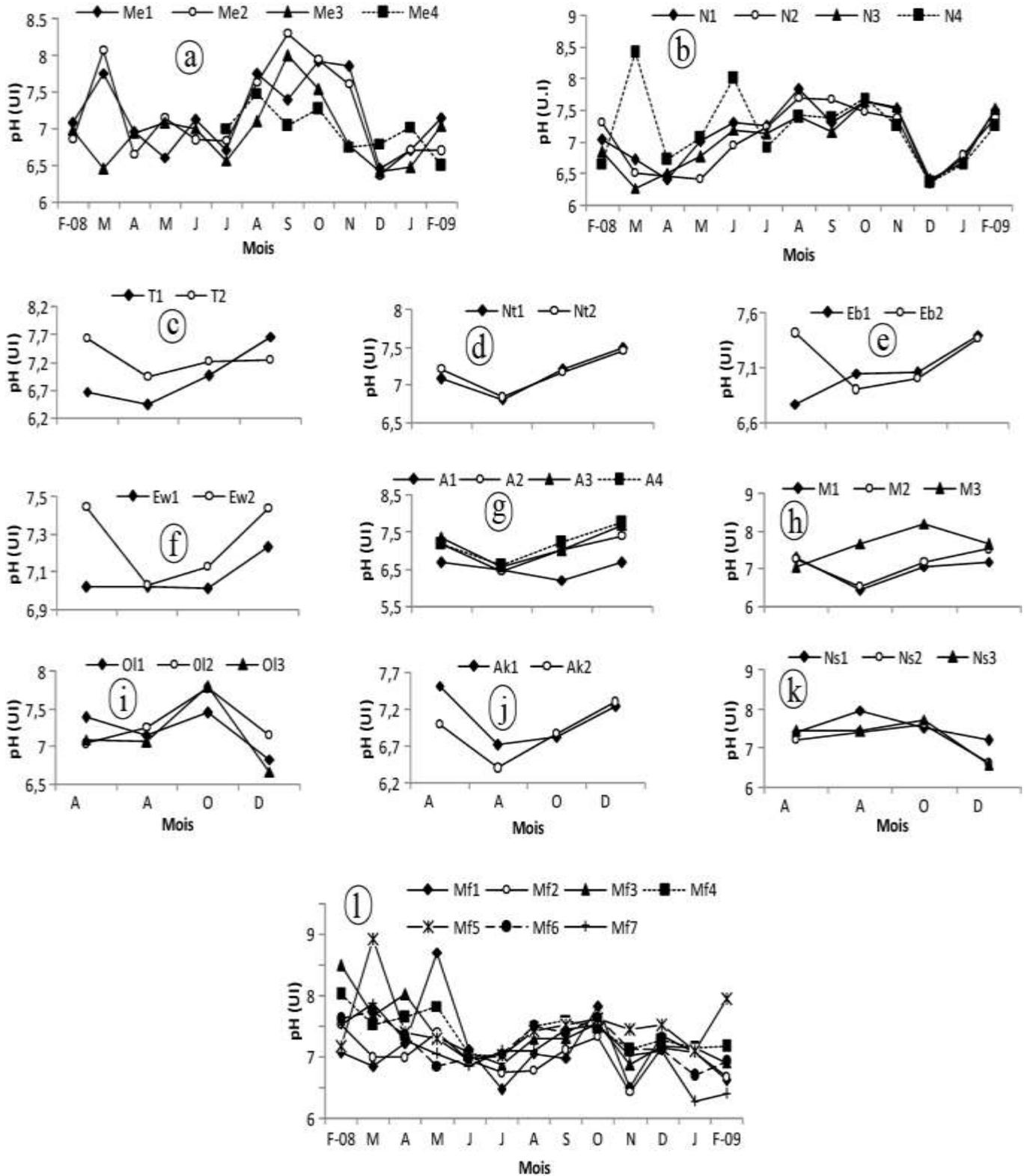
Les valeurs du pH de la Mefou sont comprises entre 6,4 et 8,3 indiquant les eaux légèrement acides à légèrement basiques. L'acidité de l'eau diminue dans toutes les stations pendant les mois d'avril, de juillet et de décembre (Figure 17 a). Le pH ne varie pas significativement le long du cours d'eau, les moyennes de l'ensemble des stations oscillant autour de 7.

Dans le Nga, le pH fluctue de 6,3 à 8,4 avec une amplitude de variation de 2,2. La majorité des valeurs enregistrées dans les cours supérieur et moyen de l'hydrosystème montrent une forte tendance à la neutralité (Figure 17 b). Le tronçon inférieur (station N<sub>4</sub>) affiche parfois des valeurs

**Tableau VI:** Comparaison des valeurs de la température, de la conductivité électrique et de l'alcalinité entre les stations du cours d'eau Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney. Les valeurs de Mann-Whitney (U) et la probabilité (p en gras) correspondante sont données.

Stations	Température						Conductivité électrique						Alcalinité					
	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>
Mf <sub>2</sub>	163,5 <b>0,064</b>						46 <b>0,000*</b>						54,5 <b>0,000*</b>					
Mf <sub>3</sub>	128 <b>0,007*</b>	217,5 <b>0,560</b>					62 <b>0,000*</b>	208 <b>0,425</b>					55 <b>0,005*</b>	195,5 <b>0,273</b>				
Mf <sub>4</sub>	94 <b>0,000*</b>	158,5 <b>0,048*</b>	189,5 <b>0,214</b>				68 <b>0,000*</b>	199,5 <b>0,318</b>	222 <b>0,639</b>				60,5 <b>0,000*</b>	212 <b>0,480</b>	220 <b>0,604</b>			
Mf <sub>5</sub>	95,5 <b>0,001*</b>	139,5 <b>0,016*</b>	171,5 <b>0,096</b>	218,5 <b>0,580</b>			55 <b>0,000*</b>	179,5 <b>0,142</b>	190 <b>0,222</b>	209,5 <b>0,445</b>			36 <b>0,000*</b>	144,5 <b>0,022</b>	185,5 <b>0,183</b>	171 <b>0,095</b>		
Mf <sub>6</sub>	50,5 <b>0,000*</b>	84 <b>0,000*</b>	123 <b>0,005*</b>	176,5 <b>0,122</b>	218,5 <b>0,579</b>		59 <b>0,000*</b>	193 <b>0,250</b>	208 <b>0,425</b>	225 <b>0,690</b>	219,5 <b>0,597</b>		30,5 <b>0,000*</b>	95 <b>0,001*</b>	132 <b>0,010*</b>	107,5 <b>0,002*</b>	179 <b>0,139</b>	
Mf <sub>7</sub>	95 <b>0,000*</b>	140,5 <b>0,016*</b>	187,5 <b>0,198</b>	238,5 <b>0,934</b>	203,5 <b>0,363</b>	170,5 <b>0,090</b>	97,5 <b>0,001*</b>	202 <b>0,348</b>	163,5 <b>0,065</b>	146 <b>0,024*</b>	131 <b>0,009*</b>	142 <b>0,019*</b>	43 <b>0,000*</b>	172 <b>0,100</b>	201,5 <b>0,341</b>	183 <b>0,165</b>	229 <b>0,760</b>	168,5 <b>0,084</b>

\*P< 0,05 ; N= 91 observations; ddl = 6



**Figure 17:** Variations spatio-temporelles du pH de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

élevées du pH pendant les mois pluvieux notamment en mars (8,4) et juin (8) révélant la basicité des eaux. Les valeurs de pH ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre, les moyennes fluctuant autour de 7.

Les valeurs du pH du cours d'eau Tongolo s'échelonnent de 6,4 à 7,7. Elles traduisent globalement les eaux légèrement acides dans le cours supérieur (station T<sub>1</sub>) à neutres en aval (station T<sub>2</sub>) près de la confluence avec le Mfoundi. Les valeurs du pH fluctuent peu le long de l'hydrosystème (Figure 17 c).

Le pH de l'eau varie très peu le long du Ntem et d'Ébogo. La plupart des valeurs de ce paramètre sont supérieures à 7, soulignant une forte tendance à la neutralité (Figure 17 d, e). Aucune différence significative n'est observée entre les stations de ces cours d'eau.

Les eaux de l'Éwoué sont neutres, les valeurs de pH enregistrées étant comprises entre 7 et 7,5. Cette neutralité des eaux est plus prononcée dans le cours inférieur à la station Ew<sub>2</sub> (Figure 17 f), même si les différences notées ne sont pas significatives entre les stations.

Dans l'Abiergué, les valeurs du pH se situent entre 6,2 et 7,8. Elles révèlent les eaux légèrement acides à légèrement alcalines. Le cours supérieur (station A<sub>1</sub>) se caractérise par les eaux acides pendant toute l'étude et les tronçons aval marquent une forte tendance à la neutralité, la plupart des valeurs de pH étant supérieures à 7 (Figure 17 g). Ces données ne varient pas significativement le long du cours d'eau.

Le pH de l'eau du Mingoa présente des valeurs comprises entre 6,4 et 8,2 indiquant également les eaux légèrement acides à légèrement alcalines (Figure 17 h). Ces valeurs subissent de très faibles variations d'une station à l'autre, et les moyennes illustrent une forte tendance à la neutralité dans le cours inférieur notamment à la station M<sub>3</sub> (7,7).

Les valeurs du pH dans le cours d'eau Olézoa fluctuent très peu d'une station à l'autre et oscillent entre 6,7 et 7,8. Les plus fortes valeurs dans l'ensemble des stations sont obtenues au mois d'octobre, et les plus faibles en décembre (Figure 17 i). Les moyennes traduisent les eaux neutres le long du cours d'eau.

Les eaux de l'Aké et du Ntsomo sont légèrement acides à neutres. Les valeurs du pH varient respectivement de 6,4 à 7,5 (Aké) et de 6,6 à 7,8 (Ntsomo). Leur cours supérieur présente une forte tendance à la neutralité, même si les données enregistrées ne diffèrent pas significativement le long de ces hydrosystèmes (Figure 17 j, k).

L'évolution du pH des eaux dans l'ensemble des stations du Mfoundi est très irrégulière. Ce paramètre varie très peu le long du cours d'eau (Figure 17 l). Les valeurs sont comprises entre 6,4 et 8,9. Ce qui souligne globalement les eaux légèrement acides à légèrement alcalines. Les valeurs les

plus élevées ont été enregistrées pendant les mois pluvieux (mars et mai), et les plus faibles ont été obtenues aux mois de décembre et janvier. Ces données ne présentent pas de différences significatives entre les stations.

La majorité des stations de l'ensemble des cours d'eau étudiés présentent des eaux légèrement acides à légèrement alcalines, leur pH étant compris entre 6 et 8,4. L'acidité des eaux diminue en général de l'amont vers l'aval surtout pendant les mois pluvieux. Certaines eaux sont cependant plus basiques ou montrent une forte tendance à la neutralité. Elles concernent, dans la plupart des cas, des stations des cours d'eau urbains (Mfoundi, Mingoa, Olézoa, Ntsomo, Ewoué). Le pH des eaux ne montre pas de différence significative entre les cours d'eau de la zone rurale et ceux localisés en milieu urbain.

### III-1-1-3 Conductivité électrique

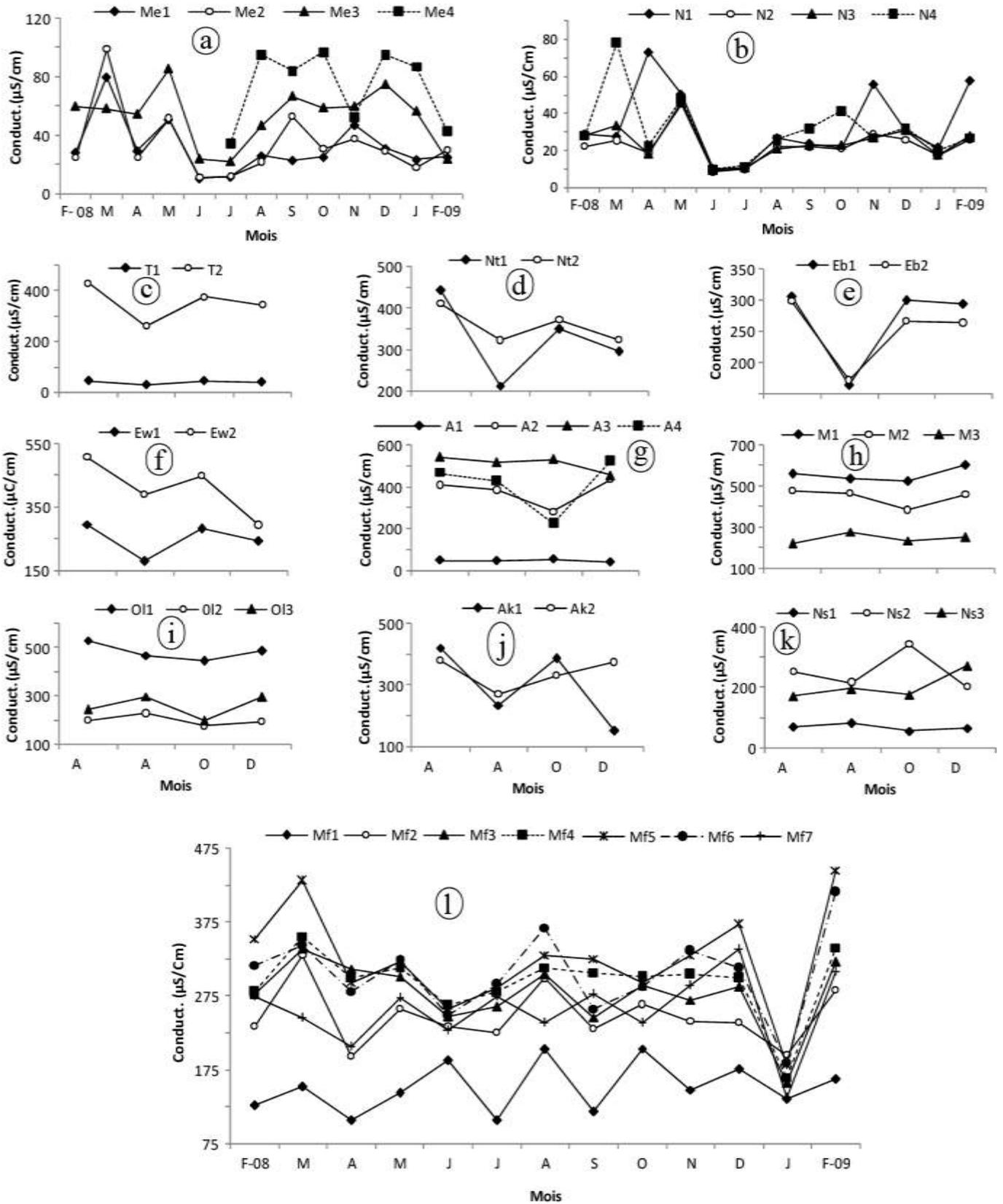
La conductivité électrique de la Mefou et du Nga se situe respectivement entre 10,6 et 99,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et entre 8,5 et 78,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ce qui traduit globalement une minéralisation très faible à faible des eaux. Ce paramètre croît légèrement de l'amont vers l'aval de ces hydrosystèmes (Figure 18 a, b) et prend des valeurs plus élevées pendant les mois pluvieux (mars, avril, mai et octobre) pour la plupart des stations. Des différences significatives sont uniquement observées entre les valeurs de la conductivité électrique des stations de la Mefou ( $H= 20,68$ ;  $p=0,0001$ ), en particulier entre les stations  $\text{Me}_1$  et  $\text{Me}_2$ ,  $\text{Me}_1$  et  $\text{Me}_4$ ,  $\text{Me}_2$  et  $\text{Me}_3$ ,  $\text{Me}_2$  et  $\text{Me}_4$ ,  $\text{Me}_3$  et  $\text{Me}_4$  (Tableau V).

Dans le Tongolo, le cours supérieur (station  $T_1$ ) affiche de très faibles valeurs de la conductivité électrique (29 à 45,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et le secteur aval (station  $T_2$ ) enregistre des valeurs nettement plus élevées, oscillant entre 263 et 432  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 18 c). Ce qui souligne une minéralisation forte des eaux. Les valeurs de ce paramètre diffèrent significativement le long du cours d'eau ( $U=0,000$ ;  $p=0,021$ ).

La conductivité électrique varie très peu le long des cours d'eau Ntem et Ébogo (Figure 18 d, e). Les valeurs de ce paramètre sont respectivement supérieures à 213  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans le Ntem et 173  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans l'Ébogo, et sont plus élevées pendant les mois pluvieux (avril, octobre). Ces valeurs ne présentent pas de différences significatives entre les stations de ces cours d'eau.

Les valeurs de la conductivité électrique augmentent de l'amont vers l'aval de l'Éwoué et varient de 181 (station  $\text{Ew}_1$  en août) à 508  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\text{Ew}_2$  en avril), indiquant une minéralisation moyenne à forte des eaux (Figure 18 f). Elles diffèrent significativement d'une station à l'autre ( $U=1,000$ ;  $p=0,043$ ).

La conductivité électrique dans l'Abiergué prend des valeurs plus faibles ( $< 60 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) dans le cours supérieur, notamment à la station  $A_1$ . Les secteurs moyen et inférieur, par contre, montrent



**Figure 18:** Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l, m).

des valeurs plus élevées atteignant parfois 544  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 18 g). Des différences significatives sont notées entre les stations le long du cours d'eau ( $H=11,71$ ;  $p=0,008$ ), notamment entre les stations  $A_1$  et les autres localisées en aval ( $A_1$  et  $A_2$ ,  $A_1$  et  $A_3$ ,  $A_1$  et  $A_4$ ,  $A_2$  et  $A_3$ ).

Dans le Mingoa et l'Olézoa, les valeurs de la conductivité électrique sont comprises respectivement entre 220 et 604  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et entre 176 et 532  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elles restent relativement stables dans l'ensemble des stations pendant l'étude et indiquent globalement une minéralisation moyenne à très forte des eaux (Figures 18 h, i). Les valeurs les plus élevées sont obtenues dans le cours supérieur (stations  $M_1$  et  $Ol_1$ ), et les plus faibles sont notées dans les cours moyen (station  $Ol_2$ ) et inférieur (station  $M_3$ ) de ces hydrosystèmes. Les valeurs de ce paramètre diffèrent significativement entre les différentes stations de ces cours d'eau ( $H=9,84$ ;  $p=0,007$ /  $H=8,77$ ;  $p=0,012$ ), en particulier entre les stations  $M_1$  et  $M_2$ ,  $M_1$  et  $M_3$ ,  $M_2$  et  $M_3$ , d'une part, et entre les stations  $Ol_1$  et  $Ol_2$ ,  $Ol_1$  et  $Ol_3$ , d'autre part.

La conductivité électrique dans l'Aké évolue de façon irrégulière dans l'ensemble des stations et varie très peu de l'amont vers l'aval (Figure 18 j). 88 % environ des valeurs de ce paramètre sont supérieures à 235  $\mu\text{S}/\text{cm}$  soulignant une assez forte minéralisation des eaux, même si les différences ne sont pas observées entre les stations.

Les valeurs de la conductivité électrique du Ntsomo sont nettement faibles ( $< 83\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dans le cours supérieur, notamment à la station  $Ns_1$ , comparées aux secteurs moyen et inférieur du cours d'eau où elles deviennent plus élevées, oscillant entre 172,2 et 345  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 18 k). Dans l'ensemble, les valeurs de ce paramètre diffèrent significativement entre les stations ( $H=8,34$ ;  $p=0,015$ ), en particulier entre la station  $Ns_1$  et celles situées en aval.

Dans le Mfoundi, la conductivité électrique varie de 106,2 (station  $Mf_1$ ) à 446  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (station  $Mf_5$ ). Elle augmente de façon régulière de l'amont vers l'aval du cours d'eau (Figures 18 l). Les valeurs les plus élevées sont obtenues pendant les mois pluvieux (mars, mai, juin, septembre et octobre). Des différences significatives ont été notées entre les valeurs de la conductivité électrique de l'ensemble des stations ( $H=38,34$ ;  $p=0,0001$ ), surtout entre la station  $Mf_1$  et celles localisées dans les tronçons moyens et inférieur du cours d'eau (Tableau VI).

En considérant l'ensemble des cours d'eau étudiés, la conductivité électrique augmente généralement de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau, excepté le Mingoa et l'Olézoa où les fortes valeurs sont plutôt notées dans le cours supérieur. Ce paramètre prend des valeurs plus élevées pendant les mois pluvieux. La conductivité électrique exprime le degré de minéralisation des eaux. Les données obtenues ont permis de grouper l'ensemble des stations en 5 classes suivant les critères de Goloma et Symoens (1990), Rodier (1996), Rodier *et al.* (2009) et Mary (1999):

-la première classe isole les stations ayant une minéralisation très faible à faible des eaux (conductivité inférieure à 75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et comprise entre 75 et 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Il s'agit des stations des cours d'eau Nga et Mefou localisées en zone rurale, et quelques stations situées en amont des cours d'eau urbains ( $T_1$ ,  $A_1$ ,  $Ns_1$ ).

-la seconde classe comprend uniquement la station  $Mf_1$  dont les eaux se caractérisent par une minéralisation moyenne (conductivité variant de 100 à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

-les stations formant la troisième classe sont celles ayant une minéralisation assez forte (conductivité oscillant entre 200 et 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Certaines stations des cours d'eau Olézoa ( $Ol_2$ ,  $Ol_3$ ), Ntsomo ( $Ns_3$ ), Mingoa ( $M_3$ ), Ébogo ( $Eb_1$ ,  $Eb_2$ ) et Éwoué ( $Ew_1$ ) appartiennent à cette classe.

-la quatrième classe est composée des stations qui présentent une minéralisation forte des eaux (conductivité fluctuant entre 300 et 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Il s'agit des stations des cours d'eau Mfoundi ( $Mf_2$  à  $Mf_7$ ), Abiergué ( $A_2$ ), Mingoa ( $M_2$ ), Ntsomo ( $Ns_2$ ), Ntem ( $Nt_1$ ,  $Nt_2$ ), Tongolo ( $T_2$ ), Éwoué ( $Ew_2$ ) et Aké ( $Ak_1$ ,  $Ak_2$ ).

-les stations qui constituent la cinquième classe et caractérisées par une minéralisation très forte des eaux (conductivité  $> 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont celles des cours d'eau Abiergué ( $A_3$ ,  $A_4$ ), Mingoa ( $M_1$ ) et Olézoa ( $Ol_1$ ).

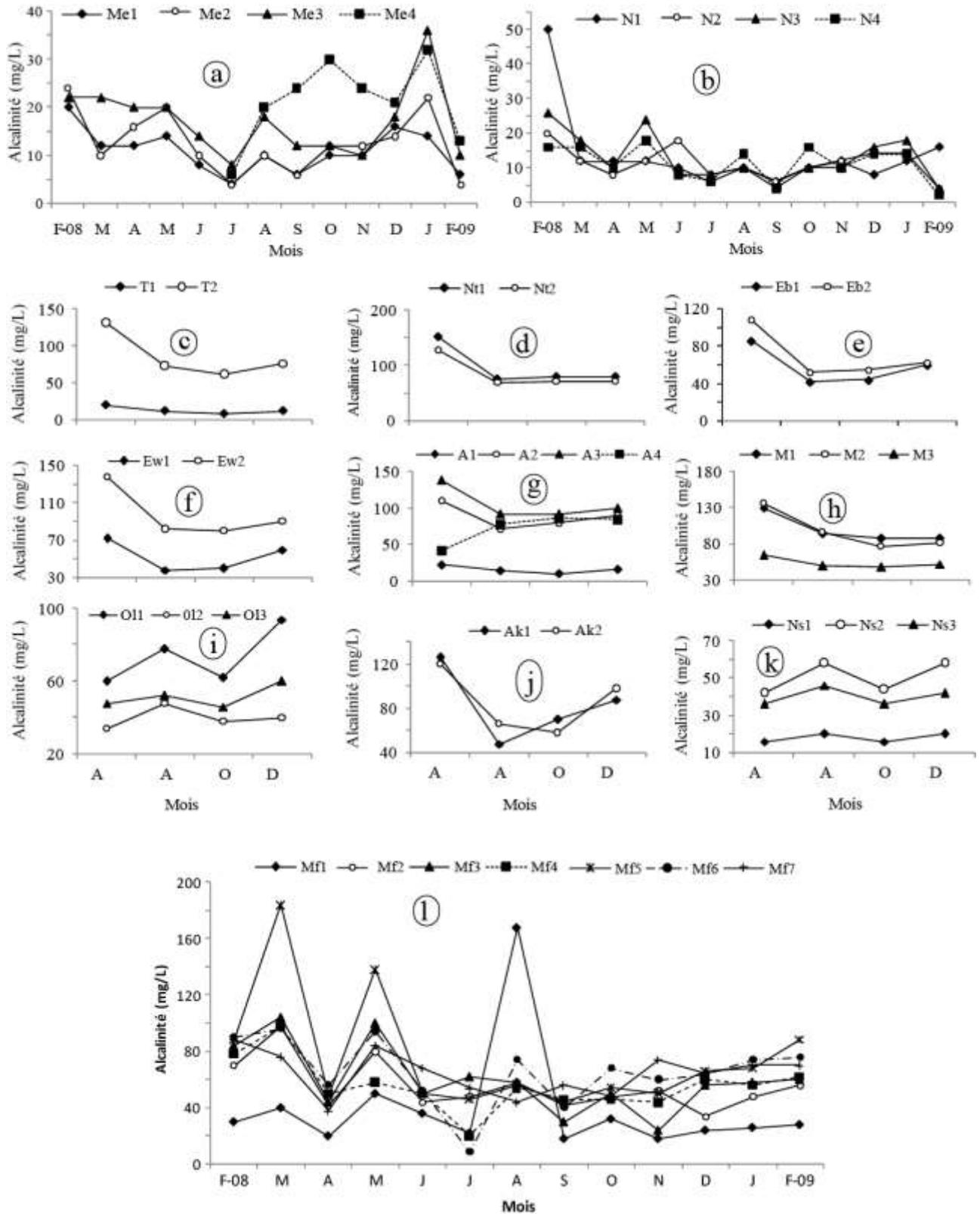
#### **III-1-1-4 Alcalinité**

Dans la Mefou, l'alcalinité des eaux oscille entre 4 (stations  $Me_1$  et  $Me_2$  en juillet 2008) et 36 mg/L (station  $Me_3$  en janvier 2009). Elle augmente significativement de l'amont vers l'aval du cours d'eau ( $H=15,77$ ;  $p=0,0001$ ), la plupart des stations affichant les plus fortes valeurs en janvier (Figure 19 a).

Les valeurs de l'alcalinité des eaux du Nga restent relativement stables dans l'ensemble des stations pendant la période d'étude (Figure 19 b). Elles varient de 2 (station  $N_2$  et  $N_3$  en février 2009) à 50 mg/L (station  $N_1$  en février 2008). Les valeurs moyennes n'excèdent pas 14 mg/L, indiquant les eaux faiblement bicarbonatées. Aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs de l'alcalinité d'une station à l'autre pendant l'étude.

Dans le Tongolo, l'alcalinité est très faible en amont (station  $T_1$ ) où les valeurs sont inférieures à 20 mg/L. Ce paramètre prend ensuite des valeurs nettement élevées dans le cours inférieur (station  $T_2$ ) atteignant 132 mg/L au mois d'avril (Figure 19 c). Les valeurs de l'alcalinité diffèrent significativement entre les deux stations au cours de l'étude ( $U=0,0001$ ;  $p=0,021$ ).

Les valeurs de l'alcalinité dans le Ntem et l'Ébogo sont comprises respectivement entre 70 (station  $Nt_2$  en août) et 152 mg/L (station  $Nt_1$  en avril), et entre 42 (station  $Eb_1$  en août) et 108 mg/L (station  $Eb_2$  en avril). Ce paramètre présente des valeurs plus élevées au mois d'avril pour



**Figure 19:** Variations spatio-temporelles de l'alcalinité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou : Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

l'ensemble des stations (Figure 19 d, e), bien que ces valeurs varient peu le long de ces cours d'eau. Les valeurs moyennes se situent autour de 90 mg/L dans le Ntem et 63 mg/L dans l'Ébogo.

L'alcalinité des eaux augmente de l'amont vers l'aval de l'Éwoué. Elle s'échelonne de 38 à 138 mg/L, les valeurs les plus élevées étant également obtenues en avril dans toutes les stations (Figure 19 f). Les valeurs de ce paramètre sont significativement différentes entre les deux stations pendant l'étude ( $U=0,0001$ ;  $p=0,021$ ).

Dans l'Abiergué, les valeurs de l'alcalinité sont plus élevées dans les secteurs moyen et inférieur du cours d'eau (86 à 138 mg/L), tandis que les plus faibles ( $< 22$  mg/L) sont notées en amont, notamment à la station  $A_1$  (Figure 19 g). Les eaux semblent être plus bicarbonatées au mois d'avril au cours de la petite saison de pluies. Dans l'ensemble, les valeurs de ce paramètre diffèrent significativement entre les stations le long du cours d'eau ( $H=11,73$ ;  $p=0,008$ ), particulièrement entre la station  $A_1$  et les autres localisées en aval ( $A_1$  et  $A_2$ ,  $A_1$  et  $A_3$ ,  $A_1$  et  $A_4$ ,  $A_3$  et  $A_4$ ).

Les cours supérieur et moyen du Mingoa affichent des fortes valeurs de l'alcalinité (88 à 136 mg/L), alors que le secteur inférieur (station  $M_3$ ) prend des valeurs nettement faibles pouvant atteindre 48 mg/L (Figure 19 h). Des différences significatives ont été notées entre les valeurs de l'alcalinité d'une station à l'autre du cours d'eau ( $H=7,44$ ;  $p=0,024$ ), notamment entre la station  $M_3$  et les autres ( $M_1$  et  $M_2$ ,  $M_1$  et  $M_3$ ,  $M_2$  et  $M_3$ ).

Dans l'Olézoa, l'alcalinité des eaux baisse significativement de l'amont vers l'aval du cours d'eau. Les valeurs de ce paramètre fluctuent de 34 (station  $Ol_2$ ) à 94 mg/L (station  $Ol_1$ ) (figure 19 i).

L'alcalinité des eaux varie très peu le long de l'Aké et évolue de façon irrégulière pendant la période d'étude (Figure 19 j). Les valeurs les plus élevées dans l'ensemble des stations sont observées au cours des mois d'avril (126 mg/L).

Les faibles valeurs de l'alcalinité des eaux obtenues en amont du Ntsomo, notamment à la station  $Ns_1$  ( $< 21$  mg/L), s'opposent aux valeurs plus élevées enregistrées dans les secteurs moyen et inférieur de l'hydrosystème (58 mg/L à la station  $Ns_2$ ) (Figure 19 k). L'ensemble des données de ce paramètre montre de différences significatives entre les stations ( $H=8,7$ ;  $p=0,013$ ), en particulier entre  $Ns_1$  et  $Ns_2$ ,  $Ns_1$  et  $Ns_3$ .

Dans le Mfoundi, les valeurs de l'alcalinité sont comprises entre 18 (station  $Mf_1$ ) et 184 mg/L (station  $Mf_5$ ). Elles augmentent graduellement de l'amont vers l'aval du cours d'eau (Figure 19 l, m) et présentent des différences significatives d'une station à l'autre ( $H=50,28$ ;  $p=0,0001$ ). Ces différences sont observées surtout entre la station  $Mf_1$  et celles qui sont localisées en aval (Tableau V). Les valeurs les plus élevées sont généralement notées pendant les mois pluvieux dans la plupart

des stations.

De manière générale, l'alcalinité augmente de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau et les fortes valeurs de ce paramètre ont été enregistrées en saison de pluies dans la majorité des stations. Les stations des cours d'eau de la zone rurale et celles situées en amont de certains cours d'eau urbains (Abiergué, Tongolo, Ntsomo) présentent des valeurs moyennes inférieures à 22,5 mg/L. Le reste des stations urbaines se caractérisent par des valeurs de l'alcalinité nettement élevées pouvant atteindre 105,5 mg/L. Ce qui souligne des eaux fortement bicarbonatées.

### **III-1-1-5 Dureté calcique**

Les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont relativement faibles dans l'ensemble des stations de la Mefou et du Nga; 92 % environ des valeurs de ce paramètre sont inférieures à 16 mg/L. Les fortes concentrations en cet élément sont enregistrées dans la plupart des stations en avril, juillet, octobre et novembre (Figures 20 a, b). Des différences significatives sont uniquement observées entre les teneurs en ces ions des stations de la Mefou ( $H=18,77$ ;  $p=0,0001$ ), notamment entre la station Me<sub>4</sub> et celles situées en amont (Tableau V).

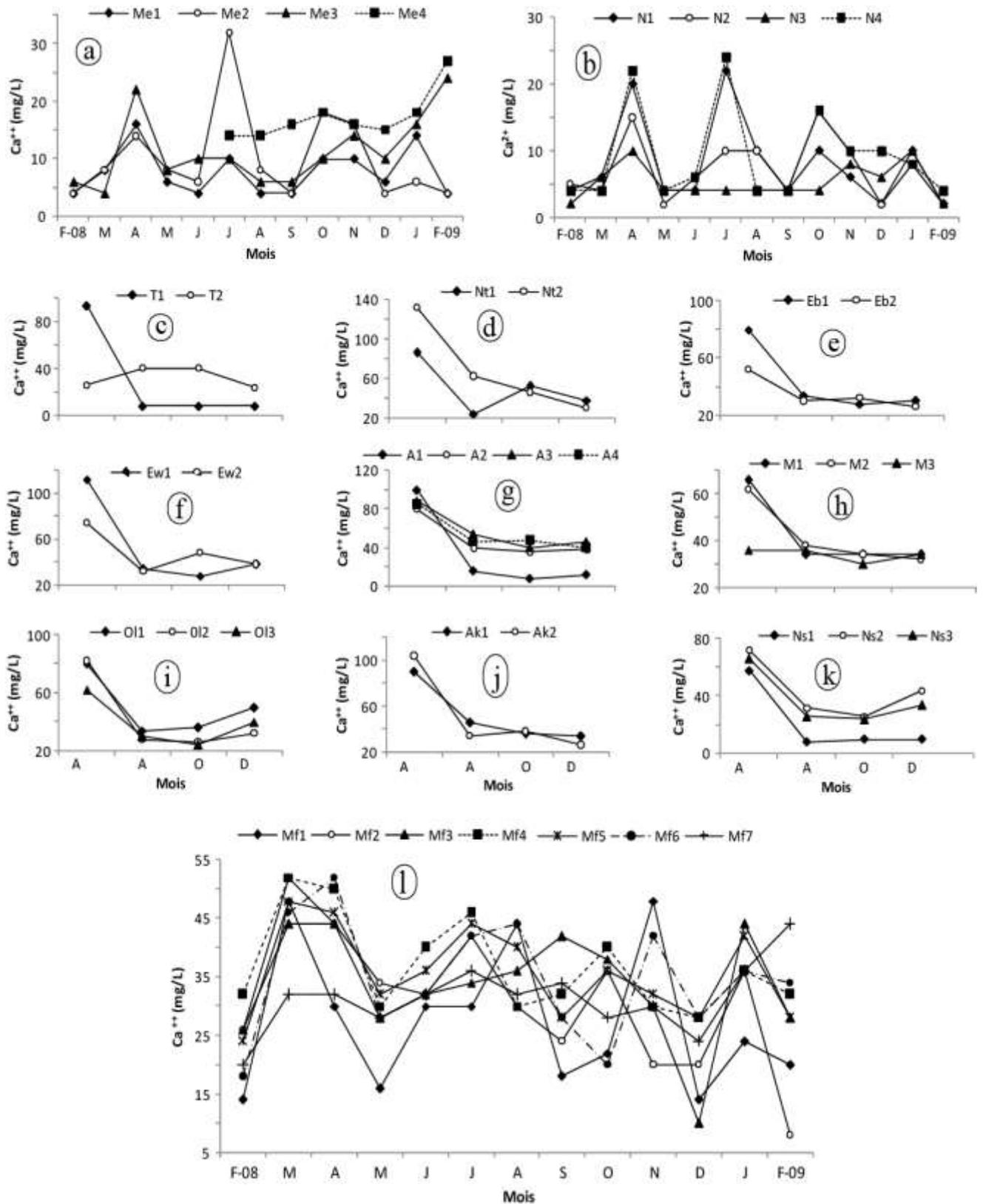
Dans le Tongolo, les concentrations en ions  $\text{Ca}^{2+}$  augmentent de l'amont vers l'aval du cours d'eau, bien que la plus forte valeur (94 mg/L) a été obtenue à la station T<sub>1</sub> en avril (Figure 20 c). Les teneurs en ces ions ne diffèrent pas significativement entre les deux stations, les teneurs moyennes gravitant autour de  $30 \pm 2$  mg/L.

Les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans le Ntem et l'Ébogo s'échelonnent respectivement de 24 à 132 mg/L, et de 26 à 80 mg/L. Elles varient très peu le long de ces hydrosystèmes et sont plus élevées en avril dans toutes les stations (Figures 20 d, e).

Dans l'Éwoué, les concentrations en ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont relativement élevées surtout en avril et oscillent entre 28 et 112 mg/L (Figure 20 f). L'ensemble des données ne présentent pas de différences significatives entre les stations; les teneurs moyennes fluctuent autour de  $50 \pm 3$  mg/L.

Les secteurs moyen et inférieur de l'Abiergué affichent de fortes teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  (40 à 86 mg/L), comparé au cours supérieur où les plus faibles valeurs sont régulièrement enregistrées (Figure 20 g). Aucune différence significative n'a été observée entre les concentrations en ions  $\text{Ca}^{2+}$  d'une station à l'autre pendant l'étude.

Les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans le Mingoa et l'Olézoa sont nettement élevées en avril pour l'ensemble des stations (Figure 20 h, i), atteignant parfois 66 et 82 mg/L dans les cours supérieur et moyen de ces hydrosystèmes. Les concentrations en ces ions baissent légèrement en aval de ces deux cours d'eau, bien que les différences notées ne soient pas significatives entre les stations.



**Figure 20:** Variations spatio-temporelles des teneurs en ions  $Ca^{2+}$  dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou : Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

Dans l'Aké, les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont comprises entre 26 et 104 mg/L, et varient très peu le long du cours d'eau (Figure 20 j). La petite saison de pluies, notamment le mois d'avril semble enrichir les eaux de l'Aké en ions  $\text{Ca}^{2+}$ .

Les concentrations en ions  $\text{Ca}^{2+}$  augmentent graduellement de l'amont vers l'aval du Ntsomo. Elles varient de 8 (station  $\text{Ns}_1$ ) à 72 mg/L (station  $\text{Ns}_2$ ), et sont plus élevées en avril dans l'ensemble des stations (Figure 20 k). Aucune différence significative n'est observée entre les stations.

Les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans le Mfoundi oscillent entre 8 et 52 mg/L. Les plus faibles concentrations sont obtenues dans le cours supérieur notamment à la station  $\text{Mf}_1$ , et les plus élevées étant régulièrement notées dans les tronçons moyen et inférieur du cours d'eau (Figure 20 l). Ces teneurs varient significativement le long de l'hydrosystème ( $H=21,07$ ;  $p=0,002$ ), particulièrement entre le site  $\text{Mf}_1$  et les autres situés en aval (Tableau VII).

En considérant l'ensemble des stations prospectées, les teneurs en ions  $\text{Ca}^{2+}$  augmentent relativement de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau. Elles sont en général plus élevées dans la majorité des stations des cours d'eau urbains surtout pendant les mois pluvieux, comparées aux faibles concentrations ( $< 20$  mg/L) régulièrement enregistrées dans les stations des hydrosystèmes de la zone rurale.

### III-1-1-6 Silice

Dans la Mefou, les teneurs en silice sont comprises entre 1,5 (station  $\text{Me}_2$ ) et 14,9 mg/L (station  $\text{Me}_3$ ). Elles subissent de faibles variations dans l'ensemble des stations pendant l'étude, mais les pics (9,3 et 14,9 mg/L) sont en général observées en août, octobre et février dans la plupart des stations (Figure 21 a). La station  $\text{Me}_2$ , située après le barrage, affiche les plus faibles concentrations en silice, oscillant autour de  $5,9 \pm 1,5$  mg/L. Des différences significatives ont été notées entre les teneurs en silice des stations ( $H=9,46$ ;  $p=0,024$ ), notamment entre les stations  $\text{Me}_1$ ,  $\text{Me}_2$  et  $\text{Me}_4$  (Tableau V).

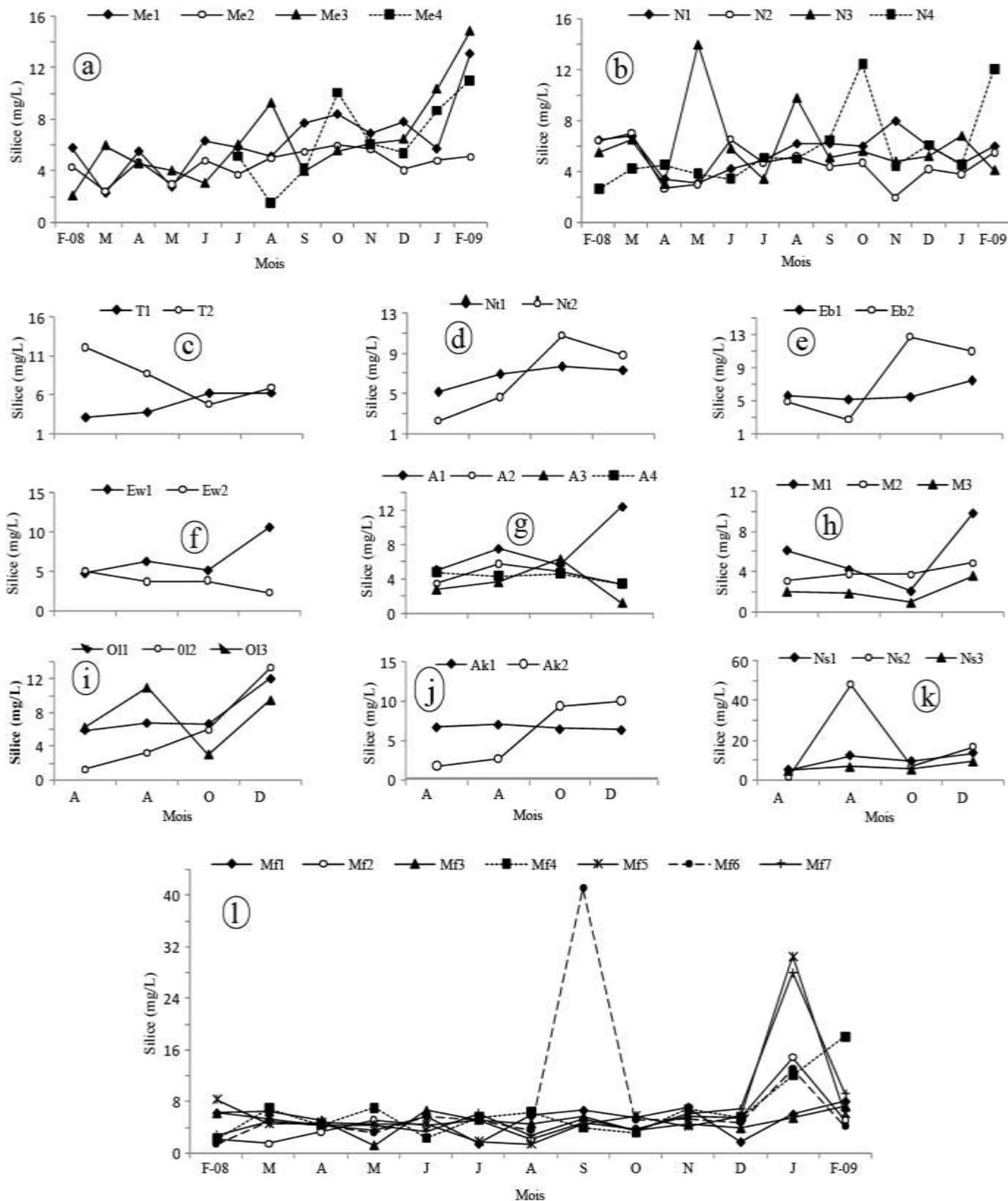
Les concentrations en silice sont relativement élevées dans les cours moyen et inférieur du Nga, surtout en saison de pluies, atteignant parfois 14 mg/L à la station  $\text{N}_3$  en mai et 12,5 mg/L à la station  $\text{N}_4$  en octobre (Figure 21 b). Les teneurs en cet élément ne diffèrent pas de façon significative d'une station à une autre, les valeurs moyennes chevauchent autour de  $4,5 \pm 1,6$  mg/L.

Les teneurs en silice augmentent graduellement de l'amont vers l'aval de Tongolo, l'amplitude de variation étant plus importante en avril (Figure 21 c). Elles s'échelonnent entre 3,1 et 12,1 mg/L et aucune différence significative n'est observée entre les stations.

**Tableau VII:** Comparaison des valeurs de la dureté calcique, des matières en suspension et de l'oxygène dissous entre les stations du Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney. Les valeurs de Mann-Whitney (U) et la probabilité (p en gras) correspondante sont données.

Stations	Ca <sup>++</sup>						MES						Oxygène dissous					
	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>
Mf <sub>2</sub>	148 <b>0,027*</b>						143,5 <b>0,021*</b>						74 <b>0,000*</b>					
Mf <sub>3</sub>	124 <b>0,005*</b>	193 <b>0,247</b>					121,5 <b>0,005*</b>	225,5 <b>0,698</b>					61,5 <b>0,000*</b>	219 <b>0,589</b>				
Mf <sub>4</sub>	104 <b>0,001*</b>	177,5 <b>0,128</b>	224,5 <b>0,679</b>				186 <b>0,188</b>	200 <b>0,324</b>	177,5 <b>0,130</b>				29 <b>0,000*</b>	154,5 <b>0,040</b>	179 <b>0,139</b>			
Mf <sub>5</sub>	107 <b>0,001*</b>	173,5 <b>0,106</b>	210 <b>0,449</b>	231,5 <b>0,804</b>			185,5 <b>0,184</b>	187 <b>0,196</b>	158,5 <b>0,050</b>	235,5 <b>0,879</b>			23,5 <b>0,000*</b>	95 <b>0,001</b>	111,5 <b>0,002*</b>	150,5 <b>0,032*</b>		
Mf <sub>6</sub>	119,5 <b>0,004*</b>	185 <b>0,179</b>	227 <b>0,723</b>	238,5 <b>0,934</b>	228 <b>0,741</b>		218,5 <b>0,581</b>	158,5 <b>0,05</b>	130 <b>0,008*</b>	203,5 <b>0,366</b>	209 <b>0,438</b>		16 <b>0,000*</b>	85,5 <b>0,000*</b>	116 <b>0,003*</b>	165 <b>0,071</b>	196,5 <b>0,285</b>	
Mf <sub>7</sub>	136,5 <b>0,013*</b>	227 <b>0,723</b>	166 <b>0,071</b>	150,5 <b>0,030*</b>	143,5 <b>0,019*</b>	157,5 <b>0,046*</b>	122 <b>0,005*</b>	210,5 <b>0,459</b>	224 <b>0,672</b>	171,5 <b>0,098</b>	153,5 <b>0,038*</b>	132,5 <b>0,010*</b>	67,5 <b>0,000*</b>	215 <b>0,534</b>	238,5 <b>0,935</b>	184 <b>0,173</b>	117 <b>0,003*</b>	128,5 <b>0,008*</b>

\*P < 0,05 ; N = 91 observations; ddl = 6



**Figure 21:** Variations spatio-temporelles des teneurs en silice dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

Dans le Ntem et l'Ébogo, les concentrations en silice varient très peu le long de ces hydrosystèmes. Les valeurs les plus élevées sont généralement enregistrées dans leur cours inférieur surtout au mois d'octobre et atteignent respectivement 10,8 mg/L (Ntem) et 12,8 mg/L (Ébogo) (Figure 21 d, e).

Les teneurs en silice dans l'Éwoué fluctuent de 2,3 à 10,7 mg/L. Elles baissent significativement de l'amont vers l'aval ( $U=1,00$ ;  $p=0,043$ ). Les valeurs relevées dans le cours supérieur atteignent 10,7 mg/L en décembre (Figure 21 f).

Dans l'Abiergué, la silice est abondante dans le cours supérieur, notamment à la station A<sub>1</sub> où la concentration maximale (12,4 mg/L) a été enregistrée en décembre. Les teneurs relativement faibles sont obtenues dans les secteurs moyen et inférieur de l'hydrosystème (Figure 21 g), bien que les différences observées ne soient pas significatives entre les stations.

Les teneurs en silice restent relativement stables dans l'ensemble des stations du Mingo pendant l'étude. Cependant, les tronçons supérieur et moyen affichent des fortes valeurs, alors que le secteur inférieur (station M<sub>3</sub>) prend des valeurs nettement faibles ( $< 2\text{mg/L}$ ) (Figure 21 h). Ces teneurs diffèrent significativement d'une station à l'autre ( $H=6,02$ ;  $p=0,049$ ), en particulier entre la station M<sub>3</sub> et celles localisées en amont du Lac municipale de Yaoundé (M<sub>1</sub> et M<sub>3</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>).

Dans l'Olézoa, les concentrations en silice oscillent entre 1,4 et 13,3 mg/L et varient très peu le long du cours d'eau. Toutefois, on observe à toutes les stations, une augmentation régulière des teneurs en silice d'octobre à décembre fluctuant de  $5,2 \pm 1,5$  mg/L à  $11,6 \pm 1,8$  mg/L (Figure 21 i).

Les teneurs en silice sont stables et élevées (6,4 à 7,75 mg/L) dans le cours supérieur de l'Aké pendant l'étude. Elles deviennent faibles dans le cours inférieur (1,77 à 2,67 mg/L), excepté en octobre et en décembre où les pluies semblent enrichir les eaux en silice (Figure 21 j).

La silice est en général abondante dans les eaux du Ntsomo. Les plus fortes concentrations sont obtenues dans les secteurs supérieur et moyen et atteignent parfois 48 mg/L à la station Ns<sub>2</sub>, tandis que les plus faibles sont notées dans le cours inférieur oscillant autour de  $6,8 \pm 2,1$  mg/L (Figure 21 k). Aucune différence significative n'a été notée entre les teneurs en silice d'une station à l'autre pendant l'étude.

Dans le Mfoundi, les concentrations en silice, comprises entre 1,23 et 41,2 mg/L, sont dans l'ensemble élevées. Elles varient très peu de l'amont vers l'aval et ne montrent pas une zonation longitudinale nette. Les teneurs les plus élevées dans la plupart des stations sont notées en septembre et janvier (13,1 à 41,8 mg/L) (Figure 21 l).

En général, la silice est relativement abondante dans l'ensemble des cours d'eau étudiés. Les variations des teneurs en cet élément sont peu marquées le long de ces hydrosystèmes. Toutefois, les

plus fortes concentrations sont enregistrées dans les stations des cours d'eau urbains surtout en saison de pluies, et les plus faibles étant régulièrement obtenues dans les stations des hydrosystèmes en zone rurale.

### III-1-1-7 Matières En Suspension (MES)

Les teneurs en MES dans la Mefou sont comprises entre 3 (station Me<sub>2</sub>) et 76 mg/L (station Me<sub>4</sub>). Les valeurs de ce paramètre augmentent significativement de l'amont vers l'aval de l'hydrosystème ( $H=23,29$ ;  $p=0,000$ ), et atteignent leurs maxima (51 à 76 mg/L) au niveau des stations Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub> en avril et janvier (Figure 22 a).

Dans le Nga, les variations spatio-temporelles des valeurs des MES sont très irrégulières. Les eaux des cours moyen et inférieur (stations N<sub>2</sub> à N<sub>4</sub>) sont en général plus chargées en MES surtout en avril et juin (petite saison de pluies) où les teneurs oscillent entre 25 et 37 mg/L (Figure 22 b). Le secteur supérieur prend des valeurs relativement faibles de l'ordre de  $10 \pm 6$  mg/L. Des différences significatives sont notées entre les teneurs en MES des différentes stations, notamment entre N<sub>1</sub> et N<sub>3</sub>, N<sub>1</sub> et N<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> et N<sub>4</sub>.

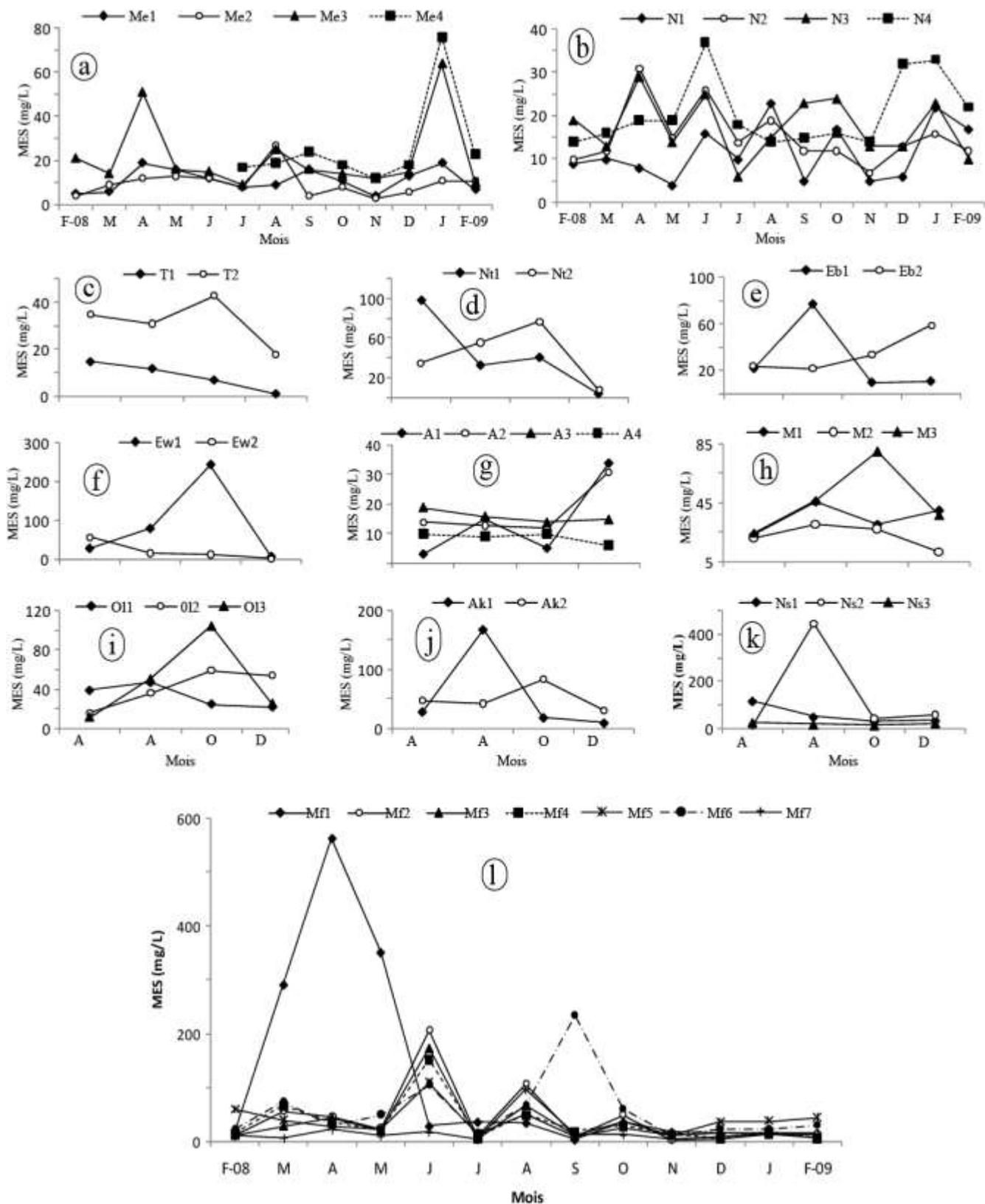
Les teneurs en MES sont faibles dans le cours supérieur de Tongolo où elles n'excèdent pas 15 mg/L à la station T<sub>1</sub>. Ces teneurs deviennent plus importantes en aval du cours d'eau et atteignent 43 mg/L à la station T<sub>2</sub> en octobre (Figure 22 c). Des différences significatives ont été observées entre les valeurs en MES des deux stations pendant l'étude ( $U=0,000$ ;  $p=0,021$ ).

Dans le Ntem et l'Ébogo, les valeurs de MES fluctuent respectivement de 8 à 99 mg/L, et entre 10 et 77 mg/L. Les valeurs les plus élevées (99 et 77 mg/L) ont été enregistrées dans le cours supérieur de ces hydrosystèmes (stations Nt<sub>1</sub> et Eb<sub>1</sub>) en avril et août (Figure 22 d, e). Les valeurs obtenues ne diffèrent pas significativement le long de ces cours d'eau.

Les MES sont relativement abondantes dans le cours supérieur de l'Éwoué avec une valeur maximale de 244 mg/L notée à la station Ew<sub>1</sub> en octobre. Le cours inférieur par contre se distingue par des teneurs plus faibles de l'ordre de 2 mg/L, au niveau de la station Ew<sub>2</sub> en décembre (Figure 23 f). Toutefois, les différences observées ne sont pas significatives entre les deux stations.

Dans l'Abiergué, les MES sont présentes en faibles quantité, 87,5 % des valeurs étant inférieures à 20 mg/L. Les teneurs enregistrées varient très peu le long du cours d'eau et sont relativement stables dans l'ensemble des stations pendant l'étude. Cependant, le cours moyen se singularise par les valeurs plus élevées atteignant parfois 31 mg/L à la station A<sub>2</sub> en décembre (Figure 22 g).

Les teneurs en MES dans le Mingoa sont relativement élevées dans les tronçons supérieur et inférieur fluctuant entre 31 et 80 mg/L. Elles baissent dans la partie moyenne du cours d'eau



**Figure 22:** Variations spatio-temporelles des teneurs en MES dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Míngoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

( $20 \pm 7$  mg/L) (Figure 22 h). L'ensemble des valeurs de ce paramètre ne montre pas de différences significatives entre les stations.

Dans l'Olézoa, les teneurs en MES oscillent entre 12 et 105 mg/L. Elles augmentent relativement de l'amont vers l'aval du cours d'eau. La valeur la plus élevée pour ce paramètre a été notée à la station Ol<sub>3</sub> en octobre pendant la grande saison de pluies (Figure 22 i). Les différences observées restent non significatives entre les différentes stations, les valeurs fluctuant autour d'une moyenne de  $41 \pm 14$  mg/L.

Les teneurs en MES sont en général faibles dans le cours supérieur de l'Aké où 75 % de valeurs sont inférieures à 30 mg/L. Elles augmentent dans le secteur inférieur et atteignent 83 mg/L à la station Ak<sub>2</sub> en octobre (Figure 22 j).

Les cours supérieur et moyen du Ntsomo sont caractérisés par des fortes teneurs en MES atteignant 447 mg/L à la station Ns<sub>2</sub> en août, alors que la partie inférieure de cet hydrosystème (station Ns<sub>3</sub>) affiche des valeurs très faibles (12 mg/L) (Figure 22 k).

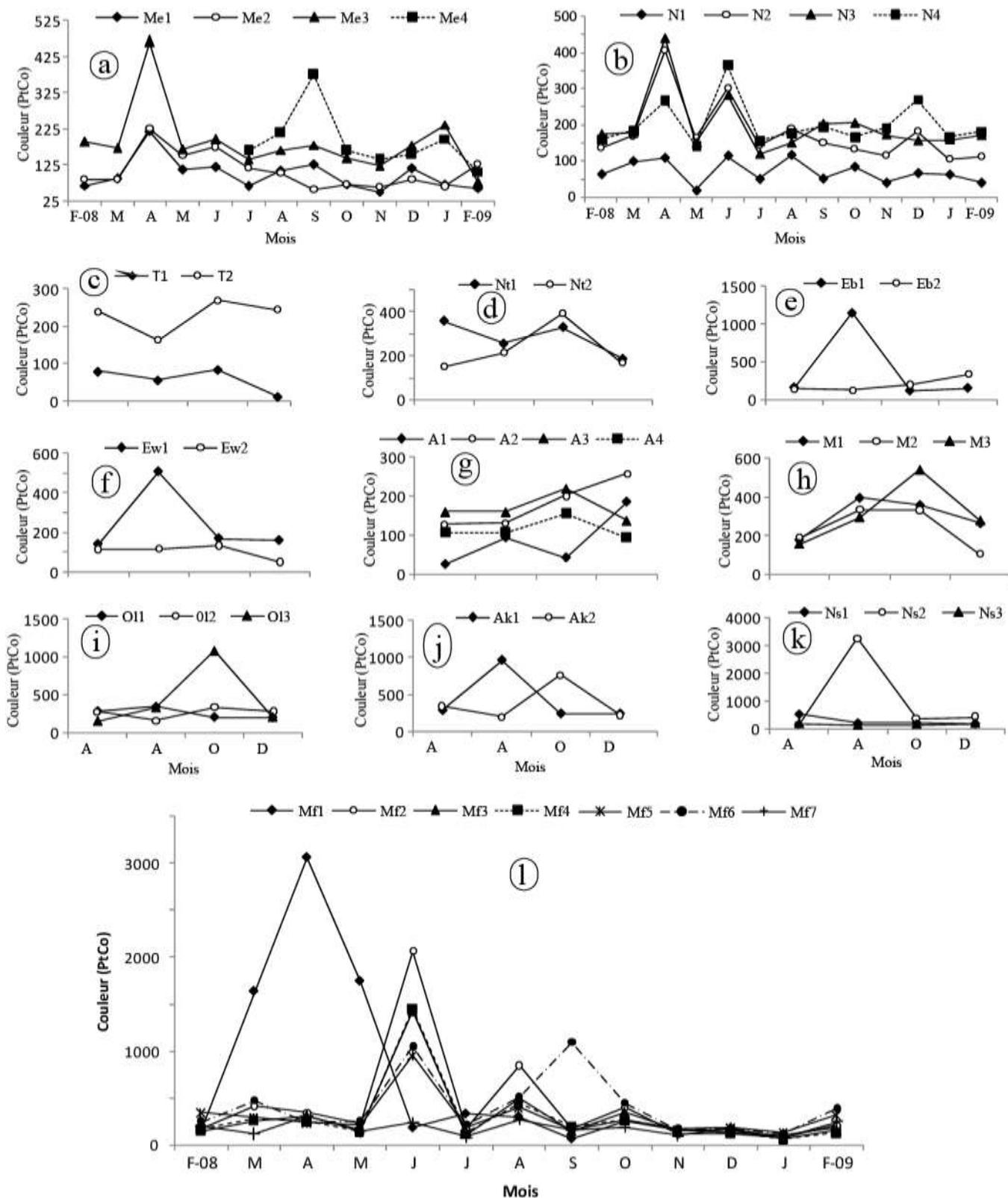
Dans le Mfoundi, les teneurs en MES oscillent entre 3 et 564 mg/L. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les secteurs supérieur et moyen de l'hydrosystème (564 et 235 mg/L aux stations Mf<sub>1</sub> et Mf<sub>2</sub>). Ces fortes teneurs ont été en général notées en juin pendant la petite saison de pluies (Figure 22 l). Des différences significatives ont été notées entre les valeurs en MES d'une station à l'autre ( $H=17,51$ ;  $p=0,008$ ), en particulier entre les stations Mf<sub>1</sub> et Mf<sub>2</sub>, Mf<sub>1</sub> et Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>1</sub> et Mf<sub>7</sub>, Mf<sub>3</sub> et Mf<sub>6</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>7</sub>, Mf<sub>6</sub> et Mf<sub>7</sub> (Tableau VII).

En somme, les teneurs en MES augmentent de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau étudiés. Les eaux de la majorité des stations sont plus chargées en MES pendant les mois pluvieux. Les cours d'eau urbains, notamment Éwoué, Olézoa, Aké, Ntsomo et Mfoundi se distinguent par des valeurs très élevées en MES, celles-ci pouvant atteindre 564 mg/L.

### **III-1-1-8 Couleur**

Dans la Mefou, la couleur de l'eau fluctue de 50 Pt.Co (station Me<sub>2</sub>) à 464 Pt.Co (station Me<sub>3</sub>) avec une amplitude de 414 Pt.Co (Figure 23 a). Elle augmente de l'amont vers l'aval du cours d'eau. Les valeurs les plus élevées pour ce paramètre ont été obtenues aux stations Me<sub>3</sub> (464 Pt.Co) et Me<sub>4</sub> (376 Pt.Co) pendant les mois d'avril et de septembre. L'ensemble des données enregistrées montrent des différences significatives entre les stations ( $H=21,91$ ;  $p=0,0001$ ), notamment entre Me<sub>1</sub> et Me<sub>3</sub>, Me<sub>1</sub> et Me<sub>4</sub>, Me<sub>2</sub> et Me<sub>3</sub>, Me<sub>2</sub> et Me<sub>4</sub> (Tableau VII).

La couleur de l'eau dans le Nga s'échelonne de 20 Pt.Co (station N<sub>1</sub>) à 441 Pt.Co (station N<sub>3</sub>). Les cours moyen et inférieur affichent des valeurs plus élevées, obtenues en avril et juin (petite saison de pluies), tandis que le secteur supérieur prend des valeurs relativement plus faibles



**Figure 23:** Variations spatio-temporelles de la couleur de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou : Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

**Tableau VIII:** Comparaison des valeurs de la couleur, de la turbidité, de l'azote ammoniacal, des nitrites et de l'oxydabilité entre les stations du cours d'eau Mefou à l'aide du test U de Mann-Whitney. Les valeurs de Mann-Whitney (U) et la probabilité (p en gras) correspondante sont données

Stations	couleur			Turbidité			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>			Oxydabilité		
	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>
Me <sub>2</sub>	74 <b>0,590</b>			82,5 <b>0,918</b>			76 <b>0,661</b>			62 <b>0,245</b>			51,5 <b>0,090</b>		
Me <sub>3</sub>	18 <b>0,001*</b>	29 <b>0,004*</b>		28 <b>0,004*</b>	29 <b>0,004*</b>		54,5 <b>0,123</b>	58 <b>0,174</b>		9 <b>0,000*</b>	21 <b>0,001*</b>		67,5 <b>0,383</b>	76 <b>0,663</b>	
Me <sub>4</sub>	17 <b>0,001*</b>	21 <b>0,001*</b>	69,5 <b>0,441</b>	10,5 <b>0,000*</b>	12 <b>0,000*</b>	43 <b>0,033*</b>	29 <b>0,004*</b>	33 <b>0,008*</b>	48,5 <b>0,065</b>	10 <b>0,000*</b>	16,5 <b>0,000*</b>	41,5 <b>0,027*</b>	58 <b>0,174</b>	28 <b>0,004*</b>	42 <b>0,029*</b>

\*p<0,05 ; N=52 observations, ddl=3.

(Figure 23b). Ces valeurs diffèrent significativement d'une station à l'autre, le long du cours d'eau ( $H=29,6$ ;  $p=0,0001$ ), en particulier entre les stations  $N_1$  et  $N_2$ ,  $N_1$  et  $N_3$ ,  $N_1$  et  $N_4$ .

Dans le Tongolo, la couleur de l'eau augmente considérablement de l'amont vers l'aval du cours d'eau, oscillant entre 12 (station  $T_1$  en décembre) et 270 Pt.Co (station  $T_2$  en octobre) (Figure 23 c). Des différences significatives ont été observées entre les valeurs de la couleur de ces deux stations pendant l'étude ( $U=0,000$ ;  $p=0,021$ ).

La couleur de l'eau est presque stable le long du Ntem. Cependant, la plus forte valeur (392 Pt.Co) a été enregistrée dans le cours inférieur (station  $N_{t2}$ ) en octobre pendant la grande saison de pluies (Figure 23 d).

L'évolution de la couleur de l'eau est très irrégulière le long de l'Ébogo. Les valeurs sont comprises entre 119 et 1152 Pt.Co, obtenues à la station  $Eb_1$  pour la plus élevée au mois d'avril (Figure 23 e). D'une station à l'autre, aucune différence significative n'a été notée entre les valeurs de ce paramètre.

La couleur de l'eau est importante dans le cours supérieur de l'Éwoué et atteint 509 Pt Co à la station  $Ew_1$  en août (Figure 23 f). Les valeurs de ce paramètre sont plus faibles dans le secteur inférieur de l'hydrosystème (51 à 134 Pt.Co), même si les différences significatives ne sont pas notées entre les stations.

Les cours moyen et inférieur de l'Abiergué se caractérisent par des fortes valeurs de la couleur (108 à 258 Pt.Co), alors que le tronçon supérieur prend des valeurs plus faibles allant jusqu'à 27 Pt.Co (Figure 23 g). Les eaux de l'Abiergué semblent plus colorées en octobre et décembre. Ces valeurs enregistrées ne présentent pas de différences significatives entre les stations.

Dans le Mingoa, les valeurs de la couleur sont dans l'ensemble élevées (75 % étant supérieures à 295 Pt.Co), surtout en août et octobre dans toutes les stations et varient très peu le long du cours d'eau (Figure 23 h). Aucune différence significative n'est notée entre les valeurs de la couleur de l'ensemble des stations, les moyennes oscillant autour de  $287,42 \pm 40,2$  Pt.Co.

Les valeurs de la couleur dans l'Olézoa et l'Aké fluctuent respectivement entre 154 et 1084 Pt Co, et entre 198 et 964 Pt.Co. Elles évoluent de façon irrégulière le long de ces cours d'eau et sont en général plus élevées à la station  $Ak_1$  en août et aux stations  $Ol_3$  et  $Ak_2$  en octobre (Figure 23 i, j).

Les tronçons supérieur et moyen du Ntsomo se distinguent par des eaux fortement colorées avec une valeur maximale de 3272 Pt.Co enregistrée à la station  $Ns_2$  en août (Figure 23 k). Le cours inférieur, par contre, se caractérise par des valeurs de la couleur relativement faibles (variant de 129 à 201 Pt.Co), bien que l'ensemble des données ne diffèrent pas significativement le long

de l'hydrosystème.

Dans le Mfoundi, les valeurs de la couleur sont comprises entre 61 et 3064 Pt.Co. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans le cours supérieur, notamment à la station Mf<sub>1</sub> pendant l'étude. On observe aussi que la couleur des eaux du Mfoundi est très importante en juin pour la plupart des stations (Figure 23 l). D'une station à l'autre, aucune différence significative n'a été notée entre les valeurs de ce paramètre.

De manière générale, la couleur de l'eau augmente de l'amont vers l'aval de la majorité des cours d'eau étudiés et plusieurs stations affichent leurs fortes valeurs pendant la saison de pluies. Aussi, les valeurs de la couleur enregistrées dans la plupart des cours d'eau urbains sont significativement plus élevées ( $U=72,06$ ;  $p=0,0001$ ) que celles relevées en zone rurale et peuvent parfois dépasser 3000 Pt.Co dans le Mfoundi et le Ntsomo.

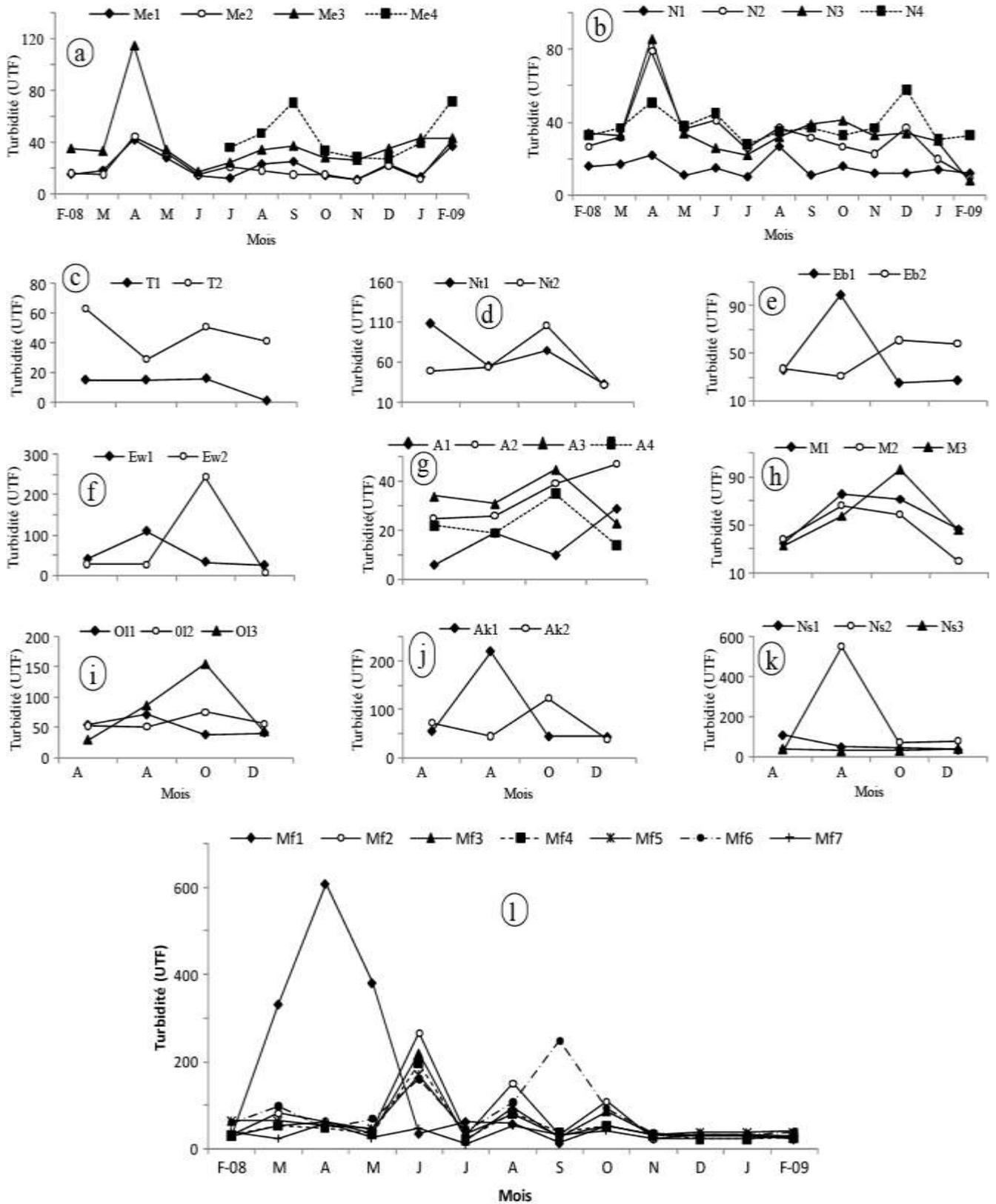
### III-1-1- 9 Turbidité

L'évolution de la turbidité dans l'ensemble des cours d'eau est presque identique à celle de la couleur. Les valeurs de la turbidité dans la Mefou et le Nga s'échelonnent respectivement de 11 à 115 UTF, et de 10 à 86 UTF. Elles augmentent progressivement de l'amont vers l'aval de ces rivières et sont plus élevées aux stations Me<sub>3</sub> (115 UTF) et Me<sub>4</sub> (71 UTF) d'une part, N<sub>2</sub> (79 UTF) et N<sub>3</sub> (86 UTF), d'autre part (Figures 24 a, b). Il est observé que la turbidité des eaux est relativement importante dans l'ensemble des stations pendant les mois d'avril, août, septembre et décembre. Les valeurs de ce paramètre diffèrent significativement le long de ces hydrosystèmes ( $H=24,73$ ;  $p=0,000$  /  $H=24,69$ ;  $p=0,000$ ), notamment entre les stations localisées dans le cours supérieur et celles situées dans les zones moyenne et inférieure (Tableau VIII).

Dans le Tongolo, le secteur supérieur (station T<sub>1</sub>) affiche des valeurs de la turbidité nettement faibles (1 à 15 UTF), tandis que le tronçon inférieur (station T<sub>2</sub>) se caractérise par des valeurs plus élevées atteignant 63 UTF en avril (Figure 24 c).

La turbidité des eaux ne marque pas de variations notables le long du Ntem, d'Ébogo et d'Éwoué (Figure 24 d, e, f). Toutefois, les valeurs les plus élevées dans la majorité des stations de ces cours d'eau sont régulièrement enregistrées en avril (109 UTF à la station Nt<sub>1</sub>), en août (99 UTF à la station Eb<sub>1</sub>) et en octobre (244 UTF à la station Ew<sub>2</sub>). Les valeurs moyennes dans l'ensemble oscillent autour de  $58,42 \pm 13,21$  UTF.

Les valeurs de la turbidité des eaux dans l'Abiergué sont relativement faibles, variant de 6 UTF (station A<sub>1</sub>) à 47 UTF (station A<sub>2</sub>). Cependant, les cours moyen et inférieur s'illustrent par des valeurs plus élevées, obtenues en octobre (Figure 24 g). D'une station à l'autre, aucune différence significative n'a été relevée entre les valeurs de la turbidité pendant l'étude.



**Figure 24:** Variations spatio-temporelles de la turbidité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Míngoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

Dans le Mingoa, les valeurs de la turbidité sont comprises entre 20 UTF (station M<sub>2</sub>) et 96 UTF (station M<sub>3</sub>) et restent relativement stables le long du cours d'eau pendant l'étude (figure 24 h). Les eaux sont plus turbides en août et octobre.

La turbidité des eaux de l'Olézoa et de l'Aké varie respectivement de 30 à 156 UTF, et de 39 à 220 UTF, les plus fortes valeurs étant notées aux stations Ak<sub>1</sub> en août et Ol<sub>3</sub> en octobre (Figure 24 i, j). L'évolution de ce paramètre est irrégulière le long de ces hydrosystèmes et les valeurs enregistrées ne diffèrent pas significativement entre les stations. Cependant, les secteurs supérieur de l'Aké et inférieur de l'Olézoa sont ceux où les valeurs moyennes maximales (91,1 et 79,3 UTF) ont été observées.

Les fortes valeurs de la turbidité des eaux obtenues dans les cours supérieur et moyen du Ntsomo (atteignant 554 UTF à la station Ns<sub>2</sub> en août), s'opposent aux faibles valeurs (variant de 29 à 40 UTF) relevées dans son tronçon inférieur (Figure 24 k). Les valeurs obtenues pour ce paramètre ne sont pas significativement différentes entre les stations.

Dans le Mfoundi, les valeurs de la turbidité fluctuent de 11 à 608 UTF, les plus élevées étant enregistrées à la station Mf<sub>1</sub> pendant l'étude (Figure 24 l). On observe que les eaux de la plupart des stations sont plus turbides durant les mois de juin et août, bien que les différences relevées restent non significatives entre les stations.

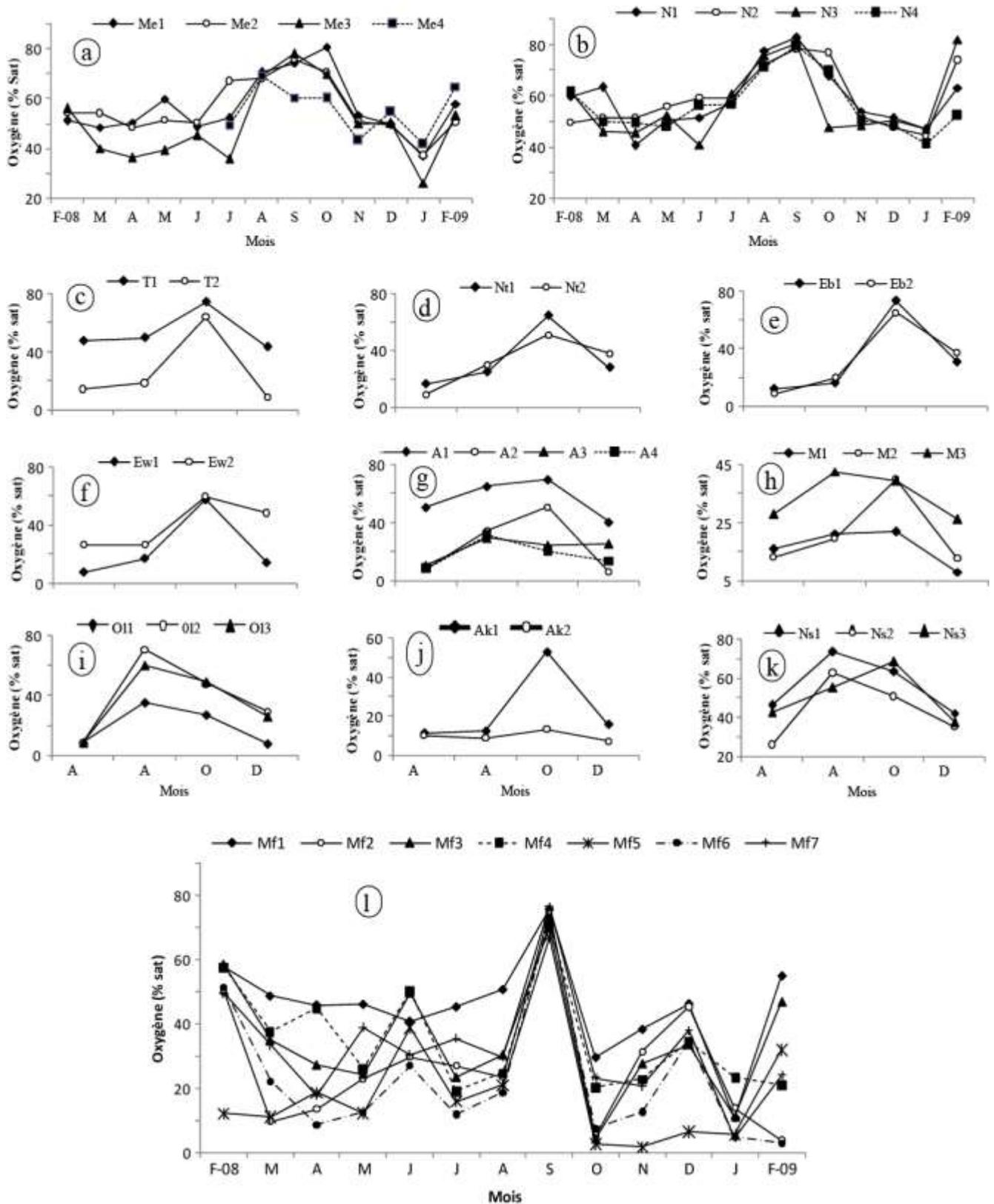
Le long de la plupart des cours d'eau prospectés, il est observé une augmentation régulière des valeurs de la turbidité des eaux qui sont dans l'ensemble plus élevées pendant les mois pluvieux dans la majorité des stations. Aussi, les eaux des hydrosystèmes urbains (notamment Ntem, Éwoué, Olézoa, Aké, Ntsomo et Mfoundi) paraissent significativement plus turbides que celles des cours d'eau localisés en milieu rural ( $U=7249$ ;  $p=0,0001$ ).

### **III-1-1-10 Oxygène dissous**

Les taux de saturation en oxygène dissous dans la Mefou et le Nga fluctuent respectivement de 21,1 à 80,9 %, et de 40,8 à 82,9 %. Les teneurs enregistrées varient très peu le long de ces rivières. Cependant, les eaux de l'ensemble des stations sont plus oxygénées (60,3 à 82,9 %) durant les mois de septembre et octobre (Figure 25 a, b). Aucune différence significative n'est observée entre les valeurs des stations, celles-ci oscillent autour de  $60,2 \pm 6$  %.

Dans le Tongolo, les eaux du cours supérieur (station T<sub>1</sub>) sont plus oxygénées (avec des taux de saturation atteignant 74,6 %) que celles du cours inférieur (station T<sub>2</sub>) où les valeurs de l'ordre de 9,1 % ont été relevées (Figure 25c).

Les teneurs en oxygène dissous dans le Ntem, l'Ébogo et l'Éwoué sont dans l'ensemble



**Figure 25:** Variations spatio-temporelles du taux de saturation en oxygène dissous dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

faibles (3/4 des valeurs étant inférieures à 32 % de saturation) et relativement stables le long de ces cours d'eau pendant l'étude. Toutefois, des valeurs plus élevées ont été obtenues dans toutes les stations en octobre (Figure 25 d, e, f), soulignant le brassage important des eaux par les fortes précipitations.

Les taux de saturation en oxygène dissous sont plus élevés dans le secteur supérieur de l'Abiergué (50,9 à 70,1 %), tandis que les plus faibles sont enregistrés dans les zones moyenne et inférieure de cet hydrosystème (atteignant 6,1 % à la station A<sub>2</sub>) (Figure 25 g). Les valeurs de ce paramètre ne diffèrent pas significativement entre les stations.

Dans le Mingoa, les taux de saturation en oxygène dissous sont compris entre 8,1% (station M<sub>1</sub>) et 42,8 % (station M<sub>3</sub>). Les tronçons supérieur et moyen s'illustrent par des eaux faiblement oxygénées, bien que la teneur ponctuelle de 40 % a été notée à la station M<sub>2</sub> en octobre (Figure 25h).

Les teneurs en oxygène dissous augmentent graduellement de l'amont vers l'aval de l'Olézoa. La valeur la plus élevée (70,9 %) a été enregistrée à la station Ol<sub>2</sub> en août, et la plus faible (7,9 %) à la station Ol<sub>1</sub> en décembre (Figure 25 i). D'une station à l'autre, aucune différence significative n'a été observée entre les teneurs en oxygène dissous, les valeurs moyennes (30,8 ± 9,1%) indiquent une faible oxygénation des eaux.

Les taux de saturation en oxygène dissous dans l'Aké sont dans l'ensemble faibles (< 16 %) et varient très peu d'une station à l'autre. Le taux le plus élevé (53,3 %) a été obtenu à la station Ak<sub>1</sub> en octobre (Figure 25 j).

Les eaux du Ntsomo sont en général bien oxygénées, surtout en août et octobre pour toutes les stations avec les taux de saturation fluctuant entre 55,3 et 73,8 % (Figure 25 k). Il est noté une légère baisse des valeurs de ce paramètre de l'amont vers l'aval de l'hydrosystème, même si ces valeurs ne diffèrent significativement entre les stations.

Les teneurs en oxygène dissous dans le Mfoundi oscillent entre 1,8 (station Mf<sub>5</sub>) et 76,5 % (station Mf<sub>7</sub>). Elles diminuent en général de l'amont vers l'aval du cours d'eau. L'ensemble des stations affichent des taux de saturation en oxygène élevés en septembre, les plus faibles étant obtenus en octobre et novembre (Figure 25 l). Des différences significatives ont été notées entre les teneurs en oxygène dissous des différentes stations le long du Mfoundi (H=26,7; p=0,000), en particulier entre la station Mf<sub>1</sub> et les autres localisées dans les secteurs moyen et inférieur (Tableau VII).

De manière générale, les taux de saturation en oxygène dissous fluctuent très peu le long de la plupart des cours d'eau étudiés et ne présentent pas de zonation longitudinale nette, excepté dans le Tongolo et l'Abiergué où les eaux du cours supérieur sont plus oxygénées que celles des secteurs

moyen et inférieur. Ces teneurs sont régulièrement plus importantes dans la majorité des stations pendant les mois de septembre et octobre suite au brassage des eaux provoqué par les fortes pluies. Aussi, les eaux des hydrosystèmes urbains sont faiblement oxygénées surtout dans le secteur inférieur, alors que les teneurs relativement moyennes ( $60,2 \pm 6 \%$ ) sont régulièrement enregistrées dans les cours d'eau situés en zone rurale.

### **III-1-1-11 Formes d'azote**

#### **III-1-1-11-1 Azote ammoniacal**

L'azote ammoniacal est présent en faibles quantités dans les eaux de la Mefou et du Nga (98 % des valeurs étant inférieures à 0,9 mg/L) et se retrouve parfois sous forme de traces dans la majorité des stations pendant les mois de mai, juin, août, octobre et novembre. Les teneurs de ce paramètre varient très peu le long de ces rivières et sont relativement élevées dans le cours inférieur atteignant 1,2 mg/L à la station Me<sub>4</sub> en juillet et 2,2 mg/L à la station N<sub>4</sub> en septembre (figure 26 a, b). Des différences significatives ont uniquement été observées entre les valeurs de l'azote ammoniacal des stations de la Mefou ( $H=11,58$ ;  $p=0,009$ ), notamment entre la station Me<sub>4</sub> et celles localisées en amont du cours d'eau (Tableau VIII).

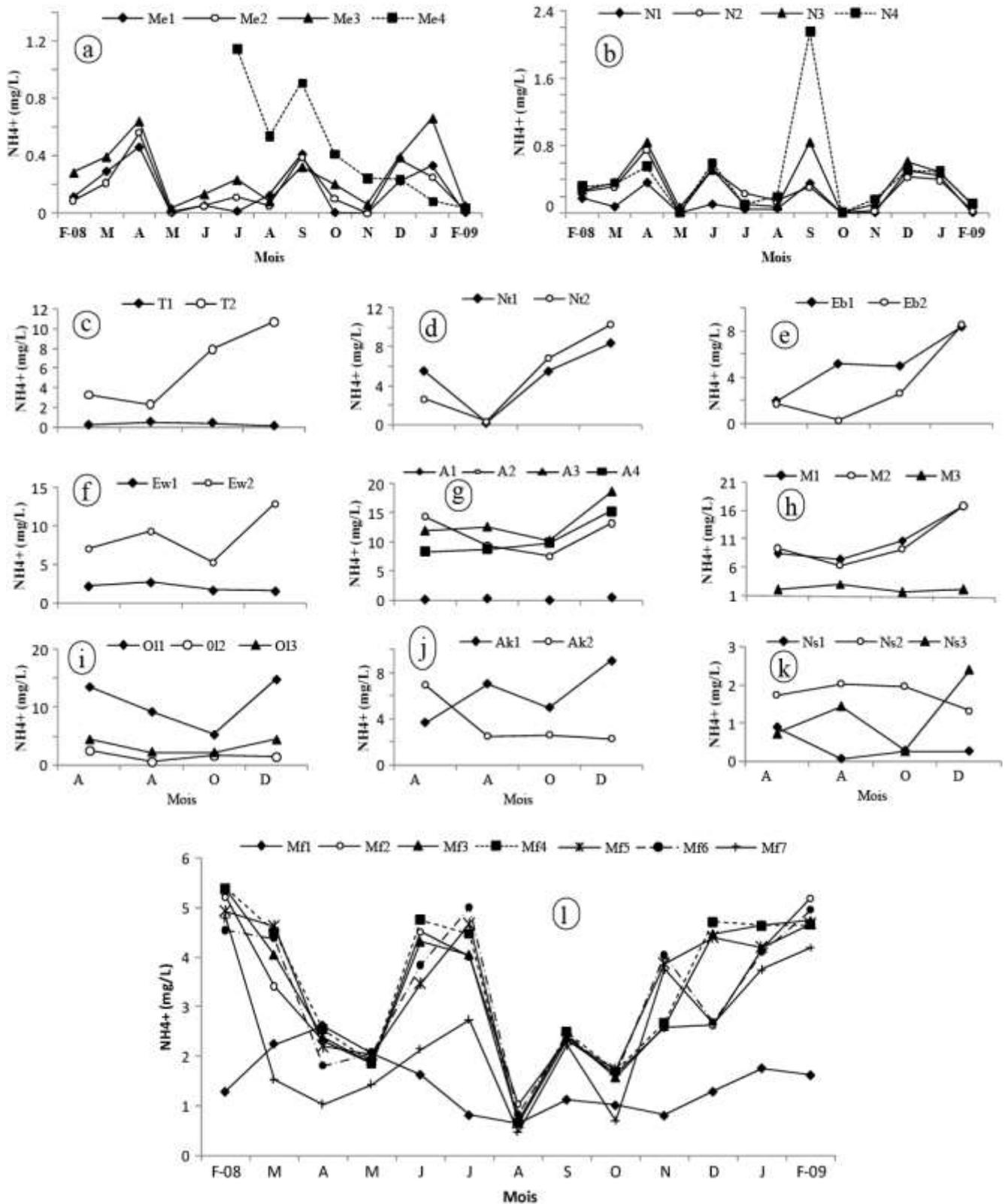
Les concentrations en ions ammonium augmentent graduellement de l'amont vers l'aval de Tongolo. Elles oscillent entre 0,14 mg/L (station T<sub>1</sub> en décembre) et 10,72 mg/L (station T<sub>2</sub> en décembre) (Figure 26 c). L'ensemble des teneurs enregistrées pendant l'étude diffèrent significativement entre les deux stations ( $U=0,000$ ;  $p=0,021$ ).

Dans le Ntem, les teneurs en azote ammoniacal subissent de faibles variations le long du cours d'eau et ne montrent pas de zonation nette. Les valeurs élevées (fluctuant de 5,5 à 10,3 mg/L) ont été obtenues en octobre et en décembre dans toutes les stations (Figure 26 d).

Les concentrations en ions ammonium sont comprises entre 0,32 et 8,52 mg/L et baissent légèrement du cours supérieur vers la zone inférieure de l'Ébogo, l'amplitude de variation étant plus élevée en avril (4,85 mg/L). L'ensemble des stations affichent des plus fortes teneurs en décembre (Figure 26 e). Ces teneurs ne diffèrent pas significativement entre les deux stations, les valeurs moyennes gravitent autour de  $4,22 \pm 1,1$  mg/L.

Dans l'Éwoué, les teneurs en azote ammoniacal sont assez faibles dans le secteur supérieur (station Ew<sub>1</sub>) et n'excèdent pas 2,2 mg/L. Ces teneurs deviennent plus importantes à l'aval où elles atteignent 12,88 mg/L à la station Ew<sub>2</sub> en décembre (Figure 26 f).

Les cours moyen et inférieur de l'Abiergué sont caractérisés par des teneurs plus élevées en ions ammonium (8,32 à 18,64 mg/L), alors que le tronçon supérieur (station A<sub>1</sub>) affiche des valeurs nettement faibles dépassant à peine 0,5 mg/L. Les eaux de l'Abiergué sont relativement plus riches



**Figure 26:** Variations spatio-temporelles des concentrations en azote ammoniacal dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

en azote ammoniacal au mois de décembre (Figure 26 g). Des différences significatives ont été observées entre les valeurs de ce paramètre des différentes stations ( $H=9,33$ ;  $p=0,025$ ), en particulier entre les stations  $A_1$  et  $A_2$ ,  $A_1$  et  $A_3$ ,  $A_1$  et  $A_4$ .

Dans le Míngoa, l'azote ammoniacal est abondant dans le cours supérieur et moyen où les teneurs de 17 mg/L ont été obtenues à la station  $M_1$  en décembre. Ces teneurs baissent considérablement en aval du lac municipal de Yaoundé (1,66 mg/L à la station  $M_3$  en octobre) avec un taux d'abattement d'environ 76 % (Figure 26 h). Ces valeurs diffèrent significativement d'une station à l'autre, le long de l'hydrosystème ( $H=7,42$ ;  $p=0,024$ ), notamment entre la station  $M_3$  et les autres localisées en amont.

Les concentrations en ions ammonium dans l'Olézoa fluctuent globalement entre 0,55 et 14,88 mg/L, les plus fortes valeurs étant régulièrement notées en amont du cours d'eau (station  $Ol_1$ ). Ces teneurs deviennent plus faibles dans la partie moyenne et inférieure oscillant autour de  $2,46 \pm 2$  mg/L (Figure 26 i). Des différences significatives ont été notées entre les valeurs de ce paramètre le long du cours d'eau ( $H=8,76$ ;  $p=0,012$ ), surtout entre les stations  $M_1$  et  $M_3$ ,  $M_2$  et  $M_3$ .

Dans l'Aké, l'azote ammoniacal est relativement important dans le cours supérieur atteignant 9,08 mg/L à la station  $Ak_1$  en décembre, bien qu'aucune différence significative ne soit observée entre les teneurs de l'azote ammoniacal de l'ensemble des stations de l'hydrosystème. Les teneurs en aval oscillent autour de  $2,6 \pm 2,1$  mg/L (Figure 26 j).

Les concentrations en ions ammonium sont en général faibles dans le Ntsomo (0,1 à 2 mg/L). Elles se présentent à l'état de traces dans la partie supérieure (station  $Ns_1$ ), augmentent considérablement dans le cours moyen (1,34 à 2 mg/L) et baissent de nouveau en aval (station  $Ns_3$ ) (Figure 26k). Seules, les teneurs enregistrées aux stations  $Ns_1$  et  $Ns_2$  sont significativement différentes pendant l'étude ( $H=6,26$ ;  $p=0,04$ ).

Les teneurs en azote ammoniacal des eaux du Mfoundi sont comprises entre 0,48 (station  $Mf_7$ ) et 5,4 mg/L (station  $Mf_4$ ). Elles augmentent progressivement de l'amont vers l'aval. Les fortes teneurs ont été régulièrement relevées pendant les mois de février, juin, juillet, novembre et décembre, surtout dans la partie moyenne et inférieure (Figure 27 l). Des différences observées entre les teneurs de l'azote ammoniacal des stations demeurent significatives le long du cours d'eau, en particulier entre la station  $Mf_1$  et celles localisées en aval (Tableau IX).

En somme, les teneurs en azote ammoniacal augmentent de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau étudiés, excepté Ébogo, Míngoa, Olézoa et Aké qui présentent un profil de variation opposé. Ces teneurs sont plus élevées dans la majorité des stations des cours d'eau urbains atteignant parfois 18,66 mg/L à la station  $A_3$  de l'Abiergué, tandis qu'elles se retrouvent le plus

**Tableau IX:** Comparaison des nitrites, de l'oxygène dissous de l'oxydabilité entre les stations du cours d'eau Mfoundi à l'aide du test U de Mann-Whitney. Les valeurs de Mann-Whitney (U) et la probabilité (p en gras) correspondante sont données

Stations	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>						NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>						Oxydabilité					
	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>
Mf <sub>2</sub>	37,5 <b>0,000*</b>						73 <b>0,555</b>						74 <b>0,000*</b>					
Mf <sub>3</sub>	53,5 <b>0,000*</b>	234 <b>0,851</b>					77,5 <b>0,720</b>	58 <b>0,174</b>					61,5 <b>0,000*</b>	207 <b>0,411</b>				
Mf <sub>4</sub>	50,5 <b>0,000*</b>	227 <b>0,725</b>	234 <b>0,851</b>				45 <b>0,043*</b>	33 <b>0,008*</b>	53,5 <b>0,112</b>				117 <b>0,003*</b>	237 <b>0,907</b>	192 <b>0,241</b>			
Mf <sub>5</sub>	45,5 <b>0,000*</b>	240 <b>0,963</b>	235,5 <b>0,879</b>	228 <b>0,742</b>			63,5 <b>0,281</b>	48 <b>0,061</b>	69,5 <b>0,442</b>	71 <b>0,489</b>			78 <b>0,000*</b>	177 <b>0,127</b>	140,5 <b>0,017*</b>	168 <b>0,082</b>		
Mf <sub>6</sub>	47 <b>0,000*</b>	236 <b>0,888</b>	241 <b>0,981</b>	234,5 <b>0,860</b>	238 <b>0,925</b>		76,5 <b>0,681</b>	77,5 <b>0,719</b>	77 <b>0,700</b>	64,5 <b>0,305</b>	68 <b>0,397</b>		78 <b>0,000*</b>	177 <b>0,127</b>	142 <b>0,019*</b>	172,5 <b>0,103</b>	242 <b>1,000</b>	
Mf <sub>7</sub>	116 <b>0,003*</b>	169 <b>0,087</b>	175,5 <b>0,119</b>	169 <b>0,087</b>	175,5 <b>0,119</b>	168 <b>0,082</b>	24 <b>0,002*</b>	41 <b>0,026*</b>	18 <b>0,001*</b>	7 <b>0,000*</b>	24,5 <b>0,002*</b>	59,5 <b>0,198</b>	82,5 <b>0,000*</b>	230,5 <b>0,787</b>	182 <b>0,163</b>	238 <b>0,925</b>	181 <b>0,152</b>	164 <b>0,067</b>

\*P< 0,05 ; N= 91 observations; ddl = 6

souvent sous forme de traces dans les stations des hydrosystèmes situés en zone rurale. Les eaux de plusieurs stations sont très riches en ions ammonium pendant la saison de pluies, même si les valeurs relativement élevées sont quelque fois enregistrées en décembre et février.

### III-1-1-11-2 Nitrites

Dans la Mefou, les concentrations en nitrites oscillent entre 0,0001 (stations Me<sub>1</sub> et Me<sub>2</sub>) et 0,089 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (station Me<sub>4</sub>) et augmentent de l'amont vers l'aval du cours d'eau. Les plus fortes valeurs de ce paramètre (0,071 et 0,089 mg/L) ont été enregistrées dans le secteur inférieur au mois de février (Figure 27 a). D'une station à l'autre, des différences significatives ont été notées entre les valeurs de nitrite (H=28,65; 0,0001), en particulier entre la station Me<sub>4</sub> et celles situées en amont de l'hydrosystème (Tableau VIII).

Les nitrites sont globalement présents en faibles quantités dans le Nga (86,5 % de valeurs étant inférieures à 0,01 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et évoluent de façon irrégulière le long du cours d'eau. Bien que non significatives, les teneurs relativement élevées ont été notées dans l'ensemble des stations en avril, juin, octobre et janvier (Figure 27 b).

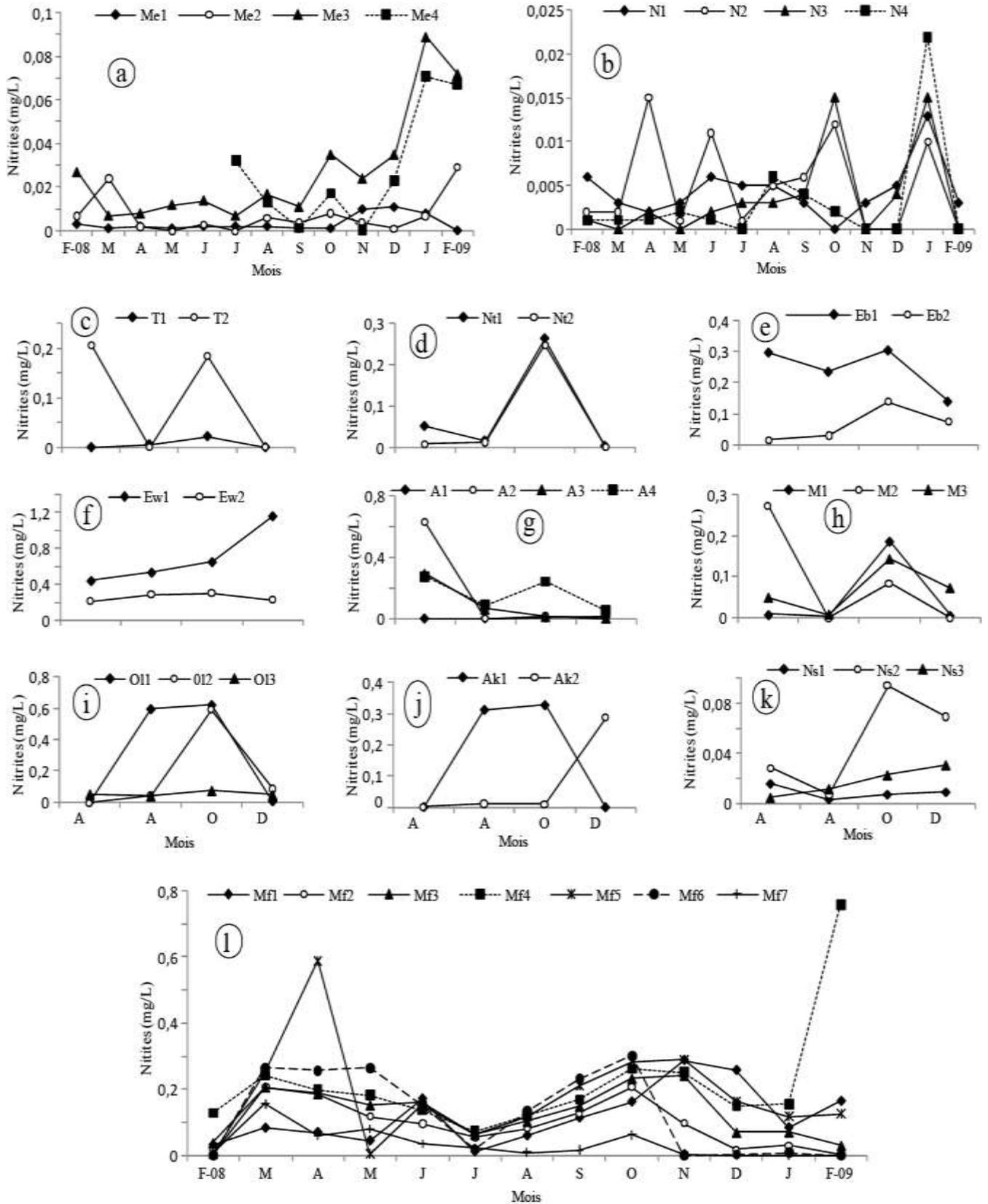
Dans le Tongolo, les concentrations en nitrites varient de 0,0001 à 0,205 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre. Toutefois, le cours inférieur (station T<sub>2</sub>) affiche des valeurs nettement élevées (0,184 et 0,205 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en avril et octobre (Figure 27 c).

Les nitrites restent relativement stables le long du Ntem et l'ensemble des valeurs oscillent autour d'une moyenne de 0,072 ± 0,012 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Les eaux semblent plus riches en nitrites au mois d'octobre avec des valeurs de 0,264 mg/L relevées dans toutes les stations (Figure 27 d).

Les teneurs en nitrites baissent significativement de l'amont vers l'aval d'Ébogo et d'Éwoué. Elles ont varié respectivement de 0,01 à 0,306 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, et de 0,214 à 1,168 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; les stations Eb<sub>1</sub> et Ew<sub>1</sub> étant celles dans lesquelles les plus fortes valeurs ont été notées pendant les mois d'octobre et de décembre (Figure 27 e, f).

Dans l'Abiergué, les teneurs en nitrites sont plus élevées dans les tronçons moyen et inférieur et atteignent 0,632 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> à la station A<sub>2</sub> en avril, alors que la partie supérieure (station A<sub>1</sub>) se singularise par des teneurs plus faibles excédant à peine 0,005 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Figure 27 g).

Les teneurs en nitrites dans les eaux du Mingoa (variant de 0,007 à 0,274 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ne montrent pas de zonation longitudinale nette; toutefois, l'ensemble des stations affichent des fortes teneurs au mois d'octobre (Figure 27 h). Aucune différence significative n'a été observée entre les valeurs de ce paramètre le long du cours d'eau, les teneurs oscillent autour d'une moyenne de 0,069 ± 0,021 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.



**Figure 27:** Variations spatio-temporelles des concentrations en nitrites dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

Dans l'Olézoa, les concentrations en nitrites sont élevées dans les cours supérieur et moyen, surtout en octobre (0,59 à 0,622 mg/L de  $\text{NO}_2^-$ ) et baissent progressivement vers l'aval pour atteindre 0,04 mg/L de  $\text{NO}_2^-$  à la station Ol<sub>3</sub> en août (Figure 27 i). Ces valeurs ne sont pas significativement différentes d'une station à l'autre et fluctuent autour de  $0,18 \pm 0,12$  mg/L de  $\text{NO}_2^-$ .

Les teneurs en nitrites dans l'Aké oscillent entre 0,001 et 0,328 mg/L de  $\text{NO}_2^-$ , la valeur maximale a été enregistrée à la station Ak<sub>1</sub> en octobre (Figure 27 j) et l'ensemble des teneurs ne diffèrent pas significativement entre les deux stations.

Dans le Ntsomo, les nitrites sont peu abondants (80 % des valeurs étant inférieures à 0,03 mg/L de  $\text{NO}_2^-$ ) et augmentent légèrement de l'amont vers l'aval du cours d'eau. La plus forte teneur a été obtenue dans le secteur moyen (station Ns<sub>2</sub>) en octobre (Figure 27 k).

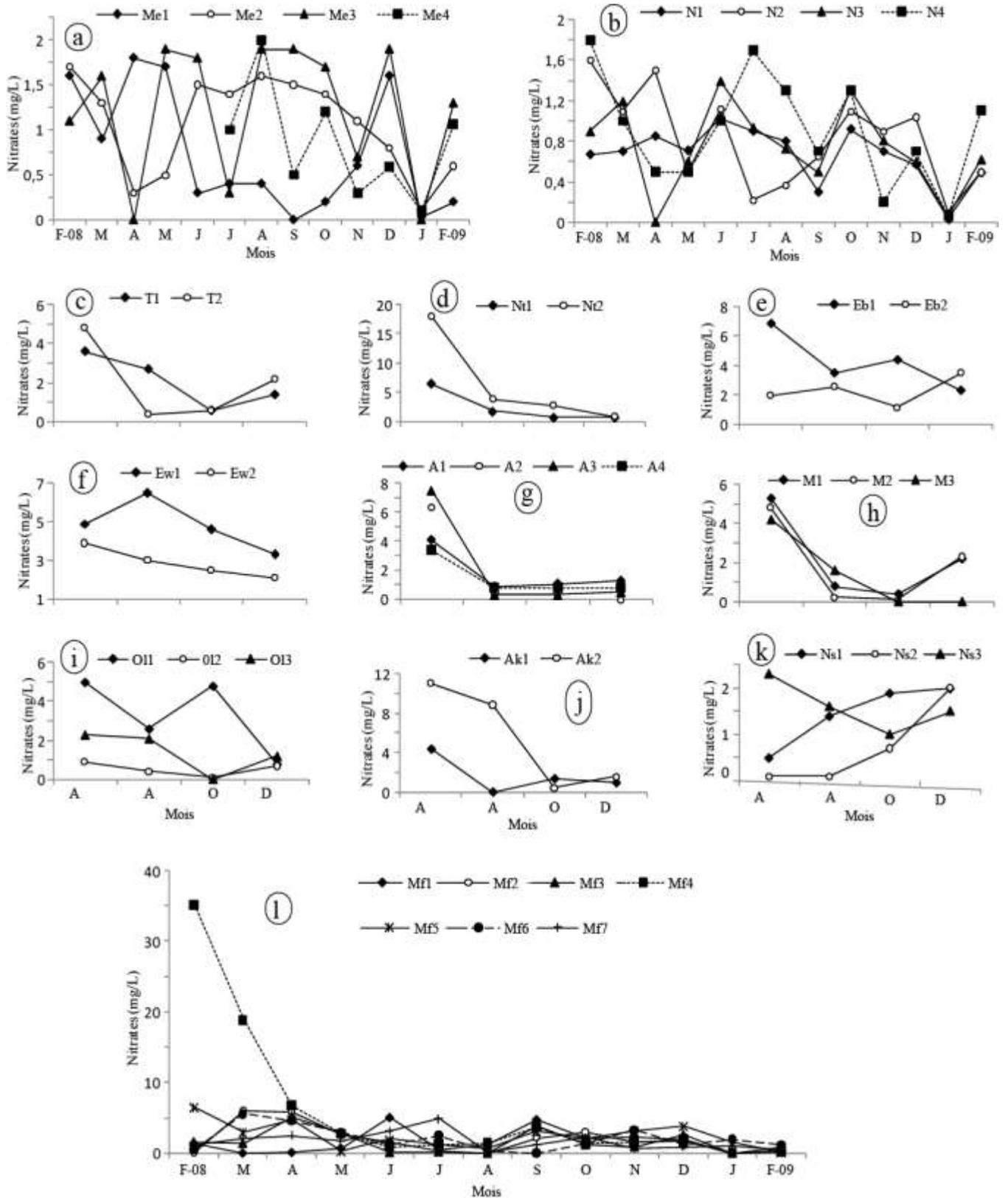
Les concentrations en nitrites dans les eaux du Mfoundi sont comprises entre 0 et 0,76 mg/L de  $\text{NO}_2^-$ , le profil de variation des différentes valeurs montre que le cours moyen de cette rivière se caractérise par des teneurs nettement élevées pendant l'étude surtout en saison de pluies, tandis que les tronçons supérieur et inférieur affichent des teneurs plus faibles (Figure 27 l). Ces teneurs diffèrent significativement le long du cours d'eau ( $H=21,6$ ;  $p=0,0001$ ), surtout entre la station Mf<sub>7</sub> et les autres localisées en amont (Tableau IX).

En définitive, l'évolution des teneurs en nitrites dans l'ensemble des cours d'eau étudiés permet de les séparer en 2 grands groupes: le premier est composé des cours d'eau où les concentrations en cet élément augmentent de l'amont vers l'aval (Mefou, Tongolo, Abiergué, Ntsomo, Mfoundi) et le second montre plutôt une tendance inverse (Ntem, Ébogo, Éwoué, Olézoa, Aké). Aussi, les nitrites sont plus abondants dans les eaux des cours d'eau urbains comparés aux faibles valeurs obtenues dans ceux localisés en milieu rural. Les fortes teneurs en nitrites dans la majorité des stations ont été observées pendant la petite et la grande saison de pluies, notamment au cours des mois d'avril, juin et octobre.

### **III-1-1-11-3 Nitrates**

Les concentrations en nitrates dans la Mefou et le Nga s'échelonnent respectivement de 0,01 à 2 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , et de 0,01 à 1,8 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ . Elles évoluent en dents de scie et ne montrent pas une zonation longitudinale notable. Cependant, les valeurs les plus élevées ont été obtenues dans le cours inférieur de ces rivières (station Me<sub>4</sub> en août et N<sub>4</sub> en février) et les plus faibles en janvier pour l'ensemble des stations (Figure 28 a, b). Aucune différence significative n'a été observée entre les teneurs en nitrates de l'ensemble des stations des ces cours d'eau.

Dans le Tongolo, les teneurs en nitrates sont comprises entre 0,4 et 4,8 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  et varient très peu d'une station à l'autre. L'ensemble des stations affichent leurs plus fortes valeurs



**Figure 28:** Variations spatio-temporelles des concentrations en nitrates dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

(3,6 et 4,8 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) au mois d'avril (Figure 28 c).

Les teneurs en nitrates augmentent de l'amont vers l'aval du Ntem. Elles oscillent entre 0,8 (station Nt<sub>1</sub> en décembre) et 18 mg/L (station Nt<sub>2</sub> en avril). Les eaux du Ntem sont également plus chargées en nitrates pendant la petite saison de pluies (avril) au cours de laquelle les concentrations maximales en ces ions ont été notées dans toutes les stations (Figure 28 d).

Dans l'Ébogo et l'Éwoué, les nitrates sont abondants dans leur cours supérieur atteignant respectivement 6,9 (Eb<sub>1</sub>) et 6,5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (Ew<sub>1</sub>). Les teneurs en ces ions baissent en aval de ces cours d'eau et dépassent à peine 2,5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (Figure 28 e, f). Ces teneurs diffèrent significativement entre les stations de l'Éwoué ( $U=1,00$ ;  $p=0,043$ ).

Les teneurs en nitrates sont relativement faibles dans l'Abiergué (75 % des valeurs étant inférieures à 1,3 mg/L) pendant l'étude, bien que les valeurs élevées (3,4 à 7,5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) de ce paramètre ont été obtenues au mois d'avril dans l'ensemble des stations (Figure 28 g). Ces teneurs fluctuent peu le long du cours d'eau et oscillent autour d'une moyenne de  $1,8 \pm 0,35$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$ .

Dans le Mingoa, les concentrations en nitrates sont comprises entre 0,01 et 5,3 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  et ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre. Les plus fortes teneurs ont été notées en avril dans l'ensemble des stations (Figure 28 h).

Les teneurs en nitrates diminuent de l'amont vers l'aval de l'Olézoa surtout en avril et octobre. Elles varient de 0,02 (station Ol<sub>3</sub>) à 5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (station Ol<sub>1</sub>) (figure 28 i).

Les nitrates se trouvent en grandes quantités dans les eaux du cours inférieur de l'Aké où la valeur maximale de 11,1 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  a été enregistrée au mois d'avril. Les concentrations en ces ions restent plus faibles en amont du cours d'eau (station Ak<sub>1</sub>) et s'organisent autour de  $1,61 \pm 1,2$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (Figure 28 j).

Dans le Ntsomo, les plus fortes concentrations en nitrates ont été notées dans les tronçons supérieur et inférieur, tandis que les plus faibles ( $< 0,7$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) ont régulièrement été observées dans la partie moyenne (Figure 28k). L'ensemble des valeurs se situent entre 0,1 et 2,3 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  et ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre.

Dans le Mfoundi, les teneurs en nitrates sont comprises entre 0 et 35,2 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ . Elles subissent globalement de faibles variations le long du cours d'eau et évoluent en dents de scie au sein d'une même station. La plupart des stations ont présenté des teneurs relativement élevées ( $5,2 \pm 1$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) pendant les mois pluvieux (mars, avril, juin et septembre) (Figure 28 l). La valeur maximale (35,2 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) notée dans le cours moyen (station Mf<sub>4</sub>) au mois de février peut être considérée comme accidentelle.

Globalement, le profil de variation des concentrations en nitrates est irrégulier dans la

plupart des cours d'eau étudiés et ne présente pas de zonation longitudinale notable. Les eaux de ces hydrosystèmes sont plus riches en nitrates pendant la période pluvieuse (mars, avril, juin, septembre). Aussi, les teneurs en nitrates enregistrées dans la majorité des stations urbaines sont significativement plus élevées que celles obtenues en milieu rural, et ont parfois atteint 32,5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  dans le Mfoundi.

### III-1-1-12 Orthophosphates

Les teneurs des eaux de la Mefou en orthophosphates s'échelonnent de 0,09 (station Me<sub>2</sub>) à 2,96 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$  (station Me<sub>3</sub>). Elles évoluent de façon irrégulière le long du cours d'eau et subissent de très faibles variations d'une station à l'autre. Toutefois, l'ensemble des stations montrent des valeurs plus élevées en février, mars et juillet (Figure 29 a).

Les ions orthophosphates sont présents en faibles quantités dans les eaux du Nga (87,5 % des valeurs étant inférieures à 0,45 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ ) et augmentent de l'amont vers l'aval de ce cours d'eau. Les stations du cours moyen et inférieur ont montré des concentrations plus élevées pendant les mois de février, mars, juillet et décembre (Figure 29 b).

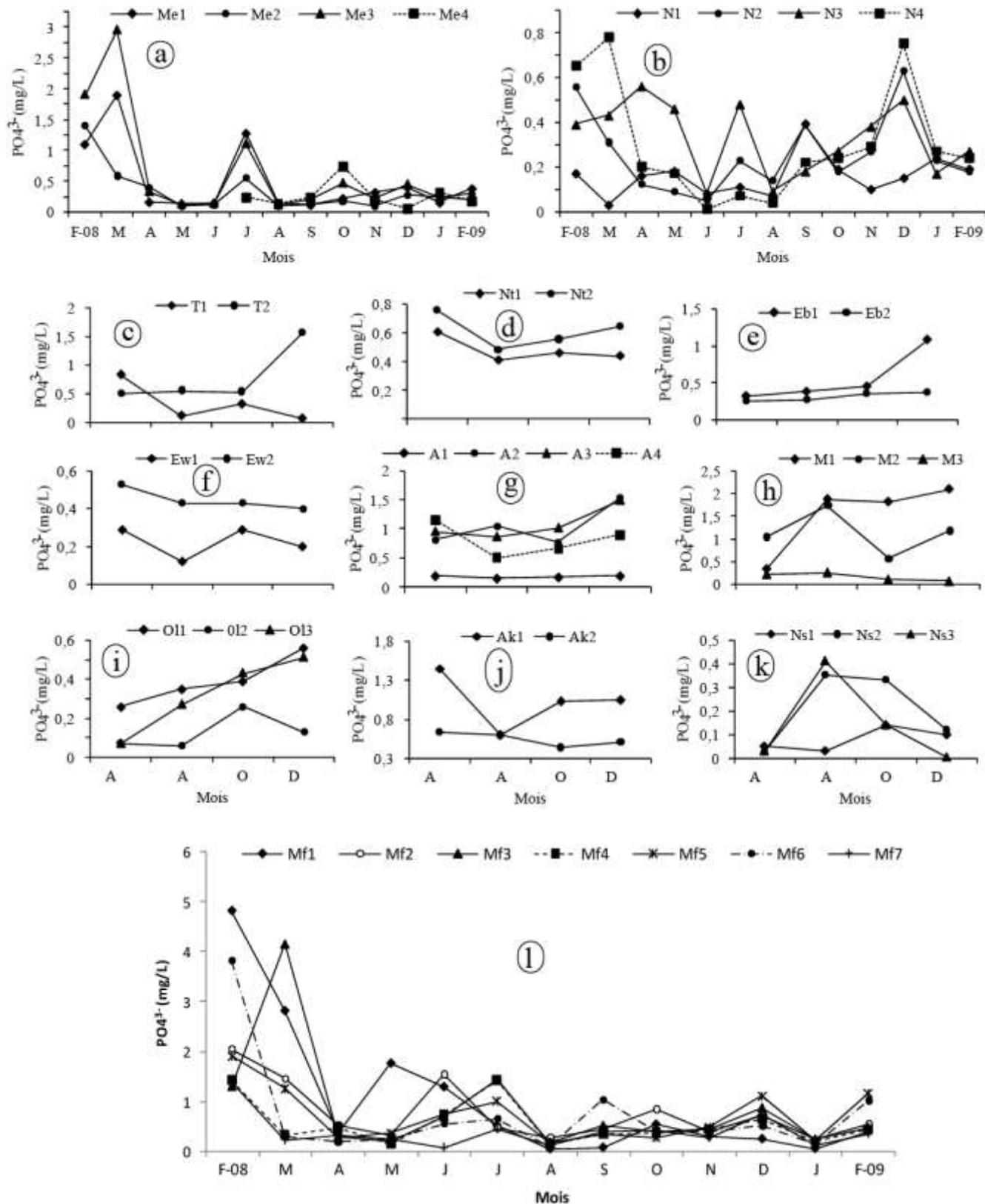
Dans le Tongolo et le Ntem, les teneurs en orthophosphates sont comprises respectivement entre 0,07 et 1,57 mg/L, et entre 0,41 et 0,76 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ . Leur secteur supérieur se caractérise par des valeurs relativement faibles, tandis que la partie inférieure prend des valeurs plus élevées (Figure 31 c, d). Aucune différence significative n'a été notée entre les teneurs en orthophosphates des différentes stations de ces hydrosystèmes pendant l'étude.

Les teneurs en orthophosphates enregistrées dans l'Ébogo se situent entre 0,26 et 1,08 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ . Elles baissent légèrement de l'amont vers l'aval et sont relativement stables dans l'ensemble des stations pendant l'étude (Figure 29 e). Ces teneurs ne sont pas significativement différentes entre les deux stations, mais elles oscillent autour de  $0,44 \pm 0,12$  mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Dans l'Éwoué, les eaux du cours inférieur (station Ew<sub>2</sub>) sont environ deux fois plus chargées en ions orthophosphates que celles du secteur supérieur (station Ew<sub>1</sub>), l'ensemble des valeurs obtenues variant entre 0,12 et 0,53 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$  (Figure 29 f). Les différences notées entre les teneurs en orthophosphates de deux stations sont significatives ( $U=0,000$ ;  $p = 0,019$ ).

Les faibles teneurs en orthophosphates des eaux relevées en amont de l'Abiergué, notamment à la station A<sub>1</sub> (0,15 à 0,19 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ ), s'opposent aux valeurs plus élevées enregistrées dans ses tronçons moyen et inférieur atteignant 1,53 mg/L en décembre (Figure 29 g). L'ensemble des valeurs obtenues diffèrent significativement le long de ce cours d'eau ( $H = 9,34$ ;  $p = 0,025$ ), en particulier entre les stations A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, A<sub>1</sub> et A<sub>3</sub>, A<sub>1</sub> et A<sub>4</sub>.

Dans le Mingoa, les teneurs en orthophosphates des eaux sont comprises entre 0,07



**Figure 29:** Variations spatio-temporelles des concentrations en orthophosphates dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Míngoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

(station M<sub>3</sub>) et 2,1 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (station M<sub>1</sub>). Ces teneurs baissent significativement en aval du Lac Municipal de Yaoundé, notamment à la station M<sub>3</sub> où un abattement d'environ 95 % a été noté au mois de décembre (Figure 29 h).

Les teneurs en orthophosphates restent en général faibles le long de l'Olézoa surtout dans son secteur moyen marécageux (station Ol<sub>2</sub>) où la valeur minimale de 0,06 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> a été enregistrée en août (Figure 29 i). Aucune différence significative n'est observée entre les stations, les teneurs fluctuant autour d'une moyenne de 0,25 ± 0,12 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Dans l'Aké, les teneurs en orthophosphates se situent entre 0,43 et 1,45 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Les valeurs les plus élevées ont été notées en amont du cours d'eau (station Ak<sub>1</sub>), et les plus faibles dans sa partie inférieure (station Ak<sub>2</sub>) (Figure 29 j).

Les teneurs en orthophosphates sont également faibles dans le Ntsomo, variant de 0,01 à 0,41 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Les secteurs moyen et inférieur du cours d'eau affichent des valeurs maximales (0,35 et 0,41 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) surtout pendant les mois d'août et octobre (Figure 29 k).

Dans le Mfoundi, les concentrations en orthophosphates fluctuent de 0,06 à 4,82 mg/L de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Elles subissent une variation irrégulière le long du cours d'eau et ne montrent pas une zonation notable. La plupart des stations a présenté des valeurs relativement élevées en février et mars.

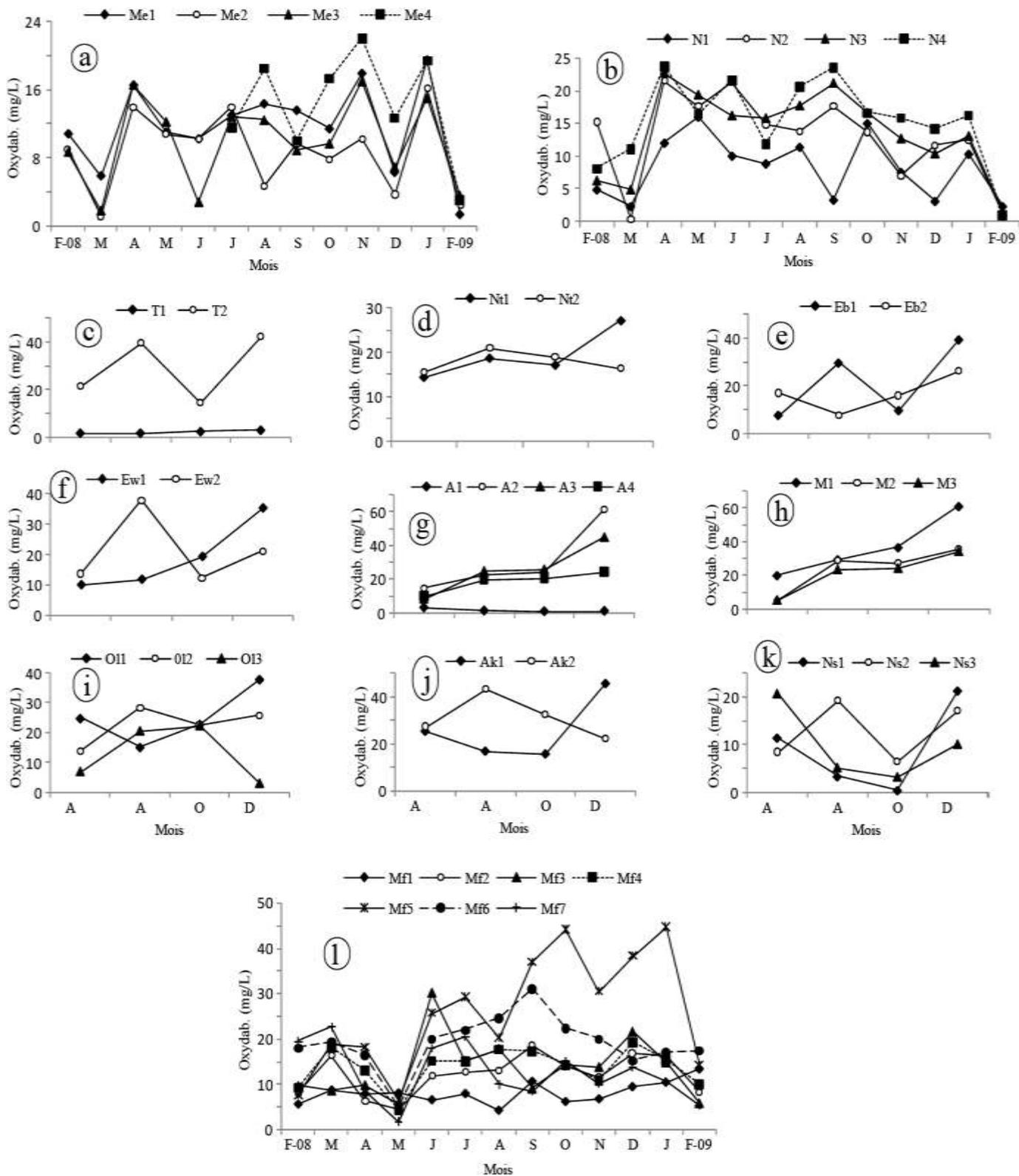
Globalement, les orthophosphates se trouvent en faibles quantités dans l'ensemble des hydrosystèmes prospectés. Les teneurs en ces ions augmentent de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau, exceptés Ébogo, Mingoa, Olézoa et Aké qui présentent une évolution inverse. La majorité des stations affichent des plus fortes valeurs en février, mars, juillet et décembre. Il est également noté que les cours d'eau urbains sont plus riches en ions orthophosphates que ceux de la zone rurale où ces ions se trouvent le plus souvent à l'état de traces (U=9063,5; p=0,0001).

### **III-1-1-13 Matières organiques**

L'oxydabilité et la Demande Biochimique en Oxygène ont permis d'estimer la teneur en matières organiques des eaux des cours d'eau étudiés.

#### **III-1-1-13-1 Oxydabilité**

Dans la Mefou, l'oxydabilité fluctue de 1,19 à 22,12 mg/L d'O<sub>2</sub> et ne montre pas une zonation longitudinale nette. Toutefois, les plus fortes teneurs sont régulièrement obtenues à la station Me<sub>4</sub>, et les plus faibles à la station Me<sub>2</sub>, située à l'aval du barrage. L'oxydabilité de l'eau est plus importante pendant les mois d'avril, novembre et janvier (Figure 30 a). L'amplitude de variation est faible entre les stations, l'ensemble des valeurs oscillant autour de 11,19 ± 3,2 mg/L d'O<sub>2</sub>. Les teneurs de l'oxydabilité dans le Nga sont comprises entre 0,39 et 23,66 mg/L d'O<sub>2</sub>. Elles.



**Figure 30:** Variations spatio-temporelles de l'oxydabilité de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

augmentent significativement de l'amont vers l'aval du cours d'eau ( $H=9,602$ ;  $p = 0,022$ ), et atteignent leurs maxima dans la plupart des stations pendant les mois pluvieux (avril, juin, septembre) (Figure 30 b).

Les valeurs de l'oxydabilité sont très faibles dans le cours supérieur de Tongolo (station  $T_1$ ) où elles n'excèdent pas 3 mg/L d' $O_2$ . Ces teneurs augmentent considérablement dans sa partie inférieure (station  $T_2$ ), atteignant 42,46 mg/L en décembre (Figure 30 c).

Dans le Ntem, l'oxydabilité de l'eau oscille entre 14,41 et 27,25 mg/L d' $O_2$ , et reste relativement stable le long du cours d'eau durant l'étude, même si l'amplitude de variation est importante en décembre (Figure 30 d).

Le profil de variation de l'oxydabilité est irrégulier le long de l'Ébogo et de l'Éwoué. Les teneurs se situent globalement entre 7,7 et 39,3 mg/L d' $O_2$ , et sont plus élevées en août ou en décembre dans l'ensemble des stations de ces cours d'eau (Figure 30 e, f).

Le tronçon supérieur de l'Abiergué se caractérise par des valeurs très faibles de l'oxydabilité (0,98 à 3,16 mg/L d' $O_2$ ) alors que les secteurs moyen et inférieur affichent de fortes teneurs de ce paramètre allant jusqu'à 61,62 mg/L d' $O_2$  à la station  $A_2$  au mois de décembre (Figure 30 g). Les différences significatives ont été observées le long du cours d'eau ( $H=9,33$ ;  $p=0,025$ ), notamment entre les stations  $A_1$  et  $A_2$ ,  $A_1$  et  $A_3$ ,  $A_1$  et  $A_4$ .

Dans le Mingoa et l'Olézoa, l'oxydabilité baisse de l'amont vers l'aval de ces cours d'eau et varie respectivement de 5,53 à 61,22 mg/L, et de 2,96 à 37,92 mg/L. La plupart des stations présentent des valeurs maximales durant les mois d'août et décembre (Figure 30 h, i). L'amplitude de variation reste faible dans le Mingoa.

Les valeurs de l'oxydabilité enregistrées dans l'Aké augmentent du cours supérieur vers le cours inférieur, cette augmentation étant bien marquée en août et octobre (Figure 30 j).

Dans le Ntsomo, les teneurs de l'oxydabilité s'échelonnent de 0,4 à 21,3 mg/L d' $O_2$ . Les eaux semblent plus riches en matières organiques dans sa partie moyenne, bien qu'aucune différence significative ne soit observée entre les valeurs de ce paramètre d'une station à l'autre (Figure 30 k).

Les valeurs de l'oxydabilité relevées au niveau des différentes stations du Mfoundi sont comprises entre 1,78 et 44,63 mg/L d' $O_2$ . Elles vont croissantes de l'amont vers l'aval; les secteurs moyen et inférieur (stations  $Mf_2$  à  $Mf_7$ ) affichant des teneurs plus élevées pendant l'étude (Figure 30 l). En considérant l'ensemble des stations, on observe que les eaux du Mfoundi sont plus chargées en matières organiques en saisons de pluies (juin, septembre, octobre) et les valeurs obtenues

diffèrent significativement le long du cours d'eau ( $H=58,41$ ;  $p=0,0001$ ), en particulier entre la station  $Mf_1$  et celles situées en amont (Tableau IX).

### III-1-1-13 -2 Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Le profil de variation de la DBO<sub>5</sub> dans la Mefou est presque identique à celle de l'oxydabilité. Les valeurs enregistrées fluctuent de 10 (station  $Me_1$ ) à 125 mg/L d'O<sub>2</sub> (station  $Me_3$ ), et atteignent leurs maxima dans la plupart des stations en février, mars, septembre et octobre (Figure 31a).

Dans le Nga, les valeurs de la DBO<sub>5</sub> varient de façon irrégulière le long de son parcours et ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre. Elles oscillent autour d'une moyenne de  $74,48 \pm 8,2$  mg/L d'O<sub>2</sub> et l'ensemble des stations affichent de fortes teneurs pendant la petite et la grande saison de pluies (Figure 31 b).

Les cours d'eau Tongolo, Ntem, Ébogo et Éwoué se caractérisent globalement par des teneurs en DBO<sub>5</sub> relativement élevées (75 % étant supérieures à 80 mg/L d'O<sub>2</sub>). Ces teneurs évoluent en dents de scie le long de ces hydrosystèmes et les pics sont généralement observés pendant les mois d'avril et octobre (Figure 31 c, d, e, f).

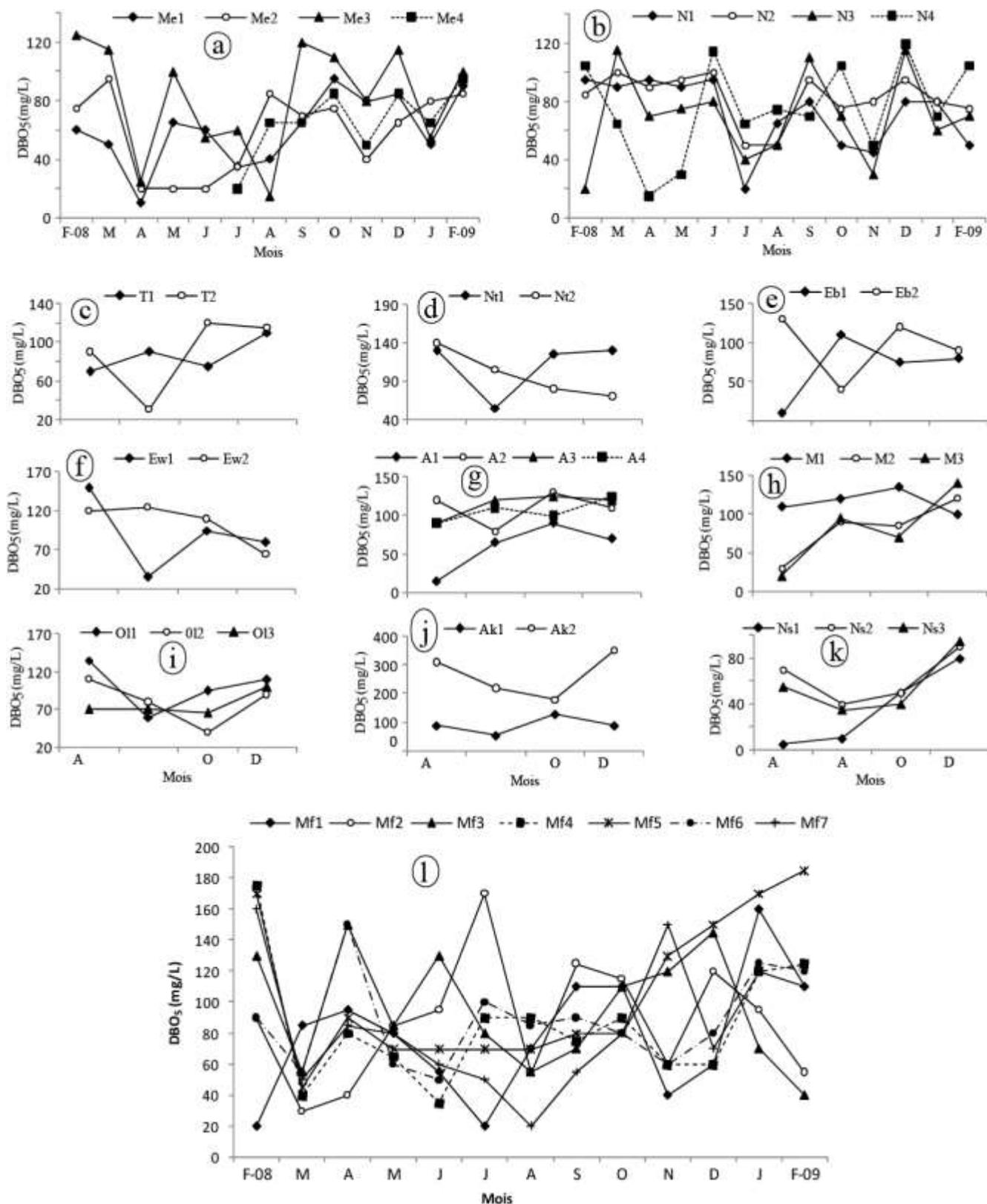
Dans l'Abiergué, la DBO<sub>5</sub> se situe entre 15 et 130 mg/L et augmente considérablement de l'amont vers l'aval. Les plus fortes valeurs de ce paramètre ont été obtenues dans le secteur moyen au cours de la petite et la grande saison de pluies (avril, octobre) (Figure 31 g).

L'évolution de la DBO<sub>5</sub> dans le Mingoa et l'Olézoa est similaire à celle de l'oxydabilité. Les valeurs obtenues s'échelonnent respectivement de 20 à 140 mg/L d'O<sub>2</sub>, et de 40 à 135 mg/L d'O<sub>2</sub>. Les eaux de ces cours d'eau semblent plus riches en matières organiques en octobre et décembre (Figure 31 h, i).

Les eaux de l'Aké sont très chargées en matières organiques, surtout dans le tronçon inférieur où les valeurs maximales de la DBO<sub>5</sub> ont régulièrement été enregistrées, atteignant parfois 350 mg/L d'O<sub>2</sub> à la station  $Ak_2$  en décembre (Figure 31j). Ces valeurs diffèrent significativement entre les deux stations pendant l'étude ( $U=0,0001$ ;  $p=0,020$ ).

Dans le Ntsomo, les valeurs de la DBO<sub>5</sub> sont relativement faibles et augmentent de l'amont vers l'aval. Ces eaux contiennent plus de matières organiques en avril et décembre (Figure 31 k).

Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> dans le Mfoundi varient de 20 à 185 mg/L d'O<sub>2</sub>. Elles évoluent en dents de scie et ne montrent pas de zonation longitudinale. Cependant, les fortes valeurs sont généralement observées dans la partie moyenne du cours d'eau (stations  $Mf_2$  à  $Mf_5$ ). Aussi, la plupart des stations affichent des teneurs maximales au cours des mois de février, avril, septembre et octobre (Figure 31 l).



**Figure 31:** Variations spatio-temporelles de la DBO<sub>5</sub> dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

De manière générale, les teneurs en matières organiques sont plus élevées dans les secteurs moyen et inférieur de la plupart des cours d'eau étudiés, exceptés Mingoa et Olézoa qui montrent une tendance inverse. Ces teneurs sont régulièrement plus importantes dans la majorité des stations pendant la saison de pluies. On observe aussi que les hydrosystèmes urbains sont dans l'ensemble plus riches en matières organiques comparés à ceux situés en zone rurale ( $U=8746,5$ ;  $p=0,0001$ ), même si les teneurs relativement élevées y ont parfois été enregistrées.

### **III-1-1-14 Essai de typologie physico-chimique de l'eau des stations des cours d'eau étudiés**

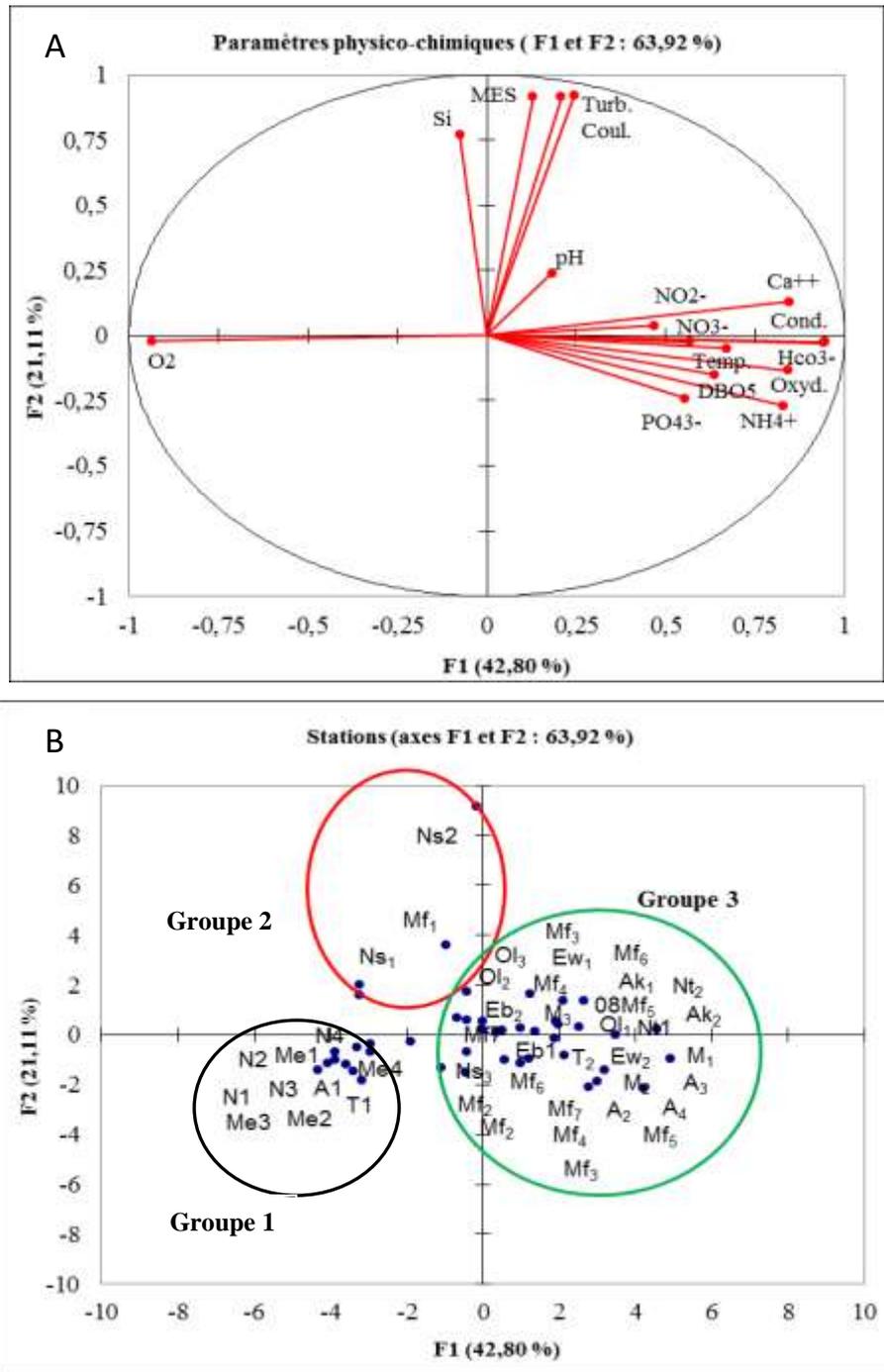
L'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) effectuées concomitamment avec les 16 paramètres physico-chimiques ont permis de grouper l'ensemble des 38 stations des 12 cours d'eau étudiés et de caractériser globalement la qualité de leurs eaux (Figures 32 et 33).

Les axes  $F_1$  et  $F_2$  de l'ACP restituent 63,92 % de l'information. L'axe  $F_1$  (42,80 % d'inertie) d'un côté l'oxygène dissous et les autres paramètres, notamment ceux qui révèlent la pollution organique, la minéralisation et l'eutrophisation (oxydabilité,  $DBO_5$ ,  $NH_4^+$ , conductivité électrique,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ). L'axe  $F_2$  (21,11 % d'inertie) individualise les Matières En Suspension, la couleur de l'eau, la turbidité et la silice comme paramètres prépondérants dans l'évaluation de la qualité de l'eau (Figure 32 A). La répartition des différentes stations sur le plan factoriel de l'ACP (Figure 34 B), couplé à la CAH (Figure 33), permet de distinguer 3 groupes de stations ayant des caractéristiques physico-chimiques plus ou moins similaires. Ces caractéristiques sont placées sous des influences anthropiques s'exerçant dans leurs bassins versants et des paramètres mésologiques (végétation rivulaire, ombrage, position des stations le long du gradient amont-aval du cours d'eau).

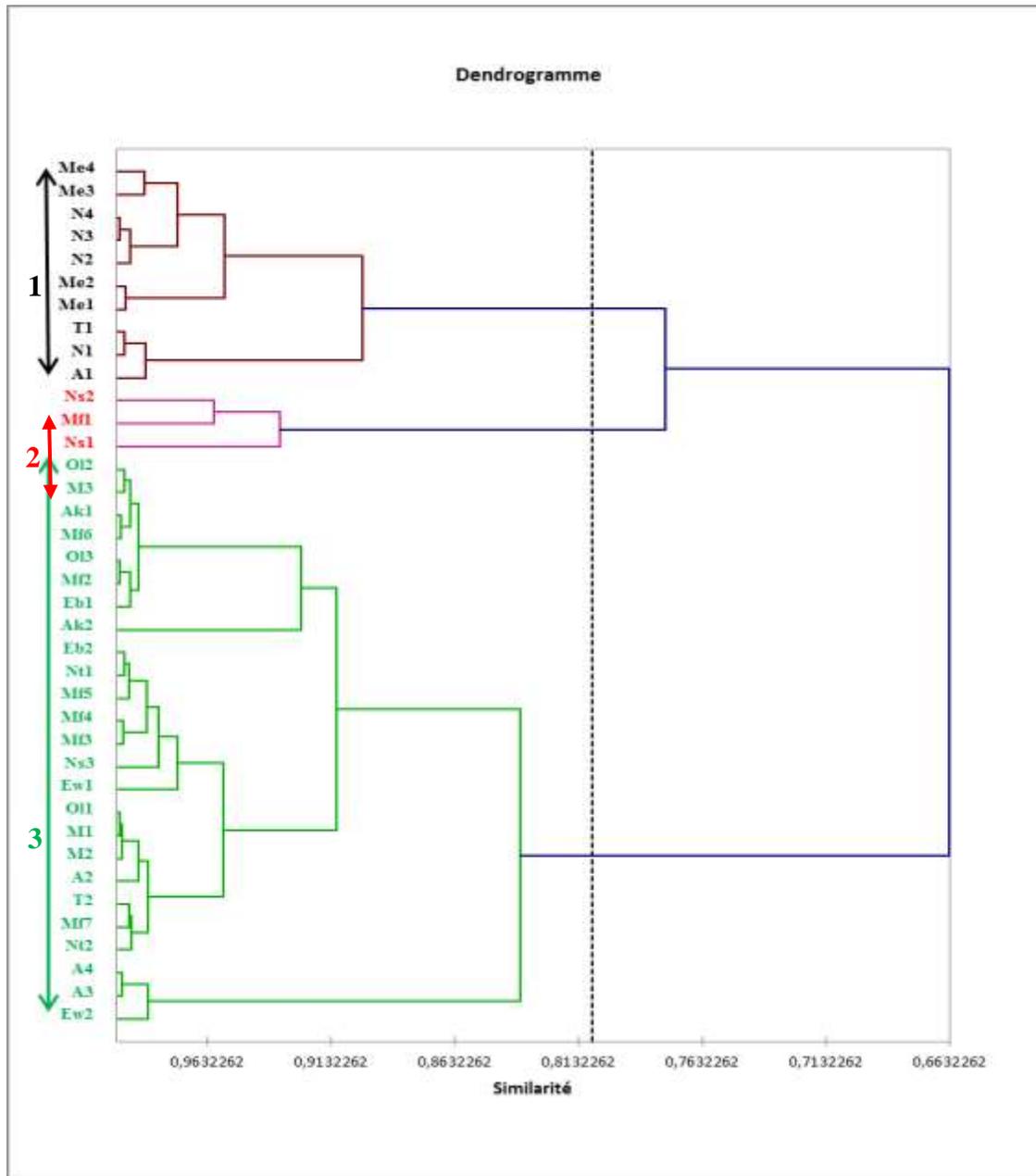
**Le groupe 1** rassemble toutes les stations des cours d'eau Nga ( $N_1, N_2, N_3, N_4$ ) et Mefou ( $Me_1, Me_2, Me_3, Me_4$ ) localisés en zone rurale, et quelques sources des cours d'eau urbains (Abiergué:  $A_1$ ; Tongolo:  $T_1$ ) situées dans la broussaille loin des habitations, n'ayant pas subi des pollutions. Ce groupe de stations est caractérisé par les eaux de bonne qualité, faiblement minéralisées, moins turbides et présentant des valeurs moyennes en oxygène dissous et en matières organiques.

**Le groupe 2** isole les stations  $N_{s1}$  et  $N_{s2}$  du Ntsomo et  $M_{f1}$  du Mfoundi. Ces stations ont aussi les eaux faiblement minéralisées, mais très turbides et colorées. Les fortes valeurs de la silice, des MES, de la turbidité et de la couleur y ont été enregistrées.

**Le groupe 3** comprend l'ensemble des autres stations des cours d'eau urbains soumis à de fortes pressions anthropiques. Ces stations présentent des eaux dures, très minéralisées, riches en



**Figure 32:** Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des paramètres physico-chimiques mesurés dans les stations des différents cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou (Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué: Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>). Projection des paramètres physico-chimiques (A) et des groupes de stations (B) sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical). MES: matières en suspension; Temp: température; Coul: couleur; Turb: turbidité; Si: silice; Cond: conductivité; Oxyd: oxydabilité; DBO<sub>5</sub>: demande biochimique en oxygène; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrates; NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrites



**Figure 33:** Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de l'ensemble des stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou (Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, .Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: OI<sub>1</sub> à OI<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>) sur la base de leurs caractéristiques physico-chimiques. Chaque couleur indique un groupe de stations (Noir: groupe 1; Rouge: groupe 2; Vert: groupe 3).

ions indicateurs de pollution organique et d'eutrophisation. Ces eaux sont également caractérisées par des fortes températures, des valeurs élevées de la DBO<sub>5</sub> et de faibles teneurs en oxygène dissous.

### III-1-2 Caractéristiques biologiques des cours d'eau étudiées

#### III-1-2-1 Chlorophylle *a*

Les teneurs en chlorophylle *a* (Chl *a*) dans la Mefou varient de 0,65 mg/m<sup>3</sup> (station Me<sub>4</sub> en novembre) à 11,59 mg/m<sup>3</sup> (station Me<sub>2</sub> en juillet). Elles augmentent significativement de l'amont vers l'aval ( $H=19,56$ ;  $p = 0,0001$ ), la station Me<sub>2</sub> affichant les plus fortes valeurs pendant l'étude (Figure 35 a). L'ensemble des stations présente des teneurs en Chl *a* relativement importantes durant les mois de mai, juillet, septembre et octobre.

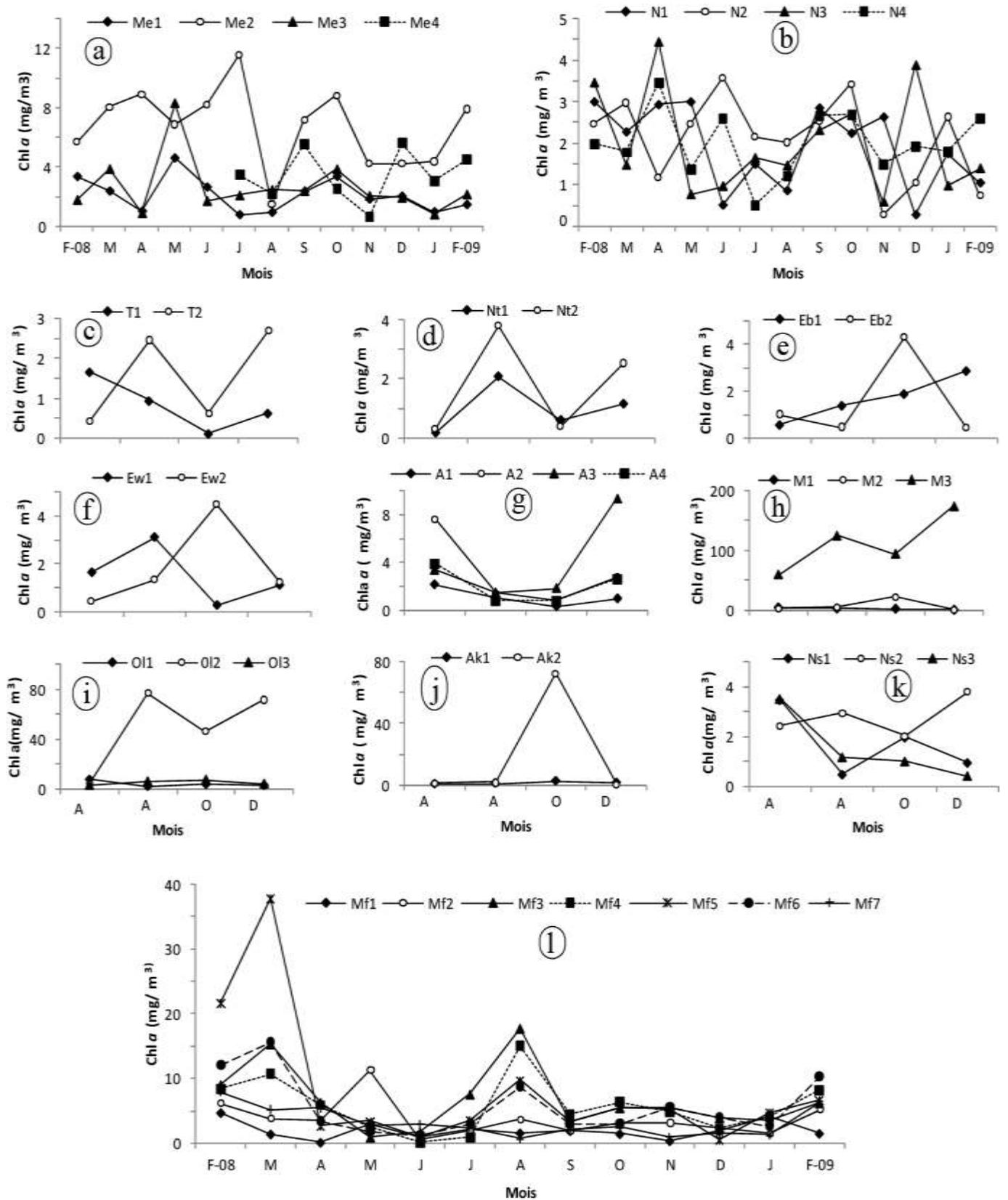
Dans le Nga, les teneurs en chl *a* évoluent en dents de scie dans l'ensemble des stations et ne montrent pas une zonation longitudinale notable. Elles sont comprises entre 0,28 (station N<sub>2</sub> en novembre) et 4,45 mg/m<sup>3</sup> (station N<sub>3</sub> en avril), pour une valeur moyenne gravitant autour de  $2,4 \pm 0,1$  mg/m<sup>3</sup>. La plupart des stations enregistrent des valeurs élevées pendant les mois pluvieux (avril, septembre, octobre) (Figure 34 b).

Le cours inférieur de Tongolo et du Ntem affichent des teneurs en Chl *a* relativement élevées, atteignant respectivement 2,7 mg/m<sup>3</sup> (station T<sub>2</sub>) et 3,8 mg/m<sup>3</sup> (station Nt<sub>2</sub>). Ces teneurs restent faibles ( $< 0,5$  mg/m<sup>3</sup>) dans le tronçon supérieur de ces hydrosystèmes (Figure 34 c, d). L'ensemble des stations montrent des valeurs nettement importantes durant les mois d'avril et de décembre.

L'évolution des teneurs en Chl *a* est irrégulière le long d'Ébogo et d'Éwoué. Ces teneurs fluctuent respectivement de 0,45 à 4,33 mg/m<sup>3</sup> (Ébogo), et de 0,28 à 4,49 mg/m<sup>3</sup> (Éwoué). Elles sont plus élevées aux stations Eb<sub>2</sub> et Ew<sub>2</sub> pendant le mois d'octobre (Figure 34 e, f), même si aucune différence significative n'a été observée entre les stations de ces milieux lotiques.

Dans l'Abiergué, les teneurs en Chl *a* sont plus élevées dans ses tronçons moyen et inférieur et atteignent 9,39 mg/m<sup>3</sup> à la station A<sub>3</sub> en décembre, alors que sa partie supérieure (station A<sub>1</sub>) prend des valeurs plus faibles dépassant à peine 1 mg/m<sup>3</sup> (Figure 34 g). Ces teneurs ne diffèrent pas significativement entre les stations, les valeurs moyennes oscillant autour de  $2,61 \pm 1,5$  mg/m<sup>3</sup>.

Les teneurs en Chl *a* sont assez faibles dans les cours supérieur et moyen du Mingoa (variant de 2,22 à 5,57 mg/m<sup>3</sup>), et augmentent de façon exponentielle en aval du Lac municipal de Yaoundé (station M<sub>3</sub>), atteignant parfois 174,28 mg/m<sup>3</sup> en décembre, consécutive à une croissance simultanée de *Oscillatoria tenuis* et *Chlamydomonas* sp. (Figure 34 h). Des différences significatives ont été notées entre les valeurs de ce paramètre le long du cours d'eau ( $H=8,00$ ;  $p=0,018$ ), notamment entre la station M<sub>3</sub> et les autres (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>).



**Figure 34:** Variations spatio-temporelles de la concentration en chlorophylle *a* de l'eau dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

Dans l'Olézoa, les teneurs en Chl *a* sont comprises entre 1,85 (station Ol<sub>1</sub>) et 76,95 mg/m<sup>3</sup> (station Ol<sub>2</sub>), sa partie moyenne affiche des valeurs nettement élevées pendant l'étude (Figure 34 i). L'ensemble des données montre de différences significatives le long du cours d'eau (H=5,34; p=0,048), notamment entre la station Ol<sub>2</sub> et les autres.

Les teneurs en Chl *a* sont globalement faibles dans les eaux de l'Aké (75 % des valeurs sont inférieures à 1,5 mg/m<sup>3</sup>), bien que la valeur ponctuelle de 72,57 mg/m<sup>3</sup> a été obtenues à la station Ak<sub>2</sub> en octobre (Figure 34j). Aucune différence significative n'a été observée entre les teneurs en Chl*a* des deux stations pendant l'étude, les valeurs moyennes oscillant autour de 1,45 ± 0,21 mg/m<sup>3</sup>.

Le cours moyen du Ntsomo affiche des fortes teneurs en Chl *a* pendant l'étude, atteignant 3,81 mg/m<sup>3</sup> en décembre, alors que les autres tronçons présentent des valeurs relativement faibles surtout en août (0,5 mg/m<sup>3</sup>) (Figure 34 k).

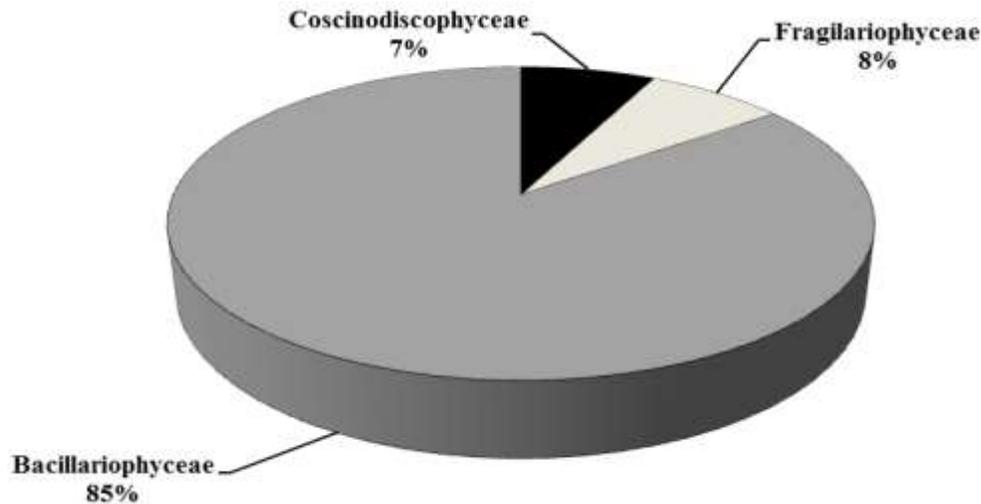
Dans le Mfoundi, les teneurs en Chl *a* se situent entre 0,12 (station Mf<sub>1</sub>) et 37,84 mg/m<sup>3</sup> (station Mf<sub>5</sub>). Elles augmentent significativement de l'amont vers l'aval (H=19,54; p=0,005), la station Mf<sub>1</sub> montrant les plus faibles teneurs pendant l'étude (Figure 34 l). La plupart des stations enregistre des teneurs en Chl *a* relativement élevées (8,73 à 37,84 mg/m<sup>3</sup>) durant les mois de mars et d'août.

En somme, les teneurs en Chl *a* augmentent de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau étudiés, à l'exception du Nga, du Ntem, de l'Ébogo et de l'Éwoué qui présentent un profil de variation irrégulière. Ces teneurs sont plus élevées dans la majorité des stations urbaines, surtout celles localisées en aval des retenues d'eau (Lac municipal de Yaoundé, Étang de Melen), atteignant parfois 174,28 mg/m<sup>3</sup> à la station M<sub>3</sub> du Mingoa et 76,95 mg/m<sup>3</sup> à la station Ol<sub>2</sub> de l'Olézoa. Aussi, les fortes teneurs en Chl *a* des eaux sont notées dans plusieurs stations pendant les mois d'août et de décembre, même si les pics sont souvent observés en avril, mai et octobre.

### **III-1-2-2 Communautés de diatomées épilithiques**

#### **III-1-2-2-1 Richesse taxonomique**

L'examen microscopique de 348 échantillons collectés durant 13 mois dans 12 cours d'eau étudiés a permis d'établir une liste floristique de 435 taxons de diatomées épilithiques appartenant à l'embranchement des Chromophytes dont l'existence était jusqu'alors insoupçonnée. Ces taxons sont répartis dans 3 classes, 15 ordres, 30 familles et 46 genres. La liste de ces taxons récoltés est donnée à l'annexe 4. La classe des Bacillariophyceae prédomine avec 85 % de taxons, suivie de celle des Fragilariophyceae (8 %) et des Coscinodiscophyceae (7 %) (Figure 35). Des 30 familles recensées, les plus représentées comprennent les Naviculaceae (19,5 % de taxons), suivie des Bacillariaceae (11,3 %), des Pinnulariaceae (10,3 %), des Eunotiaceae (8 %) et des Fragilariaceae



**Figure 35:** Distribution des différentes classes de diatomées épilithiques collectées dans l'ensemble des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou. Le pourcentage de chaque classe représente le nombre de ses taxons par rapport à la richesse taxonomique totale dans le réseau

(7,4 %). Les Achnantheae, les Surirellaceae et les Cymbellaceae totalisent respectivement 5,7; 4,6 et 4,1% de taxons. Les autres familles en comptent moins de 4 %.

Parmi les genres inventoriés, *Navicula* est majoritaire avec 84 taxons; il est suivi de *Nitzschia* (40), *Pinnularia* (38), *Eunotia* (35), *Gomphonema* (28), *Fragilaria* (25), *Achnanthes* (25), *Cymbella* (17) et *Surirella* (15). Les autres genres présentent chacun moins de 12 taxons (tableau x).

**Tableau X:** Nombre d'espèces par genre de diatomées inventoriées dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou

Genre	Nombre d'espèces	Genre	Nombre d'espèces
<i>Achnanthes</i>	25	<i>Gomphosphenia</i>	1
<i>Amphora</i>	9	<i>Gyrosigma</i>	4
<i>Aulacoseira</i>	8	<i>Hantzschia</i>	4
<i>Bacillaria</i>	1	<i>Melosira</i>	5
<i>Brachysira</i>	2	<i>Navicula</i>	84
<i>Caloneis</i>	7	<i>Neidium</i>	11
<i>Capartogramma</i>	1	<i>Nitzschia</i>	40
<i>Chaetoceros</i>	1	<i>Opephora</i>	2
<i>Cocconeis</i>	3	<i>Orthoseira</i>	1
<i>Coscinodiscus</i>	1	<i>Pinnularia</i>	38
<i>Craticula</i>	1	<i>Placoneis</i>	1
<i>Cyclotella</i>	10	<i>Pleurosigma</i>	1
<i>Cymatopleura</i>	2	<i>Rhopalodia</i>	2
<i>Cymbella</i>	17	<i>Sellaphora</i>	1
<i>Denticula</i>	3	<i>Stauroneis</i>	11
<i>Diadesmis</i>	2	<i>Stenopterobia</i>	3
<i>Diatoma</i>	5	<i>Stephanodiscus</i>	3
<i>Diploneis</i>	7	<i>Stephanopyxis</i>	1
<i>Epithemia</i>	3	<i>Surirella</i>	15
<i>Eunotia</i>	36	<i>Tetracyclus</i>	1
<i>Fragilaria</i>	25	<i>Thalassiosira</i>	1
<i>Frustulia</i>	7	<i>Trinacria</i>	1
<i>Gomphonema</i>	28	<i>Tryblionella</i>	1

Parmi les taxons collectés pendant l'étude, 57 n'ont pas pu être déterminés au niveau de l'espèce. Il s'agit des représentants des genres *Amphora*, *Aulacoseira*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Cyclotella*, *Cymatopleura*, *Denticula*, *Diademsis*, *Diatoma*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Frustulia*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Navicula*, *Neidium*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Stauroneis*, *Stenopterobia*, *Surirella*, *Tetracyclus* et *Trinacria*. Les caractéristiques morphologiques de certains de ces taxons sont mentionnées dans ce travail. Les recherches complémentaires devant conduire à leur identification se poursuivent.

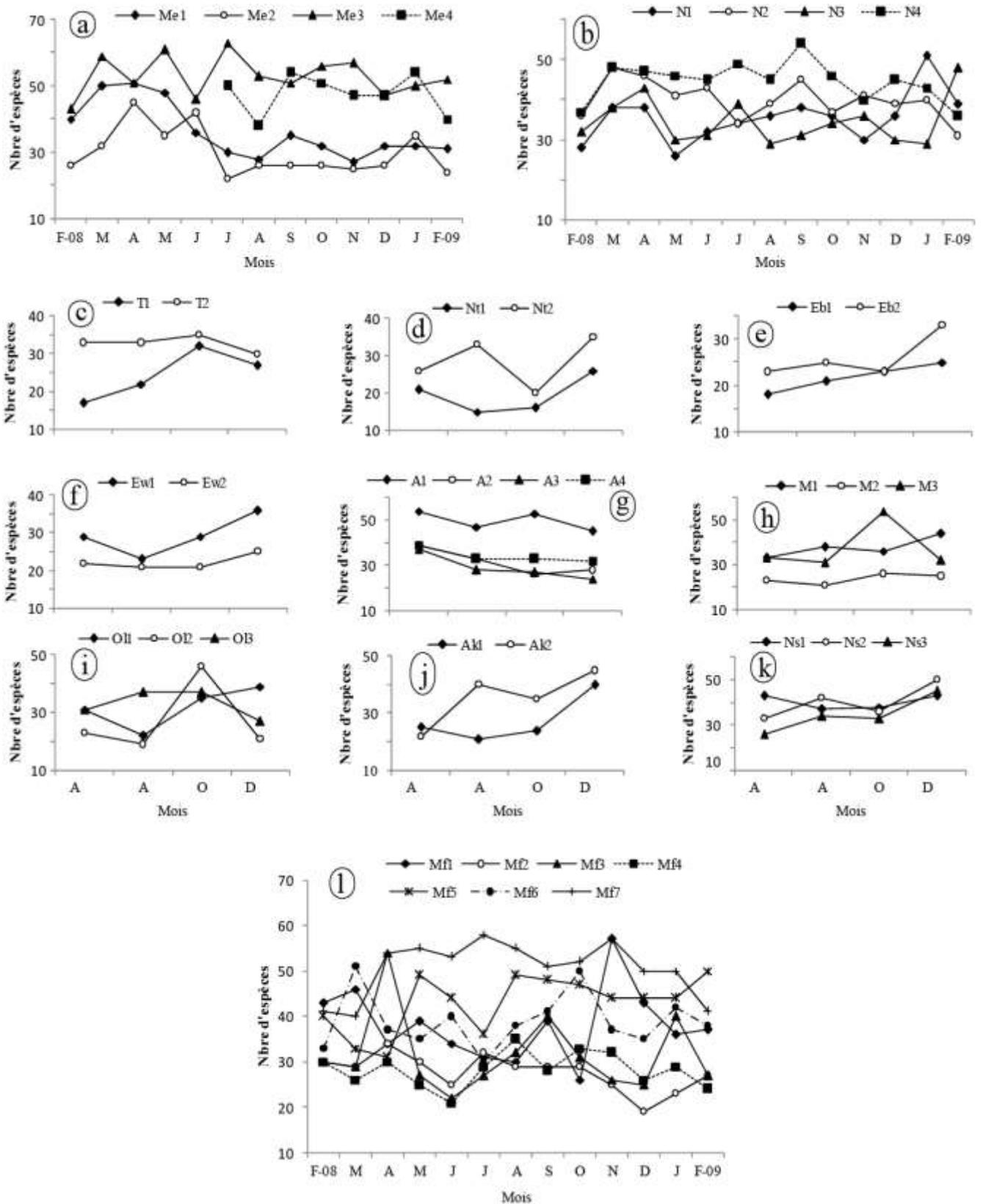
### **III-1-2-2-2 Richesse spécifique**

La richesse spécifique (RS) varie d'un cours d'eau à l'autre, et d'une station à l'autre pour l'ensemble des cours d'eau (Figure 36). Le nombre d'espèces s'échelonne de 56 à 333. Le cours d'eau Mfoundi totalise le plus grand nombre d'espèces (333), suivis de la Mefou (194), du Nga (175) et de l'Abiergué (117). Le cours d'eau Ébogo est le plus pauvre en espèces (56), alors que les autres présentent des valeurs intermédiaires. Concernant la variation de la richesse spécifique dans l'ensemble des stations des hydrosystèmes prospectés, elle oscille entre 15 et 63 espèces, la moyenne gravitant autour de  $38 \pm 10$  espèces par station. La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station Me<sub>3</sub> de la Mefou en juillet, et la plus faible dans le tronçon supérieur du Ntem (station Nt<sub>1</sub>) en août (Figure 37 a, d). Il est également noté que le nombre d'espèces augmente significativement ( $p < 0,05$ ) de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau; d'autres présentent par contre un profil de variation opposé (Éwoué, Abiergué, Ntsomo) ou irrégulier (Olézoa) (Figure 36).

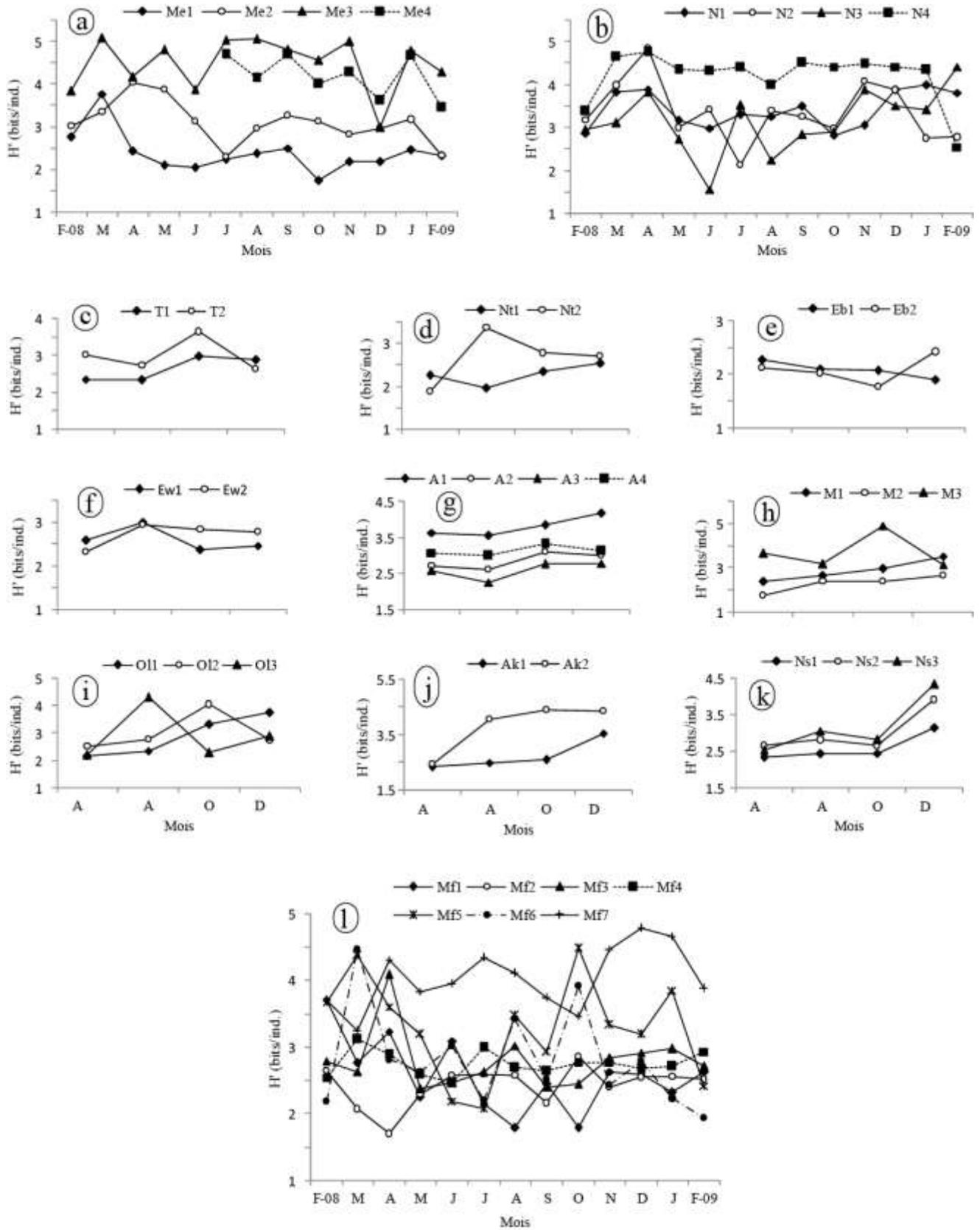
Globalement, la richesse spécifique est plus importante dans la majorité des stations (notamment celles des tronçons moyen et inférieur) pendant les mois pluvieux (mars, avril, mai, septembre, octobre), même si quelques unes montrent parfois des valeurs relativement élevées en juillet, en août et en décembre (Figure 36). Par ailleurs, le nombre d'espèces ne diffère pas significativement entre les cours d'eau urbains et ceux localisés en zone rurale, bien que plusieurs stations urbaines affichent une richesse spécifique relativement faible, fluctuant de 15 à 58 espèces.

### **III-1-2-2-3 Diversité spécifique et équitabilité**

La figure 39 présente l'évolution spatio-temporelle de la diversité spécifique de Shannon et Weaver dans l'ensemble des cours d'eau étudiés. Les valeurs extrêmes de cette diversité fluctuent de 1,56 bits/ind. (station N<sub>3</sub> en juin) à 5,09 bits/ind. à la station Me<sub>3</sub> en mars (Figure 37), la moyenne oscillant autour de  $3,21 \pm 1,28$  bits/ind. Les valeurs relativement élevées de la diversité spécifique (variant de 4,09 à 5,09 bits/ind.) sont enregistrées dans plusieurs stations (Me<sub>3</sub>, Me<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>4</sub>, M<sub>3</sub>, Ol<sub>3</sub>, Ns<sub>3</sub>, Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>4</sub>, Mf<sub>6</sub>, Mf<sub>7</sub>) pendant la petite et à la grande saison de pluies (notamment en mars, en



**Figure 36:** Variations spatio-temporelles du nombre d'espèces de diatomées épilithiques dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Míngoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).



**Figure 37:** Variations spatio-temporelles de l'indice de diversité de Shannon et Weaver dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

avril, en septembre et en octobre). Ces fortes valeurs de la diversité spécifique sont associées au développement des complexes spécifiques au sein desquels les espèces dominantes présentent des faibles écarts d'abondance relative (2 à 3 %) entre elles. Par exemple, la valeur la plus élevée pendant l'étude (5,09 bits/ind.), obtenue à la station Me<sub>3</sub> en mars, coïncide avec la floraison concomitante de *Navicula heimansioïdes*, *N. mutica* var. *intermedia*, *Gomphonema pseudotenellum*, *G. gracile*, *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris* et *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*. Les plus faibles valeurs, par contre, correspondent à la prééminence d'un nombre réduit d'espèces affichant des fortes abondances comme c'est le cas de *Navicula heimansioïdes* (52,8 %), *Navicula* sp.aff. *tenella* (25 %) et *Fragilaria ulna* var. *acus* (14,2%) qui font baisser la diversité spécifique (1,56 bits/ind.) à la station N<sub>3</sub> du Nga en juin (Figure 37).

Il faut également souligner que la diversité spécifique croît de l'amont vers l'aval de la majorité des cours d'eau étudiés. Cependant, certains montrent une évolution inverse (Ébogo, Abiergué) ou irrégulière de la diversité (Éwoué, Olézoa) (Figure 37). Aucune différence significative n'a été relevée entre la diversité spécifique des cours d'eau urbains et ceux localisés en zone rurale, même si les stations du Nga et de la Mefou prennent régulièrement des fortes valeurs indicelles (65,58 % étant supérieures à 3 bits/ind.) pendant l'étude.

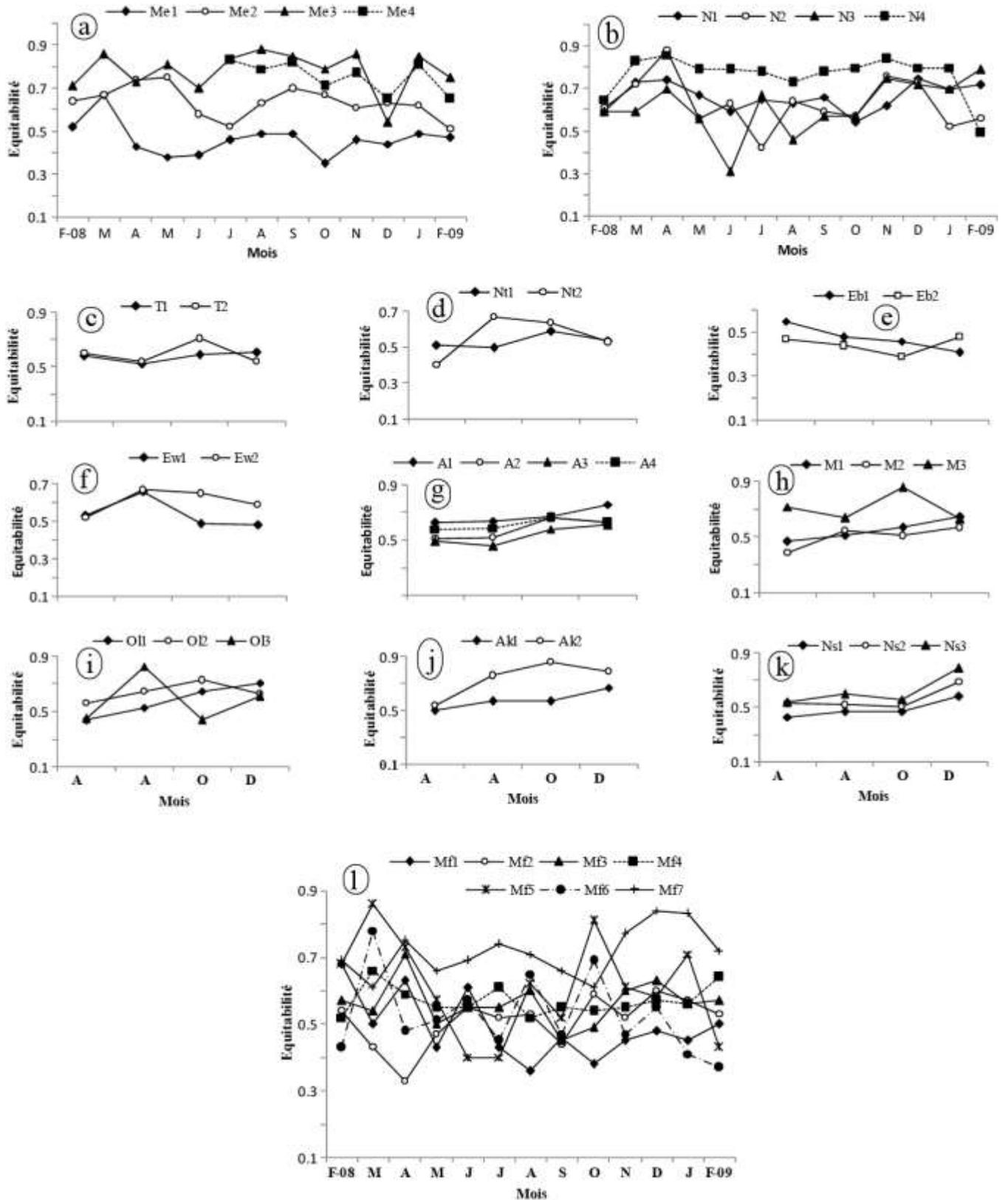
Les valeurs extrêmes de l'équitabilité sont comprises entre 0,31 (station N<sub>3</sub> en juin) et 0,88 (station N<sub>2</sub> et Me<sub>3</sub> en avril et août respectivement), avec une moyenne de  $0,60 \pm 0,18$  (Figure 38). L'équitabilité présente une évolution similaire à celle de la diversité spécifique dans l'ensemble des cours d'eau étudiés, et indique par ailleurs que les fortes valeurs (variant de 0,71 à 0,88) notées dans plusieurs stations localisées dans les tronçons moyen et inférieur pendant les mois pluvieux (février, mars, avril, octobre), traduisent une répartition relativement bonne des effectifs des espèces qui prédominent l'assemblage (Figure 38). Aussi, les faibles valeurs (0,4 à 0,57) enregistrées en général dans la majorité des stations urbaines sont liées au développement important de quelques espèces notamment *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Pinnularia subcapitata* et *Navicula arvensis* qui présentent des abondances relatives atteignant 85 % de la récolte. Dans l'ensemble, les tests de Kruskal-Wallis ne montrent pas de différences significatives entre les valeurs de l'équitabilité des cours d'eau urbains et ceux localisés en zone rurale.

#### **III-1-2-2-4 Description de quelques espèces de diatomées récoltées**

Ici sont décrites les espèces de diatomées rares ou méconnues des zones tropicales et celles qui sont très fréquentes et abondantes dans les cours d'eau étudiés.

##### **III-1-2-2-4-1 Espèces rares ou méconnues des zones tropicales**

Les figures 39, 40 et 41 présentent les dessins de *Chaetoceros* sp., *Diatoma* sp., *Trinacria* sp.



**Figure 38:** Variations spatio-temporelles de l'équitabilité de Piélu dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l).

*Eunotia* sp.1, *Eunotia* sp.2, *Eunotia* sp.3, *Pinnularia* sp.1, *Pinnularia* sp.2, *Stenopterobia* sp., *Caloneis ventricosa*, *Achnanthes subhudsonis* et *Brachysira neoexilis*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Eunotia steineckii*, *E. praerupta* var. *excelsa*, *Navicula perlatoïdes*, *N. scutiformis*, *Nitzschia lorenziana*, *Pinnularia acrosphaeria*, *P. borealis* et *Rhopalodia gibberula*.

➤ ***Chaetoceros* sp.**

Les frustules sont plus ou moins rectangulaires, de 11 (10-12)  $\mu\text{m}$  de long et 5,5 (3,5-7)  $\mu\text{m}$  de large. Chaque extrémité des frustules porte une épine dont la longueur varie entre 3 et 5  $\mu\text{m}$  (Figure 39 a, b, c).

➤ ***Diatoma* sp.**

Les frustules sont elliptiques et arrondis aux pôles. Ils mesurent 21,5 (18,5-25)  $\mu\text{m}$  de long et 9 (7-10)  $\mu\text{m}$  de large et comportent au total quatre côtes (épaississement des stries) transapicales qui subdivisent ces frustules en cinq compartiments; une côte relativement courte et arquée est souvent observée sur certaines valves (Figure 39 d, e).

➤ ***Trinacria* sp.**

Les frustules sont de forme pyramidale (ou trilobés), mesurant 22 (17-27)  $\mu\text{m}$  de base, avec une hauteur de 19,3 (15,5-23)  $\mu\text{m}$ ; les côtés sont distants de 8 à 12  $\mu\text{m}$ . On observe également une fente raphéale dont les branches partent de chaque pôle des frustules et se rejoignent au centre (Figure 39 f, g).

➤ ***Eunotia* sp.1**

Les frustules sont linéaires à arqués, hétéropolaires avec une extrémité très effilée (0,5 à 1,5  $\mu\text{m}$ ) et dépourvue de raphé. Ces frustules mesurent 14,8 (13-16)  $\mu\text{m}$  de long et 2,7 (2-4)  $\mu\text{m}$  de large, avec 21 (17-23) stries en 10  $\mu\text{m}$  (Figure 39 h, i, j, k).

➤ ***Eunotia* sp.2**

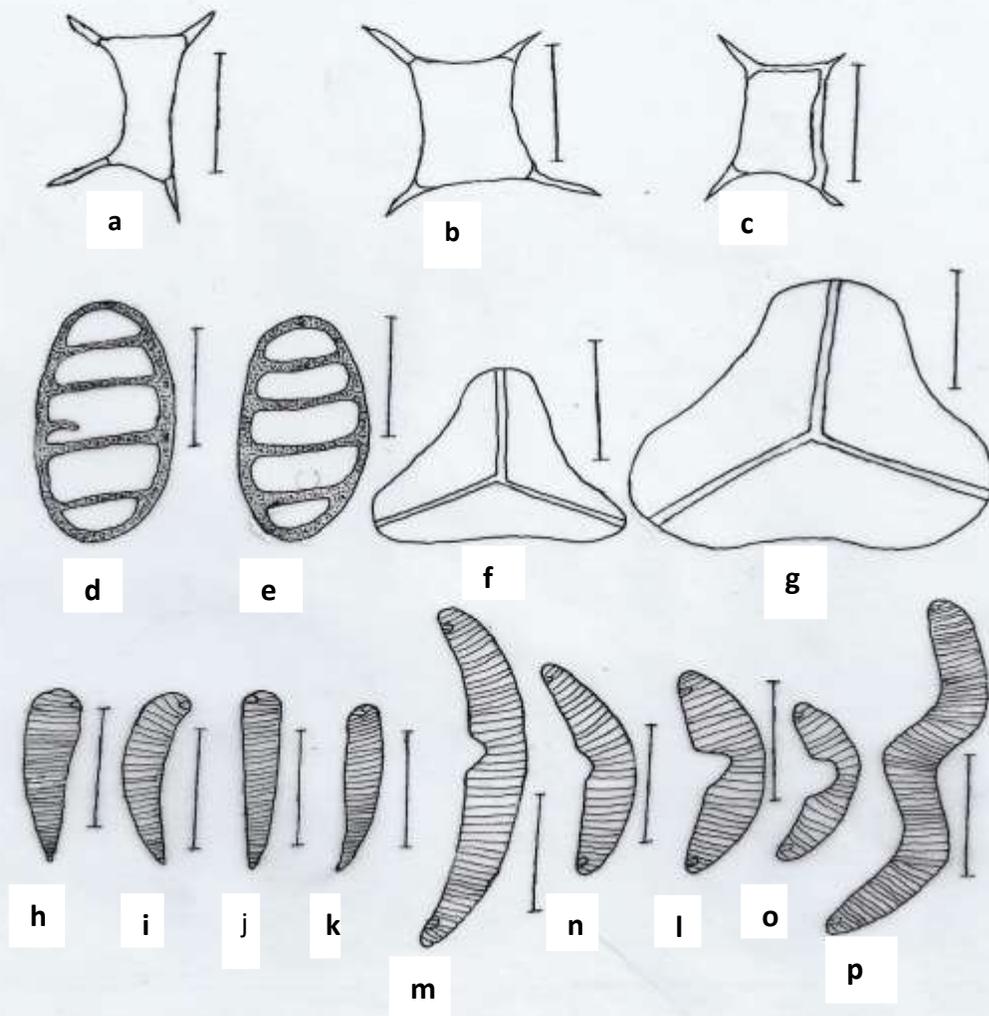
Les frustules sont en forme de croissant plus ou moins effilés aux pôles. Le côté dorsal est nettement convexe et le côté ventral concave est pourvu d'une dépression pouvant atteindre 2,5  $\mu\text{m}$  de profondeur. Ils ont 20,3 (15-20)  $\mu\text{m}$  de long et 3,7 (3-4)  $\mu\text{m}$  de large, avec 16 (15-17) stries en 10  $\mu\text{m}$ , la raphé étant bien visible du côté ventral de chaque extrémité de ces frustules (Figure 39 l, m, n, o).

➤ ***Eunotia* sp.3**

Le frustule, relativement arqué, présente deux ondulations du côté dorsal de 2,5  $\mu\text{m}$  de hauteur et mesure 31  $\mu\text{m}$  de long et 3,5  $\mu\text{m}$  de large, avec 22 stries en 10  $\mu\text{m}$  (Figure 39 p).

➤ ***Pinnularia* sp1**

Les frustules sont courts, de 21,2 (21-22)  $\mu\text{m}$  de long et 7,8 (6-8)  $\mu\text{m}$  de large, linéaires-



**Figure 39:** Dessins de *Chaetoceros* sp. (a, b, c), *Diatoma* sp. (d, e), *Trinacria* sp. (f, g), *Eunotia* sp.1 (h, i, j, k), *Eunotia* sp.2 (l, m, n, o) et *Eunotia* sp.3 (p). (barre d'échelle = 10  $\mu$ m). Les lettres a à o représentent les morphotypes de ces espèces de diatomées

lancéolés, légèrement capités et arrondis aux pôles. La striation est interrompue dans la partie médiane des frustules et on dénombre 8 (7 à 8) stries en 5 µm. Les stries qui se trouvent au voisinage de l'aire centrale sont plus courtes et obliques (Figure 40a).

➤ ***Pinnularia sp.2***

Le frustule est linéaire et arrondi aux extrémités. Il mesure 48 µm de long et 6 µm de large. La striation est aussi interrompue dans la partie médiane du frustule. On observe 14 stries en 10 µm qui sont courtes et obliques délimitant une aire axiale très large de 4 µm (Figure 40 b).

➤ ***Stenopteroberia sp.***

Les frustules sont linéaires-lancéolés et sigmoïdes, et mesurent 81,5 (78,5-84,5) µm de long et 4,8 (4,5-5) µm de large. On dénombre 25 (23-26) stries et 8 (8-9) points carinaux en 10 µm (Figure 40 c, d).

➤ ***Caloneis ventricosa***

Les frustules sont linéaires, effilés et légèrement subcapités au niveau des pôles. Ils mesurent 69,5 (65-74) µm de long et 15 (14-16) µm de large, avec 14 (12-16) stries en 10 µm qui sont généralement sigmoïdes, celles de la partie médiane sont plus courtes et délimitent une aire centrale plus large (10 µm) (Figure 40 e).

➤ ***Achnanthes subhudsonis***

Les frustules mesurent 14,8 (10,5-21) µm de long et 4,3 (3 à 5,5) µm de large. Ils sont linéaires-elliptiques et plus ou moins arrondis aux extrémités, avec 26 (21-33) stries obliques en 10 µm. On peut parfois observer des valves sans raphé (Figure 40 f, g).

➤ ***Brachysira neoexilis***

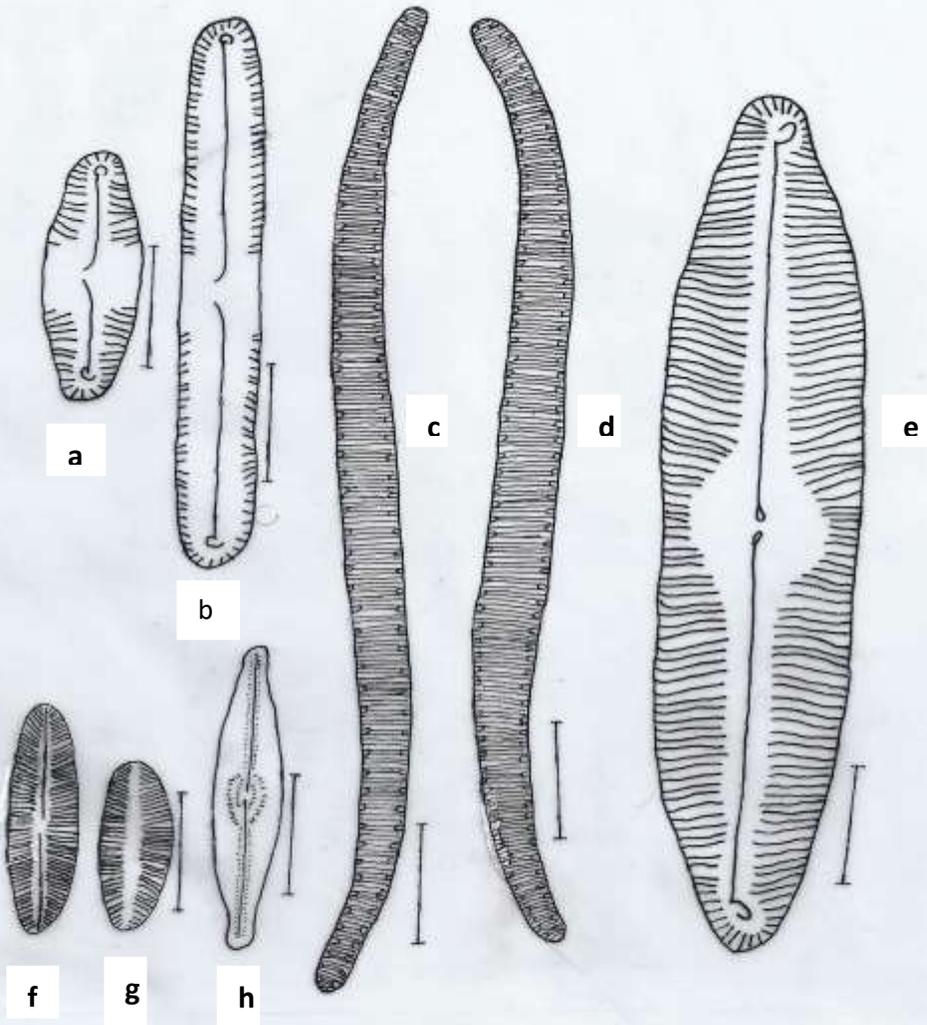
Les frustules sont linéaires-elliptiques, rostrés et plus ou moins capités aux extrémités, mesurant 23 (19-26) µm de long et 5 (4-5,5) µm de large. Les stries sont moins visibles au microscope optique, mais on observe au niveau de la partie médiane des frustules deux rangés arqués de fortes ponctuations de chaque côté du raphé (Figure 40 h).

➤ ***Cyclotella kuetzingiana***

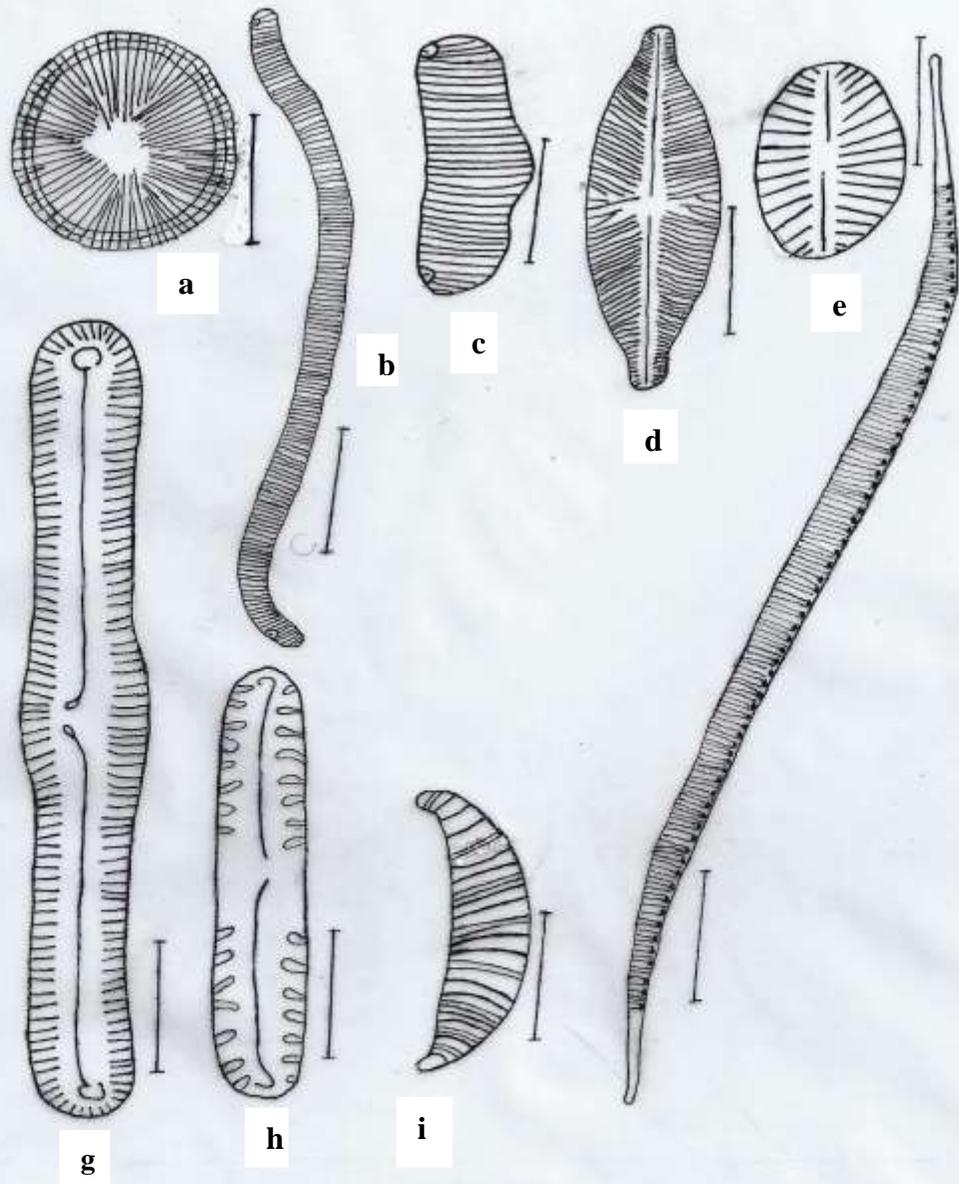
Les frustules sont discoïdes, de 12 (7-17) µm de diamètre, avec 14 (14-15) stries radiales en 10 µm. Les stries ont des tailles différentes (3 et 7,5 µm) et délimitent une aire centrale irrégulière et relativement étroite (2 à 5 µm de diamètre), parfois ponctuée (Figure 41 a).

➤ ***Eunotia steineckii***

Les frustules sont linéaires, arqués dans le tiers supérieur et subcapités aux extrémités. Ils mesurent 51 à 58 µm de long et 2,5 à 3,5 µm de larges, avec 19 à 23 stries en 10 µm (Figure 41b).



**Figure 40:** Dessins de *Pinnularia* sp.1 (a), *Pinnularia* sp.2 (b), *Stenopteroberia* sp. (c, d), *Caloneis ventricosa* (e), *Achnanthes subhudsonis* (f, g) et *Brachysira neoexilis* (h). (barre d'échelle = 10  $\mu$ m). Les lettres c, d, f et g représentent respectivement les morphotypes de *Stenopteroberia* sp et de *Achnanthes subhudsonis*



**Figure 41:** Dessins de *Cyclotella kuetzingiana* (a), *Eunotia steineckii* (b), *Eunotia praerupta* var. *excelsa* (c), *Navicula perlatoides* (d) *Navicula scutiformis* (e), *Nitzschia lorenziana* (f), *Pinnularia acrophaeria* (g), *Pinnularia borealis* (h) et *Ropalodia gibberula* (i). (barre d'échelle = 10  $\mu$ m).

➤ ***Eunotia praerupta* var. *excelsa***

Les frustules sont plus ou moins linéaires, de 21,5 (20,5-22,5) µm de long et 6,5 (6-7) µm de large, avec une seule ondulation du côté dorsal, la partie ventrale étant droite ou légèrement concave. On dénombre 16 (15-17) stries en 10 µm (Figure 41 c).

➤ ***Navicula perlatoïdes***

Les frustules sont elliptiques-lancéolés, étroitement rostrés et capités aux extrémités. Ils mesurent 32,8 (29,5-36) µm de long et 13,3 (10,5-16) µm de large, la largeur de la partie rostrée varie entre 2 et 2,5. On compte 20 (19-21) stries en 10 µm qui sont en général obliques ou perpendiculaires et très serrées vers les pôles, les médianes (5 à 6) étant convergentes et plus espacées (Figure 41 d).

➤ ***Navicula scutiformis***

Les frustules sont elliptiques à linéaires-elliptiques, mesurant 15,7 (15,5-16) µm de long et 11,7 (11,5-12) µm de large, avec 9 (8-10) stries obliques en 10 µm qui sont plus espacées (Figure 41e).

➤ ***Nitzschia lorenziana***

Les frustules sont linéaires à linéaires-lancéolés et sigmoïdes, mesurant 81 (74-88) µm de long et 3,2 (3-3,5) µm de large. On dénombre 18 (17-19) stries et 10 (9-11) points carinaux en 10 µm, ces structures étant absentes aux extrémités des frustules (Figure 41 f).

➤ ***Pinnularia acrosphaeria***

Les frustules sont largement linéaires, plus ou moins renflés au milieu, légèrement capités et arrondies aux pôles. Ils mesurent 60,3 (44-73) µm de long et 10 (9,5-10,5) µm de large. Les stries, 12 (11-13) en 10 µm, sont légèrement obliques ou perpendiculaires au raphé et délimitent une aire axiale large (Figure 41 g).

➤ ***Pinnularia borealis***

Les frustules sont linéaires, rectangulaires et arrondies aux extrémités, mesurant 32 (29,5-34,5) µm de long et 6,7 (6,5-7) µm de large. Les côtes, 5 (4-6) en 10 µm, sont robustes et espacées entre elles. La striation est interrompue au milieu ou dans le tiers supérieur des frustules (Figure 41 h).

➤ ***Ropalodia gibberula***

Le frustule est en forme de croissant, légèrement concave du côté ventral et nettement convexe du côté dorsal et rostré aux pôles. Il mesure 21 µm de long et 6 µm de large. On dénombre 6 côtes en 10 µm, séparées par 4 stries (Figure 41 i).

### III-1-2-2-4-1 Espèces fréquemment dénombrées et abondantes dans les cours d'eau étudiés

#### ➤ *Cymbella gracilis*

Les frustules sont asymétriques par rapport à l'axe longitudinal et effilés aux extrémités. Le côté ventral est droit et le côté dorsal convexe. Ces frustules mesurent 25,1 (22,5-27) µm de long et 4,7 (4-5) µm de large, avec 14 (12-16) stries en 10 µm (Figure 42 a).

#### ➤ *Eunotia incisa*

Les frustules sont linéaires, droites du côté ventral et convexe du côté dorsal, atténués vers les extrémités. Ils mesurent 30,9 (17,5-56,5) µm de long et 4,2 (3-6) µm de large, avec 14 (12-16) stries en 10 µm. La striation est interrompue au niveau du pseudoraphé ventral visible aux pôles des frustules (Figure 42 b).

#### ➤ *Fragilaria pinnata*

Les frustules sont linéaires à elliptiques et arrondis aux extrémités. Ils sont longs de 8,7 (8-9) µm et larges de 4 µm. Les stries, 5 (4-6) en 5 µm, sont très épaisses, obliques et espacées entre elles (Figure 42 c).

#### ➤ *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*

Les frustules sont linéaires à lancéolés, atténués et plus ou moins capités vers les pôles. Ils mesurent 37,4 (25-47) µm de long et 4,6 (4-5) µm de large, avec 12 (11-13) stries en 10 µm qui sont perpendiculaires à l'axe longitudinal. La striation est interrompue au milieu des frustules sur une distance de 4 à 8 µm (Figure 42 d).

#### ➤ *Fragilaria ulna* var. *acus*

Les frustules sont linéaires, atténués et capités aux extrémités. Ils mesurent 205,2 (140-321) µm de long et 4,9 (4-7) µm de large. Le nombre de stries est de 13 (9-16) en 10 µm. Ces stries sont perpendiculaires et délimitent un pseudoraphé longitudinal étroit (Figure 42 e).

#### ➤ *Gomphonema gracile*

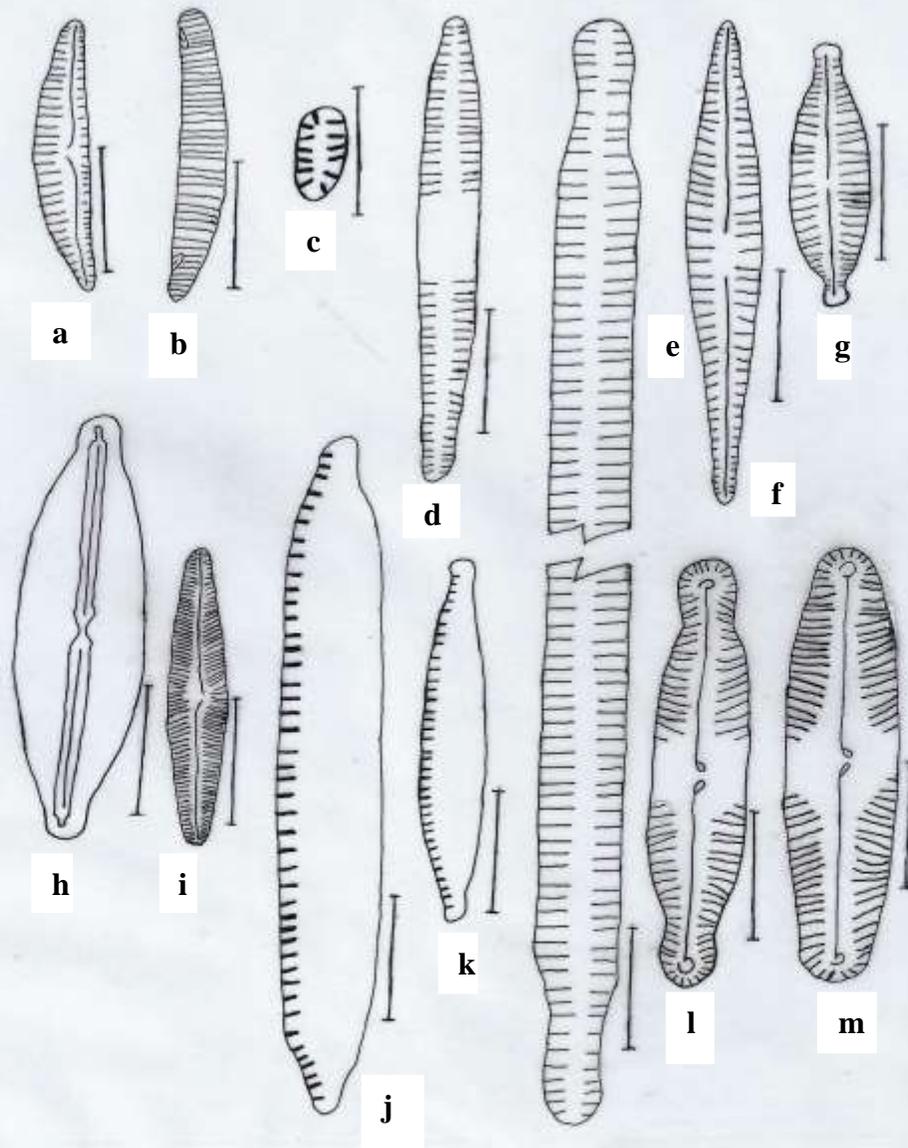
Les frustules sont lancéolés et atténués (ou effilés) depuis le milieu vers les extrémités aigues. Ils mesurent 37,8 (24-54) µm de long et 7,1 (5-11) µm de large, avec 13 (10-17) stries en 10 µm qui sont relativement espacées entre elles (Figure 42 f).

#### ➤ *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*

Les frustules sont lancéolés, nettement rostrés et capités aux pôles. Ils mesurent 21,4 (14-28) µm de long et 6,5 (5-8) µm de large, avec 14 (10-20) stries en 10 µm qui sont relativement espacées entre elles et plus ou moins obliques (Figure 42 g).

#### ➤ *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*

Les frustules sont elliptiques-lancéolés, relativement linéaires, plus ou moins capités et arrondis



**Figure 42:** Dessins de *Cymbella gracilis* (a), *Eunotia incisa* (b), *Fragilaria pinnata*(c), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (d) , *Fragilaria ulna* var. *acus*(e), *Gomphonema gracile* (f), *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* (g), *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* (h), *Navicula héimansioides* (i), *Nitzschia umbonata* (j), *Nitzschia palea* (k), *Pinnularia subcapitata* (l) et *Pinnularia microstauron* (m). (barre d'échelle = 10 µm).

aux pôles. Le raphé est droit et encadré par deux côtes longitudinales échancrées au milieu. Ces frustules mesurent 40,2 (31-61,5)  $\mu\text{m}$  de long et 9,5 (7-14)  $\mu\text{m}$  de large, la striation étant en général invisible au microscope optique (Figure 42 h).

➤ *Navicula heimansioïdes*

Les frustules sont linéaires-lancéolés, légèrement atténués et plus ou moins arrondis aux pôles. L'aire axiale est plus large au niveau de la partie médiane des frustules. Ils sont longs de 23 (17-31,5)  $\mu\text{m}$  et larges de 3,9 (3-5)  $\mu\text{m}$ , avec 24 (16-29) stries radiantes en 10  $\mu\text{m}$  qui sont très serrées entre elles (Figure 42 i).

➤ *Nitzschia umbonata*

Les frustules sont linéaires, atténués et plus ou moins capités aux extrémités, mesurant 57,3 (56-58,5)  $\mu\text{m}$  de long et 8,7 (8-9,5)  $\mu\text{m}$  de large, avec 9 (8-10) points carinaux très développés en 10  $\mu\text{m}$ . La striation est invisible au microscope optique (Figure 42 j).

➤ *Nitzschia palea*

Les frustules sont linéaires-lancéolés et plus ou moins subcapités aux extrémités. Ils mesurent 26 (19-38)  $\mu\text{m}$  de long et 4,4 (3-6)  $\mu\text{m}$  de large, avec 13 (12-20) points carinaux en 10  $\mu\text{m}$  (Figure 43 k).

➤ *Pinnularia subcapitata*

Les frustules sont linéaires, de 33 (27-36)  $\mu\text{m}$  de long et 6,8 (5-7,5)  $\mu\text{m}$  de large, nettement rostrés et capités aux pôles. Ils comportent 13 (12-16) stries obliques en 10  $\mu\text{m}$ , la striation étant interrompue dans la partie médiane des frustules (Figure 42 l).

➤ *Pinnularia microstauron*

Les frustules sont linéaires-elliptiques, légèrement rostrées et arrondis aux extrémités. Ils mesurent 38 (26-45)  $\mu\text{m}$  de long et 9,6 (8,5-10)  $\mu\text{m}$  de large, avec 11 (10-16) stries obliques en 10  $\mu\text{m}$ . Les aires axiale et centrale sont bien développées et la striation est interrompue au milieu des frustules (Figure 42 m).

### III-1-3 Evolution spatio-temporelle des diatomées des cours d'eau étudiés

Est présentée ici, l'évolution spatio-temporelle de l'abondance relative des principaux taxons de diatomées dominants (ayant 5 % d'abondance relative dans au moins un prélèvement) et fréquemment dénombrés dans le réseau hydrographique de la Mefou au cours de l'étude.

#### III-1-3-1 Variations spatio-temporelles des taxons abondants régulièrement présents dans le Nga et la Mefou

La Figure 43 présente la variation spatiale et mensuelle de l'abondance relative de *Navicula*

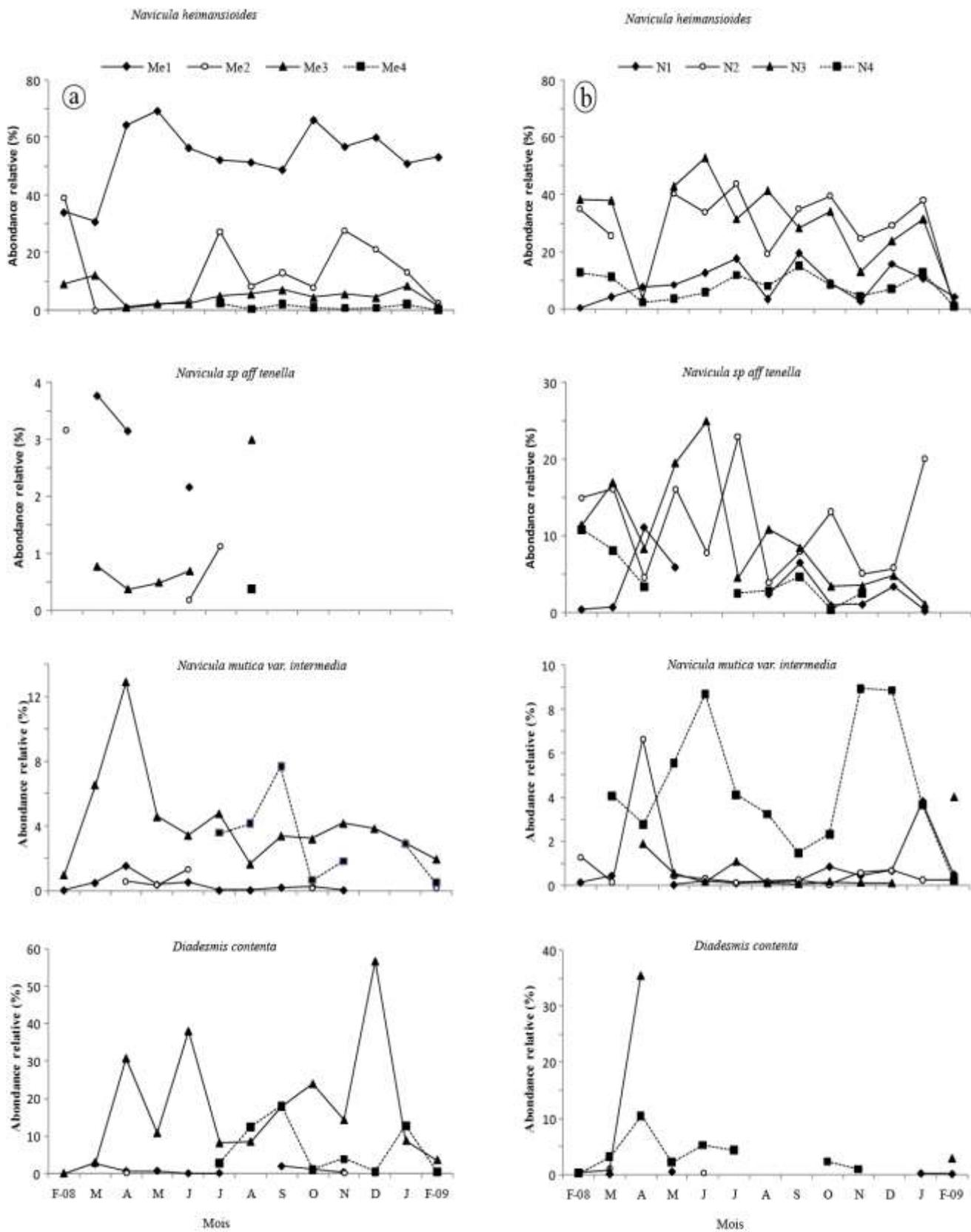
*heimansioïdes*, *Navicula* sp. aff *tenella*, *Navicula mutica* var. *intermedia* et *Diadesmis contenta* dans la Mefou et le Nga. *Navicula heimansioïdes* est régulièrement présente durant la période d'étude à toutes les stations de ces deux biotopes. Sa croissance est particulièrement importante dans la partie supérieure de la Mefou (station Me<sub>1</sub>), et le secteur moyen du Nga (stations N<sub>2</sub> et N<sub>3</sub>), surtout pendant la petite et la grande saison de pluies (avril, mai, juin, octobre), avec des abondances relatives fluctuant respectivement entre 64,41 et 69,29 % (Mefou), et entre 43,04 et 52,78 % (Nga) (Figure 43).

*Navicula* sp.aff *tenella* est peu fréquente dans la Mefou et présente des apparitions sporadiques allant de février à août, avec les abondances relatives atteignant à peine 3 %. Dans le Nga, cette diatomée affiche le même profil de variation que celui de *Navicula heimansioïdes* et se développe de préférence pendant les mois de mai, juin et juillet aux stations N<sub>2</sub> et N<sub>3</sub> (Figure 43).

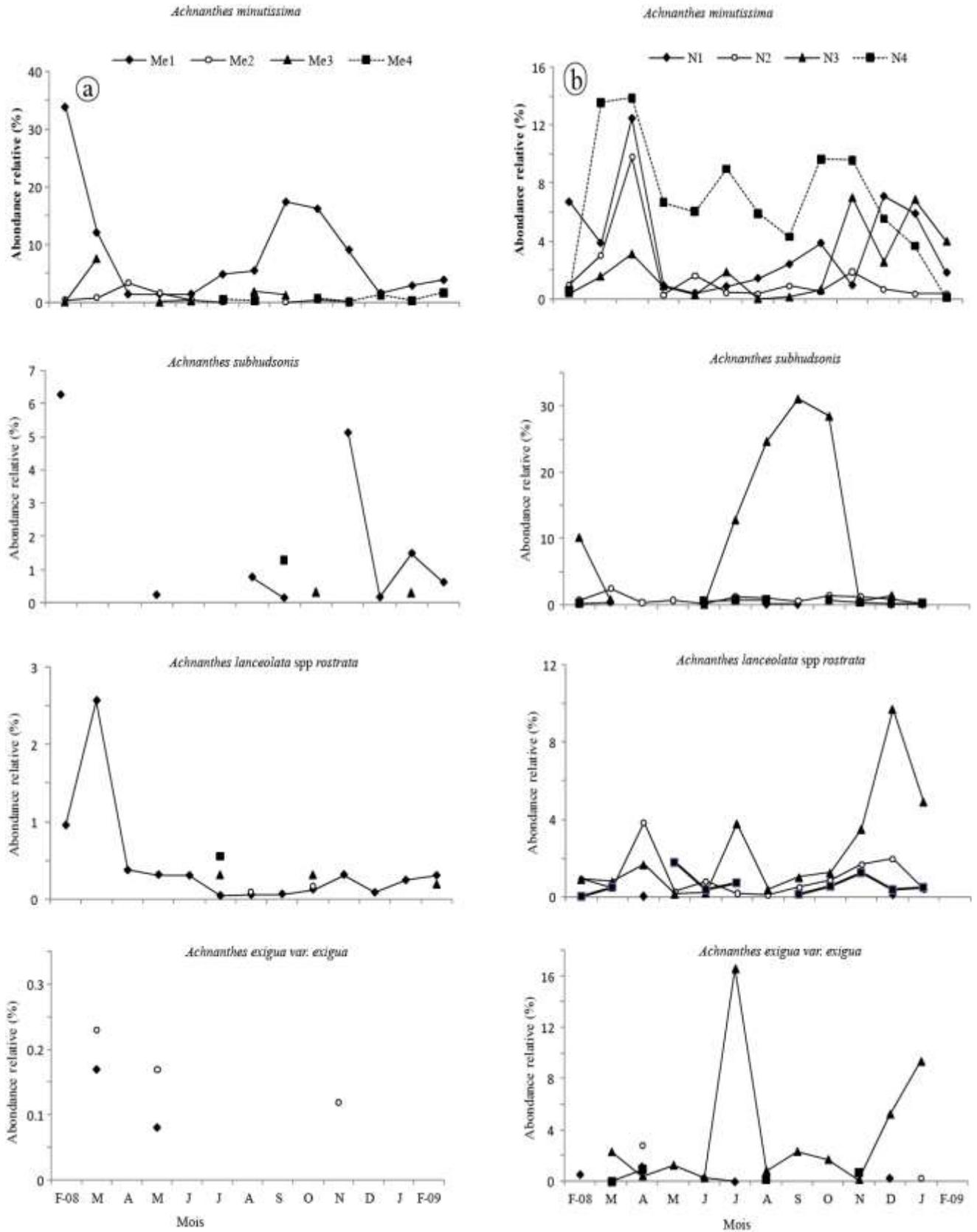
*Navicula mutica* var. *intermedia* paraît mieux s'accommoder à l'environnement des mois d'avril et d'octobre dans les stations Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub> de la Mefou où son développement est plus propice. Cette espèce se multiplie préférentiellement dans les cours moyen et inférieur du Nga (stations N<sub>2</sub> et N<sub>4</sub>) où elle présente des abondances relatives les plus élevées (6,67 à 9 %) pendant la petite saison de pluies (avril, juin) et le début de la grande saison sèche (novembre, décembre) (Figure 43).

Dans la Mefou, *Diadesmis contenta* prolifère davantage à la station Me<sub>3</sub> et montre trois phases de développement importantes qui se situent respectivement en avril, en juin et en décembre avec des fortes abondances relatives oscillant entre 30,9 et 56,9 %. Dans le Nga, la poussée maximale (35,49 % d'abondance relative) de cette espèce s'est opérée en avril dans la partie moyenne (station N<sub>3</sub>). Elle a été absente de l'épilithon en août, en septembre et en décembre (Figure 43).

La variation spatiale et mensuelle de l'abondance relative d'*Achnanthes minutissima*, *Achnanthes subhudsonis*, *Achnanthes lanceolata* spp *rostrata* et d'*Achnanthes exigua* var. *exigua* est présentée sur la figure 44. *Achnanthes minutissima* se développe mieux dans le cours supérieur de la Mefou, notamment à la station Me<sub>1</sub>, avec deux phases de croissance importantes, en février 2008 (34 %) et de septembre à octobre (Figure 44). Dans le Nga, cette espèce présente des abondances relatives plus élevées dans l'ensemble des stations en avril, mais son développement se trouve plus prononcé dans le tronçon inférieur (station N<sub>4</sub>). *Achnanthes subhudsonis* semble inféodée aux conditions environnementales de la station Me<sub>1</sub> de la Mefou où elle présente deux périodes de multiplication relativement importantes. La première a lieu en février 2008, avec une abondance relative de 6,3 % et la deuxième est limitée au mois de novembre (Figure 44).



**Figure 43:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula heimansioides*, *Navicula sp aff tenella*, *Navicula mutica var. intermedia* et *Diadesmis contenta* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).



**Figure 44:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Achnanthes minutissima*, *Achnanthes subhudsonis*, *Achnanthes lanceolata* spp rostrata et *Achnanthes exigua* var. *exigua* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).

Cette diatomée se développe plutôt dans le cours moyen du Nga (station N<sub>3</sub>) et montre une seule phase de croissance exponentielle allant de juillet à octobre, l'abondance relative la plus élevée étant de 31,11 %. Les autres stations affichent des proportions inférieures à 2 % (Figure 44).

Dans la Mefou, *Achnanthes lanceolata* spp *rostrata* est peu abondante et se multiplie néanmoins à la station Me<sub>1</sub> en mars. Elle prolifère mieux dans la partie moyenne du Nga (station N<sub>3</sub>) où une abondance relative maximale de 10 % a été enregistrée en décembre (Figure 44). La présence d'*Achnanthes exigua* var. *exigua* est discrète dans la Mefou. Son développement est relativement important dans le secteur moyen du Nga en juillet et en janvier, aboutissant à une proportion de 16,6% (Figure 44).

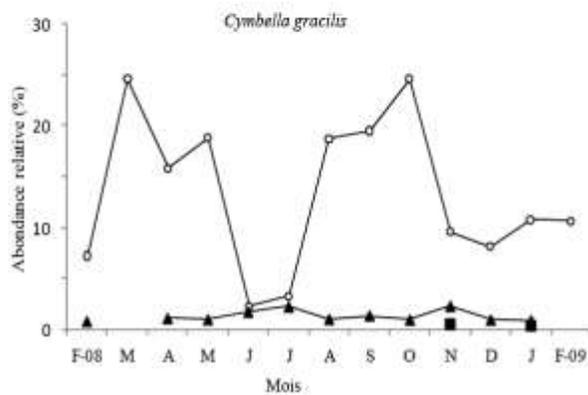
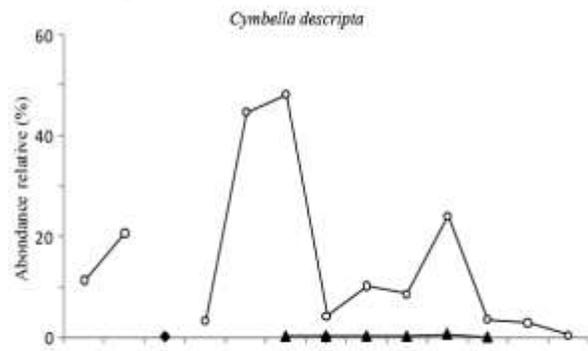
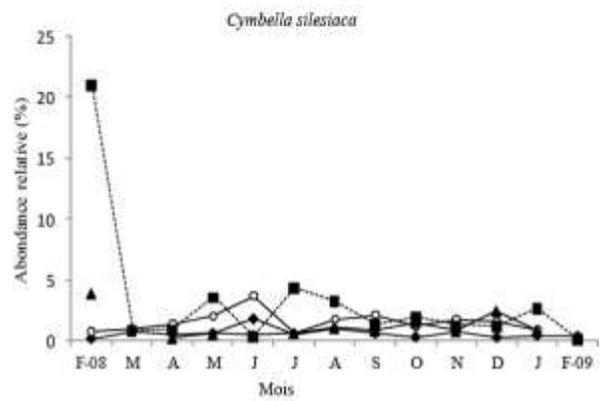
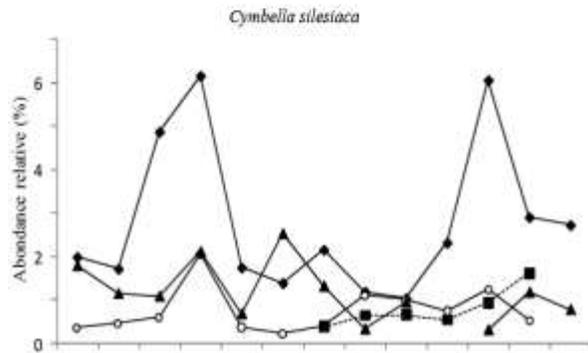
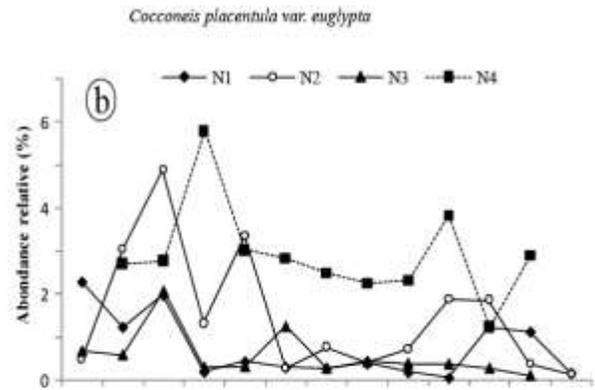
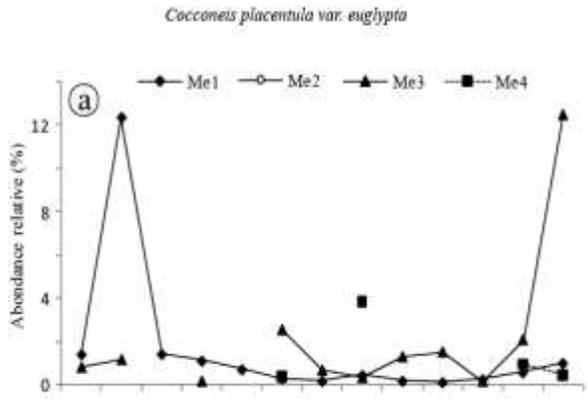
*Cocconeis placentula* var. *euglypta* est présente dans l'épilithon de la Mefou et du Nga pendant toute la période d'étude. Elle se développe préférentiellement à la station Me<sub>3</sub> de la Mefou, les tronçons moyen et inférieur du Nga (stations N<sub>2</sub> et N<sub>4</sub>). Cette espèce atteint des proportions maximales (12,5 et 6 %) en mars et en février dans la Mefou, en avril et en mai dans le Nga (Figure 45).

Les conditions mésologiques d'avril, mai et décembre sont favorables à la prolifération de *Cymbella silesiaca* surtout à la station Me<sub>1</sub> de la Mefou. Dans le Nga, la poussée de cette espèce est observée en février 2008 dans le cours inférieur (station N<sub>4</sub>), le reste des stations enregistre des proportions atteignant à peine 4 % (Figure 45).

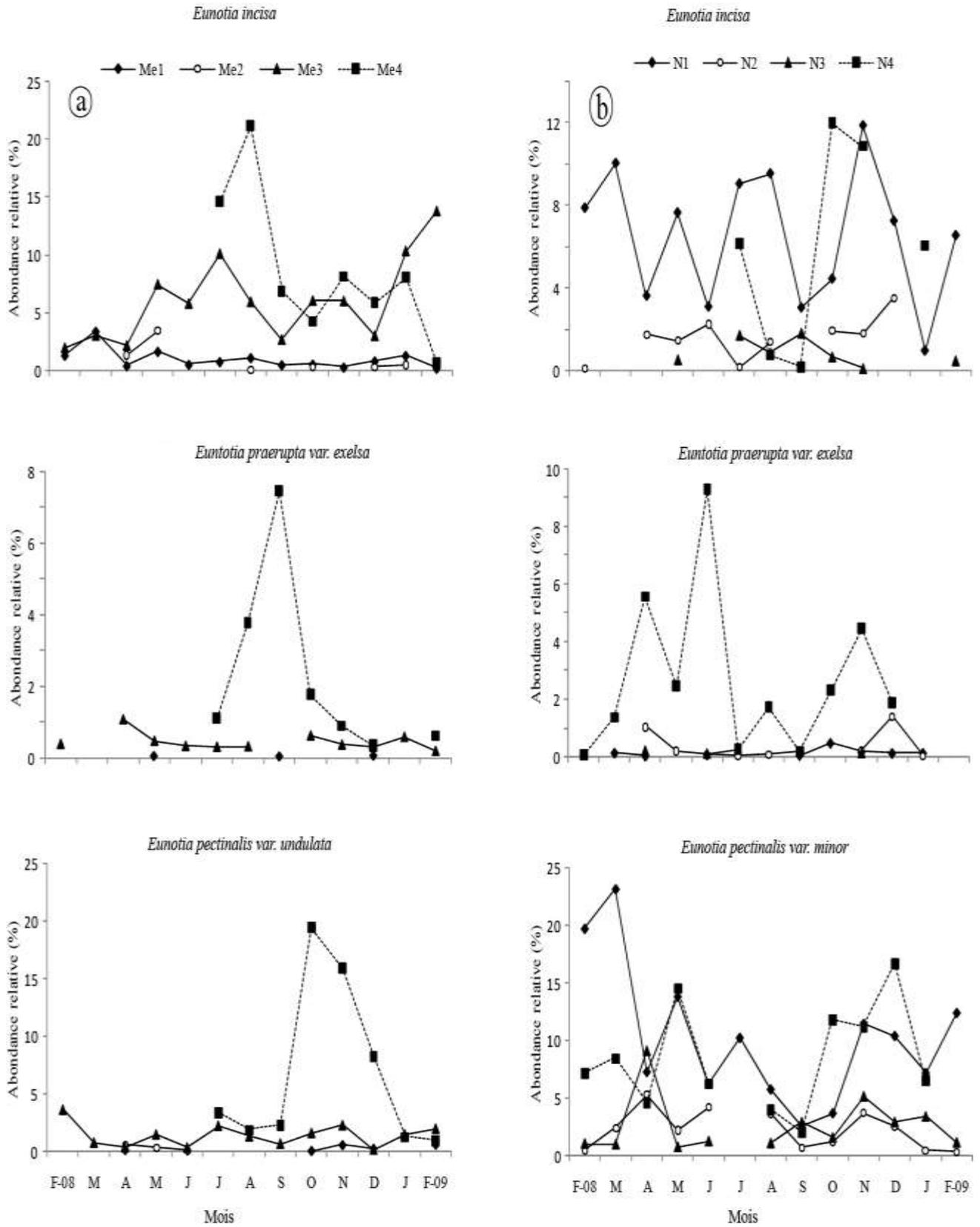
*Cymbella descripta* et *Cymbella gracilis* sont totalement absents de l'épilithon du Nga, mais se multiplient davantage à la station Me<sub>2</sub> de la Mefou localisée après le barrage. Ces espèces présentent chacune deux phases de croissance. *Cymbella descripta* montre un développement optimal de juin à juillet et en novembre, tandis que *Cymbella gracilis* affiche des fortes proportions (18,7 à 25,6 %) de mars à mai, et d'août à octobre (Figure 45).

Dans la Mefou, *Eunotia incisa* se développe mieux dans les deux dernières stations (Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub>), avec des proportions relativement élevées notées en avril (21,21 %) et en février 2009 (13,9 %) (Figure 46). Cette espèce semble s'adapter aux conditions environnementales qui prévalent dans les cours supérieur (station N<sub>1</sub>) et inférieur (station N<sub>4</sub>) du Nga où elle montre trois phases de croissance se situant en mars, en juillet-août, et en octobre-novembre (Figure 46).

*Eunotia praerupta* var. *exelsa* est faiblement représentée dans la Mefou et le Nga, mais présente des abondances relativement importantes (5,5 à 9,3 %) uniquement dans la partie inférieure de ces hydrosystèmes pendant la petite et la grande saison de pluies, notamment en avril, en juin et en septembre (Figure 46). *Eunotia pectinalis* var. *undulata*, absente de l'épilithon du Nga,



**Figure 45:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cymbella silesiaca*, *Cymbella descripta* et *Cymbella gracilis* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).



**Figure 46:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Euntia incisa*, *Euntia praerupta* var. *exelsa*, *Euntia pectinalis* var. *undulata* et *Euntia pectinalis* var. *minor* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).

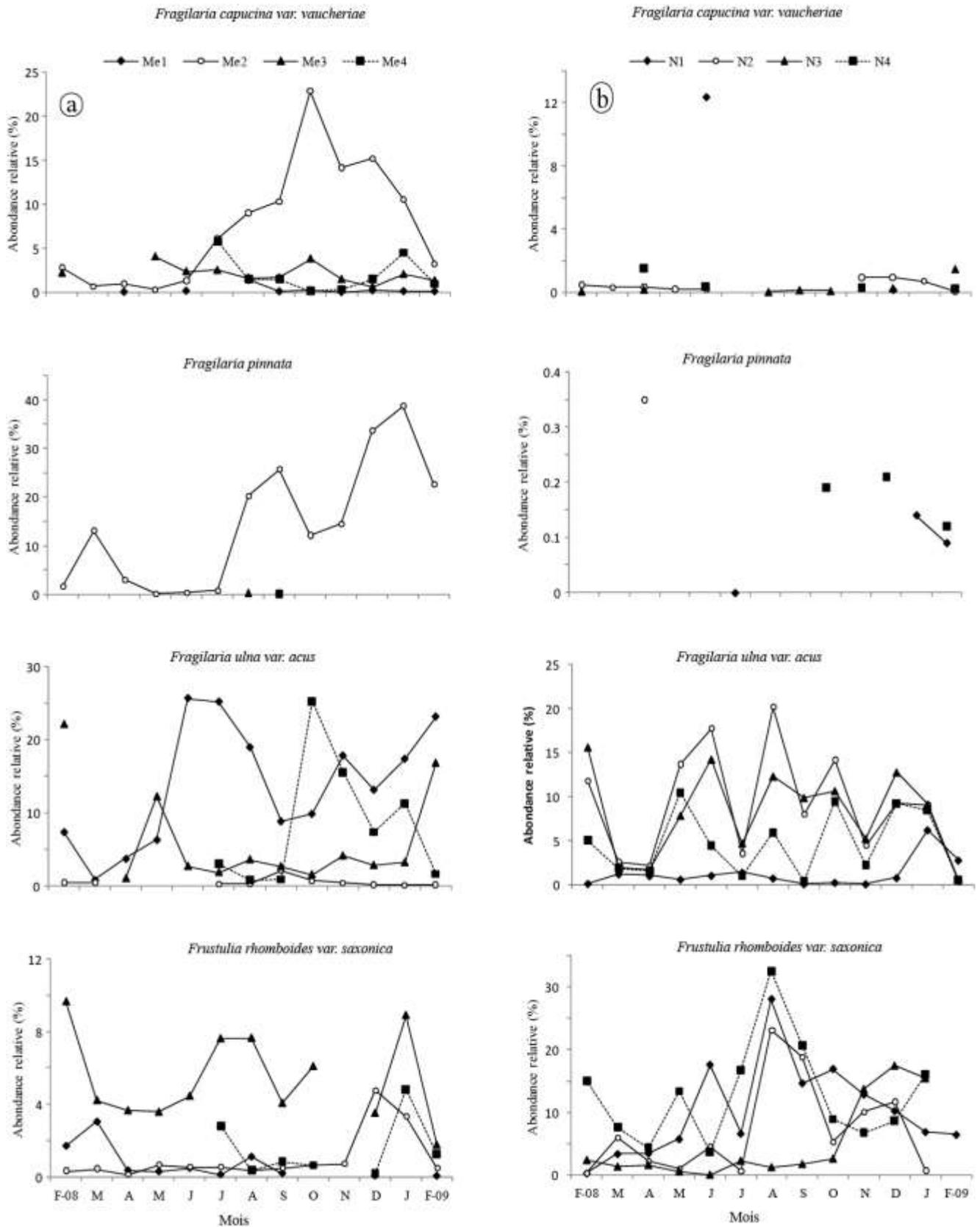
est récoltée pendant toute la période d'étude dans la Mefou et prolifère de préférence à la station Me<sub>4</sub> où elle atteint une proportion maximale de 19,48 % en octobre (Figure 46). Bien qu'absente dans la Mefou, *Eunotia pectinalis* var. *minor* affiche des pics d'abondance relative dans les secteurs supérieur et inférieur du Nga en mars (23,18 %), en mai (14,5 %) et en décembre (16,7 %) (Figure 46).

Les espèces *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* et *Fragilaria pinnata* sont confinées à la station Me<sub>2</sub> de la Mefou. La première se développe massivement en octobre (22,91 % d'abondance relative), et la deuxième présente deux phases de croissance qui se situent en août-septembre, et en décembre-janvier, avec des proportions atteignant 38,8 % (Figure 47). Hormis l'apparition sporadique de *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* dans le tronçon supérieur du Nga (station N<sub>1</sub>) en juillet, ces deux espèces sont restées très discrètes dans ce cours d'eau pendant l'étude (Figure 47).

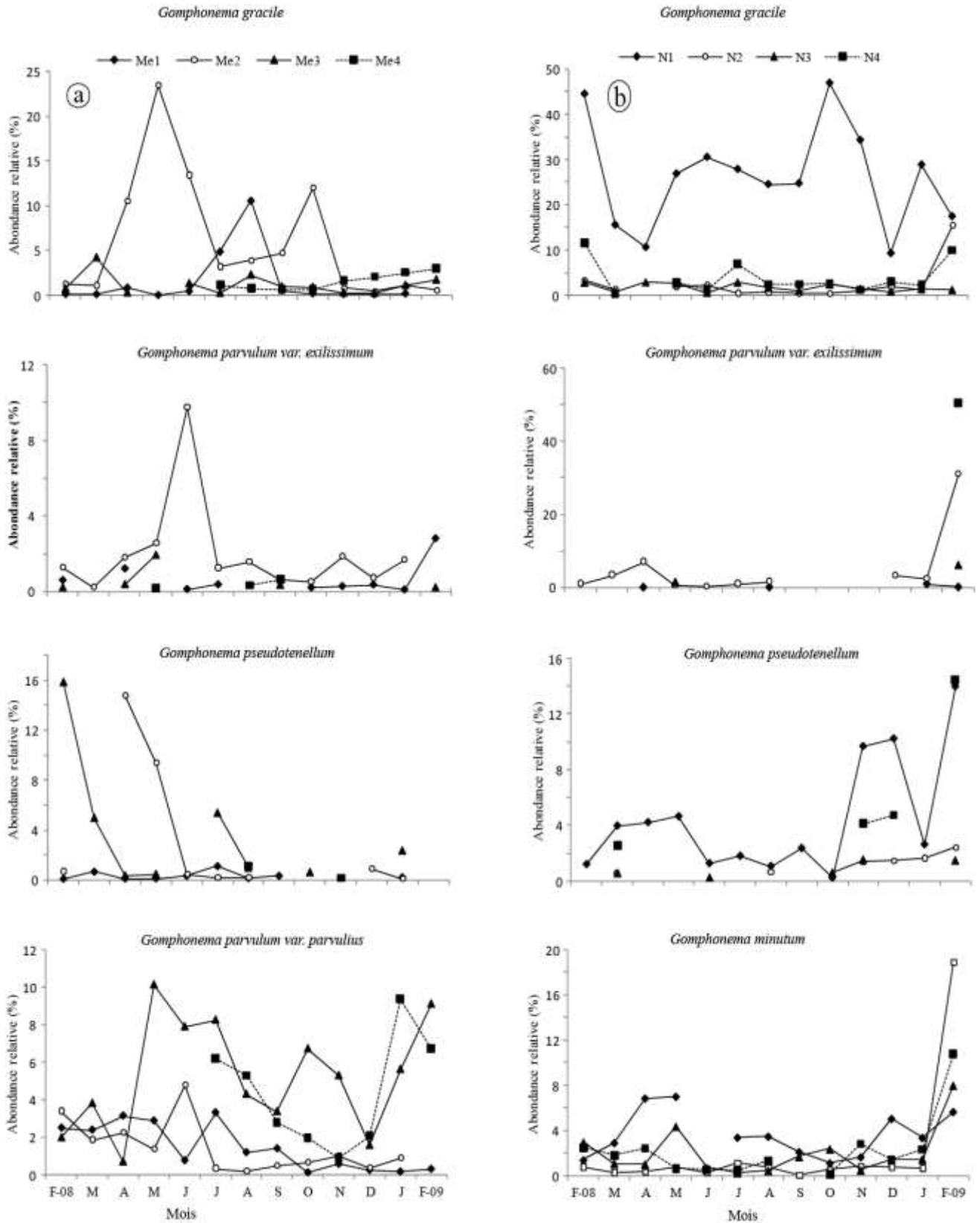
*Fragilaria ulna* var. *acus* est très fréquente dans la Mefou et le Nga pendant l'investigation. Elle se multiplie abondamment aux stations Me<sub>1</sub> et Me<sub>4</sub> de la Mefou de juin à août, en octobre et février 2009, avec des abondances relatives maximales de 25,4 % (Figure 47). Cette espèce se développe de façon optimale dans les cours moyen et inférieur du Nga, surtout en février 2008, de mai à juin, en août et en octobre, sa proportion pouvant atteindre 20,2 % (Figure 47).

*Frustulia rhomboides* var. *saxonica* est faiblement représentée dans l'épilithon de la Mefou, mais elle montre des phases de croissance relativement importantes (abondance relative fluctuant de 7,6 à 9,7 %) à la station Me<sub>3</sub> pendant la petite et la grande saison sèche, notamment en février 2008, en juillet-août et en janvier 2009 (Figure 47). Dans le Nga, elle domine le peuplement diatomique au mois d'août où les plus fortes proportions (28,1 %, 23,2 % et 32,6 %) ont respectivement été relevées aux stations N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> et N<sub>4</sub> (Figure 48).

*Gomphonema gracile* et *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* se développent mieux à la station Me<sub>2</sub> de la Mefou, surtout pendant la petite saison de pluies (mai et juin) où elles affichent des abondances relatives atteignant 23,5 % (Figure 48). Dans le Nga, *Gomphonema gracile* se multiplie intensément dans le cours supérieur (station N<sub>1</sub>), tandis que *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, peu fréquente au sein de l'épilithon, montre une seule phase de croissance en février 2009, limitée aux stations N<sub>2</sub> et N<sub>4</sub> (Figure 48). *Gomphonema pseudotenellum* présente des apparitions épisodiques dans la Mefou et prolifère préférentiellement dans les stations Me<sub>2</sub> et Me<sub>3</sub> en février 2008 et en avril, avec des abondances relatives oscillant entre 14,8 et 16 % (Figure 48). Cette espèce semble bien s'accommoder aux conditions environnementales du tronçon supérieur du Nga au cours de la grande saison sèche (novembre, décembre et février 2009) (Figure 48). Bien que



**Figure 47:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Fragilaria pinnata*, *Fragilaria ulna* var. *acus* et de *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).



**Figure 48:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *Gomphonema pseudotenellum*, *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* et de *Gomphonema minutum* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).

présente de manière discrète dans le Nga, *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* est relativement abondante aux stations Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub> de la Mefou où les proportions maximales (9,1 à 10,2 %) ont été enregistrées de mai à août et de janvier à février 2009 (Figure 48). *Gomphonema minutum* a été régulièrement présente dans l'épilithon du Nga et se développe mieux en février 2009 dans les cours moyen et inférieur, avec des abondances relatives atteignant 18,9 % (Figure 48).

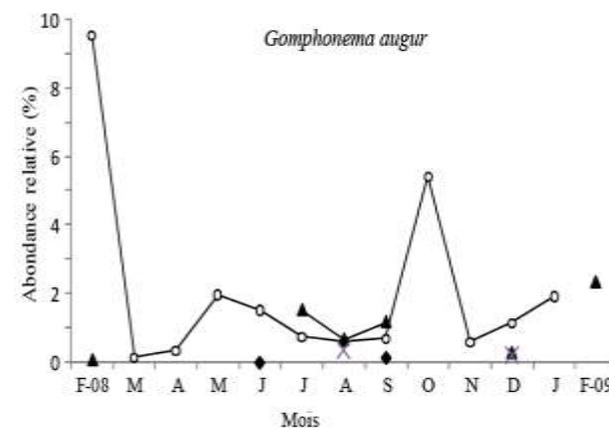
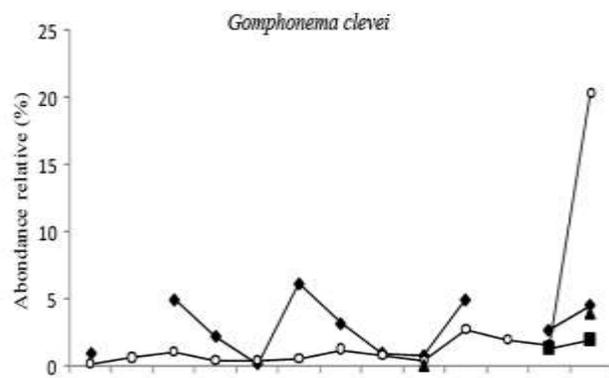
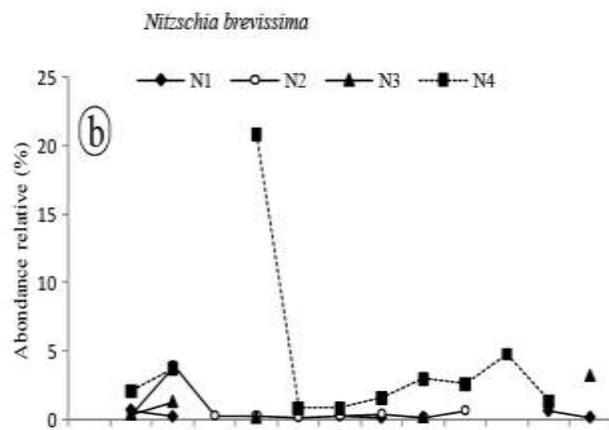
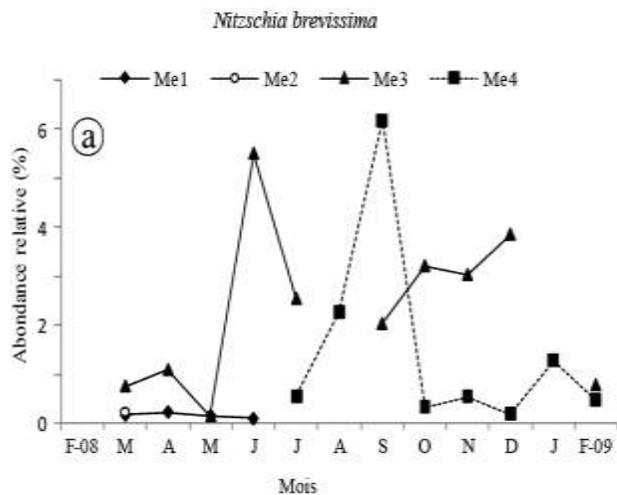
*Nitzschia brevissima* est la seule Nitzschiaceae relativement abondante et bien représentée dans la Mefou et le Nga. Elle prolifère mieux en juin et en septembre aux stations Me<sub>3</sub> et Me<sub>4</sub> de la Mefou, et en juin à la station N<sub>4</sub> du Nga où les proportions peuvent atteindre 20,85 % (Figure 49). *Gomphonema clevei* et *Gomphonema augur* semblent bien s'adapter à l'environnement du cours moyen du Nga (station N<sub>2</sub>) et présentent deux phases de croissance. La première a lieu en février et la deuxième en octobre, avec les abondances relatives variant de 9,52 à 20,41 % (Figure 49).

### **III-1-3-2 Variations spatio-temporelles des taxons abondants régulièrement présents dans le Mfoundi**

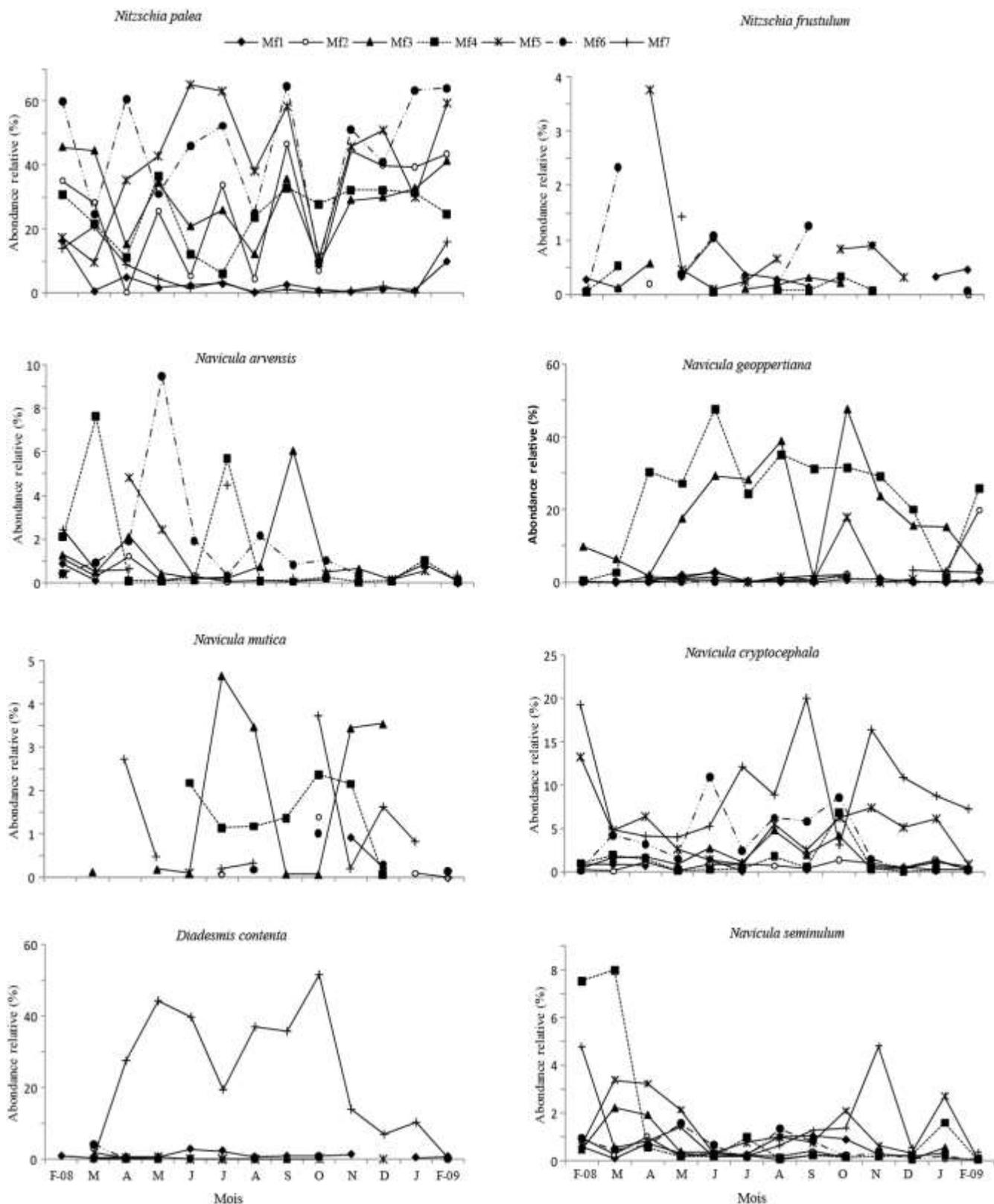
La figure 50 présente la variation spatiale et mensuelle de l'abondance relative de *Nitzschia palea*, *Nitzschia frustulum*, *Navicula arvensis*, *Navicula geoppertiana*, *Navicula mutica*, *Navicula cryptocephala*, *Diademsis contenta* et *Navicula seminulum* dans le Mfoundi. Pendant la période d'étude, *Nitzschia palea* domine le peuplement diatomique du Mfoundi en toute saison et se multiplie intensément aux stations Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>6</sub>, surtout durant les mois pluvieux (juin, septembre), les proportions atteignent parfois 65,5 % à la station Mf<sub>5</sub> en juin (Figure 50). *Nitzschia frustulum* est moins abondante dans le Mfoundi, mais présente un développement relativement important dans ses cours moyen et inférieur (stations Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub>), au cours des mois de février 2008 et d'avril (Figure 51).

L'environnement des stations Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>4</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub> est propice au développement de *Navicula arvensis*. Cette espèce montre quatre phases de croissance qui se situent en mars, en mai, en juillet et en septembre avec des proportions atteignant 9,5 % à la station Mf<sub>6</sub> en mai (Figure 51). *Navicula geoppertiana* est bien représentée dans l'épilithon du Mfoundi pendant l'étude. Elle prolifère de préférence dans le tronçon moyen de l'hydrosystème (stations Mf<sub>3</sub> et Mf<sub>4</sub>) où les abondances élevées ont été obtenues pendant les mois pluvieux (avril, juin et octobre) (Figure 50).

Tout comme *Navicula geoppertiana*, les stations Mf<sub>3</sub> et Mf<sub>4</sub> sont favorables à la multiplication de *Navicula mutica* où les proportions relativement importantes ont été notées en juillet et août (Figure 50). Les diatomées *Navicula cryptocephala* et *Diademsis contenta* sont particulièrement adaptées aux conditions mésologiques de la station Mf<sub>7</sub> où elles prolifèrent massivement. La première espèce montre des pics de croissance en février 2008, en



**Figure 49:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Nitzschia brevissima*, *Gomphonema clevei* et de *Gomphonema augur* le long de la Mefou (a) et du Nga (b).



**Figure 50:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative *Nitzschia palea*, *Nitzschia frustulum*, *Navicula arvensis*, *Navicula geoppertiana*, *Navicula mutica*, *Navicula cryptocephala*, *Diadesmis contenta* et *Navicula seminulum* le long du Mfoundi de février 2008 à février 2009.

septembre et en novembre, alors que la poussée maximale (44,4 à 62,3 %) de la deuxième s'est opérée pendant la petite et la grande saison de pluies, notamment en mai, en juin et en octobre (Figure 50). *Navicula seminulum* a été récoltée dans l'ensemble des stations pendant l'étude et se développe mieux à la station Mf<sub>4</sub> où l'abondance relative la plus élevée (8 %) a été enregistrée en mars (Figure 50).

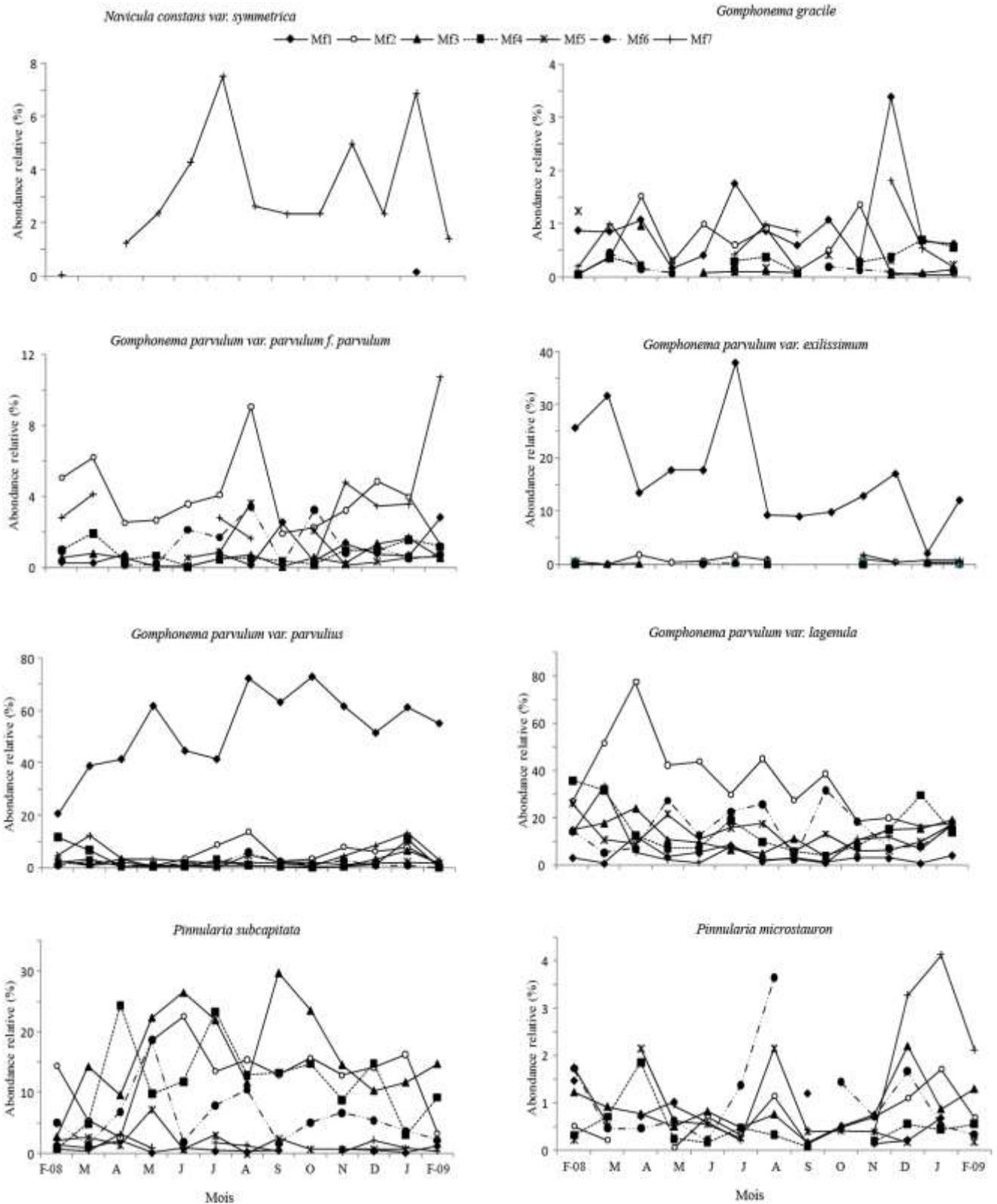
Totalement absente de l'épilithon des tronçons supérieur et moyen du Mfoundi, *Navicula constans* var. *symmetrica* a été collectée essentiellement à la station Mf<sub>7</sub> où elle a présenté des proportions maximales (6,9 à 7,5 %) en juillet et en janvier (Figure 51).

*Gomphonema gracile* se développe mieux à la station Mf<sub>1</sub> du Mfoundi, surtout au mois de décembre. *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *parvulum* se multiplie de préférence dans les cours moyen (station Mf<sub>2</sub>) et inférieur (station Mf<sub>7</sub>) de l'hydrosystème, avec des pics de croissance observés en août (9,1 %) et en février 2009 (10,8 %) (Figure 51).

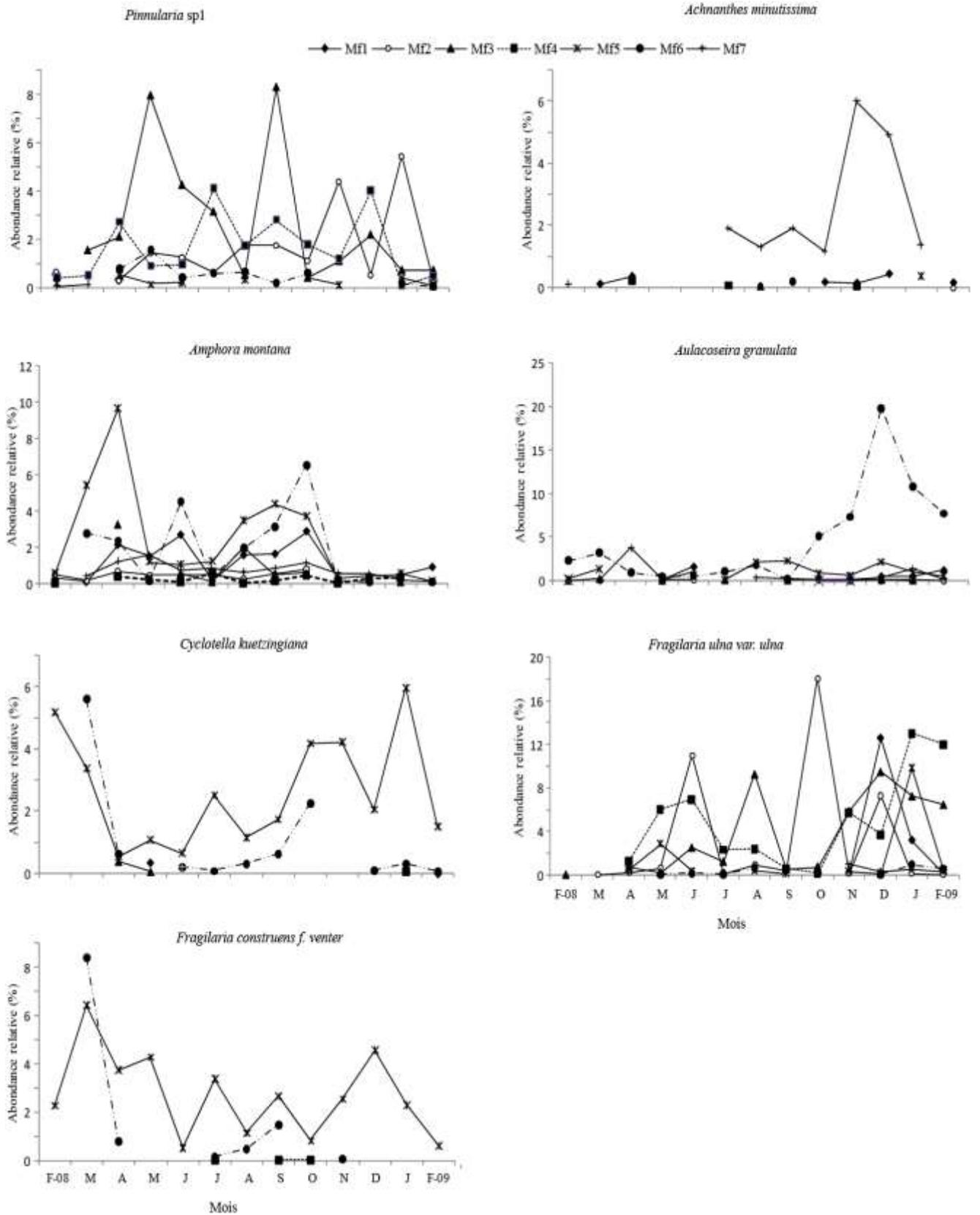
*Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* et *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* semblent bien s'accommoder aux conditions environnementales qui prévalent dans le secteur supérieur du Mfoundi (station Mf<sub>1</sub>) où elles maintiennent de fortes proportions pendant l'étude, atteignant par exemple 38,1 % en juillet pour la première espèce et 72,4 % en août pour la deuxième (Figure 51). Leur multiplication se trouve fortement inhibée dans les parties moyenne et inférieure du cours d'eau où elles sont minoritaires (Figure 51).

*Gomphonema parvulum* var. *lagenula* est très fréquente dans le Mfoundi pendant la période d'étude et se développe essentiellement dans la gamme des stations Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>6</sub>, surtout en avril, en mai, en août et en octobre (Figure 51). Ses abondances relatives peuvent atteindre 77,5 % du peuplement diatomique à la station Mf<sub>2</sub> au mois d'avril. Tout comme *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Pinnularia subcapitata* présente également des proportions élevées (24,5 à 29,7 %) dans les stations Mf<sub>2</sub> et Mf<sub>6</sub> du Mfoundi pendant la petite et la grande saison de pluies, notamment en avril, en mai, en juin et en septembre (Figure 51). Bien qu'une espèce compagne au sein de l'épilithon du Mfoundi, *Pinnularia microstauron* présente une croissance relativement importante dans le tronçon inférieur du Mfoundi (stations Mf<sub>6</sub> à Mf<sub>7</sub>) au cours des mois d'août et de janvier (Figure 51).

La variation spatiale et mensuelle de l'abondance relative de *Pinnularia* sp1, *Achnanthes minutissima*, *Amphora montana*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Fragilaria ulna* var. *ulna* et *Fragilaria construens* f. *venter* est présentée sur la figure 52. Absente de l'épilithon de la partie supérieure du Mfoundi, *Pinnularia* sp.1 a été fréquemment dénombrée dans les secteurs



**Figure 51:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula constans* var. *symmetrica*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum* var. *parvulum f. parvulum*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Pinnularia subcapitata* et de *Pinnularia microstauron* le long du Mfoundi de février 2008 à février 2009.



**Figure 52:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia* sp1, *Achnanthes minutissima*, *Amphora montana*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Fragilaria ulna* var. *ulna* et *Fragilaria construens* f. *venter* le long du Mfoundi de février 2008 à février 2009.

moyen et inférieur de ce cours d'eau. Son développement optimum a été noté en mars et en septembre avec des proportions gravitant autour de 8,3 % (Figure 52). Les conditions environnementales de la station Mf<sub>7</sub> du Mfoundi sont particulièrement favorables à la multiplication d'*Achnanthes minutissima*, surtout au mois de novembre pendant lequel sa plus forte proportion a été enregistrée (Figure 52). Cette espèce est restée discrète dans les autres stations pendant l'étude. *Amphora montana* a été récoltée dans l'ensemble des stations pendant l'investigation, mais elle se développe mieux dans la partie moyenne et inférieure de l'hydrosystème (stations Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub>). Sa poussée maximale s'est effectuée en avril à la station Mf<sub>5</sub> où elle a atteint une abondance relative de 9,7 % (Figure 52).

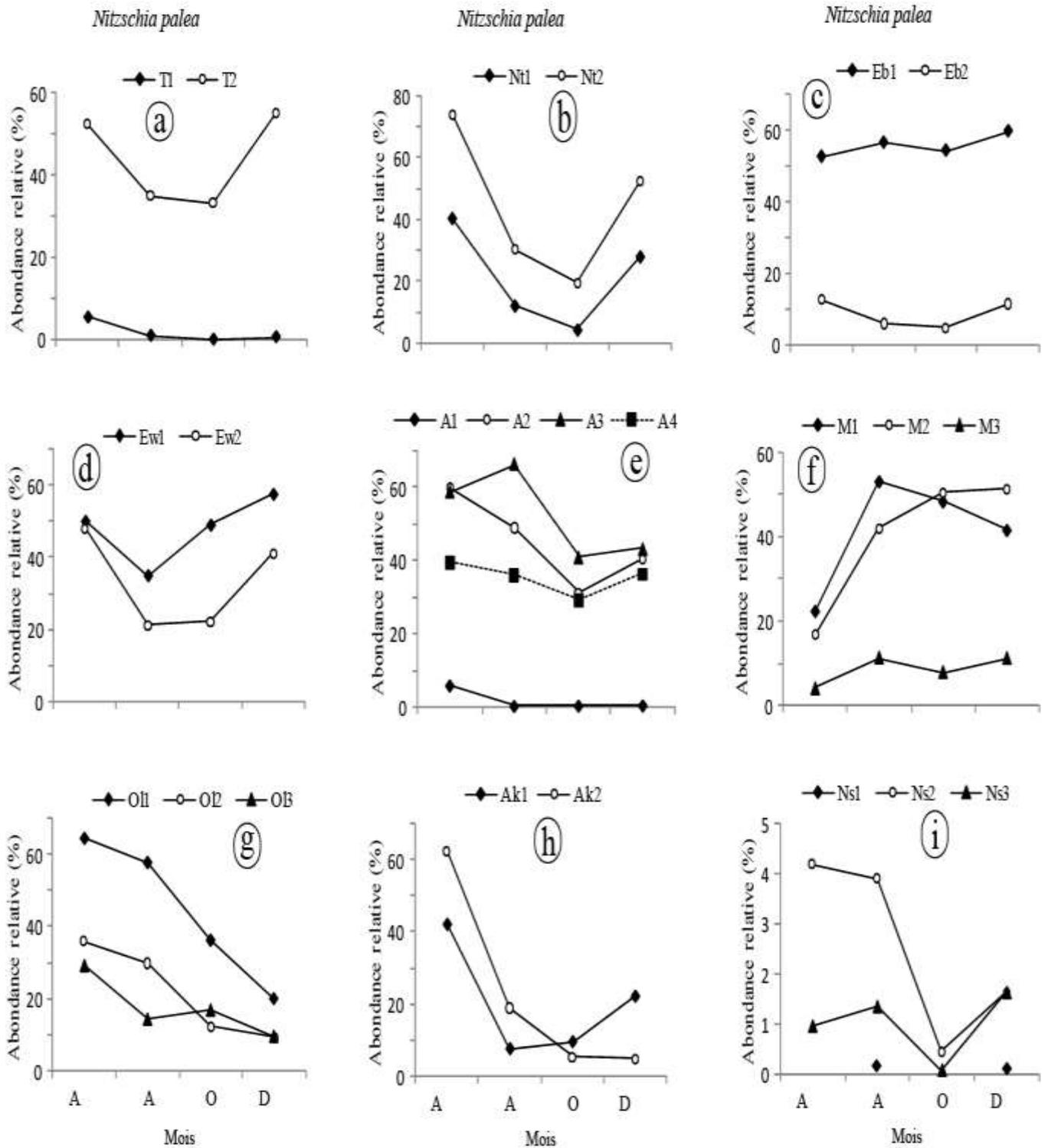
Les diatomées planctoniques (*Aulacoseira granulata* et *Cyclotella kuetzingiana*) sont confinées aux stations Mf<sub>4</sub> et Mf<sub>6</sub> du Mfoundi. La première prolifère abondamment en mars et en décembre (19,9 % à la station Mf<sub>6</sub>), tandis que la deuxième présente deux phases de croissance qui se situent respectivement en février 2008 et en janvier 2009 à la station Mf<sub>4</sub>, avec des proportions atteignant 6 % (Figure 52).

*Fragilaria ulna* var. *ulna* a été collectée pendant toute la période d'étude et se multiplie de préférence dans les stations Mf<sub>2</sub>, Mf<sub>3</sub> et Mf<sub>4</sub> au cours de la saison de pluies (juin et octobre) et la grande saison sèche (décembre et janvier), avec des proportions atteignant 18,1% à la station Mf<sub>3</sub> en octobre (Figure 52). *Fragilaria construens* f. *venter* présente un développement localisé et limité aux stations Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub>. Sa croissance optimale s'est opérée en mars, avec des abondances relatives oscillant entre 6,4 et 8,4 % (Figure 52).

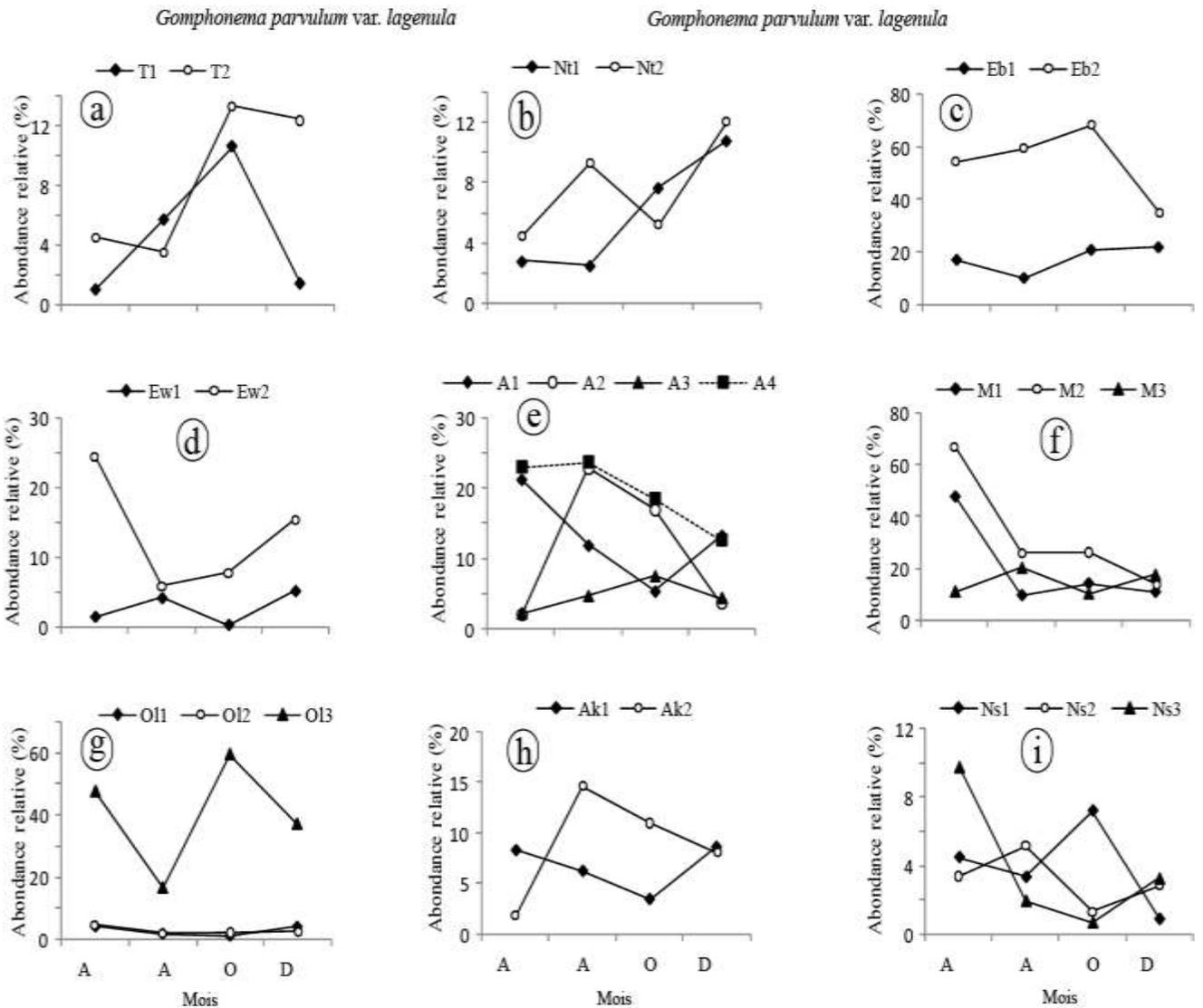
### **III-1-3-3 Variations spatio-temporelles des taxons abondants régulièrement présents dans les affluents du Mfoundi**

La figure 53 présente l'évolution spatiale et mensuelle de l'abondance relative de *Nitzschia palea* dans quelques affluents du Mfoundi. Elle est régulièrement collectée pendant la période d'étude et se développe abondamment dans les tronçons moyen et inférieur de la plupart des hydrosystèmes prospectés, exceptés Ébogo, Éwoué, Mingoa et Olézoa qui montrent une tendance inverse (Figure 54). Les plus fortes abondances relatives de cette espèce ont généralement été enregistrées en avril et en décembre, atteignant 74,14 % à la station Nt<sub>1</sub> du Ntem (Figure 53). *Nitzschia palea* est peu fréquente dans le Ntsomo où ses proportions sont toujours inférieures à 5 % (Figure 53 i).

*Gomphonema parvulum* var. *lagenula* se multiplie davantage dans les cours supérieur et moyen du Mingoa (stations M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>), dans les tronçons moyen et inférieur de l'Abiergué et dans la partie inférieure de l'Ébogo, de l'Éwoué, de l'Aké et de l'Olézoa (Figure 54). Les plus importantes



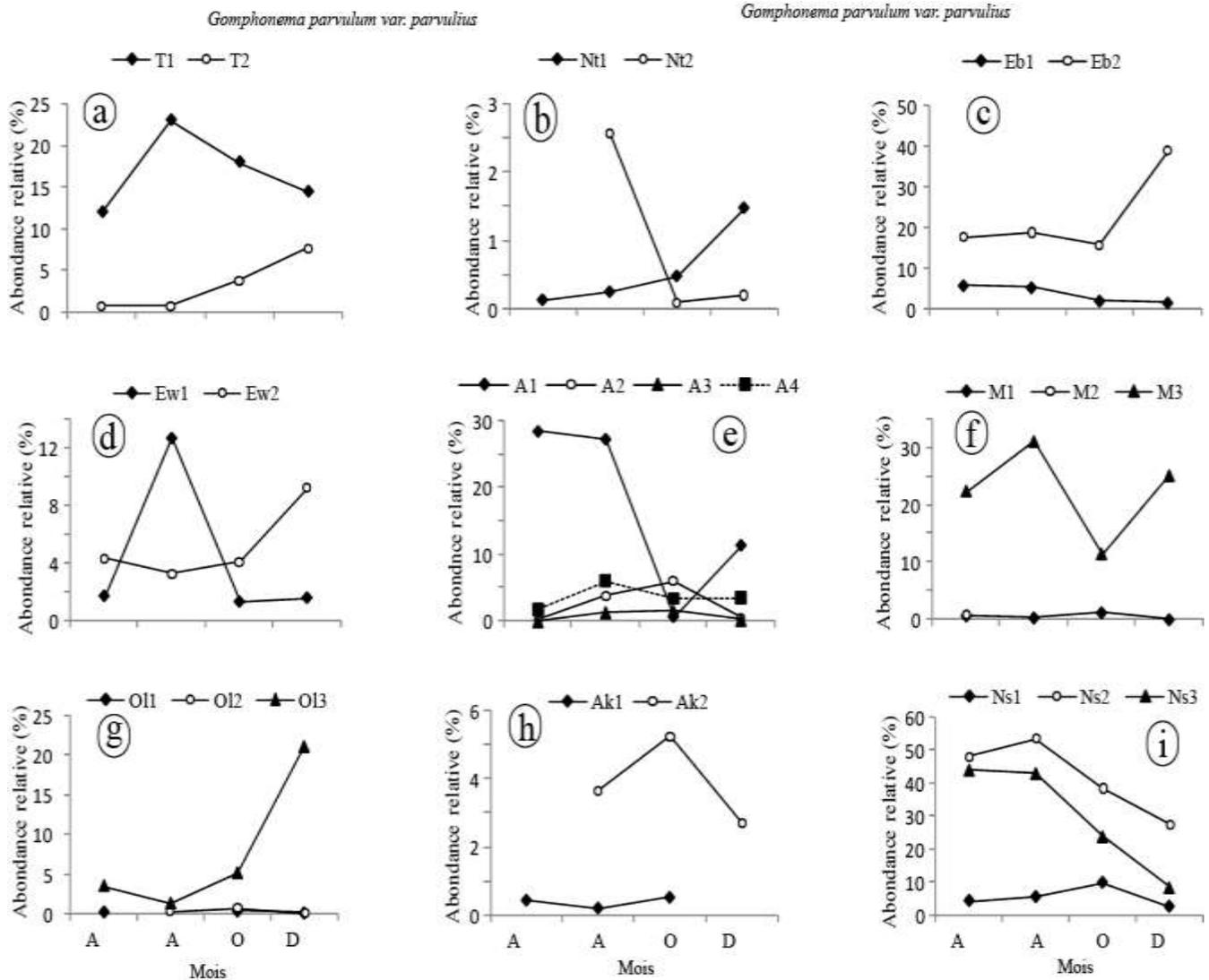
**Figure 53:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Nitzschia palea* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Míngoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).



**Figure 54:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

proportions (23,8 à 68,2 %) de cette diatomée ont régulièrement été relevées pendant les mois pluvieux (avril et octobre), la station Eb<sub>2</sub> affichant le pic de croissance le plus élevé (68,2 %) en octobre 2009 (Figure 54).

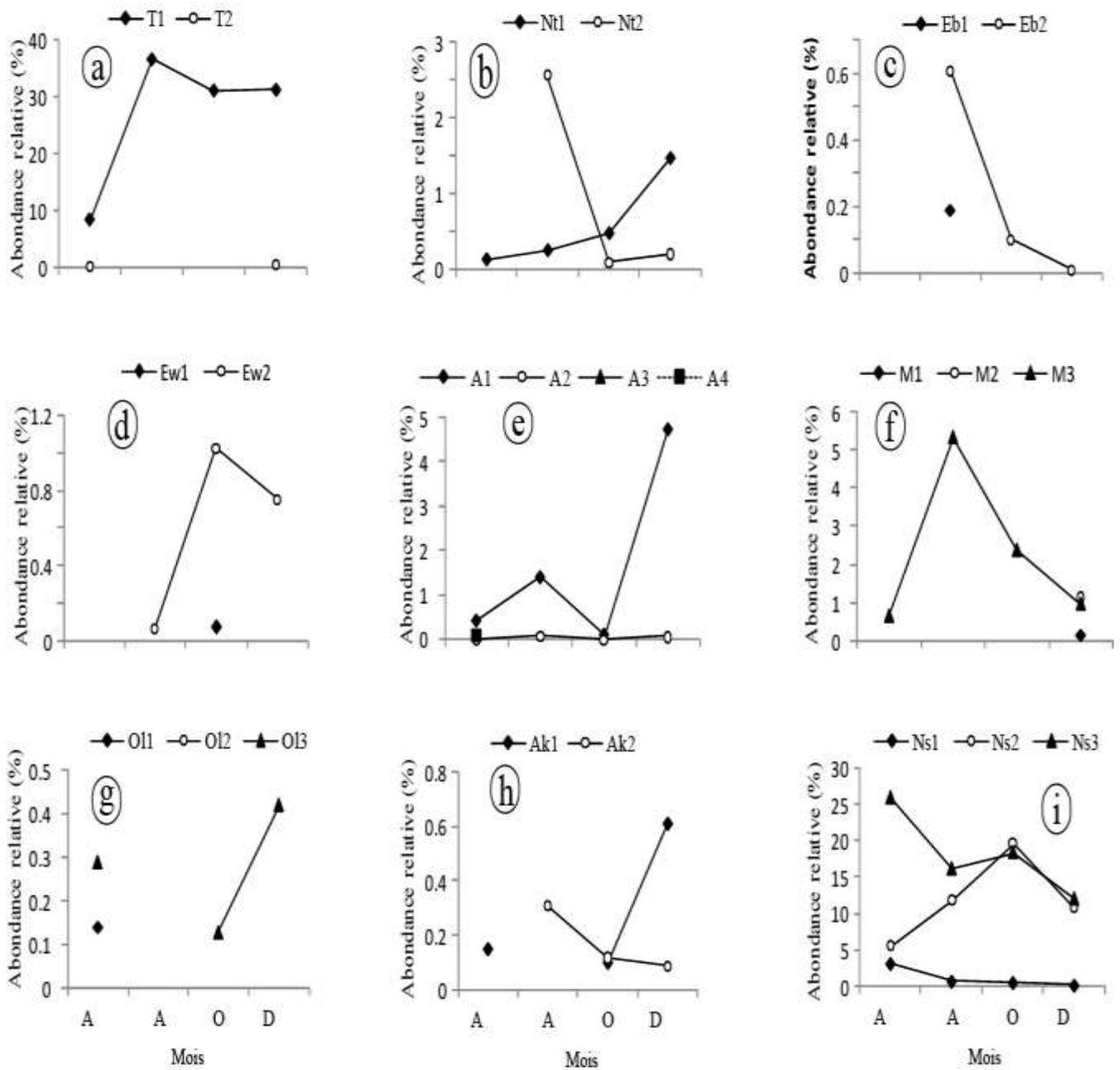
*Gomphonema parvulum* var. *parvulus* se développe mieux dans le tronçon supérieur de Tongolo et de l'Abiergué, les cours moyen et inférieur du Ntsomo et la partie inférieure du Mingoa et d'Olézoa (Figure 55). Les phases de croissance de cette espèce sont en général notées dans la plupart des stations en avril et en août, les stations Ns<sub>2</sub> et Ns<sub>3</sub> du Ntsomo affichant les plus fortes proportions (44,1 et 53,45 %) (Figure 55). *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* a été peu abondante dans le Ntem, l'Éwoué et l'Aké pendant l'étude.



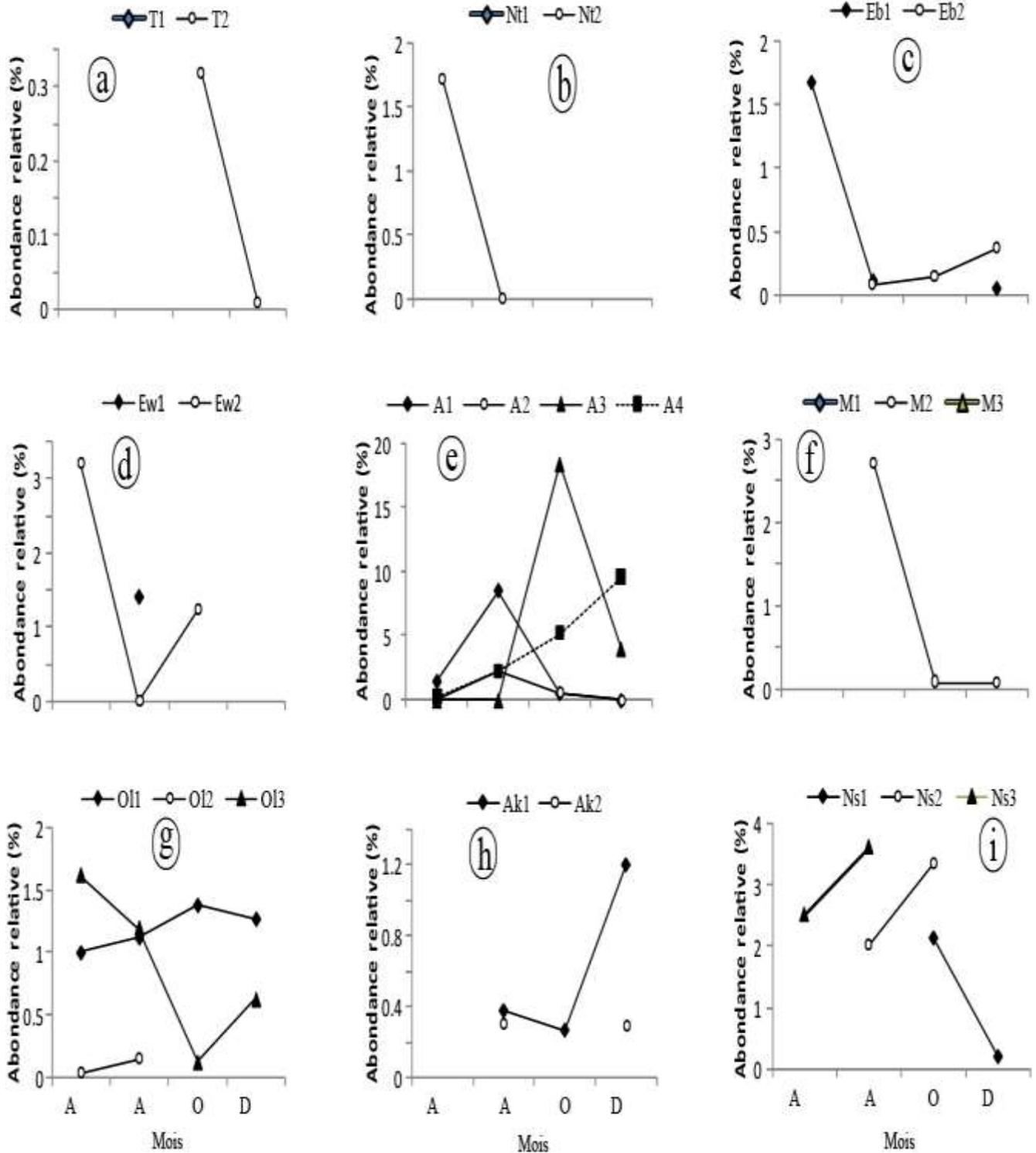
**Figure 55:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Éwoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

*Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* est très discrète dans l'épithon de la plupart des affluents prospectés (Ntem, Ébogo, Éwoué, Abiergué, Mingoa, Olézoa et Aké), mais elle prolifère de préférence dans les cours supérieur de Tongolo (station T<sub>1</sub>), moyen et inférieur du Ntsomo (stations Ns<sub>2</sub> et Ns<sub>3</sub>) (Figure 56). Les abondances relatives les plus élevées ont été obtenues respectivement en avril (26% à la station Ns<sub>1</sub>) et en août (36,82 % à la station T<sub>1</sub>) (Figure 56)

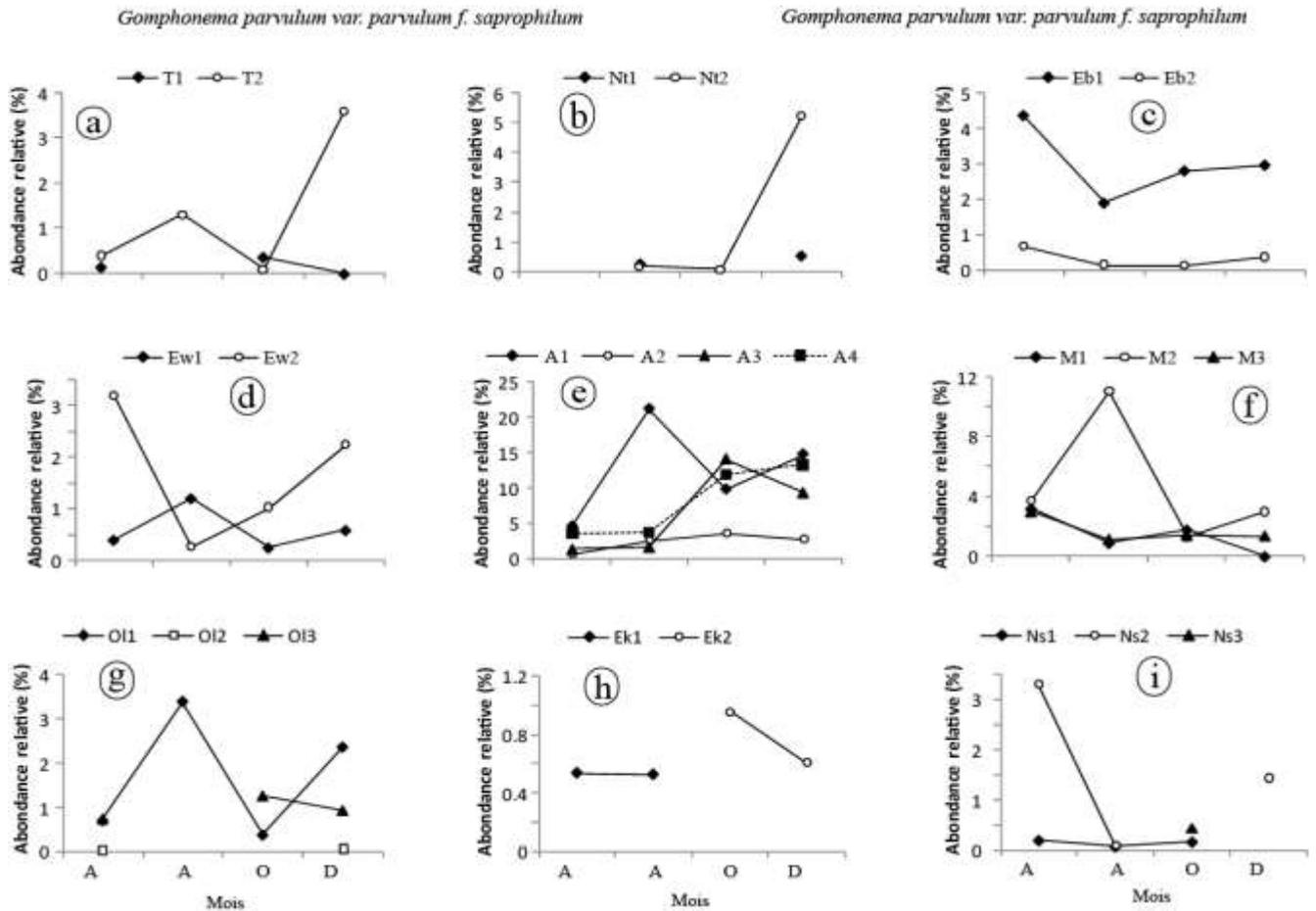
Les conditions mésologiques de la majorité des stations des affluents du Mfoundi sont peu favorables au développement de *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *parvulum* et de *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum* (Figures 57 et 58). Ces deux variétés de *Gomphonema parvulum* semblent mieux s'adaptées à l'environnement des stations A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>4</sub> de l'Abiergué où leurs pics de croissance ont été observés, notamment en août (21,2 % à la station A<sub>1</sub>



**Figure 56:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).



**Figure 57:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *parvulum* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

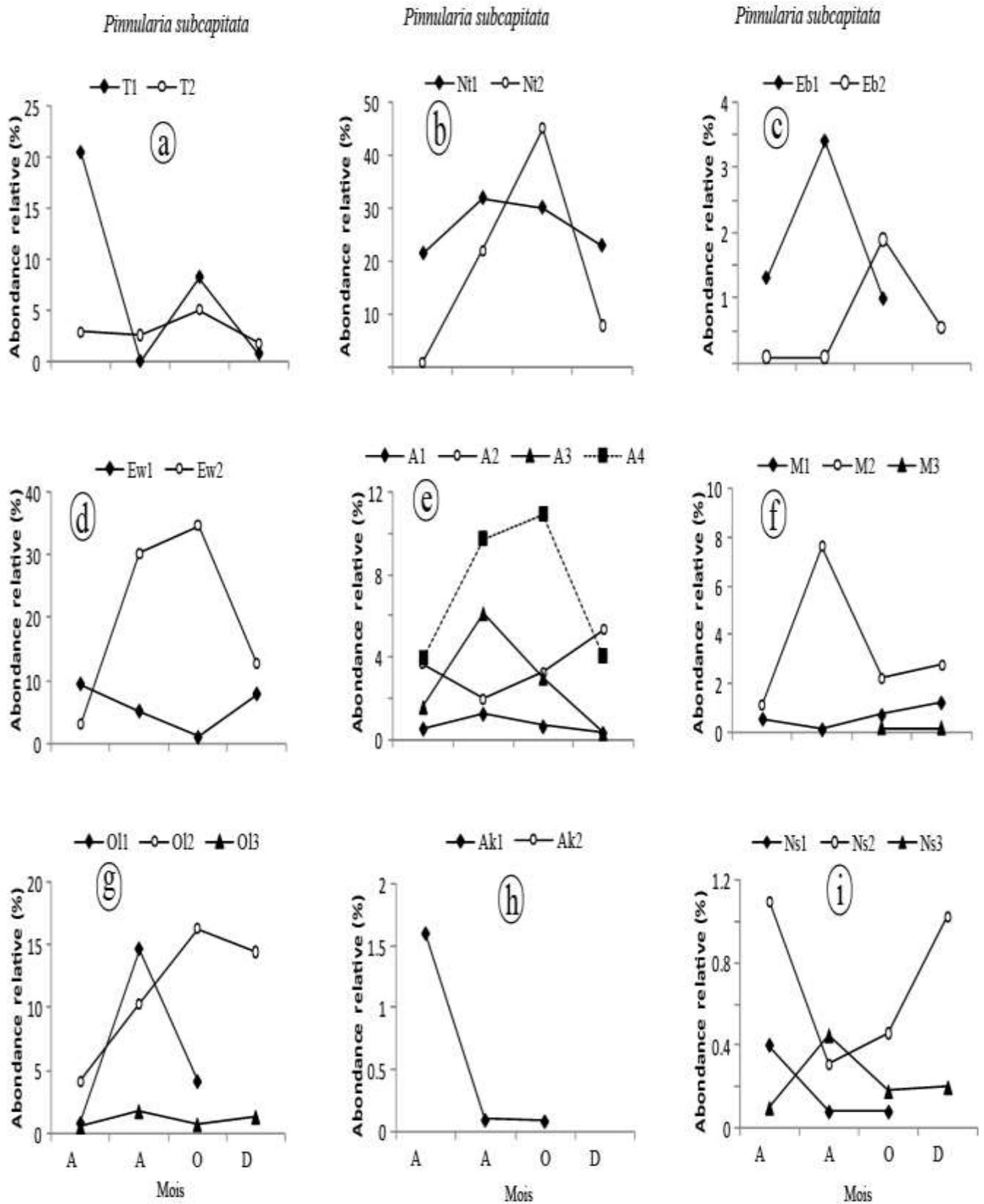


**Figure 58:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Gomphonema parvulum var. parvulum f. saprophilum* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Éwoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i)

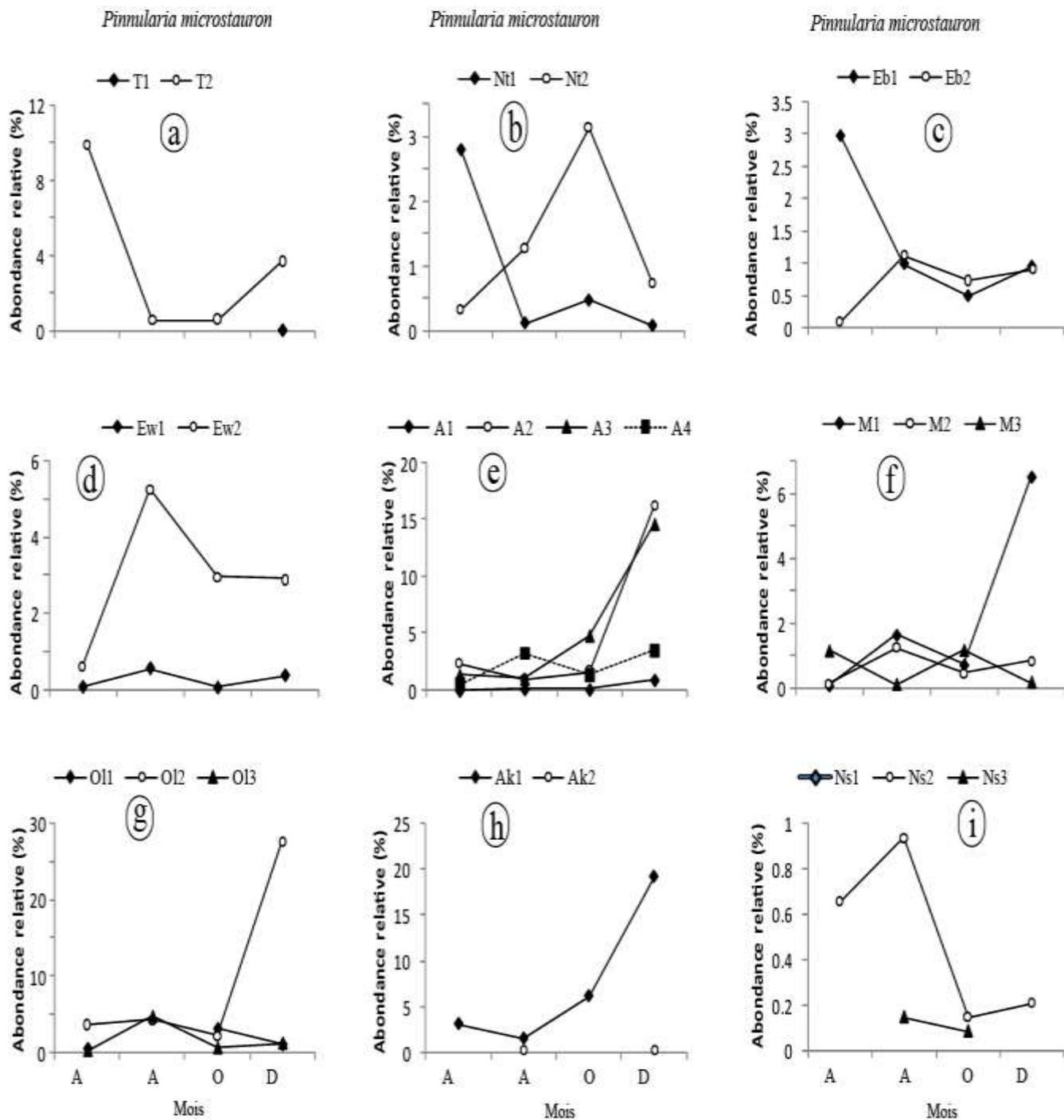
pour *Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum*) et en octobre (18,5 % à la station A<sub>3</sub> pour *Gomphonema parvulum var. parvulum f. saprophilum*) (Figure 57 et 58).

*Pinnularia subcapitata* est très fréquente dans les affluents du Mfoundi. Elle se multiplie essentiellement dans le Ntem, le cours supérieur de Tongolo (station T<sub>1</sub>), le tronçon inférieur de l'Éwoué (station Ew<sub>2</sub>) et de l'Abiergué (station A<sub>4</sub>), ainsi que les tronçons supérieur et moyen de l'Olézoa (figure 59 a, b, d, e, g). Ses pics de croissance se situent en août et en octobre dans la plupart des stations, avec des proportions atteignant 45,31% à la station Nt<sub>2</sub> en octobre (Figure 59 b).

*Pinnularia microstauron* présente un développement relativement important dans le cours supérieur du Mingoa et de l'Aké (stations M<sub>1</sub> et Ak<sub>2</sub>), le secteur moyen de l'Abiergué et de l'Olézoa (stations A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et Ol<sub>2</sub>), ainsi que la partie inférieure de Tongolo et de l'Éwoué (stations T<sub>2</sub> et Ew<sub>2</sub>) (Figure 60a, d, e, f, g, h). Sa poussée maximale a eu lieu en décembre 2008 avec des abondances relatives atteignant 27,7 % à la station Ol<sub>2</sub> de l'Olézoa (Figure 60).

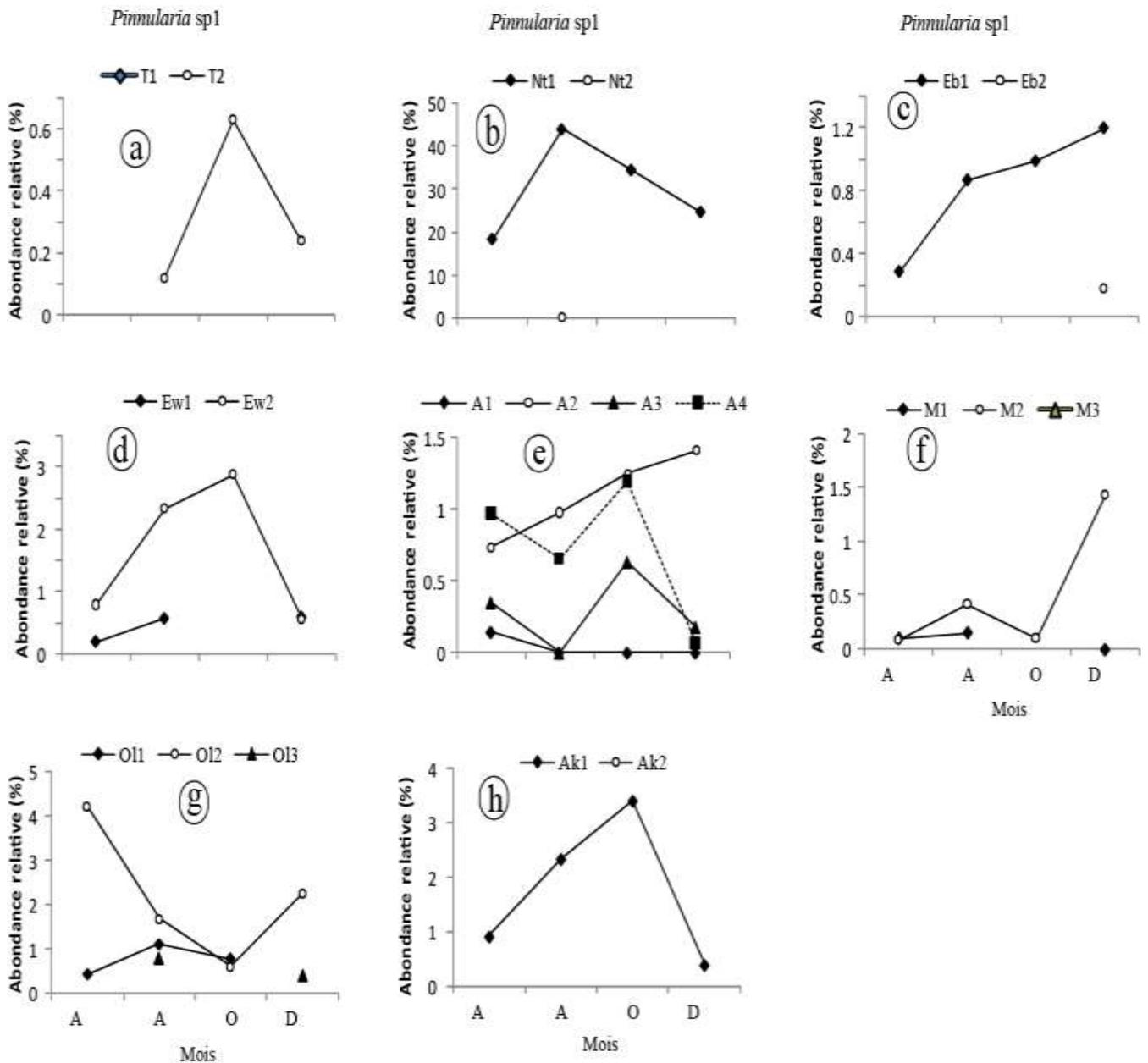


**Figure 59:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia subcapitata* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).



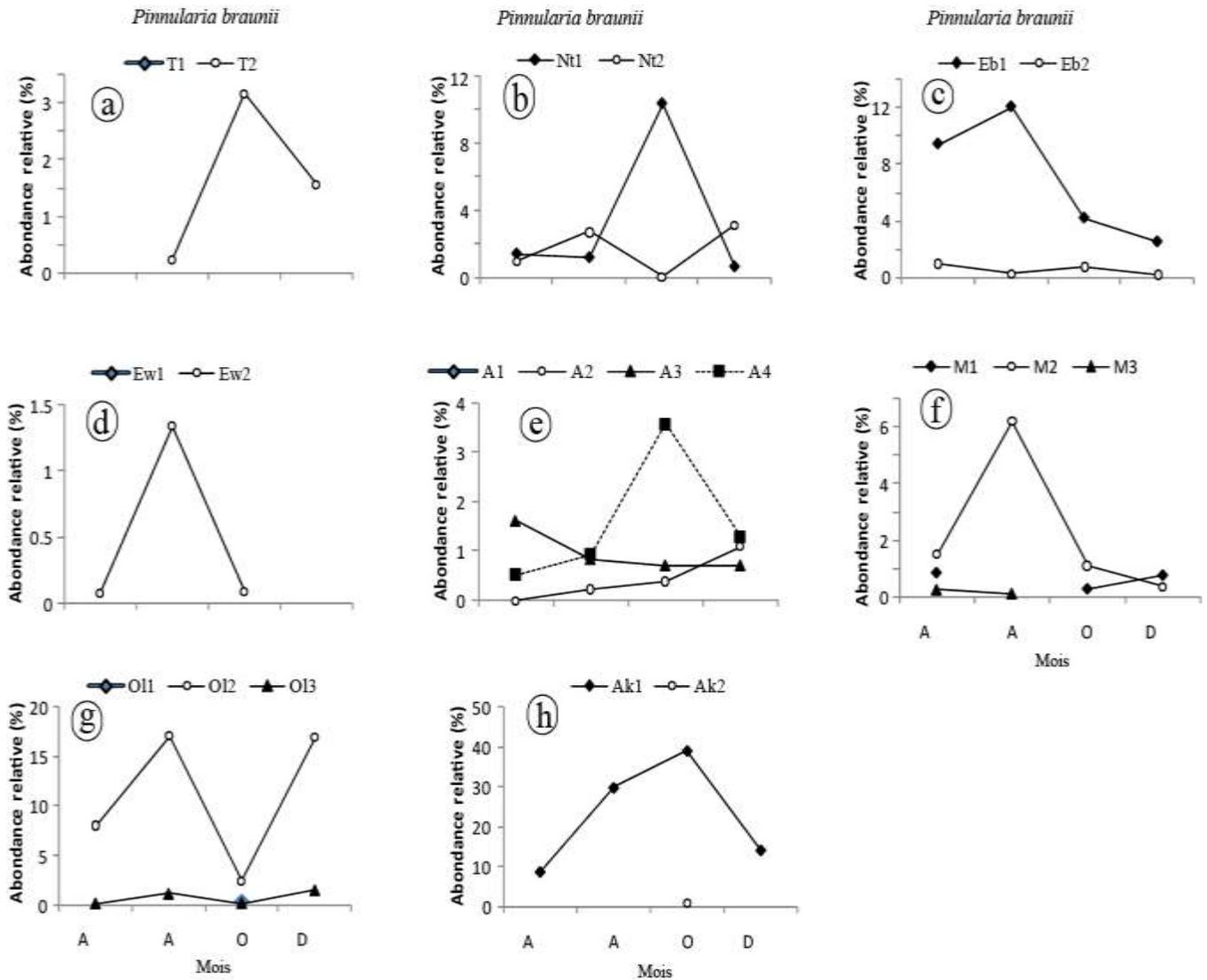
**Figure 60:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia microstauron* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i)

Bien que discrète dans la majorité des stations des affluents du Mfoundi prospectés, *Pinnularia* sp.1 se multiplie de façon optimale uniquement dans le tronçon supérieur du Ntem (station Nt<sub>1</sub>) où sa proportion la plus élevée (44,2 %) a été enregistrée en août (Figure 61).



**Figure 61:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia* sp1e long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h).

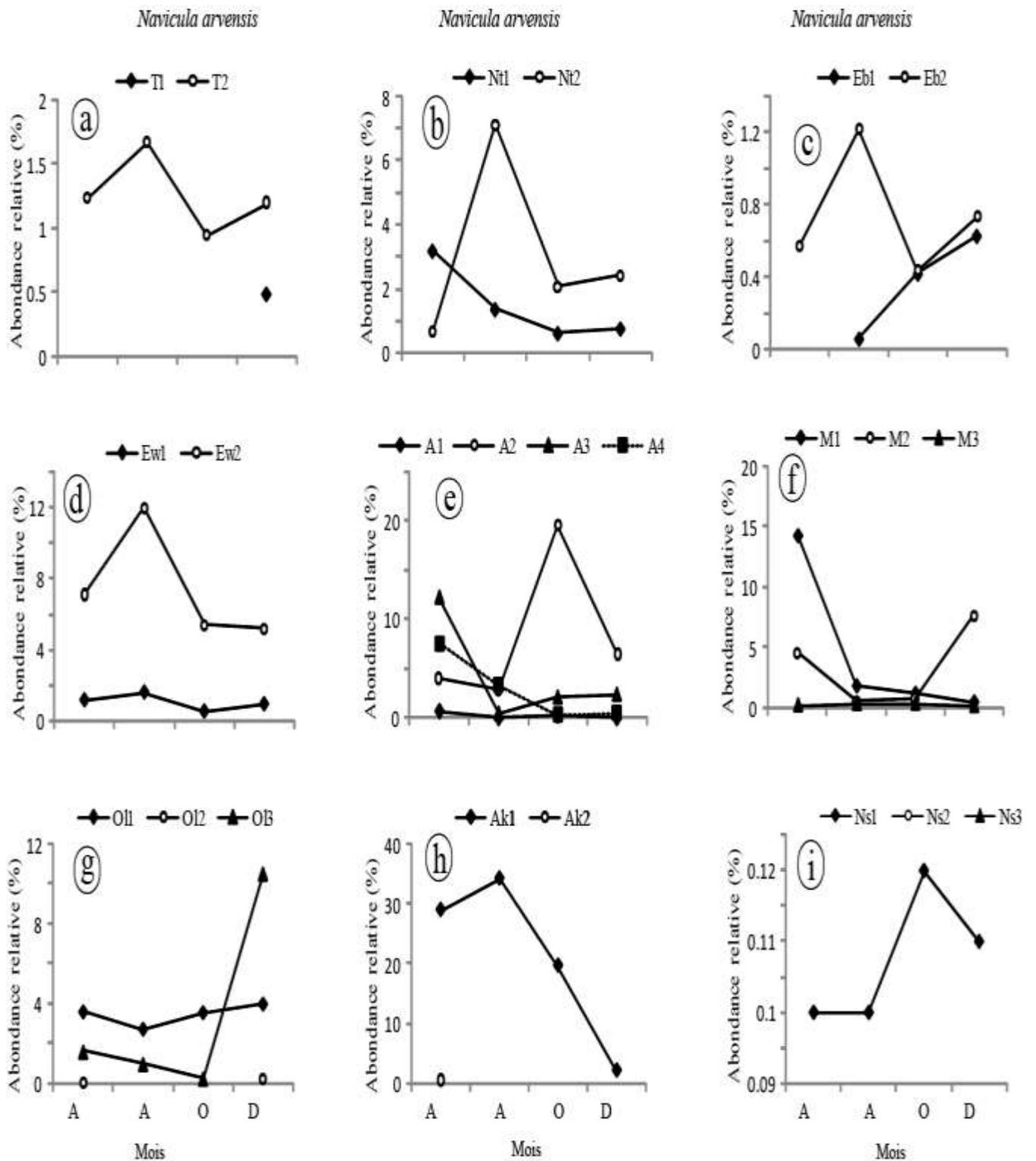
La figure 62 présente l'évolution spatiale et mensuelle de l'abondance relative de *Pinnularia braunii* dans quelques affluents du Mfoundi. Cette espèce est particulièrement adaptée aux conditions environnementales qui prévalent dans le cours supérieur du Ntem, de l'Ébogo et de l'Aké, ainsi que le secteur moyen du Mingoa et de l'Olézoa où elle prolifère massivement (Figure 62). Elle montre des pics de croissance en août (stations Eb<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et Ol<sub>2</sub>) et en octobre (stations Nt<sub>1</sub> et Ak<sub>1</sub>), atteignant 39,1 % d'abondance relative dans l'Aké (Figure 62).



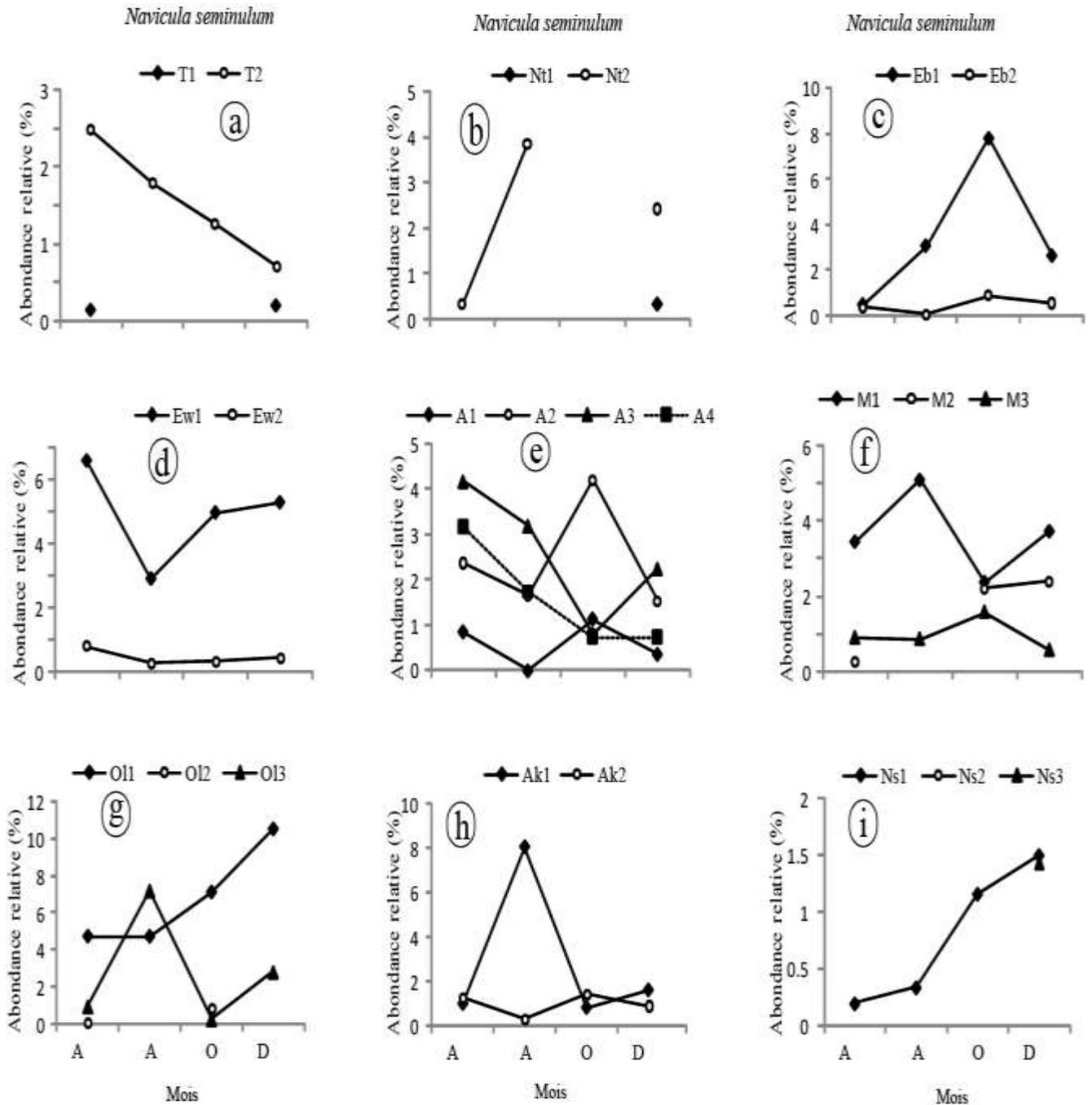
**Figure 62:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Pinnularia braunii* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h).

*Navicula arvensis* a été collectée pendant toute la période d'étude et se développe de préférence dans le cours supérieur de l'Aké et du Mingoa, le secteur moyen de l'Abiergué et la partie inférieure du Ntem, d'Éwoué et d'Olézoa (Figure 63). La plus forte proportion (34,3 %) de cette espèce a été obtenue à la station Ak<sub>1</sub> en août (Figure 63 h). *Navicula arvensis* demeure très discrète dans le Tongolo, l'Ébogo et le Ntsomo où son abondance relative dépasse difficilement 1,4 % (Figure 63).

*Navicula seminulum* est moins abondante dans l'ensemble des affluents du Mfoundi, mais elle présente une prolifération relativement importante (5,1 à 10,6 %), limitée dans le tronçon supérieur de l'Ébogo, de l'Éwoué, du Mingoa et de l'Aké au cours des mois d'août, d'octobre et de décembre (Figure 64).

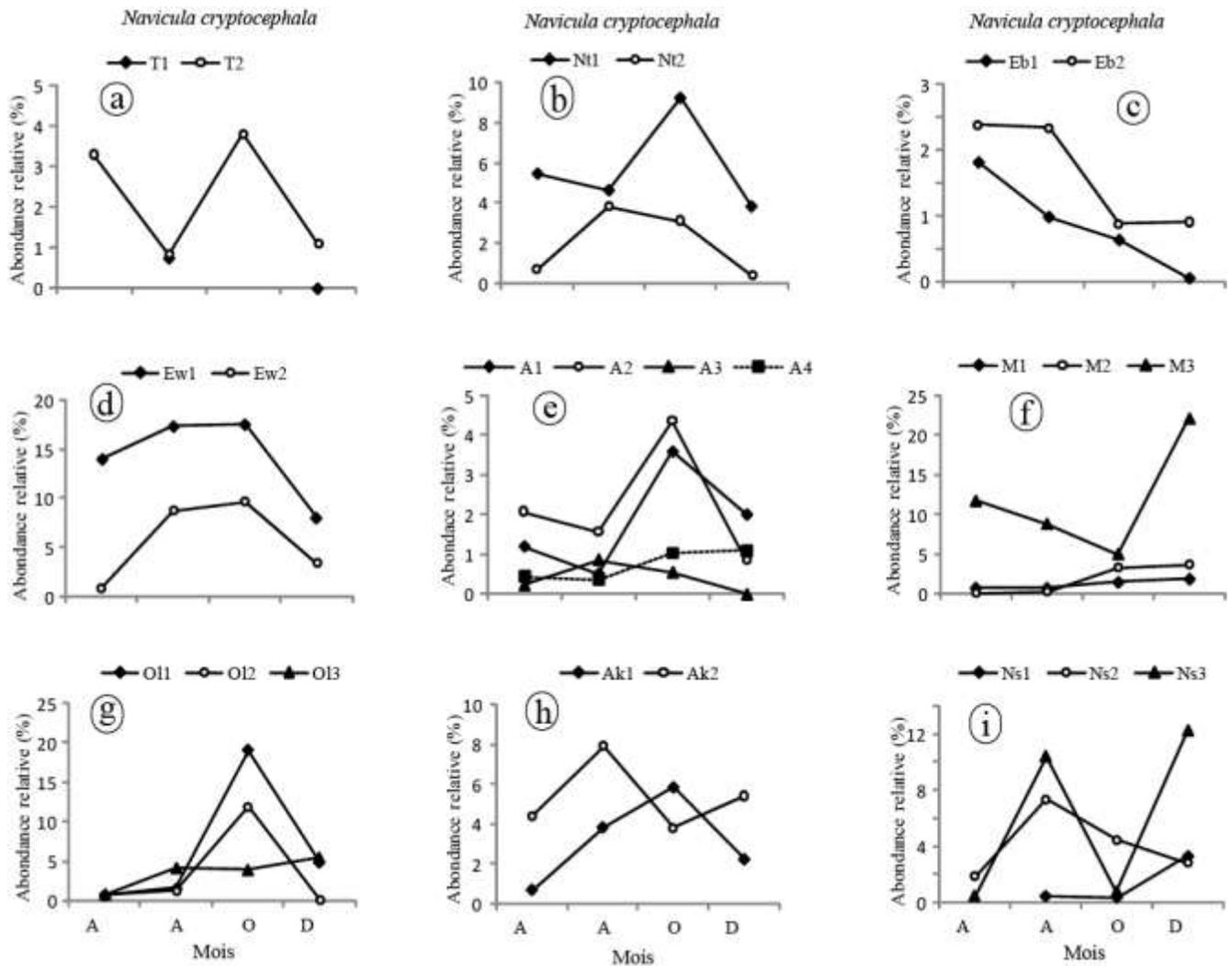


**Figure 63:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula arvensis* le long de quelques affluents du Mfoundi : Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i)..



**Figure 64:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula seminulum* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

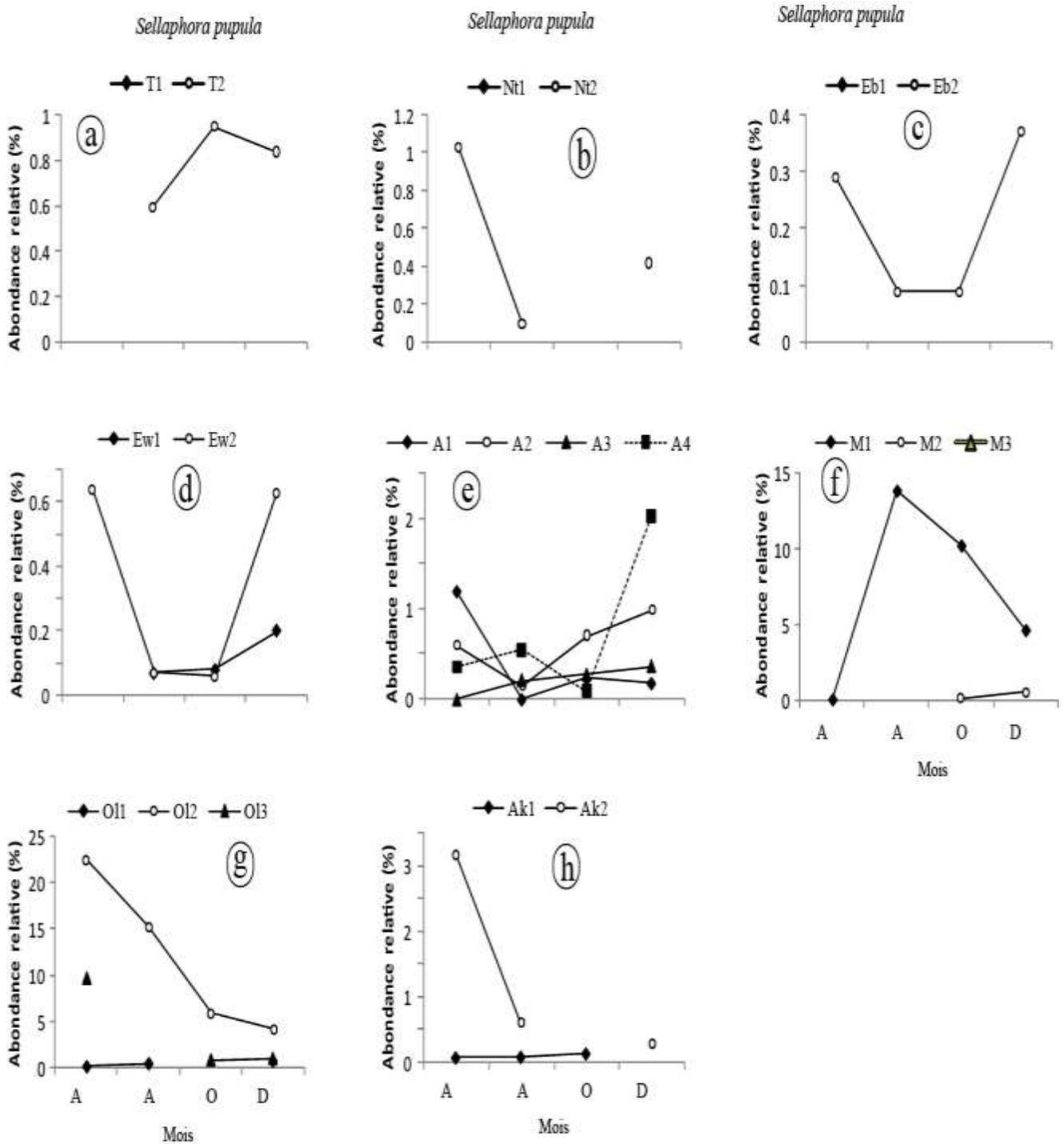
*Navicula cryptocephala* a été récoltée dans l'ensemble des stations des affluents prospectés pendant l'étude. Elle montre des abondances élevées dans le tronçon supérieur du Ntem et d'Ewoué, les cours supérieur et moyen d'Olézoa, les parties moyenne et inférieure du Ntsomo et le secteur inférieur du Mingoa (Figure 65). Ses pics de croissance ont généralement été relevés en octobre et en décembre avec des proportions atteignant 22,24 % à la station M<sub>3</sub> du Mingoa (Figure 65).



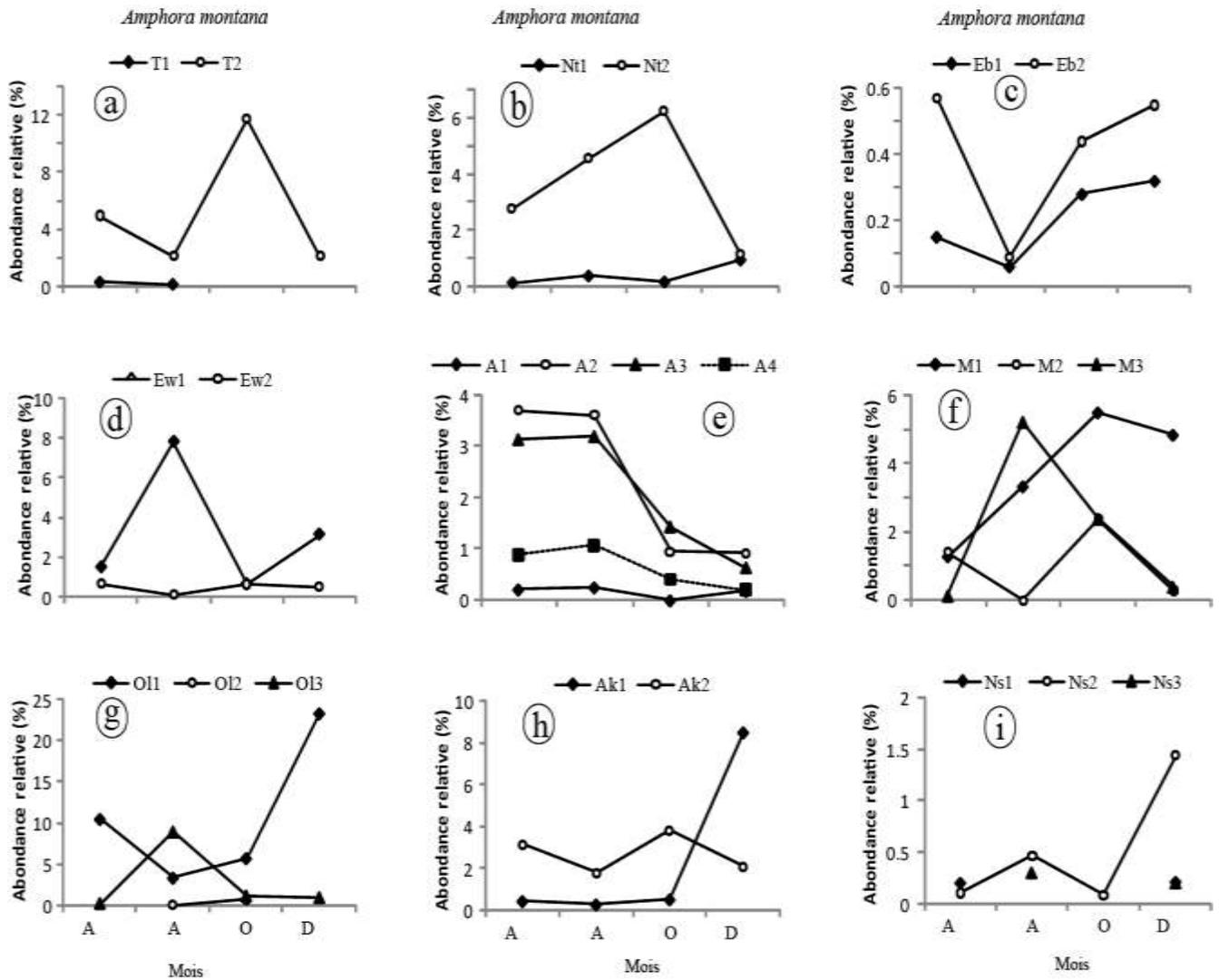
**Figure 65:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Navicula cryptocephala* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

Très discrète voire absente dans l'épilithon de la majorité des affluents étudiés, *Sellaphora pupula* paraît mieux s'accommoder aux conditions environnementales des cours supérieur du Mingoa (station M<sub>1</sub>) et moyen d'Olézoa (station Ol<sub>2</sub>) où ses pics de croissance ont été observés en avril (22,54 %) et en août (13,9 %) dans ces hydrosystèmes (Figure 66).

*Amphora montana* est fréquente dans l'ensemble des stations pendant l'investigation, mais elle se multiplie de préférence dans le secteur supérieur d'Olézoa, d'Aké et d'Éwoué, ainsi que la partie inférieure de Tongolo (figure 67). La poussée maximale de cette diatomée s'est opérée en octobre à la station T<sub>1</sub> et en décembre à la station Ol<sub>1</sub>, avec des proportions oscillant entre 12,8 et 23,31 % (Figure 67 a, g).



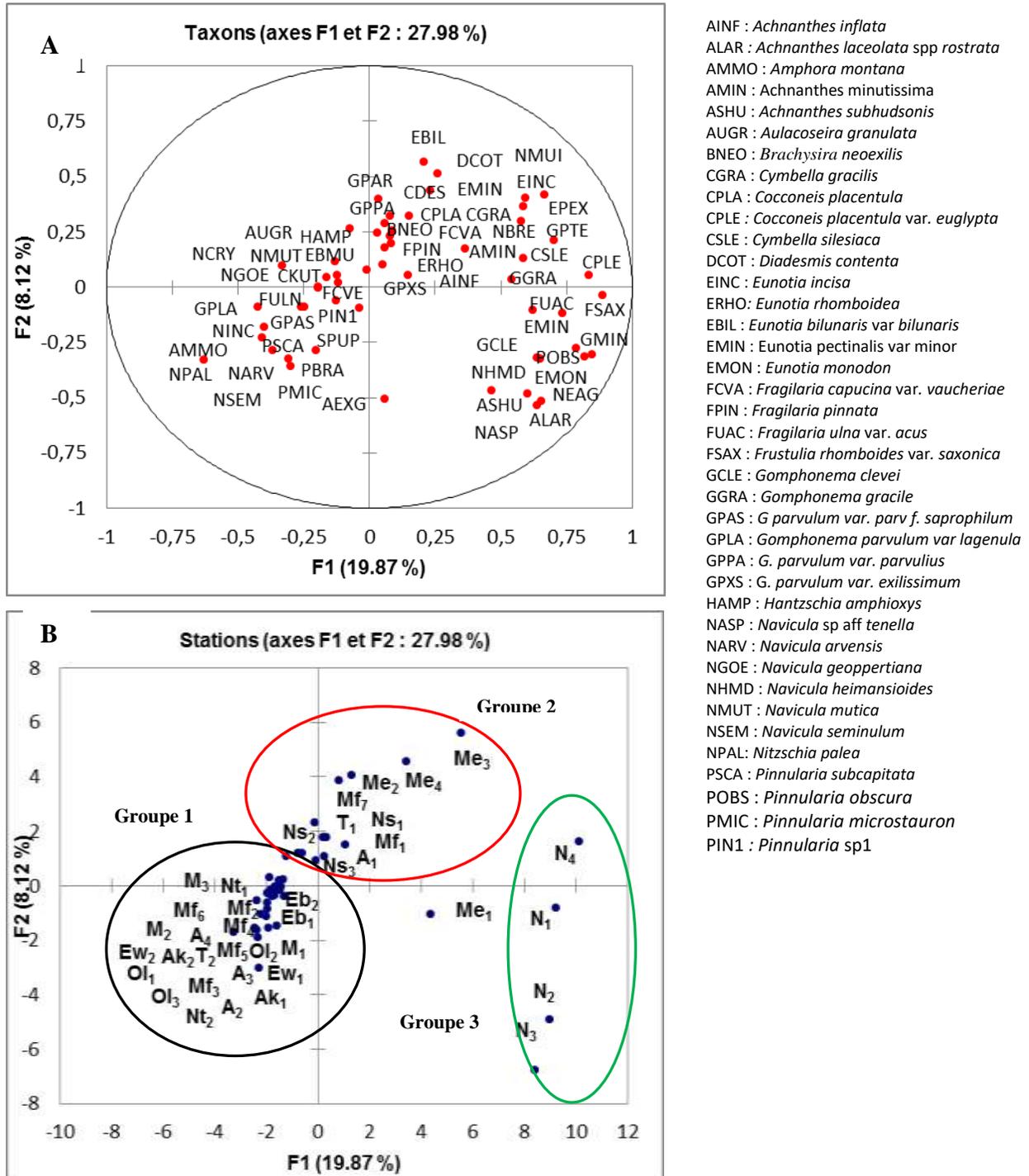
**Figure 66:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Sellaphora pupula* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g) et Aké (h).



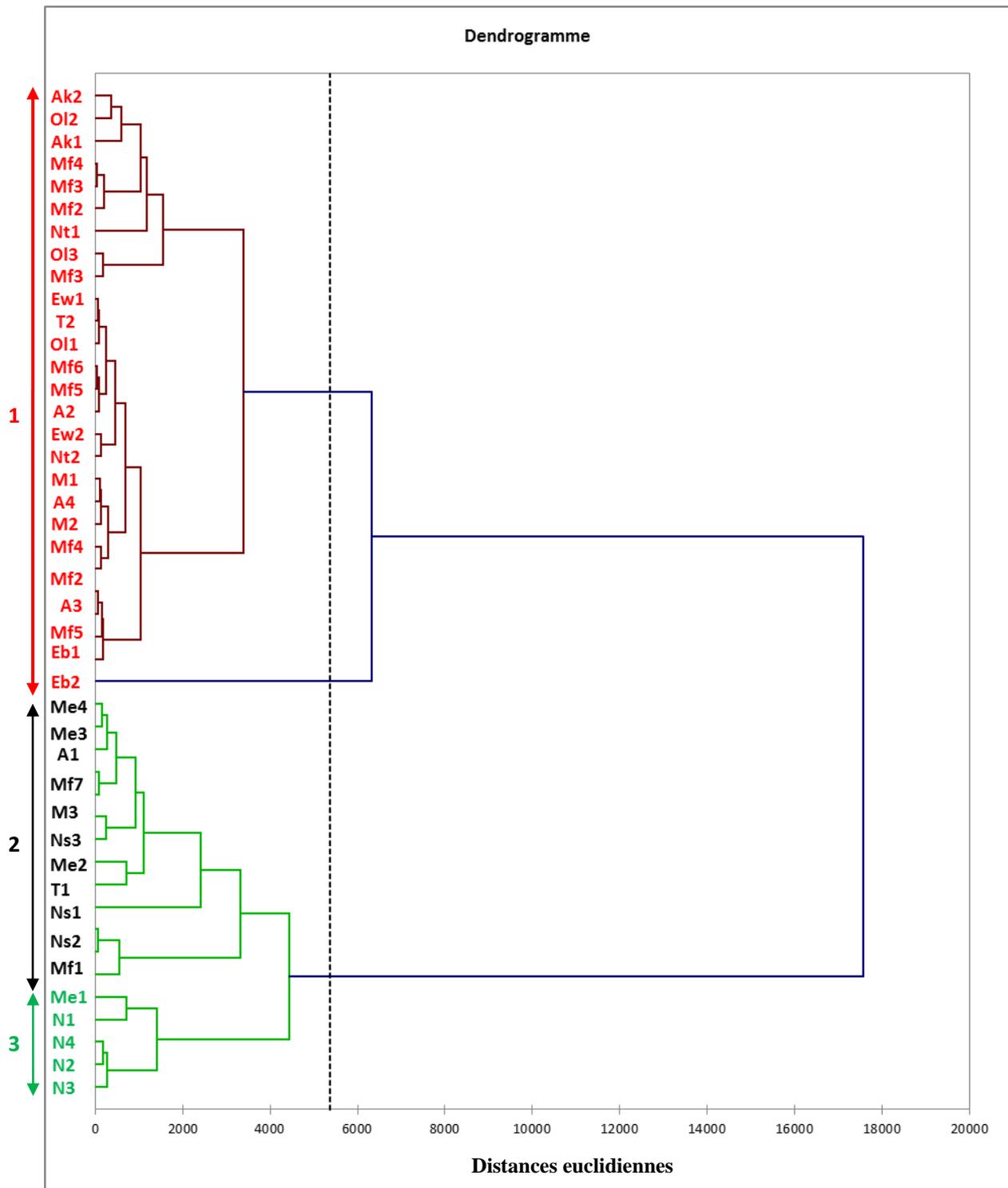
**Figure 67:** Variations spatio-temporelles de l'abondance relative de *Amphora montana* le long de quelques affluents du Mfoundi: Tongolo (a), Ntem (b), Ebogo (c), Ewoué (d), Abiergué (e), Mingoa (f), Olézoa (g), Aké (h) et Ntsomo (i).

### III-1-3-4 Essai de biotypologie floristique des cours d'eau étudiés

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), effectuées à partir de 57 espèces et variétés de diatomées régulièrement récoltées dans le réseau hydrographique de la Mefou (ayant une abondance relative cumulée supérieure ou égale à 2 %) ont permis de visualiser les grands traits de la distribution de ces taxons et de grouper l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés (Figures 68 et 69). Les axes F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> de l'ACP expliquent 27,98 % de l'information. L'axe F<sub>1</sub> (19,87 % d'inertie) sépare du côté des coordonnées positives les espèces et variétés de diatomées qui prolifèrent essentiellement dans les eaux moins perturbées et qui sont très sensibles à l'altération de la qualité des eaux (comme *Navicula heimansioïdes*, *Gomphonema gracile*, *Brachysira neoexilis*). Du côté des coordonnées négatives de l'axe F<sub>1</sub> se trouvent les taxons connus pour résister à la pollution de l'eau (tels que *Nitzschia palea*,



**Figure 68:** Analyse en Composantes Principales réalisée à partir de 57 taxons de diatomées récoltées dans les stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou (Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>). Projection des taxons (A) et des groupes de stations (B) sur le plan de deux premiers axes factoriels de l'ACP (axe 1 horizontal et axe 2 vertical).



**Figure 69:** Classification Ascendante Hiérarchique (CAH, distances euclidiennes-méthodes de Ward) de l'ensemble des stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou (Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>) sur la base de leurs assemblages différents de diatomées épilithiques. Chaque couleur indique un groupe de stations.

*Navicula arvensis*, *Pinnularia subcapitata*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*) et sont aussi séparés par l'axe F<sub>2</sub> de l'ACP qui explique 8,2 % de la variance totale (Figure 68 A).

La projection des différentes stations sur le plan factoriel de l'ACP (Figure 68 B), couplée à la CAH (Figure 69), permet de distinguer 3 groupes de stations caractérisés par des assemblages différents de diatomées:

\***Le groupe 1** isole la majorité des stations des cours d'eau urbains fortement pollués (stations Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>6</sub>, M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>, Nt<sub>1</sub> et Nt<sub>2</sub>, Ew<sub>1</sub> et Ew<sub>2</sub>, A<sub>2</sub> à A<sub>4</sub>, Eb<sub>1</sub> et Eb<sub>2</sub>, Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>, Ak<sub>1</sub> et Ak<sub>2</sub>). Ces stations sont caractérisées par la prédominance de *Nitzschia palea*, *Navicula arvensis*, *Pinnularia subcapitata*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Navicula geoppertiana*, *Navicula mutica* et *Navicula seminulum*. Ces taxons sont accompagnés de *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum*, *Fragilaria ulna* var. *ulna*, *Amphora montana*, *Aulacoseira granulata*, *Hantzschia amphioxys*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Pinnularia microstauron* et *Pinnularia* sp.1.

\***Le groupe 2** rassemble les stations de la Mefou et du Ntsomo, les sources de l'Abiergué et de Tongolo (stations A<sub>1</sub> et T<sub>1</sub>) et les stations Mf<sub>1</sub> et Mf<sub>7</sub> du Mfoundi. Dans ces stations prolifèrent massivement *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *Cymbella gracilis*, *Fragilaria pinnata*, *Brachysira neoexilis*, *Diadsmis contanta*, *Achnanthes minutissima* et *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*. Ces diatomées sont secondées en terme d'abondance par *Achnanthes inflata*, *Cocconeis placentula*, *Eunotia rhomboidea* et *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris*.

\***Le groupe 3** individualise les stations du cours d'eau Nga et la station Me<sub>1</sub> de la Mefou. Il se singularise par la dominance de *Navicula heimansioïdes*, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Eunotia pectinalis* var. *minor*, *Eunotia incisa*, *Achnanthes subhudsonis* et *Navicula* sp. aff *tenella*. Ces taxons sont suivis de *Cymbella silesiaca*, *Pinnularia obscura*, *Eunotia monodon*, *Gomphonema gracile*, *Achnanthes lanceolata* spp *rostrata*, *Gomphonema clevei* et *Neidium iridis* var. *amphygomphus*.

#### **III-1-4 Adaptation des diatomées à l'habitat benthique: dynamique d'abondance des formes de croissance dans les cours d'eau étudiés.**

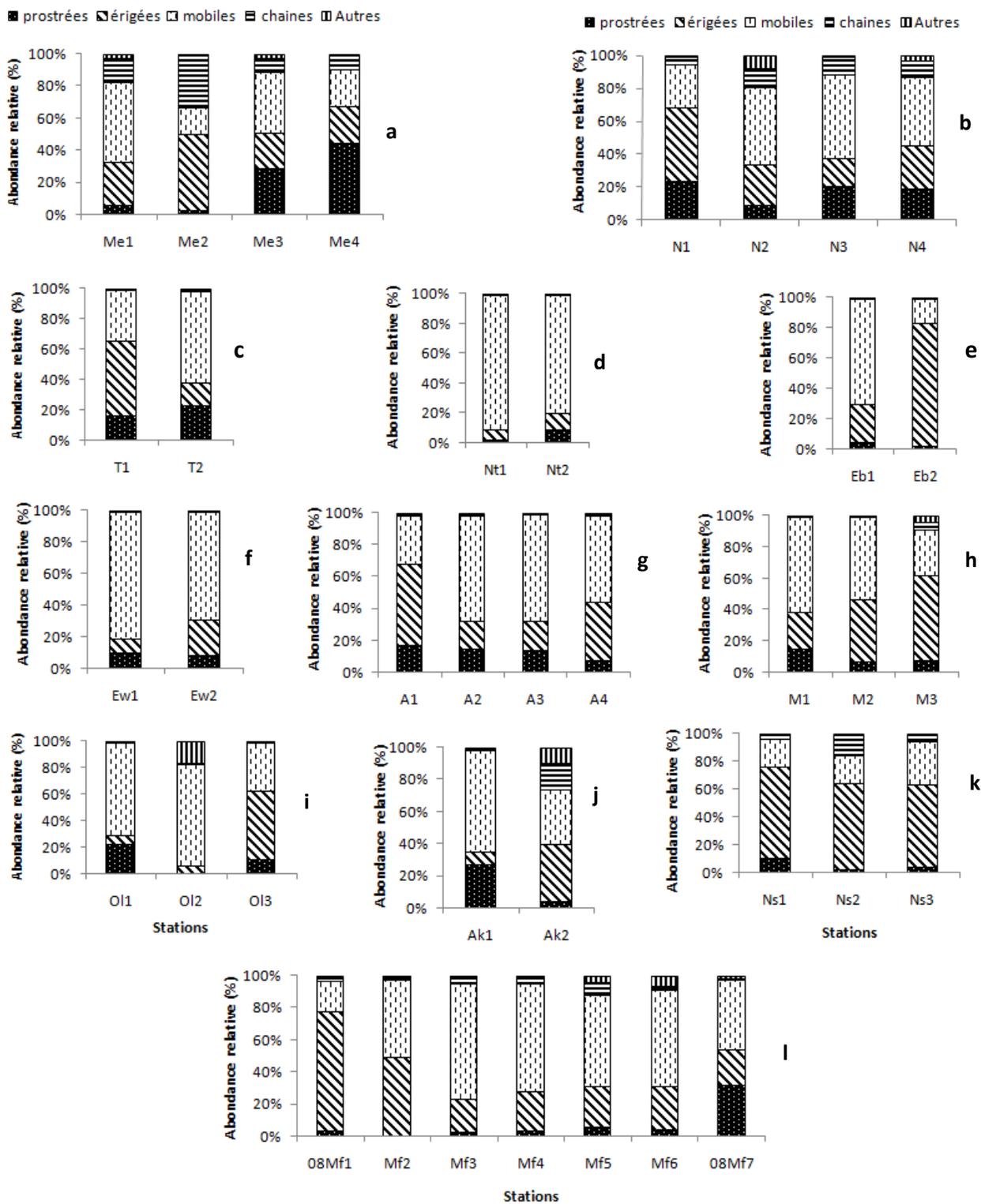
Les espèces et variétés de diatomées collectées pendant l'étude dans l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés ont été groupées selon leur mode d'adhésion au substrat lithique, dépendant de la morphologie (formes solitaires ou coloniale), de la posture (formes prostrées, érigées ou en chaîne) et de la mobilité des taxons (formes mobiles ou immobiles).

L'analyse de la distribution de ces formes de croissance indique que les diatomées prostrées, très adhérentes au substrat, sont faiblement représentées dans l'ensemble des hydrosystèmes étudiés

surtout en zone urbaine où elles atteignent difficilement une proportion de 10 % (Figure 70), mais présentent un développement important pendant les mois pluvieux (avril, juin, septembre, octobre). Aussi, leur abondance relative diminue de l'amont vers l'aval de la plupart de ces cours d'eau, exceptés Mefou, Tongolo, Ntem et Mfoundi qui montrent un profil de variation inverse. Dans la Mefou, le Nga et quelques stations peu altérées des cours d'eau urbains, ces formes prostrées sont composées majoritairement par *Eunotia incisa*, *Eunotia pectinalis* var. *minor*, *Eunotia pectinalis* var. *undulata*, *Eunotia rhomboïdea*, *Cocconeis placentula* var. *placentula*, *Achnanthes subhudsonis*, *Achnanthes microcephala*, *Achnanthes minutissima*, *Achnanthes inflata* et *Diademsis contenta*. Les autres stations urbaines sont peuplées essentiellement par *Navicula arvensis*, *Navicula seminulum*, *Achnanthes eutrophila* et *Amphora montana*.

Les diatomées érigées et mobiles, à adhésion faible au substrat, plus sensibles à l'érosion par les courants élevés et facilement broutées par les invertébrés herbivores, dominent les peuplements dans l'ensemble des stations étudiées (Figure 70). Ces formes de croissance enregistrent des fortes abondances avoisinant 84,6 % (formes érigées à la station Mf<sub>1</sub>) et 81 % (formes mobiles aux stations Nt<sub>1</sub>, Ew<sub>1</sub> et Mf<sub>5</sub>) dans le Mfoundi, le Ntem et l'Éwoué. On observe également que l'abondance relative des diatomées érigées et mobiles augmente de l'amont vers l'aval de la majorité des cours d'eau, même si certains d'entre eux présentent une tendance inverse liée aux différentes conditions hydrodynamiques et biotiques qui y règnent (Figure 70).

En zone rurale (Mefou, Nga) et dans certains tronçons des cours d'eau urbains (Mf<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, Ns<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>), les formes érigées sont constituées essentiellement par *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Fragilaria pinnata* var. *pinnata*, *Cymbella gracilis*, *Cymbella descripta*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* et *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*. Le reste des stations urbaines est caractérisé par la prédominance de *Fragilaria ulna* var. *ulna*, *Fragilaria construens* f. *venter*, *Fragilaria biceps*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum* et *Cymbella cistula*. Concernant les diatomées mobiles, elles sont fortement représentées dans la Mefou, le Nga ainsi que dans d'autres secteurs peu perturbés des cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi par l'association *Navicula heimansioïdes*, *Navicula mutica* var. *intermedia*, *Navicula cincta*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Frustulia crassinervia* et *Brachysira neoexilis*. Dans les autres stations urbaines se développent abondamment *Nitzschia palea*, *Navicula geoppertiana*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula veneta*, *Pinnularia subcapitata*, *Pinnularia microstauron*, *Pinnularia* sp.1 et *Sellaphora pupula*.



**Figure 70:** Évolution longitudinale des différentes formes de croissance des diatomées épilithiques dans les cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Aké (g), Abiergué (h), Mingoa (i), Olézoa (j), Olézoa (i), Olézoa (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l). Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>

Il est également noté une multiplication assez marquée des formes filamenteuses (*Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira muzzanensis*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Cyclotella meneghiniana*, *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*) dans le cours inférieur du Mfoundi (stations Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub>), du Mingoa (station M<sub>3</sub>) et de l'Aké (station Ak<sub>2</sub>), soulignant la structure tridimensionnelle du biofilm épilithique (maturité) favorisée par des courants faibles et d'autres processus hydrodynamiques peu accentués.

### **III-1-5 Rôle des variables physico-chimiques sur la diversité et la dynamique d'abondance des diatomées collectées.**

Le tableau XI présente le coefficient de corrélation de rang (rs) de Spearman (p< 0,05; p<0,01) calculé entre 17 variables physico-chimiques de l'eau et l'abondance relative de 53 espèces et variétés de diatomées dominantes et fréquemment dénombrées dans le réseau hydrographique de la Mefou. Il est noté que les communautés diatomiques présentent dans l'ensemble des sensibilités différenciées aux conditions environnementales de leurs habitats.

#### **III-1-5-1 Corrélations entre les variables physico-chimiques et l'abondance relative des diatomées dans la Mefou et le Nga**

L'abondance relative des taxons qui prédominent le peuplement diatomique dans ces deux cours d'eau est corrélée significativement avec un nombre restreint des variables physico-chimiques évaluées ou alors ne semble pas dépendre de ces facteurs abiotiques. Ainsi, les taxons tels que *Achnanthes lanceolata ssp. rostrata* (ALAR), *Achnanthes subhudsonis* (ASHU) et *Cocconeis placentula var. euglypta* (CPLE) qui se développent mieux aux stations Me<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> et N<sub>3</sub> ne montrent aucune corrélation significative avec ces variables physico-chimiques de l'eau (Tableau X). L'augmentation des valeurs de la température de l'eau entraîne une baisse significative (p<0,05) des effectifs d'*Achnanthes exigua var. exigua* (AEXG) et une multiplication remarquable de *Cymbella silesiaca* (CSLE). L'abondance d'*Achnanthes inflata* (AINF), espèce très commune aux stations N<sub>2</sub> et Me<sub>4</sub>, est corrélée positivement à l'oxygène dissous et négativement à la conductivité électrique. Les teneurs relativement élevées en ions calcium sont favorables à la prolifération d'*Achnanthes minutissima* alors que la température constitue un facteur limitant pour cette espèce. Le développement de *Brachysira neoexilis*, plus abondante à la station Me<sub>2</sub>, est ralenti par un pH élevé et des fortes concentrations en ions nitrates. *Cocconeis placentula var. placentula* (CPLA) montre une corrélation négative (p<0,05) avec la couleur et le pH, elle apparaît plus sensible aux eaux très

**Tableau XI:** Coefficient de corrélation de rang (rs) de Spearman entre les variables physico-chimiques et les taxons de diatomées dominantes et fréquemment dénombrés dans le s cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou.

Temp: Température, cond: conductivité électrique, coul: couleur, Turb: turbidité, Alc: alcalinité, Oxyd: oxydabilité, OD: oxygène dissous. Les noms complets des taxons sont donnés dans le texte. (\* et \*\*): Corrélations significatives à  $p < 0,05$  et  $p < 0,01$  respectivement. N=345 observations.

Taxons	Variables														
	Temp.	pH	cond.	coul.	Turb.	MES	Alc.	Ca <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Oxyd	OD
AEXG	-0,67*	-0,39	0,07	0,13	0,25	0,04	0,04	0,18	0,07	0,12	0,14	-0,01	0,37	0,13	0,12
AINF	0,25	0,25	-0,61**	0,24	0,21	0,04	-0,05	0,11	-0,29	0,04	-0,04	-0,24	0,12	0,08	0,36*
ALAR	0,07	0,05	-0,12	0,13	0,22	0,03	0,15	0,14	-0,15	-0,02	0,05	0,03	0,25	-0,02	0,19
AMIN	-0,43**	0,03	0,20	0,15	0,19	0,07	0,19	0,36**	-0,07	0,24	-0,08	-0,01	0,05	0,08	0,10
AMMO	0,68*	0,25*	0,81*	0,68*	0,74**	0,61*	0,68*	-0,10	0,88**	0,75*	0,26*	0,12	-0,81*	0,71*	-0,86**
ASHU	0,00	0,14	-0,03	-0,35	-0,18	-0,08	0,16	0,33	-0,03	-0,22	0,28	0,07	0,14	0,23	0,19
AUGR	0,47**	0,05	0,32*	0,29*	0,35*	0,34*	0,36*	0,46*	0,31*	0,70*	0,50*	0,23	0,09	-0,41**	-0,34**
BNEO	-0,44	-0,64*	0,03	0,17	0,07	-0,22	0,18	-0,13	-0,27	-0,03	-0,10	-0,62*	0,17	0,11	0,25
CPLA	-0,14	-0,78*	-0,23	-0,86*	-0,11	-0,27	-0,37	0,13	0,21	-0,25	0,11	0,07	-0,16	-0,15	0,25
CPLE	0,01	-0,17	0,08	0,20	0,34	0,05	0,14	0,25	-0,01	0,26	0,01	-0,08	0,27	-0,17	-0,15
CDES	0,52*	0,2	-0,25	-0,54*	-0,73**	-0,53*	-0,21	0,07	0,47*	-0,39	-0,32	-0,06	-0,09	-0,24	0,09
CGRA	0,49**	0,29	-0,41*	0,63**	0,53**	0,63**	-0,52**	-0,27	-0,3	-0,21	-0,62**	0,04	-0,21	-0,41*	0,36
CSLE	0,37**	-0,07	-0,09	-0,2	-0,03	0	-0,14	-0,22	0,25	-0,21	0,22	-0,21	-0,01	0,13	0,12
DCOT	-0,78**	0,09	-0,77*	-0,71*	0,88*	0,84*	0,32	-0,32*	0,33*	-0,35*	-0,30*	-0,08	-0,70*	-0,67**	0,45*
EBIL	-0,02	0,02	0,17	0,37*	0,38*	0,12	0,02	0,14	-0,01	0,12	0,17	0,25	0,16	-0,08	-0,13
EINC	-0,07	-0,11	0,03	-0,58**	-0,44*	-0,29	0,12	0,06	0,14	-0,16	0,23	0,02	-0,48**	-0,43**	0,15
EMIN	0,03	-0,06	-0,28*	-0,19	-0,01	0,03	0,15	0,28	0,11	-0,09	0,07	-0,12	-0,19	-0,08	0,15
EMON	0,13	0,14	0,17	0,55**	-0,41*	0,19	0	-0,11	-0,02	0,18	-0,38*	0,01	0,19	0,12	0,06
EPEX	0,24	0,09	0,16	0,37*	0,54**	0,13	0,15	0,14	0,09	-0,07	-0,35*	0,11	0,07	0,34*	0,08
EPUN	-0,02	0,05	-0,49**	-0,05	0,18	0,16	0,19	0,32	0,09	0,25	-0,42	0,07	0,15	0,23	0,14

Tableau XI (suite)

Taxons	Variables														
	Temp.	pH	cond.	coul.	Turb.	MES	Alc.	Ca <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Oxyd	OD
ERHO	0,63**	0,21	-0,41*	0,01	0,16	0,01	0,15	-0,21	0,04	0,21	0,19	-0,39*	-0,19	-0,21	0,02
FCVA	0,52**	0,06	-0,72*	0,48*	-0,15	-0,18	-0,80*	-0,03	0,08	0,02	0,13	0,21	0,09	-0,71*	0,01
FPIN	0,51*	-0,07	-0,41*	0,72**	-0,41	-0,43	-0,29	-0,41	0,25	0,16	0,37	-0,14	0,05	-0,31	0,21
FUAC	-0,43**	-0,08	-0,21	0,38**	0,47**	0,37**	-0,02	0	0,46**	0,11	0,19	0,08	0,11	0,29	0
FSAX	0,13	0,25	0,11	0,31*	-0,05	0	-0,13	0,1	0,02	-0,06	0,13	-0,03	-0,05	-0,15	0,25
GCLE	0,17	0,02	-0,48**	-0,44*	-0,52**	-0,28	-0,15	0,06	-0,12	0,08	-0,31	-0,37	-0,09	-0,52**	0,04
GGRA	-0,31*	0,09	-0,81**	0,84*	0,45**	0,69**	-0,25*	-0,96*	0,12	-0,89*	0,04	0,05	-0,81*	-0,29*	0,18*
GMIN	0,04	-0,08	-0,43**	0,32*	-0,35*	-0,15	-0,04	-0,19	0,07	-0,1	-0,11	-0,31*	0,05	-0,44**	-0,01
GPAPP	-0,37	0,77*	-0,81*	0,85*	0,82*	0,68**	0,66**	-0,89*	0,02	-0,66**	-0,28*	-0,25	-0,89*	-0,90*	-0,08
GPPA	-0,82*	-0,76**	-0,50**	0,67**	0,82*	0,73*	-0,67**	-0,78*	0,59*	-0,84*	-0,19	0,21	-0,70**	-0,90**	0,24*
GPLA	0,38	0,11	-0,66**	0,81*	0,41	-0,56*	-0,69**	0,68*	0,45	0,41**	0,27	-0,17	0,72*	0,67**	-0,22*
GPAS	-0,17	0,75*	0,86*	0,90*	-0,23	-0,15	0,69*	-0,55*	0,52*	0,93**	0,86*	0,15	0,11	0,53*	-0,85*
GPTE	0,12	-0,21	-0,46*	0,44*	-0,25	-0,15	0,02	-0,06	0,21	0,18	-0,09	-0,31	-0,05	-0,39*	-0,14
GPXS	-0,75*	0,80*	-0,74*	0,80*	0,76**	0,76**	-0,92**	-0,82**	-0,05	-0,79**	-0,18	-0,41*	-0,74**	-0,84**	0,42**
HAMP	0,42*	0,29*	0,83**	0,72*	0,47*	-0,07	0,82**	0,79*	0,67*	0,61*	0,73**	0,09	0,31*	0,03	-0,93**
NASP	-0,18	-0,82*	-0,08	0,19	0,14	-0,03	0,06	-0,3	-0,17	0,19	-0,24	0,09	0,29	0,12	-0,16
NARV	0,04	-0,24	0,66*	-0,03	0,01	-0,25	0,74**	0,22	0,42**	0,66*	-0,83*	0,15	0,65*	0,60*	-0,58*
NBRE	0,38*	-0,06	0,09	0,47**	-0,48*	0,28	0,23	0,17	0,05	0,28	0,21	0,08	0,12	-0,05	-0,08
NCRY	0,25*	0,21*	-0,68**	0,05	0	0,03	0,76*	0,24*	0,07	-0,17	0,71*	0,14	-0,91**	0,86*	-0,22*
NEAG	-0,13	-0,14	-0,22	-0,17	-0,04	-0,22	0,31	0,22	0,44*	-0,01	0,05	-0,11	0,27	-0,09	-0,23
NGOE	0,13	-0,84*	0,69*	0,79*	-0,67**	0,26	0,39	0,77*	0,25	0,83*	0,19	-0,08	0,73**	0,69**	0,12
NHMD	-0,16	-0,12	-0,31*	0,13	0,04	-0,06	0,06	-0,17	0,02	0,09	0,12	0,15	0,18	-0,16	0,12
NINC	0,37**	0,22	-0,05	0,91**	0,07	0,12	-0,16	0,78*	0,13	0,26*	-0,78*	0,04	0,85**	0,73*	-0,05
NMUI	0,27	-0,12	0,04	0,28*	0,08	0,31*	0,13	0,09	0,30*	0,21	0,21	-0,2	0,08	0,19	0,45**
NMUT	0,94*	-0,81*	0,49*	0,76*	-0,85*	0,04	0,78*	0,68*	0,14	0,82*	0,03	-0,07	0,05	0,67**	-0,66*
NPAL	-0,67**	0,33	0,71**	-0,69**	-0,86**	-0,67**	0,89*	0,89*	0,62*	0,75*	0	0,62*	0,82*	0,78**	-0,63**
NSEM	-0,32	0,25*	0,69*	-0,06	-0,04	0,19	0,82**	-0,25	0,81**	-0,80*	0,74*	0,64*	0,68*	0,43*	-0,08
PBRA	-0,04	0,64*	0,11	-0,03	-0,11	-0,28	0,62*	0,01	0,46	0,72**	0,74*	-0,23	0,14	0,75**	-0,28
PINI	-0,29*	-0,1	0,05	-0,14	-0,17	-0,14	0,05	-0,23	0,16	-0,12	0,58**	0,14	0,90*	-0,95**	0,88**
PMIC	-0,89*	0,71*	0,13	0,49**	0,90*	0,83*	0,90*	0,09	0,21	0,80*	-0,29*	-0,27*	0,81*	0,22	-0,88*
POBS	0	-0,04	-0,45*	0,27	0,1	0,06	0,09	0,29	0,17	-0,38*	0,03	0,05	-0,54*	0,24	0,57**
PSCA	-0,07	-0,74**	0,62*	0,71*	-0,69*	0,77**	-0,84*	0,09	0,17	0,52*	0,74**	-0,39	0,95*	-0,85*	-0,63*
SPUP	0,30*	-0,16	0,68*	0,46**	0,42**	0,11	0,73*	0,82**	0,09	0,45**	-0,05	0	0,86*	0,44*	-0,23

AEXG: *Achnanthes exigua* var. *exigua*, AINF: *Achnanthes inflata*, ALAR: *Achnanthes lanceolata* spp *rostrata*, AMIN: *Achnanthes minutissima*, AMMO: *Amphora montana*, ASHU: *Achnanthes subhudsonis*, AUGR: *Aulacoseira granulata*, BNEO: *Brachysira neoexilis*, CPLA: *Cocconeis placentula*, CPLE: *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, CDES: *Cymbella descripta*, CGRA: *Cymbella gracilis*, CSLE: *Cymbella silesiaca*, DCOT: *Diademesis contenta*, EBIL: *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris*, EINC: *Eunotia incisa*, EMIN: *Eunotia pectinalis* var. *minor*, EMON: *Eunotia monodon* var. *monodon*, EPEX: *Eunotia praerupta* var. *exelsa*, EPUN: *Eunotia pectinalis* var. *undulata*, ERHO: *Eunotia rhomboidea*, FCVA: *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, FPIN: *Fragilaria pinnata* var. *pinnata*, FUAC: *Fragilaria ulna* var. *acus*, FSAX: *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, GCLE: *Gomphonema clevei*, GGRA: *Gomphonema gracile*, GMIN: *Gomphonema minutum*, GPAPP: *Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *parvulum*, GPPA: *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*, GPLA: *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, GPAS: *Gomphonema pavulum* var. *parvulum* f. *saprophilum*, GPTE: *Gomphonema pseudotenelum*, GPXS: *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, HAMP: *Hantzschia amphioxys*, NASP: *Navicula* sp aff *tenella*, NARV: *Navicula arvensis*, NBRE: *Nitzschia brevissima*, NCRY: *Navicula cryptocephala*, NEAG: *Neidium iridis* var. *amphygomphus*, NGOE: *Navicula geoppertiana*, NHMD: *Navicula heimansiodes*, NINC: *Nitzschia inconspicua*, NMUI: *Navicula mutica* var. *intermedia*, NMUT: *Navicula mutica*, NPAL: *Nitzschia palea*, NSEM: *Naviucla seminulum*, PBRA: *Pinnularia braunii*, PIN1: *Pinnularia* sp1, PMIC: *Pinnularia microstauron*, POBS: *Pinnularia obscura*, PSCA: *Pinnularia subcapitata*, SPUP: *Sellaphora pupula*

colorées et riches en composés basiques. Les températures élevées et les fortes teneurs en silice conduisent à une hausse significative ( $p < 0,05$ ) de l'abondance de *Cymbella descripta* (CDES). Un effet contraire s'observe avec la couleur de l'eau, la turbidité et les matières en suspension. Bien que la température, la couleur et la turbidité favorisent le développement de *Cymbella gracilis* (CGRA), cinq autres facteurs abiotiques (conductivité électrique, MES, alcalinité, oxydabilité, nitrites) exercent plutôt une action inhibitrice sur cette diatomée. La prolifération de *Diadesmis contenta* (DCOT) est en général ralentie par la plupart des paramètres indicateurs de pollution organique et stimulée par la turbidité, la silice et les MES.

La dynamique d'abondance des variétés d'*Eunotipectinalis* notamment *E. pectinalis* var. *minor* (EMIN) et *E. pectinalis* var. *undulata* (EPUN) est corrélée négativement ( $p < 0,05$ ) à la conductivité électrique, soulignant que ces taxons prolifèrent abondamment dans les eaux faiblement minéralisées. D'autres Eunotiaceae telles que *E. bilunaris* var. *bilunaris* (EBIL) et *E. praerupta* var. *exelsa* (EPEX) se multiplient mieux dans les eaux relativement colorées et turbides contenant quelques fois de très faibles quantités de matières organiques. Ces diatomées ont présenté des corrélations significatives avec la couleur, la turbidité et l'oxydabilité. Quant à l'espèce *Eunotia incisa* (EINC), son développement se trouve limiter par une augmentation significative ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de la couleur, de la turbidité et par les ions orthophosphates et l'oxydabilité. Les fortes teneurs en ions nitrites, associées à une élévation de la turbidité de l'eau conduisent à une réduction des effectifs d'*Eunotia monodon* (EMON), la couleur de l'eau ayant plutôt un effet stimulateur pour cette espèce. La prolifération d'*Eunotia rhomboidea* (ERHO) est favorisée par les températures élevées, mais l'augmentation des valeurs de la conductivité électrique et des ions nitrates entraînent une baisse significative de l'abondance de cette espèce.

*Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (FCVA) et *Fragilaria pinnata* (FPIN) exigent des températures relativement élevées et une eau colorée pour leur développement, mais leurs effectifs diminuent significativement ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) lorsque les eaux deviennent très minéralisées et alcalines. La prolifération des Gomphonemataceae tels que *Gomphonema clevei* (GCLE), *G. pseudotenellum* (GPTE) et *G. minutum* (GMIN) se trouve ralentie par une élévation concomitante des valeurs de la conductivité électrique, de la turbidité et de l'oxydabilité. On note aussi que les ions nitrates constituent également un facteur limitant pour *Gomphonema minutum*. *Fragilaria ulna* var. *acus* (FUAC) présente des corrélations positives avec la couleur, la turbidité, les MES et la silice. Ce taxon semble donc se multiplier abondamment dans les eaux colorées, turbides et riches en silice. Ces fortes teneurs en silice sont aussi déterminantes au développement de *Neidium iridis* var. *amphygomphus* (NEAG). *Fragilaria ulna* var. *acus* montre également une corrélation négative

( $p < 0,01$ ) avec la température. L'augmentation des valeurs de la couleur de l'eau est concomitante à une hausse de l'abondance de *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* (FSAX). Quatre facteurs abiotiques apparaissent importants dans la distribution de *Navicula mutica* var. *intermedia* (NMUI). Ce sont la couleur, les MES, la silice et l'oxygène dissous qui montrent des liaisons positives avec ce taxon. La multiplication de *Navicula* sp. *aff. tenella* (NASP) est inhibée par un pH élevé, et celle de *Navicula heimansioides* par des fortes valeurs de la conductivité électrique. En fin, *Pinnularia obscura* (POBS) présente des corrélations positives ( $p < 0,05$ ) avec la dureté totale et l'oxygène dissous, et négatives avec les ions ammonium et orthophosphates. Cette espèce semble donc mieux se développer dans les eaux relativement dures ( $r_s = 0,38$ ), faiblement minéralisées et bien oxygénées.

### **III-1-5-2 Corrélations entre les variables physico-chimiques et l'abondance relative des diatomées dans le Mfoundi et ses affluents**

En milieu urbain, la distribution des espèces et variétés de diatomées qui dominent les communautés diatomiques est régulée, dans la plupart des cas, par plusieurs facteurs abiotiques évalués. Ainsi, l'abondance de *Nitzschia palea* (NPAL), espèce très commune et dominante dans le réseau hydrographique du Mfoundi, présente des corrélations assez fortes et positives ( $r_s \geq 0,62$ ) avec huit des variables physico-chimiques étudiées (conductivité électrique, alcalinité, ions calcium, silice, azote ammoniacal, nitrates, orthophosphates, oxydabilité). Cette espèce semble mieux se développer lorsque ces variables présentent des valeurs élevées et serait donc indicatrice des eaux à la fois chargées de matières organiques, dures et très minéralisées. La même espèce montre des corrélations négatives avec la température, les MES, la couleur de l'eau, la turbidité et l'oxygène dissous.

Plusieurs variétés de *Gomphonema parvulum*, notamment *G. parvulum* var. *parvulum* f. *parvulum* (GPAPP), *G. parvulum* var. *parvulus* (GPPA) et *G. parvulum* var. *exilissimum* (GPXS), abondantes aux stations Mf<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, Ns<sub>2</sub> et Ns<sub>3</sub>, ont montré en général des corrélations négatives avec les indicateurs de pollution organique. Ces taxons apparaissent plus sensibles à la détérioration de la qualité de l'eau par les matières organiques et les alcalino-terreux. Ils sont par ailleurs positivement corrélés avec les MES, la couleur de l'eau et la turbidité. En plus de ces trois variables, le développement de *G. parvulum* var. *exilissimum* est favorisé par une augmentation du pH et l'oxygène dissous. On relève que la température constitue un facteur limitant pour cette variété et pour *G. parvulum* var. *parvulus* qui exprime de plus un besoin important en silice. L'augmentation des valeurs de la couleur, des ions calcium, ammonium et orthophosphates ainsi que l'oxydabilité conduit à une hausse significative des abondances de *G. parvulum* var. *lagenula* (GPAL). Un effet inverse s'est observé avec la conductivité électrique et le pH. La multiplication de *G. parvulum* var.

*parvulum* f. *saprophilum* (GPAS) est stimulée significativement ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) par des fortes teneurs en silice, en ions ammonium et nitrites, ainsi que des valeurs élevées de pH, de la conductivité électrique, de la couleur et de l'alcalinité. Ce taxon montre au contraire des liaisons négatives avec l'oxygène dissous et les ions calcium. *Gomphonema gracile* (GGRA) présente des corrélations positives avec la couleur de l'eau, les MES, la turbidité et l'oxygène dissous. Les autres facteurs abiotiques indicateurs de pollution organique et de la minéralisation lui sont corrélés négativement.

*Navicula geoppertiana* (NGOE) et *Nitzschia inconspicua* (NINC) montrent une corrélation positive très forte et significative ( $p < 0,01$ ) avec l'oxydabilité et les orthophosphates, ainsi qu'un besoin important d'ions ammonium et calcium pour leur développement. De plus, leur effectif s'accroît lorsque les eaux sont très minéralisées et plus colorées. La conductivité électrique, la couleur, les MES, les ions ammonium, nitrates et orthophosphates favorisent la prolifération de *Pinnularia subcapitata* (PSCA) alors qu'un pH élevé, l'alcalinité, la turbidité et l'oxydabilité exercent au contraire une action limitante sur cette espèce. L'abondance de *Hantzschia amphioxys* (HAMP), *Navicula arvensis* (NARV) et *Navicula seminulum* (NSEM) est positivement corrélée à la conductivité électrique, l'alcalinité, l'oxydabilité, les ions ammonium, nitrates et orthophosphates. En plus de ces variables, un pH élevé favorise aussi la hausse des effectifs de *N. seminulum* et *H. amphioxys*. Ces taxons sont également indicateurs des eaux alcalines, très minéralisées et riches en matières organiques. Il en est de même pour *Sellaphora pupula* (SPUP), *Amphora montana* (AMMO), *Aulacoseira granulata* (AUGR) et *Pinnularia microstauron* (PMIC) qui prolifèrent mieux dans les eaux ayant des caractéristiques physico-chimiques similaires.

L'abondance de *Navicula mutica* (NMUT) est associée surtout à l'oxydabilité et, dans une moindre mesure, à la température, à la conductivité électrique, à la couleur, à l'alcalinité, ainsi qu'aux ions calcium et ammonium. L'augmentation des teneurs en ions nitrates et orthophosphates, ainsi que le taux de saturation en oxygène dissous est concomitante à une hausse des effectifs de *Pinnularia* sp.1 (PIN1). Le développement de ce taxon se trouve limiter par la température et l'oxydabilité. La variation d'abondance de *Navicula cryptocephala* (NCRY) est corrélée positivement avec l'alcalinité, les ions calcium et nitrites, l'oxydabilité. Un pH élevé et une élévation relative de la température stimule davantage la multiplication de cette espèce.

Dans l'ensemble, la majorité des espèces et variétés de diatomées qui dominent la communauté diatomique dans le réseau hydrographique du Mfoundi montrent des liaisons positives avec la plupart des facteurs abiotiques indicateurs de pollution organique. Cependant, le

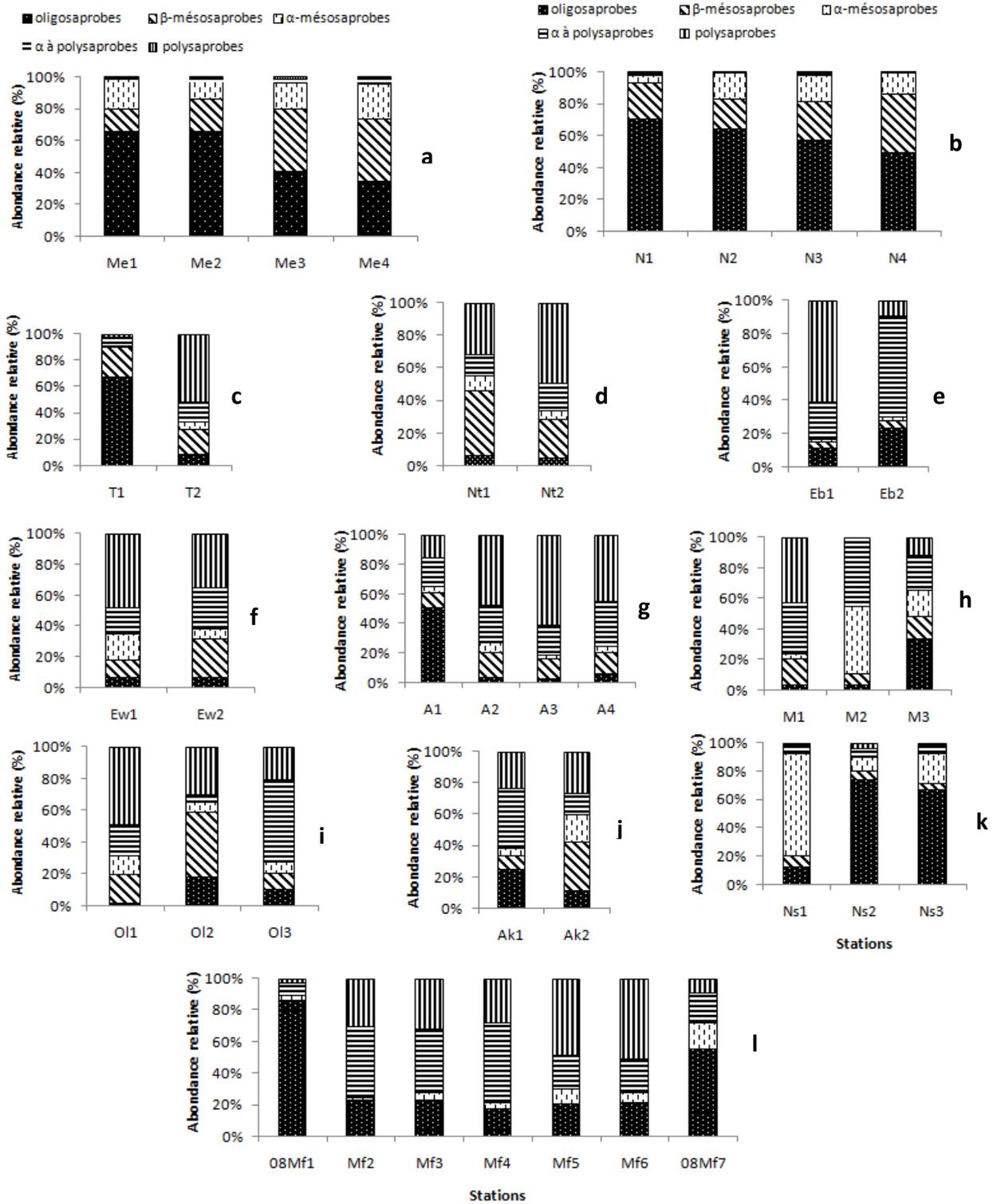
développement des taxons abondants dans la zone des sources de certains cours d'eau urbains est favorisé lorsque les eaux sont turbides et moyennement oxygénées.

### III-1-5-3 Distribution des diatomées épilithiques d'après leur préférence écologique

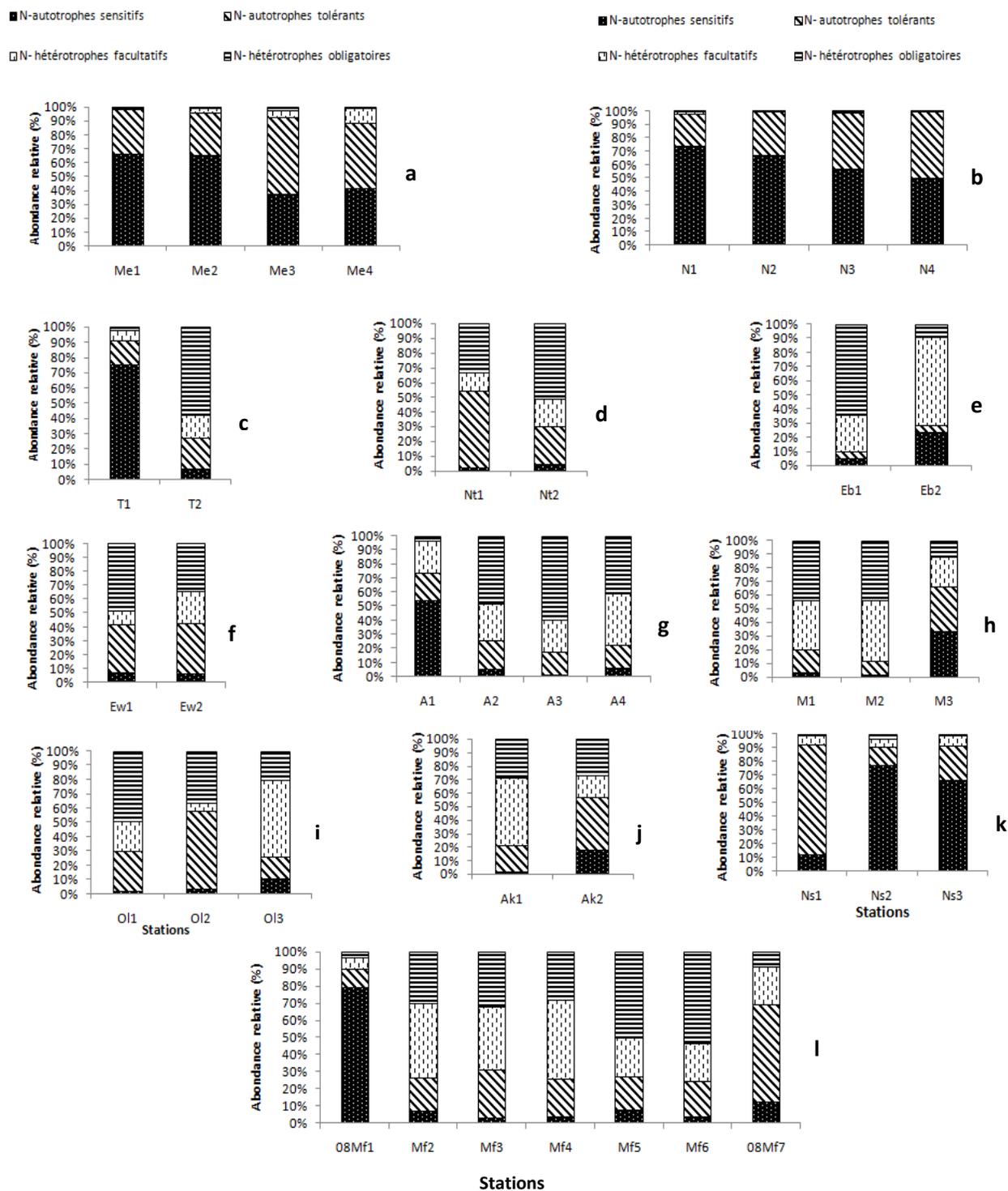
Les espèces et variétés de diatomées répertoriées ont été groupées selon leur besoin en matières organiques, en azote et en oxygène dissous dans l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés (Figures 71, 72, 73).

Concernant l'affinité de ces microorganismes pour les polluants organiques, on observe que les espèces oligo-à  $\beta$ -mésosaprobies (62 à 83,3 %) dominent le peuplement diatomique dans la Mefou, le Nga, le cours supérieur de Tongolo (station T<sub>1</sub>), de l'Abiergué (station A<sub>1</sub>) et du Mfoundi (station Mf<sub>1</sub>) ainsi que le secteur moyen et inférieur du Ntsomo (stations Ns<sub>2</sub> et Ns<sub>3</sub>) (Figure 72 a, b, c, g, k, m). Ces classes sont composées essentiellement dans la Mefou et le Nga par l'association *Navicula heimansioïdes*, *Gomphonema gracile*, *Diadesmis contenta*, *Fragilariapinnata* var. *pinnata*, *Cymbella descripta*, *Cymbella gracilis*, *Frustulia rhomboïdes* var. *saxonica*, *Eunotia incisa*, *Eunotia pectinalis* var. *minor* et *Achnanthes minutissima*. Les autres stations (T<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, Mf<sub>1</sub>, Ns<sub>2</sub>, Ns<sub>3</sub>) sont favorables au développement de *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *Brachysira neoexilis*, *Eunotia rhomboïdea* et *Frustulia crassinervia*. Dans la majorité des autres stations localisées dans les tronçons moyen et inférieur des cours d'eau urbains (Figure 71c à m), ces espèces oligosaprobies régressent considérablement au profit des espèces  $\alpha$ -mésosaprobies à polysaprobies (60,51 à 81,23 %), électives des eaux très polluées. Dans ces secteurs prédominent *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Gomphonemaparvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum*, *Navicula geoppertiana*, *Navicula arvensis*, *Navicula veneta* et *Navicula seminulum*.

La distribution des diatomées en fonction de leur besoin en azote (Figure 72) montre que les taxons autotrophes sensitifs (*N. heimansioïdes*, *C. descripta*, *G. gracile*, *E. incisa*, *G. augur*, *G. parvulum* var. *parvulus*, *G. parvulum* var. *exilissimum*, *F. rhomboïdes* var. *saxonica*), qui ne tolèrent que de très faibles concentrations en azote, se multiplient davantage dans la Mefou, le Nga et quelques secteurs peu perturbés des cours d'eau urbains (T<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, Mf<sub>1</sub>, Ns<sub>2</sub>, Ns<sub>3</sub>) (Figure 72a, b, c, g, k, m). Dans les autres stations plus polluées de ces hydrosystèmes urbains, les taxons hétérotrophes facultatifs et obligatoires (*N. palea*, *G. parvulum* var. *lagenula*, *N. geoppertiana*, *N. arvensis*, *N. seminulum*), exigeant de fortes teneurs en azote pour leur développement, se substituent aux précédents et présentent des abondances élevées atteignant parfois 76 % dans le Mfoundi, à l'aval des rejets de la SABC.



**Figure 71:** Distribution des diatomées selon leur besoin en matières organiques le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l). Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué: Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>.



**Figure 72:** Distribution des diatomées selon leur besoin en azote le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ebogo (e), Ewoué (f), Abiergué (g), MINGOA (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l). Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, .Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; MINGOA: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué: Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>.

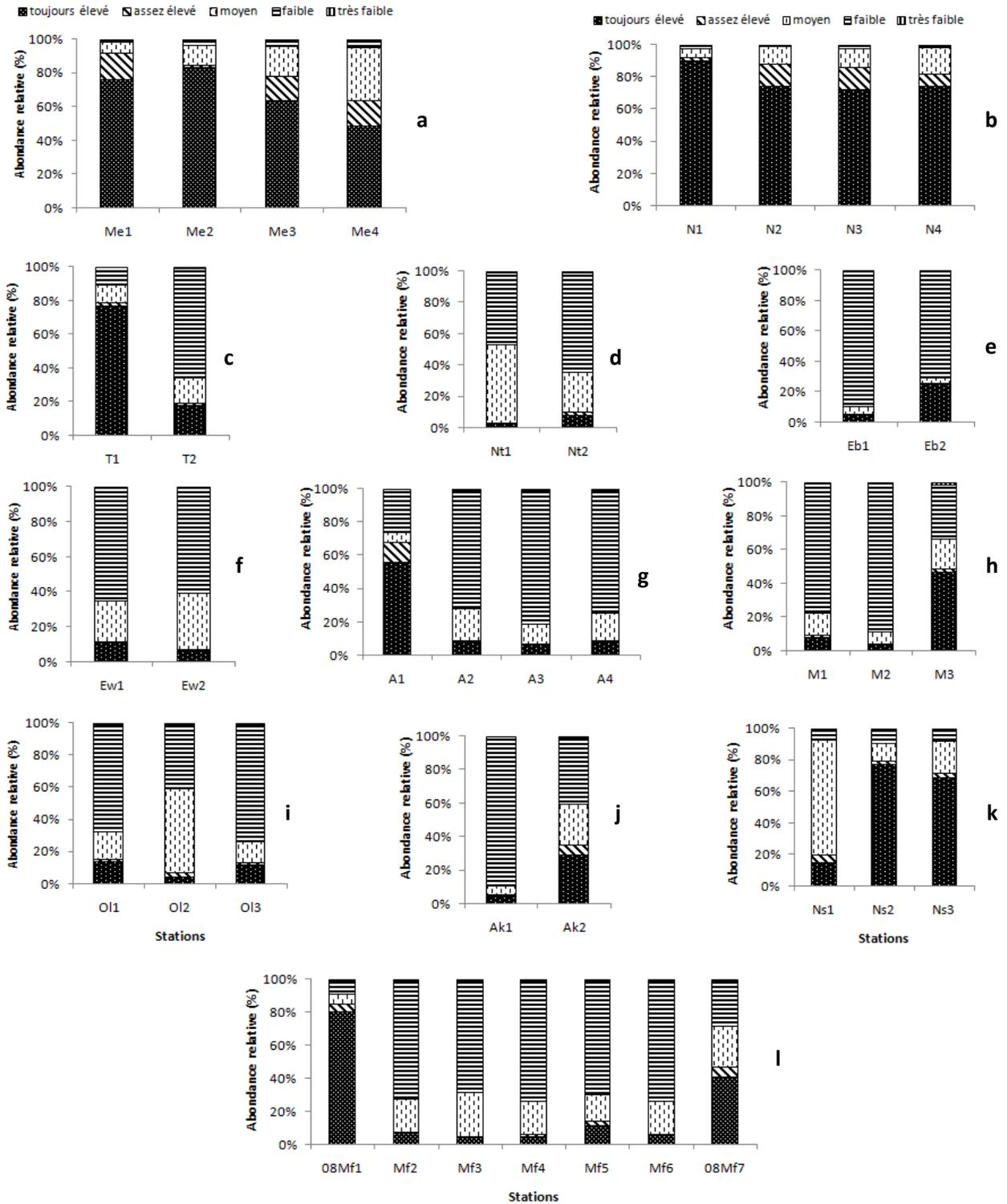
L'analyse de la répartition des diatomées selon leur exigence vis-à-vis des teneurs en oxygène dissous dans l'eau (Figure 73) montre que les taxons polyoxybiontes (*A. minutissima*, *F. pinnata* var. *pinnata*, *N. heimansioïdes*, *C. gracilis*, *E. incisa*, *E. rhomboïdea*, *G. gracile*, *G. parvulum* var. *exilissimum*, *G. parvulum* var. *parvulus*, *F. rhomboïdes* var. *saxonica*, *F. crassinervia*), qui ont besoin de fortes concentrations en oxygène, sont également abondants (50 à 79,4 %) dans la Mefou, le Nga, la zone supérieure de Tongolo, Abiergué, Mfoundi, le cours inférieur de Mingoa ainsi que les tronçons moyen et inférieur du Ntsomo (Figure 73 a, b, c, g, h, k, l). Bien qu'ils présentent parfois un développement assez marqué dans certaines stations localisées en aval des zones marécageuses (station Mf<sub>7</sub>), ces taxons polyoxybiontes sont rares voire absents dans les autres secteurs des cours d'eau urbains. Ils y sont remplacés par des espèces oligo-oxybiontes dont la multiplication est favorisée dans les conditions de faibles à très faibles teneurs en oxygène dissous, avec des abondances relatives fluctuant entre 58 et 81,3 % dans les cours inférieur (station T<sub>2</sub>) et moyen (station M<sub>2</sub>) de Tongolo et de Mingoa respectivement (Figure 73 c à m). Le peuplement diatomique de ces stations est dominé par *N. palea*, *G. parvulum* var. *lagenula*, *N. geoppertiana*, et *N. arvensis*. En fin, les diatomées inféodées aux concentrations moyennes en oxygène dissous (50 % de saturation) sont rencontrées majoritairement dans le Ntem, l'Éwoué, le cours supérieur du Ntsomo (Ns<sub>1</sub>), le tronçon moyen de la Mefou (Me<sub>4</sub>), du Mfoundi (Mf<sub>3</sub>) et la partie inférieure d'Olézoa (Ol<sub>3</sub>) et d'Aké (Ak<sub>2</sub>). Ces communautés de diatomées sont constituées essentiellement par l'association *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Cocconeis placentula*, *Navicula cryptocephala*, *Sellaphora pupula*, *Pinnularia microstauron* et *P. subcapitata*.

### III-1-6 Application des indices diatomiques aux cours d'eau étudiés

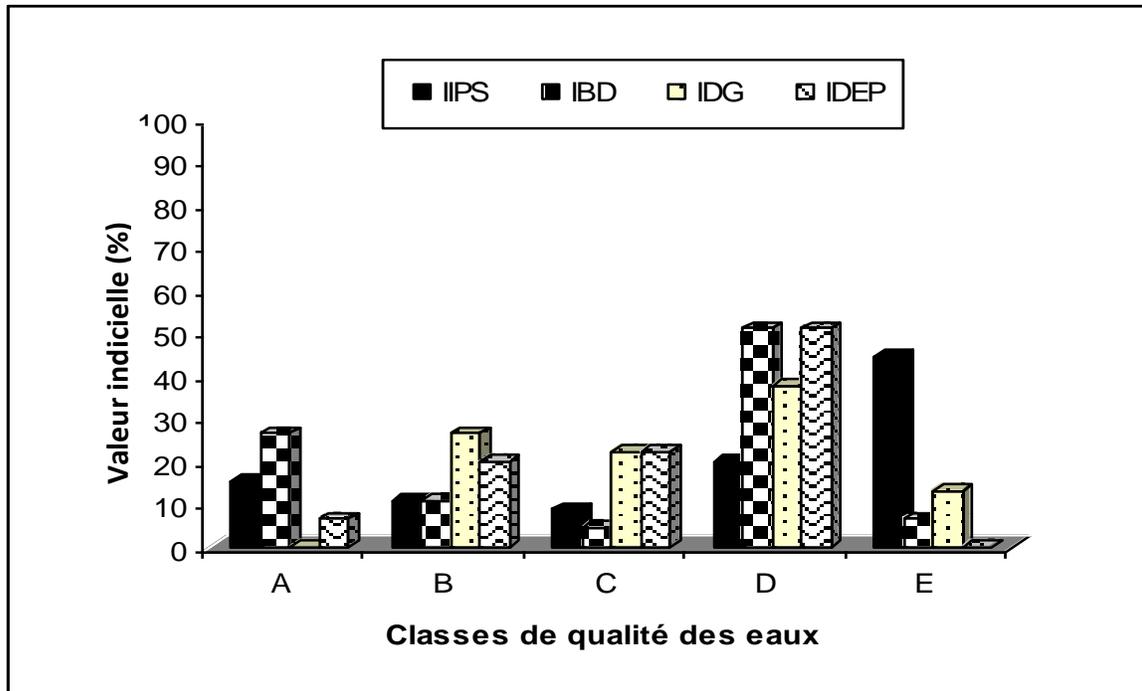
Quatre indices diatomiques ont été testés pour évaluer la qualité biologique des eaux des hydrosystèmes étudiés: l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS), l'Indice Biologique Diatomées (IBD), l'Indice Diatomique Générique (IDG) et l'Indice Diatomique d'Eutrophisation/Pollution (IDEP).

#### III-1-6-1 Signification des indices diatomiques

L'analyse des valeurs indicielles dans l'ensemble des cours d'eau montre une dégradation de la qualité de l'eau surtout en milieu urbain (Figure 74). En effet, 70,5 % des valeurs indicielles sont inférieures à 11 soulignant un niveau de pollution fort à très fort. Bien que les valeurs indicielles diffèrent d'un indice diatomique à l'autre au sein d'une même station, ces métriques présentent globalement un profil de variation similaire le long de ces cours d'eau (Figure 75) en réponse aux fluctuations de la qualité des eaux dans le réseau hydrographique de la Mefou. En effet, tous les



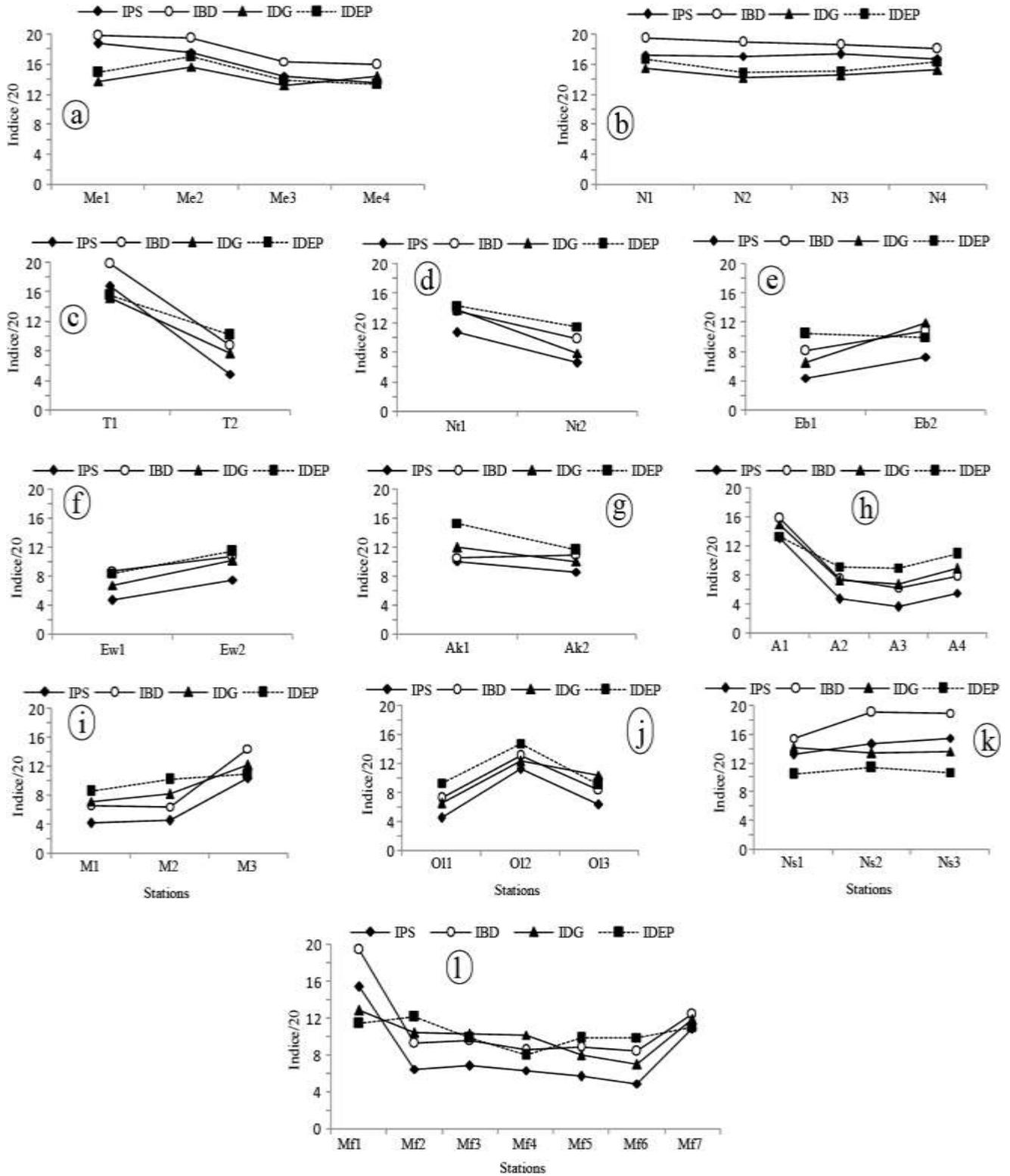
**Figure 73:** Distribution des diatomées selon leur besoin en oxygène le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou : Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Abiergué (g), Mingoa (h), Olézoa (i), Aké (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l). Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>.



**Figure 74:** Distribution des valeurs indicielles (v.i) des différentes stations des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou en fonction des classes de qualité des eaux (A, B, C, D, E). A: pollution nulle ou eutrophisation faible ( $v.i \geq 16$ ); B: eutrophisation modérée ou pollution faible ( $13,5 \leq v.i \leq 15,9$ ); C: pollution moyenne ou forte eutrophisation ( $11 \leq v.i \leq 13,49$ ); D: Pollution forte ( $7 \leq v.i \leq 10,9$ ); E: pollution très forte ( $v.i < 7$ ).

indices diatomiques sont corrélés significativement avec la plupart des paramètres physico-chimiques indicateurs de la pollution organique, de l'eutrophisation et de la minéralisation ( $P < 0,01$ ). Seul, l'IPS possède une sensibilité plus élevée vis-à-vis de ces facteurs abiotiques (tableau XI) et s'avère plus performant pour l'évaluation de la qualité générale des eaux. Les autres indices (IDG, IDEP), dans la plupart des stations, sur-estiment ou sous-estiment la qualité de l'eau, l'écart observé avec l'IPS atteignant régulièrement 5 ou 6 unités.

L'analyse de la variation spatiale des valeurs indicielles montre que la qualité de l'eau se détériore significativement ( $p < 0,05$ ) de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau, excepté Ébogo, Éwoué, Mingoa et Olézoa qui présentent une tendance inverse (Figure 75). Les valeurs maximales de ces indices (15,7 à 19,8), révélant les eaux de bonne à très bonne qualité, sont enregistrées dans la majorité des stations des hydrosystèmes localisées en zone rurale (Figure 76 a, b), et les plus faibles valeurs sont régulièrement notées dans les cours d'eau urbains surtout dans leurs tronçons moyen et inférieur atteignant parfois 3,6 (IPS) à la station A<sub>3</sub> de l'Abiergué (Figure 76 h, i) recevant les eaux résiduaires du marché de Mokolo.



**Figure 75:**Évolution des indices diatomiques (IPS, IBD, IDG, IDEP) le long des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou: Mefou (a), Nga (b), Tongolo (c), Ntem (d), Ébogo (e), Éwoué (f), Aké (g), Abiergué (h), Mingoa (i), Olézoa (j), Ntsomo (k), Mfoundi (l). Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Éwoué: Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>.

**Tableau XII:** Coefficient de corrélation de rang (rs) de Spearman entre les indices diatomiques et les principales variables physico-chimiques de l'eau.

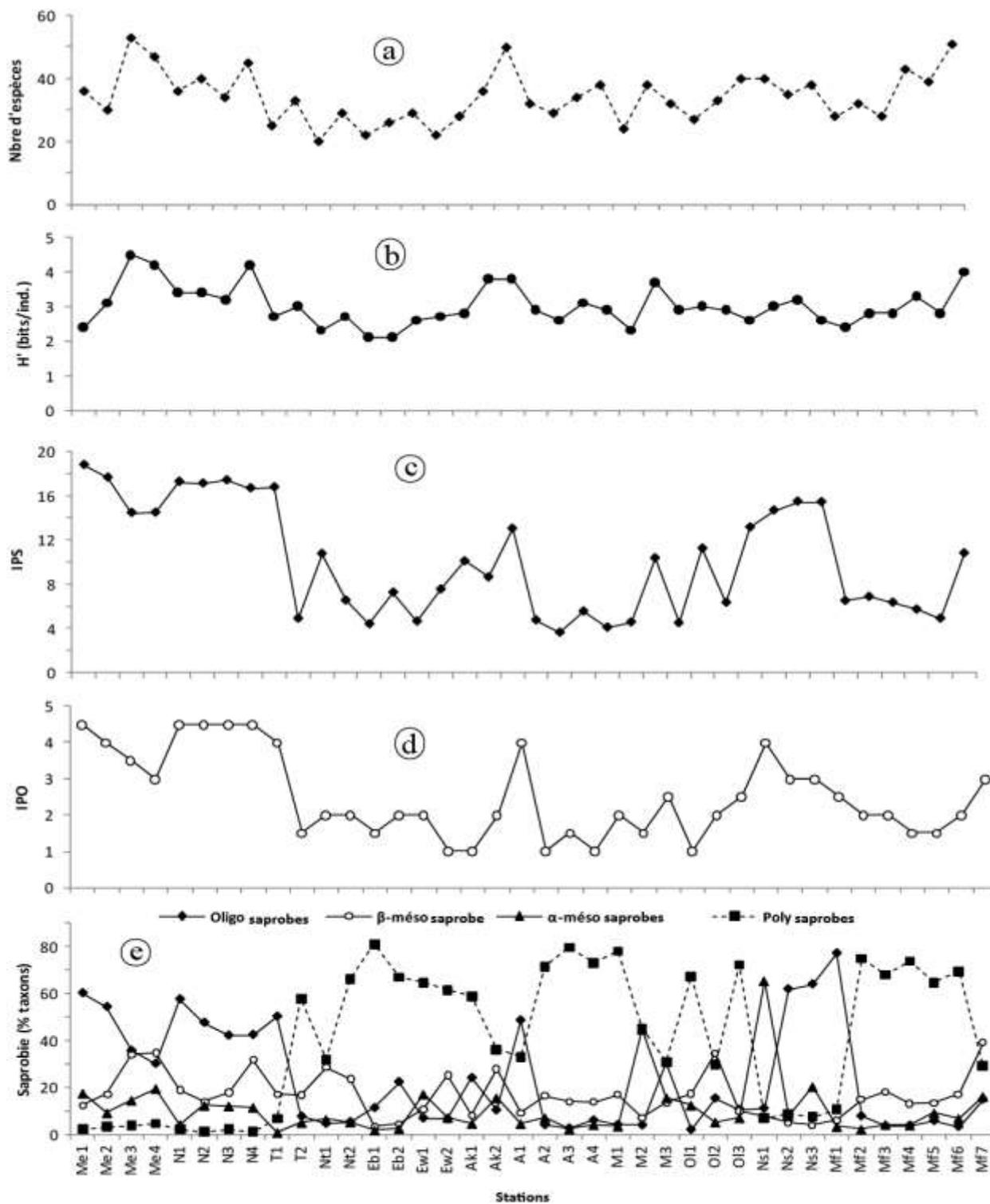
IPS: Indice de Polluosensibilité Spécifique; IBD: Indice Biologique Diatomées; IDG: Indice Diatomique Générique; IDEP: Indice Diatomique d'Eutrophisation/Pollution. (\*\*): Corrélation significative à  $p < 0,01$ ; N=283 observations.

Variables	Indices diatomiques			
	IPS	IBD	IDG	IDEP
Température	0,29**	0,28**	0,22**	0,20**
pH	0,019	0,025	0,032	0,09
Conductivité électrique	0,738**	0,721**	0,678**	0,647**
Couleur	0,309**	0,325**	0,280**	0,285**
Turbidité	-0,305**	-0,303**	-0,272**	-0,250**
Alcalinité	0,754**	0,732**	0,704**	0,631**
Dureté calcique	0,654**	0,635**	0,601**	0,554**
SiO <sub>2</sub>	0,071	0,082	0,073	0,017
Azote ammoniacal	0,778**	0,767**	0,736**	0,646**
Nitrites	0,455**	0,402**	0,387**	0,421**
Nitrates	0,329**	0,284**	0,320**	0,290**
Orthophosphates	0,336**	0,345**	0,325**	0,223**
Oxygène dissous	0,555**	0,548**	0,516**	0,457**
Oxydabilité	0,442**	0,452**	0,439**	0,347**
DBO <sub>5</sub>	0,238**	0,224**	0,234**	0,143**

### III-1-6-2 Comparaison entre les indices diatomiques et les autres paramètres biologiques et physico-chimiques évalués

Pour évaluer l'aptitude des indices diatomiques testés à traduire les différents niveaux d'altération de la qualité des eaux du réseau hydrographique de la Mefou, une comparaison de ces indices avec l'indice de pollution organique (IPO), la saprobie, la richesse spécifique et la diversité de Shannon a été effectuée dans l'ensemble des stations prospectées (Figures 76 et 77). L'IPO (indice chimique découlant des teneurs de l'azote ammoniacal, des nitrites, des orthophosphates et de la DBO<sub>5</sub> obtenues) rend compte de la physico-chimie des eaux (Leclercq et Maquet, 1987). L'IPS et l'IPO présentent une évolution similaire dans l'ensemble du réseau et sont fortement corrélés entre eux ( $r_s = 0,87$  ;  $p < 0,01$ ). Ces deux indices, indiquant les mêmes niveaux d'altération (Tableau XII), montrent que la qualité des eaux se dégrade significativement dans la majorité des stations urbaines (notamment T<sub>2</sub>, Nt<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, Ol<sub>1</sub>), comparée à celles des cours d'eau Mefou et Nga localisés en zone rurale où l'eau est de bonne à très bonne qualité (Figure 76).

Les fluctuations de la qualité des eaux dans l'ensemble des cours d'eau se traduisent par la modification de la composition des communautés de diatomées récoltées. En effet, le profil de



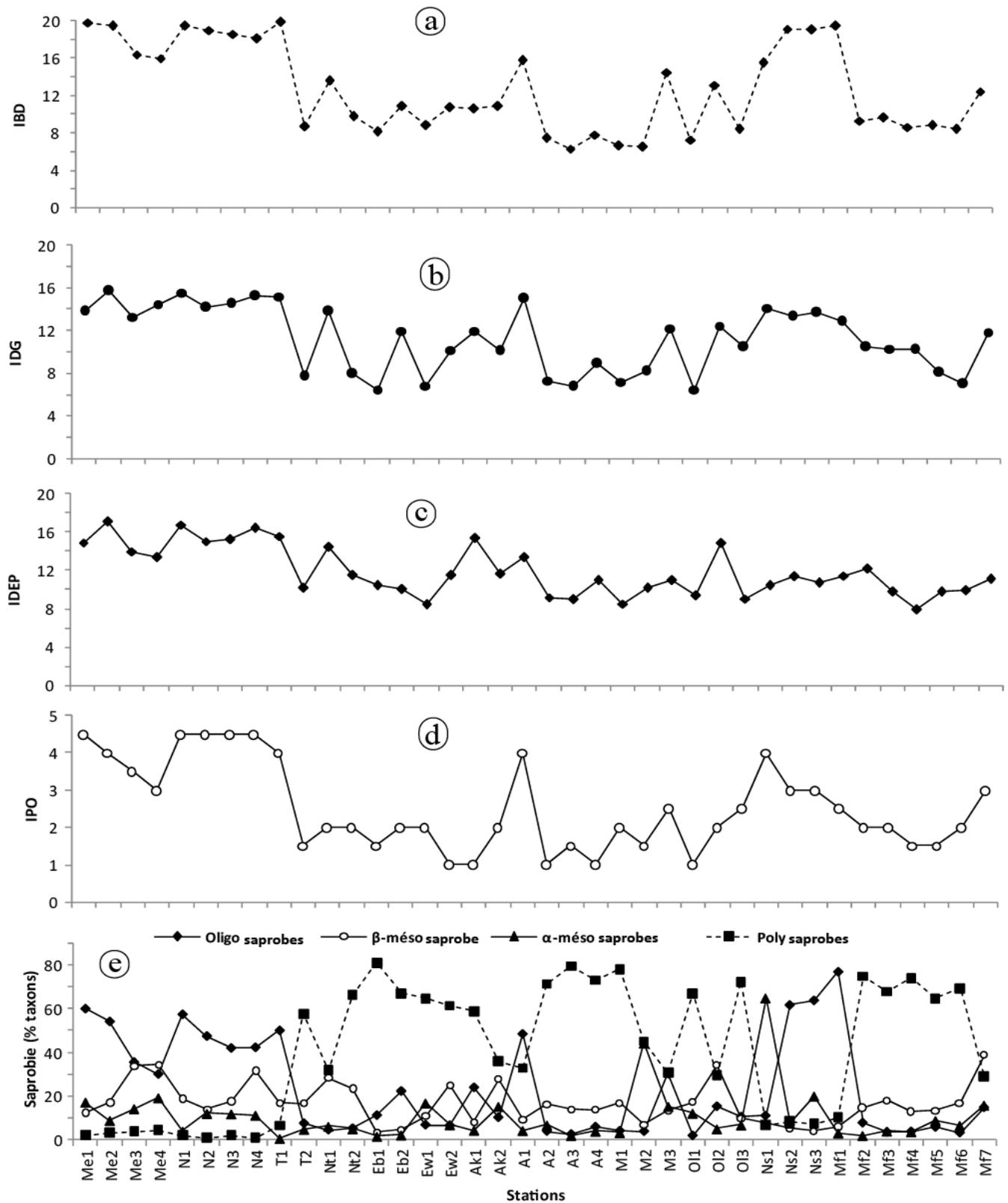
**Figure 76** : Comparaison de l'évolution de la richesse spécifique (a), de la diversité (b), de l'indice de polluosensibilité spécifique, IPS (c), de l'indice de pollution organique, IPO (d) et la saprobie (e) dans le réseau hydrographique de la Mefou. Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, .Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué : Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>

**Tableau XIII** : Classes de qualité des eaux (I, II, III, IV, V) des différentes stations des cours d'eau étudiés obtenues à partir des valeurs des indices diatomiques testés, de l'IPO et de la saprobie calculées. I : Pollution nulle ; II : pollution faible ; III : pollution modérée ; IV : pollution forte ; V : pollution très forte.

Variables	Stations												
	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Me <sub>3</sub>	Me <sub>4</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Nt <sub>1</sub>	Nt <sub>2</sub>	Eb <sub>1</sub>
IPS	I	I	II	II	I	I	I	I	I	V	IV	V	V
IBD	I	I	I	I	I	I	I	I	I	IV	II	IV	IV
IDG	II	II	III	II	II	II	II	II	II	IV	II	IV	V
IDEP	II	I	II	III	I	II	II	I	II	IV	II	III	IV
IPO	I	II	II	III	I	I	I	I	II	V	IV	IV	V
Saprobie	I	I	I-II	I-II	I	I	I	I-II	I	V	II-V	V	V
	Eb <sub>2</sub>	Ew <sub>1</sub>	Ew <sub>2</sub>	Ak <sub>1</sub>	Ak <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Ol <sub>1</sub>
IPS	IV	V	IV	IV	IV	II	V	V	V	V	V	IV	V
IBD	IV	IV	IV	IV	IV	II	IV	V	IV	V	V	II	IV
IDG	III	V	IV	III	IV	II	IV	V	IV	IV	IV	III	V
IDEP	IV	IV	III	II	IV	III	IV	V	IV	IV	IV	III	IV
IPO	IV	IV	V	V	IV	II	V	V	V	IV	V	IV	V
Saprobie	V	V	V	V	II-V	I	V	V	V	V	IV-V	IV	V
	Ol <sub>2</sub>	Ol <sub>3</sub>	Ns <sub>1</sub>	Ns <sub>2</sub>	Ns <sub>3</sub>	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf <sub>3</sub>	Mf <sub>4</sub>	Mf <sub>5</sub>	Mf <sub>6</sub>	Mf <sub>7</sub>	
IPS	III	V	III	II	II	II	V	V	V	V	V	IV	
IBD	II	IV	II	I	I	I	IV	IV	IV	IV	IV	III	
IDG	III	IV	II	III	II	III	IV	IV	IV	IV	IV	III	
IDEP	II	IV	IV	III	IV	III	III	IV	IV	IV	IV	III	
IPO	IV	IV	II	III	III	IV	IV	IV	V	V	IV	III	
Saprobie	II-V	V	III	I	I	I	V	V	V	V	V	II-V	

variation de l'IPS est similaire à celui du pourcentage de taxons oligosaprobies, alors que celui des taxons polysaprobies présente une tendance inverse (Figure 76 c, e). Les taxons saprophiles se multiplient donc abondamment dans la majorité des stations urbaines où l'eau est fortement polluée, tandis que les taxons oligosaprobies restent confinés dans les stations ayant des eaux de bonne qualité comme c'est le cas des stations Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, T<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub> (Tableau XIII). Enfin, le profil de l'IPS n'est pas conforme à celui de la richesse spécifique et de la diversité. Ces deux métriques affichent à la fois des fortes valeurs dans les stations rurales et urbaines (Figure 76). Par exemple, la station Mf<sub>5</sub> du Mfoundi localisée après les brasseries, avec des eaux de mauvaise qualité selon l'IPS et l'IPO, enrégistre 43 espèces de diatomées pour une diversité de 3,3 bits/ind. L'impact de la charge polluante des brasseries n'est donc pas révélé par la richesse spécifique, les espèces sensibles étant remplacées par des espèces polluo-résistantes.

Les trois autres indices (IBD, IDG, IDEP) présentent également des corrélations significatives avec l'IPO (0,86; 0,79; 0,64 à p < 0,01) et discriminent globalement les stations urbaines et rurales (Figure 77). Cependant, l>IDG et l'IDEP tendent à sur-estimer ou sous-estimer la qualité de l'eau dans certaines stations (Tableau XIII). C'est par exemple le cas de la station Ak<sub>1</sub>



**Figure 77:** Comparaison de l'évolution des indices diatomiques IBD (a), IDG (b) et IDEP (c), de l'Indice de pollution organique, IPO (d) et de la saprobie (e) dans le réseau hydrographique de la Mefou. Mfoundi: Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>, stations Mf<sub>1</sub> à Mf<sub>7</sub>; Nga: N<sub>1</sub> à N<sub>4</sub>, Mefou: Me<sub>1</sub> à Me<sub>4</sub>, Abiergué: A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>; Olézoa: OI<sub>1</sub> à OI<sub>3</sub>; Mingoa: M<sub>1</sub> à M<sub>3</sub>; Ntsomo: Ns<sub>1</sub> à Ns<sub>3</sub>; Tongolo: T<sub>1</sub> à T<sub>2</sub>; Ebogo: Eb<sub>1</sub> à Eb<sub>2</sub>; Ewoué: Ew<sub>1</sub> à Ew<sub>2</sub>; Ntem: Nt<sub>1</sub> à Nt<sub>2</sub>; Aké: Ak<sub>1</sub> à Ak<sub>2</sub>

dont les eaux sont fortement polluées selon l'IPO, alors que ces deux indices révèlent plutôt des eaux de bonne qualité à modérément polluées (Tableau XIII). De même, les stations N<sub>s1</sub> et N<sub>s3</sub> ont des eaux de bonne qualité, mais se trouvent fortement polluées selon l'IDEP. Ce qui explique quelques différences notées entre le profil de variation de l'IPO et celui de ces indices dans certaines stations du réseau hydrographique de la Mefou (Figure 77).

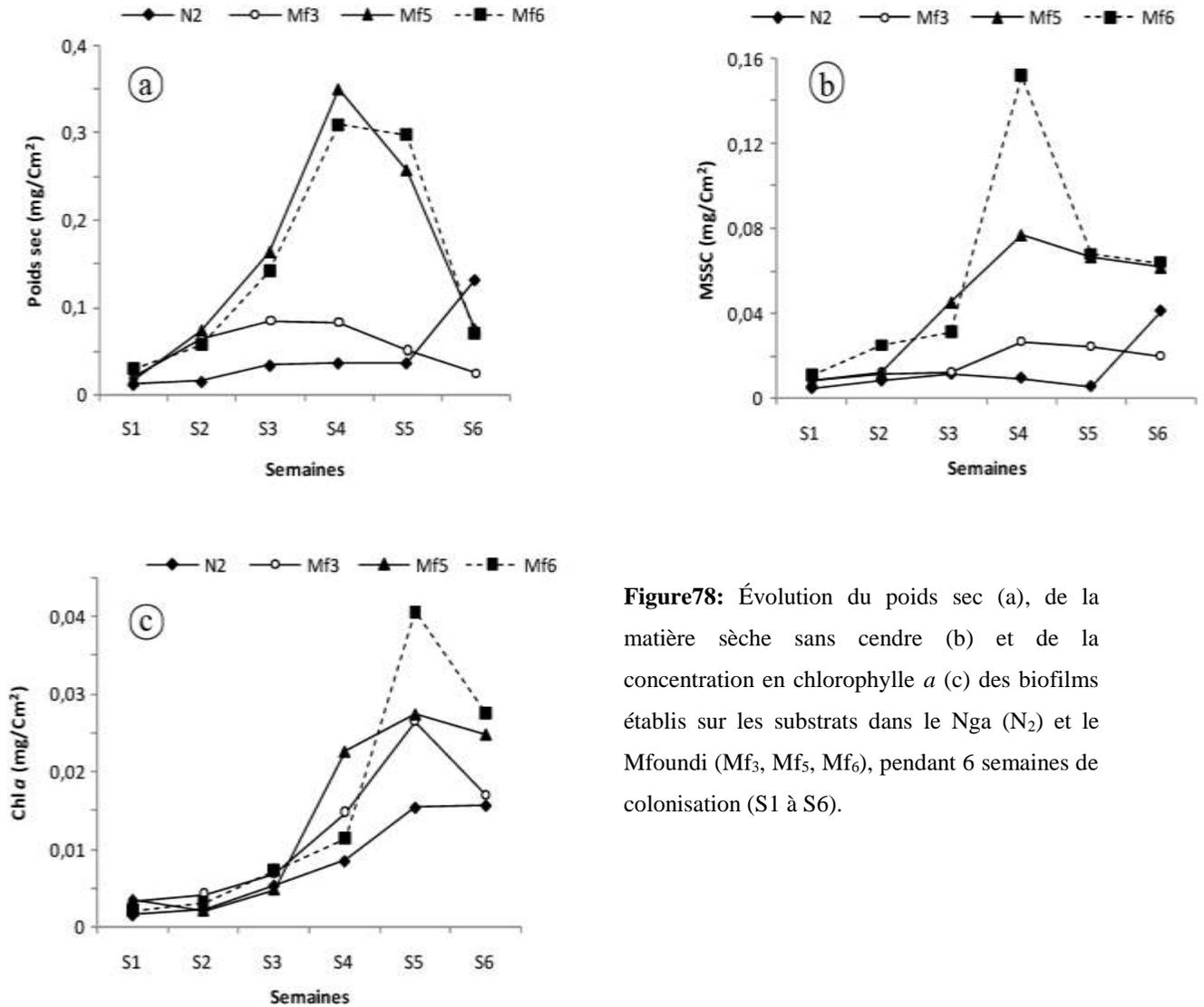
De manière générale, l'évolution plus ou moins similaire des indices diatomiques testés, de l'IPO et du pourcentage de taxons oligosaprobés dans le réseau hydrographique de la Mefou souligne que ces indices traduisent de façon satisfaisante (surtout IPS et IBD) la qualité des eaux dans la région de Yaoundé. Ce qui suggère leur utilisation potentielle dans la biosurveillance des cours d'eau étudiés en zone équatoriale.

### **III-1-7 Dynamique de colonisation des substrats artificiels par les diatomées et comparaison avec les communautés naturelles**

Les caractéristiques générales (poids sec, matière sèche sans cendre, chlorophylle *a*) et spécifiques (richesse spécifique, indice de diversité, composition taxonomique) des communautés de diatomées installées sur les lames de verre dans le Nga (N<sub>2</sub>) et le Mfoundi (Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub>, Mf<sub>6</sub>) pendant 6 semaines ont été évaluées. Cette expérimentation a permis de tester globalement la validité de l'utilisation de ces substrats artificiels dans la bioévaluation de l'état de santé de ces cours d'eau, en comparant au niveau spécifique, les communautés établies sur ces substrats avec l'épilithon naturel.

#### **III-1-7-1 Caractéristiques générales du biofilm et estimation de la productivité**

L'évolution du poids sec, de la matière sèche sans cendre (MSSC) et de la concentration en chlorophylle *a* du biofilm établi sur les substrats reflète les conditions d'exposition des stations et de la durée de colonisation (Figure 78). En effet, le poids sec et la matière sèche sans cendre augmentent significativement ( $p < 0,05$ ) au fur et à mesure de l'installation du biofilm dans chaque station. Ce biofilm présente des physionomies différentes dans les deux cours d'eau; il apparaît plus épais et de couleur noire dans le Mfoundi alors qu'il se trouve sous forme de mince couche translucide dans le Nga. Dès la deuxième semaine d'immersion des substrats, il s'observe une croissance exponentielle marquée par des fortes valeurs de biomasses atteignant leur palier (biomasse maximale) à la quatrième semaine aux stations Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub> du Mfoundi (poids sec: 0,08; 0,31 et 0,35 mg/cm<sup>2</sup>; MSSC: 0,03; 0,08 et 0,15 mg/cm<sup>2</sup>), suivie d'une baisse de cette biomasse pendant les deux dernières semaines d'expérimentation. Dans le Nga, la biomasse maximale n'est pas atteinte au bout de six semaines de colonisation, bien que les valeurs élevées (0,13 mg/cm<sup>2</sup> de poids sec et 0,04 mg/cm<sup>2</sup> de MSSC) ont été notées pendant cette période (Figure 78 a, b).



**Figure78:** Évolution du poids sec (a), de la matière sèche sans cendre (b) et de la concentration en chlorophylle *a* (c) des biofilms établis sur les substrats dans le Nga (N<sub>2</sub>) et le Mfoundi (Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub>, Mf<sub>6</sub>), pendant 6 semaines de colonisation (S1 à S6).

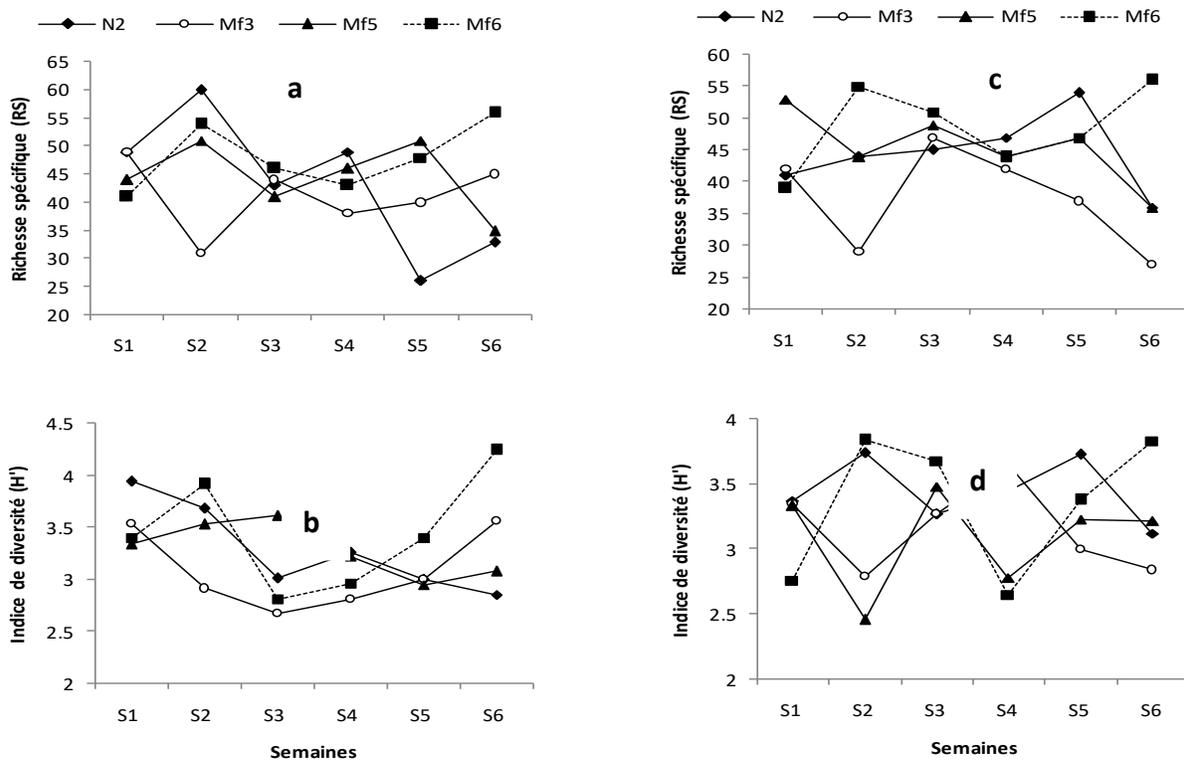
Pour les concentrations en chlorophylle *a*, l'évolution similaire est observée dans le Mfoundi avec des valeurs maximales obtenues à la cinquième semaine (fluctuant de 0,03 à 0.04 mg/cm<sup>2</sup>), alors qu'on observe toujours dans le Nga une augmentation régulière des teneurs de ce pigment jusqu'à la fin de l'expérimentation (Figure 78 c).

Dans l'ensemble, les valeurs du poids sec, de la matière sèche sans cendre et des teneurs en chlorophylle *a* du biofilm (productivité) augmentent avec le temps de colonisation et sont significativement plus élevées ( $p < 0,05$ ) dans les stations du Mfoundi, comparées aux faibles valeurs régulièrement notées dans le Nga, indiquant une différence marquée du rôle joué par les facteurs allogènes et autogènes qui régulent la dynamique de la biomasse épilithique dans ces hydrosystèmes.

### III-1-7-2 Caractérisation des communautés de diatomées établies sur les substrats et comparaison avec l'épilithon naturel

La microflore collectée pendant les six semaines de colonisation comporte 196 taxons différents de diatomées répartis dans 34 genres. Les genres les plus représentés en ce qui a trait au nombre d'espèces sont *Navicula* (43 espèces), *Nitzschia* (19), *Gomphonema* (17), *Pinnularia* (14), *Achnanthes* (13), *Eunotia* (12), *Cymbella* (9), *Fragilaria* (9), *Surirella* (6), *Aulacoseira* (5), *Epithemia* (5) et *Neidium* (5). Ces 12 principaux genres constituent la composante importante des communautés de diatomées épilithiques du Mfoundi et du Nga. Les autres genres totalisent chacun, moins de 5 espèces et sont régulièrement présents (*Amphora*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Diadismus*, *Frustulia*, *Hantzschia*, *Sellaphora*, *Stauroneis*, *Stephanodiscus*, *Rhopalodia*, *Placoneis*, *Diatoma*) ou apparaissent de façon sporadique ou occasionnelle au cours de l'expérimentation (*Caloneis*, *Capartograma*, *Chaetoceros*, *Craticula*, *Denticula*, *Gyrosigma*, *Melosira*, *Opephora*, *Stenopterobia*, *Trinacria*).

La richesse spécifique (RS) et l'indice de diversité ( $H'$ ) de Shannon et Weaver présentent une évolution irrégulière dans l'ensemble des stations, avec une faible variation interstation pendant la durée de l'expérimentation (Figure 80). Le nombre d'espèces s'échelonne de 26 à 60 (station N<sub>2</sub>) sur



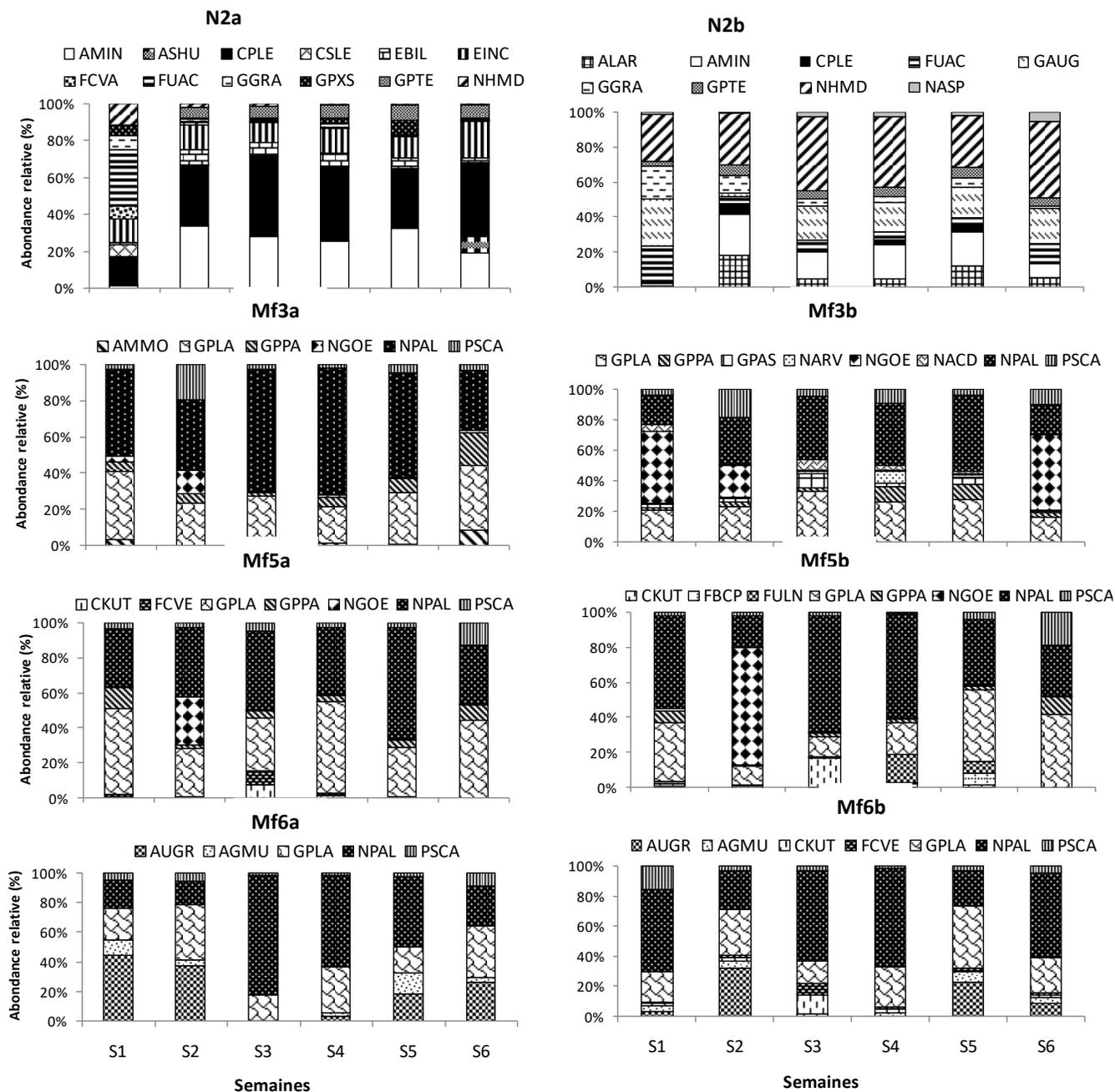
**Figure 79:** Évolution de la richesse spécifique et de l'Indice de diversité de Shannon et Weaver des communautés de diatomées établies sur les substrats (a, b) et de l'épilithon naturel (c, d) pendant 6 semaines de colonisation (S1 à S6).

les substrats, contre 27 (station Mf<sub>3</sub>) à 56 (station Mf<sub>6</sub>) au sein de l'épilithon naturel, les valeurs moyennes oscillant respectivement autour de  $45 \pm 3$  et  $48 \pm 5$  espèces pour les deux types de communautés (Figure 80 a, b). En ce qui concerne l'indice de diversité ( $H'$ ), il fluctue entre 2,67 (Mf<sub>3</sub>) et 4,24 (Mf<sub>6</sub>) sur les substrats, contre 2,65 et 3,84 (station Mf<sub>6</sub>) en milieu naturel, traduisant globalement une bonne distribution des espèces dans l'ensemble des stations (Figure 79 c, d).

En somme, les valeurs de la richesse spécifique et de l'indice de diversité de Shannon et Weaver, bien que relativement plus élevées à la station Mf<sub>6</sub>, n'ont pas montré de différence significative ( $p > 0,5$ ) entre les différentes stations d'une part, et entre le peuplement diatomique installé sur les substrats et les communautés naturelles, d'autre part.

Parmi les diatomées identifiées, 29 espèces les plus abondantes (abondance relative  $\geq 5\%$ ) ont été retenues pour apprécier leur succession hebdomadaire dans les différentes stations (Figure 81). À la station N<sub>2</sub> du Nga, l'association *Fragilaria ulna* var. *acus* (FUAC) (23,9 %), *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (CPLE) (11,71 %), *Eunotia incisa* (EINC) (9,83 %), *Navicula heimansioïdes* (NHMD) (9,57 %) et *Gomphonema gracile* (GGRA) (6,22 %) prédominent sur les substrats pendant la première semaine de colonisation. Ces espèces sont accompagnées de *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (FCVA) (5,4 %) et de *Cymbella silesiaca* (CSLE) (5,1 %). Les cinq dernières semaines d'immersion des substrats sont marquées par la prolifération importante de *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (CPLE) (25,43 à 37,5 %), d'*Achnanthes munitissima* (AMIN) (16,76 à 28 %) et d'*Eunotia incisa* (9,81 à 18,29 %), secondées par *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris* (EBIL) et *Gomphonema pseudotenellum* (GPTE). *Achnanthes subhudsonis* (ASHU) et *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* (GPXS) montrent plutôt un développement localisé respectivement à la cinquième (6,16 %) et sixième (7,69 %) semaine de colonisation.

L'épilithon naturel comprend également les mêmes espèces de diatomées que celles établies sur les substrats, ayant des profils de variation presque similaires, mais qui présentent des proportions relativement différentes (Figure 81 N<sub>2</sub> b). Ainsi, en milieu naturel et pendant l'expérimentation, le peuplement diatomique est dominé par *Navicula heimansioïdes*, *Gomphonema augur* (GAUG), *Achnanthes minutissima* et *Achnanthes lanceolata* ssp. *rostrata* (ALAR). Les effectifs de *Fragilaria ulna* var. *acus* et *Gomphonema gracile*, élevés pendant la première semaine de prélèvements, régressent considérablement jusqu'à la fin de l'expérimentation. *Gomphonema pseudotenellum* et *Navicula* sp. aff. *tenella* (NASP) affichent des proportions relativement stables pendant l'étude. Bien que légèrement importante à la dernière semaine, l'abondance relative de *Cocconeis placentula* var. *euglypta* est 9 fois inférieure à celle relevée sur les substrats.

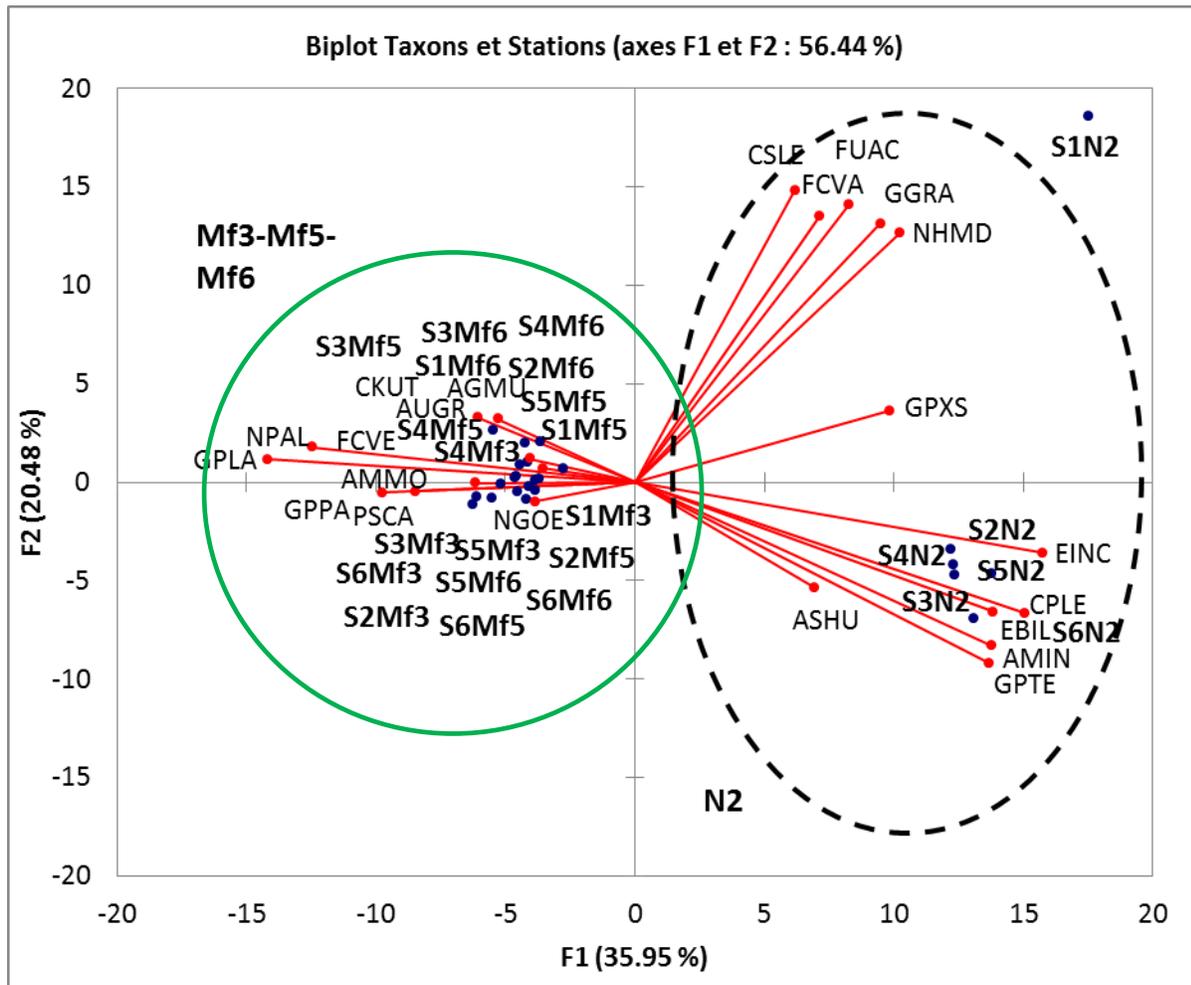


**Figure 80:** Évolution des principales espèces et variétés de diatomées établies sur les substrats (a) et l'épilithon naturel (b) pendant 6 semaines de colonisation dans le Nga (N<sub>2</sub>) et le Mfoundi (Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub>, Mf<sub>6</sub>).

AMIN : *Achnanthes minutissima*, ASHU : *Achnanthes subhudsonis*, ALAR : *Achnanthes lanceolata* spp *rostrata*, AMMO : *Amphora montana*, AUGR : *Aulacoseira granulata*, AGMU : *Aulacoseira granulata* var. *muzzanesis*, CPLE : *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, CKUT : *Cyclotella kuetzingiana*, CSLE : *Cymbella silesiaca*, EBIL : *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris*, EINC : *Eunotia incisa*, FCVA : *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, FUAC : *Fragilaria ulna* var. *acus*, FCVE : *Fragilaria construens* f. *venter*, FBCP : *Fragilaria biceps*, FULN : *Fragilaria ulna* var. *ulna*, GGRA : *Gomphonema gracile*, GAUG : *G. augur* var. *augur*, GPTE : *G. pseudotenelum*, GPXS : *G. parvulum* var. *exilissimum*, GPPA : *G. parvulum* var. *parvulus*, GPLA : *G. parvulum* var. *lagenula*, NHMD : *Navicula heimansioides*, NASP : *Navicula* sp aff *tenella*, NARV : *N. arvensis*, NNGOE : *N. geoppertiana*, NACD : *Nitzschia acidoclinata*, NPAL : *Nitzschia palea*, PSCA : *Pinnularia subcapitata*.

Que se soit sur les substrats ou au sein de l'épilithon naturel, la florule diatomique recensée aux stations Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub> du Mfoundi est caractérisée par la prédominance pendant les six semaines d'expérimentation de *Nitzschia palea* (NPAL) et *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* (GPLA). *Pinnularia subcapitata* (PSCA) et *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* (GPPA) sont faiblement représentées, mais se développent mieux pendant les deux premières semaines et la sixième semaine de colonisation avec des proportions relativement élevées oscillant entre 8,4 et 16,7 %. *Navicula geoppertiana* (NGOE) est bien représentée dans les stations Mf<sub>3</sub> et Mf<sub>5</sub>, surtout au cours de la deuxième et la sixième semaine d'expérimentation avec une abondance relative dans les prélèvements naturels 3 fois supérieure (57,8 %) à celle enregistrée sur les substrats (19,7 %). Les stations Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub> se distinguent de la station Mf<sub>3</sub> par l'apparition des espèces planctoniques telles que *Aulacoseira granulata* (AUGR), *Aulacoseira muzzanensis* (AGMU) et *Cyclotella kuetzingiana* (CKUT). *Aulacoseira granulata* (14,76 à 32,87 %) prolifère davantage à la station Mf<sub>6</sub> au cours des deux premières et dernières semaines d'immersion des substrats, alors que son développement au sein des communautés naturelles est circonscrit à la deuxième (22,3 %) et cinquième (17,52 %) semaines d'expérimentation. *Aulacoseira muzzanensis* est plus abondante sur les substrats avec des proportions atteignant 10,45 % à la cinquième semaine de colonisation. En fin, *Cyclotella kuetzingiana* montre une évolution temporelle similaire sur les substrats et en milieu naturel, les effectifs élevés étant enregistrés à la station Mf<sub>3</sub> pendant la troisième semaine d'expérimentation.

L'analyse en composantes principales (ACP), effectuée à partir de 22 espèces et variétés de diatomées majoritairement représentées sur les substrats (abondance relative  $\geq 5$  %) a également permis de visualiser la distribution et la succession de ces taxons dans les quatre stations pendant la colonisation de ces substrats (Figure 81). Les deux premiers axes factoriels de l'ACP expliquent 56,44 % de la variance et séparent clairement les stations du Mfoundi contaminées par les matières organiques à celle du Nga non polluée, chaque groupe étant caractérisé par des assemblages différents de diatomées (Figure 82). La station N<sub>2</sub> du Nga est marquée par une multiplication importante pendant la première semaine d'immersion des substrats par *Navicula heimansioïdes* (NHMD), *Gomphonema gracile* (GGRA), *Fragilaria ulna* var. *acus* (FUAC), *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (FCVA) et *Cymbella silesiaca* (CSLE). Ces espèces régressent jusqu'à la fin de l'expérimentation au profit de *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (CPLE), *Eunotia incisa* (EINC), *Achnanthes minutissima* (AMIN), *Eunotia bilunaris* var. *bilunaris* (EBIL) et *Gomphonema pseudotenellum* (GPTE). Les stations Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub> et Mf<sub>6</sub> du Mfoundi sont caractérisées par la dominance pendant toute la période de colonisation par deux diatomées saprophytes, *Nitzschia*



**Figure 81:** Analyse en Composantes Principales (ACP) effectuée à partir de 22 espèces et variétés de diatomées dominantes (abondance relative  $\geq 5\%$ ) installées sur les substrats pendant 6 semaines de colonisation dans le Nga (N<sub>2</sub>) et le Mfoundi (Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub>, Mf<sub>6</sub>). S1 à S6 indiquent le numéro de la semaine de prélèvements de l'épilithon.

*palea* (NPAL) et *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* (GPLA). Ces espèces sont accompagnées de *Pinnularia subcapitata* (PSCA), *Navicula geoppertiana* (NGOE), *Amphora montana* (AMMO), *Aulacoseira granulata* (AUGR), *Gomphonema parvulum* var. *parvulus* (GPPA) et *Aulacoseira muzzanensis* (AGMU).

De manière générale, l'étude des caractéristiques spécifiques (richesse spécifique, indice de diversité, composition spécifique) des communautés de diatomées du Nga et du Mfoundi n'a pas révélé de différences significatives entre l'épilithon naturel et celui installé sur les lames de verre. Par ailleurs, les critères généraux (poids sec, matières sèches sans cendre, Chlorophylle *a*) et la succession des espèces de diatomées dominantes établies sur les substrats ont permis de séparer la station du Nga à celles du Mfoundi recevant d'importantes quantités d'eau usées domestiques et d'effluents industriels.

## III-2 DISCUSSION

### III-2-1 Physico-chimie des eaux des cours d'eau étudiés

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de l'ensemble des stations prospectées révèlent que la qualité de l'eau, dans la plupart des cas, varie significativement le long du cours d'eau d'une part, et d'un cours d'eau à l'autre, d'autre part. Pour une même station, la qualité de l'eau peut présenter des différences en fonction des saisons. Ces différences seraient certainement attribuables aux caractéristiques écorégionales (géologie, géomorphologie, climat), morphométriques et hydrodynamiques de chaque tronçon du cours d'eau (altitude, pente, débit, profondeur de l'eau), associées aux différentes pressions anthropiques auxquelles ces biotopes sont soumis.

Les variations de la température de l'eau de l'ensemble des cours d'eau étudiés résulteraient de la synergie entre la température ambiante et d'autres facteurs tels que l'environnement immédiat des stations (végétation rivulaire, ombrage) et leurs caractéristiques morphométriques (altitude, pente, profondeur de l'eau) (Mary, 1999; Dajoz, 2000; Bellingier *et al.*, 2006; Triest *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2013). En effet, l'absence d'une abondante ripisylve expose les cours d'eau urbains à un rayonnement solaire important. Ce qui augmente significativement la température de leurs eaux, comparés aux cours d'eau Nga et Mefou localisés en zone rurale où l'ombrage créé par la canopée au niveau de plusieurs stations favorise les faibles températures qui ont été observées dans ces biotopes. Les fortes valeurs de la température régulièrement enregistrées dans le cours inférieur de la majorité des hydrosystèmes étudiés seraient attribuées aux faibles taux de renouvellement des eaux par le courant et à leur temps de séjour relativement plus long (Iltis & Lévêque, 1982). Dans l'ensemble, ces valeurs de la température observées sont similaires à celles déjà obtenues dans quelques cours d'eau de Yaoundé (Ébang Menye, 2004; Nyamsi, 2004, Foto Menbohan *et al.*, 2006) et restent dans la gamme de celles notées dans la plupart des hydrosystèmes en zone équatoriale et tropicale (Michel, 1998; Chuks, 1998; Duong *et al.*, 2006a; Gueade *et al.*, 2009; Bere *et al.*, 2011; Niamien-Ébrottié *et al.*, 2013).

Les valeurs du pH dans l'ensemble des stations des cours d'eau étudiés ont fluctué entre 6,03 et 8,43, indiquant globalement des eaux légèrement acides dans les tronçons supérieurs à neutres ou alcalines dans les cours moyens et inférieurs de ces hydrosystèmes. Cette acidité des eaux dans la zone supérieure de ces biotopes est probablement liée à la nature cristalline du substratum géologique de la région de Yaoundé qui donne des sols acides (Bachelier, 1958; Vicat & Bilong, 1998; Temgoua *et al.*, 2001), à une faible dissolution des roches encaissantes, ainsi qu'à la présence des acides humiques issus des litières (zone rurale). En effet, Meybeck (1986), Gueade *et al.* (2009),

O'driscoll *et al.* (2012) ont montré que les hydrosystèmes lotiques s'écoulant sur les couches géologiques siliceuses dominées par le granite, le gneiss et le schiste comme ceux de Yaoundé sont acides. Les pH neutres ou alcalins seraient dûs à l'apport des substances dissoutes (ions calcium, magnésium, carbonates et bicarbonates, colloïdes, matières organiques) dans le secteur inférieur par lessivage des sols du bassin versant de ces hydrosystèmes ou par une forte décomposition des litières originaires des macrophytes rivulaires (Vannote *et al.*, 1980; Levêque *et al.*, 1983; Meybeck, 1986; Power & Dietrich, 2002; Lecerf, 2005). En zone urbaine, ces substances basiques sont surtout apportées par les eaux usées domestiques et des effluents industriels (Fawzi *et al.*, 2002; Ndiritu *et al.*, 2006; Ndam Ngoupayou *et al.*, 2007; Beyene *et al.*, 2009; Surindra *et al.*, 2010; Bere & Tundisi, 2011). Ce qui expliquerait les plus fortes valeurs de pH (8,91) enregistrées à la station Mf<sub>5</sub> du Mfoundi localisée en aval de la décharge des effluents des Brasseries du Cameroun. Ces résultats corroborent les observations d'Ébang Menye (2004) et de Foto Menbohan (2012) faites dans le réseau hydrographique du Mfoundi recevant d'importants flux polluants. Par ailleurs, l'augmentation remarquable de l'alcalinité des eaux dans la plupart des stations en saison de pluies, souligne l'ampleur du ruissellement de surface dans la région, particulièrement en milieu urbain (Tchotsoua, 1993; Walsh *et al.*, 2005).

La conductivité électrique, qui est fonction de la quantité de sels et d'ions dissous dans l'eau, permet d'estimer le degré de minéralisation de l'eau (APHA, 2012). Ainsi, la distribution spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique indique globalement une minéralisation insuffisante des matières organiques par les microorganismes hétérotrophes et une faible dissolution des minéraux de roches dans la partie supérieure de la plupart des cours d'eau, excepté Mingoa et Olézoa, alors que ces processus demeurent plus importants dans les cours moyen et inférieur de ces hydrosystèmes. Les valeurs très élevées de la conductivité électrique régulièrement enregistrées dans certaines stations urbaines (Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>6</sub>, A<sub>2</sub> à A<sub>4</sub>, Ew<sub>1</sub>, Ol<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>, Nt<sub>2</sub>, Ak<sub>2</sub>), comparées aux faibles valeurs notées dans le Nga et la Mefou, s'expliqueraient par le déversement des quantités importantes d'eaux usées fortement chargées en matières organiques et en sels dissous dans ces secteurs. Ces observations se rapprochent de celles faites par Fawzi *et al.* (2002), Salomoni *et al.* (2006), Duong *et al.* (2006 b), dans certains cours d'eau du Maroc, du Brésil et du Vietnam, respectivement.

Les variations spatio-temporelles de l'alcalinité et de la dureté calcique sont similaires à celles de la conductivité électrique, révélant que les ions calcium et bicarbonates contribuent significativement à la minéralisation de l'eau de ces hydrosystèmes (Leland et Porter, 2000). Par ailleurs, l'augmentation progressive des teneurs en ces ions le long de ces cours d'eau semble

surtout liée aux apports latéraux via les tributaires et les eaux de ruissellement, associée à la dissolution des minéraux des roches (silicates, calcites, pyrite, plagioclase, amphibole, pyroxène) plus importante en aval (Meybeck, 1998; Mary, 1999; Potapova & Charles, 2003). En zone urbaine, ce flux d'ions se trouve plus accentué suite aux rejets d'eaux usées domestiques et d'effluents industriels non traités (Foto Menbohan *et al.*, 2011), comme c'est le cas des tronçons moyen et inférieur du Mfoundi, de l'Abiergué, de Tongolo, de l'Éwoué et de l'Aké. De plus, les teneurs anormalement élevées de ces ions dans la majorité des stations urbaines pendant la saison de pluies témoignent certainement de l'importance du ruissellement de surface et de l'existence de plusieurs sources diffuses de pollution dans le bassin versant qui dégradent davantage la qualité des eaux. Les valeurs relativement faibles de l'alcalinité et de la dureté obtenues dans le Nga et la Mefou, déjà signalées par Égnima Bamou (2007) et Kodji (2011), restent dans la gamme de celles généralement relevées dans les cours d'eau non pollués de forêt ou au niveau des sources de certains cours d'eau urbains (Keitan & Lowe, 1985; Bellinger *et al.*, 2006; Moreno *et al.*, 2006; O'driscoll *et al.*, 2012).

La silice est relativement abondante dans les eaux de l'ensemble des cours d'eau étudiés, et provient de l'altération des roches métamorphiques de la région qui en contiennent des quantités importantes (Vicat & Bilong, 1998). Ces hydrosystèmes conservent donc, le long de leur parcours, l'empreinte des terrains siliceux qu'ils drainent. Les teneurs obtenues, atteignant 48 mg/L en saison de pluies, sont largement favorables au développement des diatomées (Klee, 1991; Eulin, 1997). Par ailleurs, l'intense assimilation de la silice par ces microalgues pour la formation de leurs frustules, justifierait des faibles concentrations de ce nutriment qui ont parfois été enregistrées pendant l'étude (Casey *et al.*, 1981; Garnier *et al.*, 1995; House *et al.*, 2001; Ferris *et al.*, 2007), d'autant plus que certains taxons collectés (*Fragilaria ulna* var. *acus*, *Diadesmis contenta*, *Gomphonema parvulum* var. *parvulus*) ont présenté des corrélations positives avec cet élément.

L'augmentation relative des teneurs en MES de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau serait liée à un apport continu des particules minérales (limons, argile), organiques (colloïdes, débris divers) ou biologiques (seston) dans leurs secteurs inférieurs par les tributaires et les eaux de ruissellement des sols des bassins versants pendant la saison de pluies (Rodier *et al.*, 2009; APHA, 2012). En zone urbaine, les valeurs très élevées des MES enregistrées dans plusieurs stations résultent du rejet direct des ordures ménagères dans le lit du cours d'eau (stations M<sub>1</sub>, Mf<sub>1</sub>, Ew<sub>1</sub>, Nt<sub>1</sub>), du déversement d'eaux usées chargées de résidus de malt et gâteaux de Kieselguhr provenant de la SABC (Mf<sub>5</sub>, Ak<sub>2</sub>), des limons et d'argiles issus de l'érosion des berges ou des parcelles cultivées (Mf<sub>1</sub>, Ns<sub>2</sub>). Ces résultats corroborent avec les observations d'Ébang Menye (2004) et de Foto Menbohan (2012) dans certains cours d'eau de la ville de Yaoundé, ainsi que celles de Ndiritu

*et al.* (2003) dans la rivière Nairobi recevant d'importantes quantités d'eaux usées domestiques et d'effluents industriels de la capitale kenyane. Dans l'ensemble, les teneurs en MES relevées au niveau de la majorité des stations urbaines sont supérieures à 30 mg/L, indiquant que ces eaux, hormis l'irrigation, sont impropres aux usages industriels, à l'abreuvement des animaux et aux activités récréatives (SDAGE, 2009).

La similitude entre la distribution spatio-temporelle des MES et celle de la turbidité suggère que l'essentiel de la turbidité des eaux du bassin hydrographique de la Mefou serait due à la présence dans ces eaux des particules organiques, de limons, d'argiles et des colloïdes (Gippel, 1995; Duong *et al.*, 2006 b; APHA, 2012). Par ailleurs, les valeurs anormalement élevées de la turbidité (100 à 608 UTF) obtenues dans plusieurs stations urbaines (Nt<sub>1</sub>, Ew<sub>1</sub>, Ol<sub>3</sub>, Ak<sub>1</sub>, Ak<sub>2</sub>, Ns<sub>2</sub>, Mf<sub>1</sub>), surtout pendant la saison de pluies limiteraient le développement des microalgues phytoplanctoniques et périphytiques en réduisant l'absorption du rayonnement nécessaire à la photosynthèse (Rhee & Gotham, 1981; Hill *et al.*, 1995; Stermer *et al.*, 1997; USEPA, 1999; Stephens *et al.*, 2012). Ce qui pourrait également justifier, en partie, les faibles teneurs en chlorophylle *a* qui ont été notées dans certaines de ces stations.

Le profil de variation de la couleur est également similaire à celle de la turbidité, les plus fortes valeurs étant obtenues pendant les mois pluvieux (avril, juin, septembre, octobre). Dans le Nga et la Mefou, à bassin versant fortement couvert de forêt, la couleur serait essentiellement liée à la présence dans leurs eaux des substances humiques et de débris végétaux issus des litières surtout en saison de pluies (Soininen & Könönen, 2004; Lecerf, 2005), et de l'hydroxyde ferrique (goethite, hématite) abondante dans les sols de la région (Onguéné Mala, 1993). Selon Eloranta (1995) et Soininen (2002), les eaux des hydrosystèmes forestiers ayant une couleur supérieure à 120 Pt.co sont qualifiées de polyhumiques comme c'est le cas des eaux de la Mefou et du Nga. En zone urbaine, les valeurs élevées de la couleur enregistrées dans la majorité des stations seraient dues à un apport important des particules de limons et d'argiles par les eaux de ruissellement, aux rejets d'effluents domestiques et industriels riches en matières organiques dissoutes, et au déversement direct des huiles de vidange dans le lit de ces cours d'eau. Par ailleurs, la couleur de l'eau à la station M<sub>3</sub> du Mingoa située en aval du Lac Municipal de Yaoundé est surtout associée au «bloom algal à *Oscillatoria tenuis* et *Chlamydomonas* sp.» déjà signalé par Kemka *et al.* (2006) dans ce milieu lentique.

Les faibles concentrations en ammonium, nitrites et nitrates régulièrement enregistrées dans le Nga et la Mefou (80 % environ des valeurs étant inférieures à 0,9 mg/L pour l'ammonium, 0,01 mg/L pour les nitrites et 1,2 mg/L pour les nitrates) peuvent être attribuées à une faible

minéralisation de la matière organique endogène ou provenant des litières, couplée à l'utilisation de ces ions par les algues et les macrophytes aquatiques (Prochaskova *et al.*, 1970; Lecerf, 2005; Stephens *et al.*, 2012). Les valeurs similaires de ces ions ont également été rapportées au niveau des ruisseaux forestiers du Mexique (Vasquez *et al.*, 2011), de Côte d'Ivoire (Gueade *et al.*, 2009; Niamien-Ebrottié *et al.*, 2013) et de Tanzani (Bellinger *et al.*, 2006), ainsi que des tronçons de rivières à bassin versant fortement couvert de forêt (Blinn & Bailey, 2001). Par contre, les fortes teneurs en ces ions fréquemment relevées dans l'ensemble des cours d'eau urbains, surtout dans leurs parties moyenne et inférieure (18,66 mg/L de  $\text{NH}_4^+$  à A<sub>3</sub>, 1,17 mg/L de  $\text{NO}_2^-$  à Ew<sub>2</sub> et 32,5 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  à Mf<sub>4</sub>) résulteraient des rejets d'eaux usées domestiques et d'effluents industriels, de l'apport relatif des fertilisants par les eaux de ruissellement des parcelles cultivées ou de l'épandage de fumiers et de lisiers sur les rives. De plus, leur abondance s'expliquerait aussi par les faibles taux de saturation en oxygène dissous notés dans ces secteurs, entraînant une dégradation incomplète des matières organiques contenues dans ces rejets. Ces résultats corroborent les observations d'Ywuong (2004) et de Nyamsi (2004) dans certains cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi. Elles sont à comparer aux observations de Lobo *et al.* (2010) dans les rivières Pardo et Pardino au Brésil recevant les eaux résiduaires de la ville de Santa Cruz. Par ailleurs, les valeurs relativement faibles de ces ions obtenues dans le cours moyen d'Olézoa (station Ol<sub>2</sub>) et le tronçon inférieur du Mingoa (station M<sub>3</sub>) et du Mfoundi (station Mf<sub>7</sub>) doivent être attribuées au processus de lagunage par le lac municipal de Yaoundé et à l'autoépuration dont les marécages sont le siège (Pullin & Hammer, 1991; Gomez, 1998; Zébazé Togouet, 2011).

Les taux élevés du pourcentage de saturation en oxygène dissous notés dans la majorité des stations pendant les mois de septembre et d'octobre (119,7% à la station Mf<sub>2</sub>) traduisent le brassage des eaux provoqué par les fortes pluies, favorisant ainsi la dissolution relativement importante de ce gaz dans l'eau à partir de l'atmosphère (APHA, 2012). Comparativement aux cours d'eau Mefou et Nga qui affichent dans l'ensemble des teneurs moyennes en oxygène dissous (60,2 %) pouvant maintenir une autoépuration naturelle des milieux aquatiques (Namour, 1999), les valeurs très faibles fréquemment enregistrées dans les stations urbaines (1,8 % à la station Mf<sub>5</sub>) seraient dûes essentiellement à l'importante activité de dégradation des matières organiques d'origine anthropique par les microorganismes hétérotrophes aérobies (Bere & Tundisi, 2011; Triest *et al.*, 2012). Des résultats semblables ont également été obtenus par Djuikom *et al.* (2009) dans certaines stations polluées du réseau hydrographique du Mfoundi. Par ailleurs, les eaux du Nga et de la Mefou sont moins oxygénées que celles des autres cours d'eau forestiers en zones tropicale et équatoriale (Bellinger *et al.*, 2006; Gueade *et al.*, 2009). Ceci s'expliquerait par une importante accumulation

de litière devant être minéralisée et des conditions hydrologiques propres à ces cours d'eau (Vannote *et al.*, 1980; Wasson, 1989; Namour, 1999).

L'évolution croissante des teneurs en orthophosphates de l'amont vers l'aval de la plupart des cours d'eau, à l'exception de l'Ébogo, de l'Olézoa, de l'Aké, du Ntsomo et du Mfoundi semble surtout liée, d'une part, aux apports latéraux via les tributaires et les eaux de ruissellement (Meybeck, 1998), et d'autre part, par une minéralisation suffisante des composés organiques charriés en aval favorisée par leur temps de séjour relativement long (Vannote *et al.*, 1980). Les valeurs élevées régulièrement enregistrées dans les stations urbaines et plus prononcées en décembre résulteraient du rejet d'eaux usées domestiques renfermant, en plus des matières organiques, de quantités importantes de phosphates provenant des détergents utilisés par les établissements de nettoyage de vêtements («Pressing») et des laveries automobiles. Ces teneurs en orthophosphates, couplées à l'énergie solaire importante dans la région suffisent pour assurer un bon développement des microalgues et des macrophytes, et partant de l'eutrophisation dont plusieurs tronçons des hydrosystèmes urbains (Ol<sub>2</sub>, Ol<sub>3</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, Eb<sub>2</sub>, Ew<sub>2</sub>, M<sub>2</sub>, Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>7</sub>) sont victimes (OCDE, 1982; Doddset *al.*, 2002; Kemka *et al.*, 2006).

Dans les cours d'eau urbains, surtout au niveau de leurs tronçons moyen et inférieur, les rejets d'eaux usées domestiques et des effluents industriels sont à l'origine des fortes charges en matières organiques matérialisées par les valeurs élevées de l'oxydabilité et de la DBO<sub>5</sub> qui y ont été enregistrées. Cet apport de substances organiques, plus important pendant les mois pluvieux (avril, juin, septembre, octobre), serait attribuable au phénomène de ruissellement (Tchotsoua, 1993; Walsh *et al.*, 2005). Ces résultats corroborent les observations d'Ébang Menye (2004), de Kiampi Chioffo (2004) et de Foto Menbohan (2012) dans certains cours d'eau de la ville de Yaoundé. Dans le Nga et la Mefou localisés en zone rurale, les valeurs relativement élevées de ces paramètres indiquent certainement une importante accumulation de litières et des débris végétaux originaires de la ripisylve ou apportés par les eaux de ruissellement, comme c'est souvent le cas dans plusieurs hydrosystèmes lotiques forestiers (Mary, 1999).

En somme, l'analyse physico-chimique des eaux des cours d'eau urbains révèle une pollution organique importante de ces biotopes. La qualité de leurs eaux se détériore davantage en saison de pluies du fait certainement de la multiplication des sources diffuses de pollution et de l'importance du ruissellement des bassins versants. Ces hydrosystèmes sont caractérisés par les eaux eutrophes voire hypereutrophes, en particulier dans leurs tronçons moyen et inférieur, selon la classification de Nisbet et Verneaux (1970) et de l'OCDE (1982).

Aussi, les valeurs de plusieurs paramètres physico-chimiques analysés dans l'ensemble du réseau hydrographique du Mfoundi sont largement supérieures à celles enregistrées par Foto Menbohan *et al.* (2006), soulignant ainsi une dégradation prononcée de l'état de santé de ces hydrosystèmes, et partant de l'avancée considérable des activités anthropiques qui s'exercent dans leurs bassins versants, accompagnée d'une insuffisance des stations d'épuration fonctionnelles et d'un système d'assainissement approprié (Sikati Foko, 1998; Tanawa *et al.*, 2003).

Comparativement aux cours d'eau urbains, le Nga et la Mefou ont présenté, dans l'ensemble, des valeurs faibles à très faibles des variables analysées et revêtent un bon état physico-chimique des eaux caractéristiques des milieux peu perturbés (Gueade *et al.*, 2009; Niamien-Ébrottié *et al.*, 2013). Ces hydrosystèmes pourraient donc servir comme « milieu de référence » ou témoin pour l'écorégion de Yaoundé à partir desquelles on pourra mieux évaluer le niveau d'altération des autres milieux lotiques soumis à diverses pressions anthropiques.

Ces caractéristiques physico-chimiques de l'eau de l'ensemble des stations des cours d'eau prospectés, intimement liées aux spécificités écorégionales et aux activités humaines des bassins versants, influencent de façon notable le développement des diatomées benthiques, la structure des communautés et la distribution des différents taxons évoluant dans ces habitats. Elles ont également un retentissement sur la productivité de ces biotopes.

### **III-2-2 Caractéristiques biologiques des cours d'eau étudiés**

#### **III-2-2-1 Chlorophylle *a***

La faible vitesse du courant, couplée à la richesse en éléments biogènes (azote, phosphore, silice) dans les tronçons moyen et inférieur de la plupart des cours d'eau étudiés, favoriseraient le développement relativement important du phytoplancton à l'origine des fortes teneurs en Chl *a* enregistrées dans ces secteurs, surtout en aval des retenues d'eau (Lac municipal de Yaoundé, étang d'Obili) (Eulin, 1997; Kemka, 2000). De même, la dérive des algues périphytiques provenant des zones amont et des tributaires contribuerait significativement à la poussée pigmentaire observée dans ces tronçons des cours d'eau étudiés. Cependant, des teneurs très faibles en Chl *a* notées dans plusieurs stations peuvent être imputées à l'activité de broutage exercée sur les algues planctoniques et benthiques par les macroinvertébrés (notamment les larves de chironomidae et de Tricoptères, les gastéropodes) et le zooplancton (essentiellement les rotifères et les ciliés) (Gosselain *et al.*, 1996; Lair *et al.*, 1998; Weerman *et al.*, 2011; Graba, 2011), très abondants dans le réseau hydrographique du Mfoundi (Foto Menbohan *et al.*, 2006; Onana, 2009; Foto Menbohan, 2012). Par ailleurs, bien que l'ensemble des teneurs en Chl *a* ne diffèrent pas significativement entre les stations urbaines et celles de la zone rurale, la faible poussée pigmentaire relevée dans ces biotopes périurbains peut, en

partie, être liées à la biodisponibilité de la lumière (Hill, 1996; Laviale, 2008). En effet, certains tronçons fortement ombragés du Nga et de la Mefou, sont peu propices au développement d'une flore planctonique abondante et les cellules, dans ces conditions, renfermeraient moins de pigments chlorophylliens (Hill & Knight, 1988; Laviale, 2008). Selon la classification de Forsberg et Ryding (1980) basée sur les teneurs en *Chla* de l'eau, les secteurs moyen et inférieur de la plupart des cours d'eau urbains sont eutrophes à hypereutrophes, alors que le cours supérieur de certains de ces biotopes (Tongolo, Abiergué et Ntsomo) et l'ensemble des stations du Nga et de la Mefou sont oligotrophes à mésotrophes.

### **III-2-2-2 Diversité et dynamique d'abondance des espèces et variétés de diatomées**

L'ensemble des cours d'eau étudiés abritent 435 espèces et variétés de diatomées épilithiques dont l'existence était jusqu'alors insoupçonnée, traduisant une grande richesse spécifique de ce groupe d'organismes. Cette richesse spécifique globale est largement supérieure à celle notée par Bere & Tundisi (2011) et Triest *et al.* (2012) dans le réseau hydrographique, du Monjolino (Brésil) et du Nyanza (Kenya). Cette faible richesse spécifique serait attribuée au nombre de sites prospectés, ainsi qu'à la fréquence de l'échantillonnage plus réduite de ces auteurs (7 et 8 campagnes) contre 13 dans cette étude. Ce résultat illustre le fait que la richesse spécifique d'un cours d'eau obtenue à l'occasion des recherches hydrobiologiques dépend, souvent, du nombre de stations et de prélèvements effectués (Blinn & Bailey, 2001; Niemien Ebrottié *et al.*, 2008).

L'accroissement significatif du nombre d'espèces de l'amont vers l'aval de la majorité des cours d'eau étudiés, accentué pendant les mois pluvieux, serait dû à la variabilité des conditions du milieu qui prévalent le long de ces hydrosystèmes. En effet, plusieurs facteurs agissant en synergie peuvent expliquer ce résultat: (1) l'augmentation des teneurs en nutriments et en matières organiques dans les tronçons moyen et inférieur qui induisent la prolifération d'espèces nouvelles, (2) la forte vitesse d'écoulement de l'eau, amplifiée par les pluies, qui ralentit la colonisation des substrats par les diatomées, augmentant ainsi la dérive de certaines espèces, notamment les formes érigées et mobiles qui ont été très abondantes dans la partie inférieure des cours d'eau étudiés (Clausen & Biggs, 1997; Kovacs *et al.*, 2013; Taotang *et al.*, 2013), (3) le broutage qui serait exercé par les larves de Trichoptères et de Diptères chironomidés se développant sur les substrats et (4) le recrutement des espèces provenant des tributaires de ces cours d'eau. De même, les plus fortes valeurs de l'indice de diversité de Shannon et Weaver et de l'équitabilité (variant respectivement de 4,09 à 5,09 et de 0,71 à 0,88) enregistrées dans les secteurs moyen et inférieur de la plupart des hydrosystèmes prospectés soulignent une bonne organisation et la maturité des communautés de diatomées, marquées par le développement des complexes spécifiques au sein desquels plusieurs

espèces inventoriées ont présenté des faibles écarts d'abondance relative (2 à 3 %) (Dajoz, 2000). Cependant, ces indicateurs de diversité spécifique évalués (richesse spécifique, indice de diversité de Shannon et Weaver, équitabilité) ne diffèrent pas significativement entre les cours d'eau urbains et ceux situés en zone rurale, les valeurs relativement plus élevées étant notées dans ces deux faciès. Ces observations, faites ailleurs en zones tropicale (Lobo *et al.*, 1995; Slim *et al.*, 2005; Bellinger *et al.*, 2006; Simkhada *et al.*, 2006 ; De la Rey *et al.*, 2008) et tempérée (Coste, 1978; Goma *et al.*, 2005), montrent que les métriques de diversité spécifique ne permettent pas toujours, à elles seules, d'estimer l'impact des pollutions anthropiques sur l'état de santé des cours d'eau. Elles doivent donc être associées dans le cadre des études de bioindication, à la composition spécifique des organismes et à une bonne connaissance de leur autoécologie (Archibald, 1972; Cox, 1988; Van Dam *et al.*, 1994; Potapova & Charles, 2007).

Les communautés de diatomées collectées dans l'ensemble des cours d'eau étudiés ont présenté des sensibilités différentes vis-à-vis des conditions du milieu. Dans les cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi, les stations les plus polluées (Mf<sub>2</sub> à Mf<sub>6</sub>, A<sub>2</sub> à A<sub>4</sub>, Ol<sub>1</sub> à Ol<sub>3</sub>, Nt<sub>1</sub> et Nt<sub>2</sub>, M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>, Ew<sub>1</sub> et Ew<sub>2</sub>, Eb<sub>1</sub> et Eb<sub>2</sub>, Ak<sub>1</sub> et Ak<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>) caractérisées par les valeurs élevées de la conductivité électrique, de l'oxydabilité, des ions ammonium, nitrates, nitrites et orthophosphates ont une flore diatomique dominée par *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *G. parvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum*, *Pinnularia subcapitata*, *Navicula geoppertiana*, *N. mutica*, *N. arvensis*, *N. seminulum*, *Amphora montana*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Pinnularia microstauron* et *Hantzshia amphioxys*. Toutes ces espèces et variétés de diatomées sont considérées comme étant  $\alpha$ -mésopolysaprobies, N-hétérotrophes, oligo-oxybiontes et résistantes à la pollution organique et à la forte minéralisation des eaux (Sladeczek, 1986; Kobayasi & Mayama, 1989; Van Dam *et al.*, 1994; Michel, 1998; Maznah & Mansor, 2002; Potapova & Charles, 2003; Duong *et al.*, 2006; Rimet, 2009). De même, elles prolifèrent dans les tronçons eutrophes voire hypereutrophes des hydrosystèmes lotiques (Van Dam *et al.*, 1994; Blinn & Bailey, 2001; Lobo *et al.*, 2004; Lavoie *et al.*, 2008) comme c'est le cas des stations sus-mentionnées qui reçoivent les eaux usées domestiques et les effluents industriels riches en matières organiques et en nutriments. Ces observations pourraient justifier les corrélations très positives notées entre l'abondance de ces taxons et la plupart des variables physico-chimiques indicatrices de la pollution organique et de la minéralisation des eaux. Des résultats similaires ont été rapportés dans d'autres cours d'eau urbains du Kenya (Ndiritu *et al.*, 2006), de l'Éthiopie (Beyene *et al.*, 2009; Triest *et al.*, 2012) et du Brésil (Lobo *et al.*, 2004; Bere & Tundisi, 2011; Moresco & Rodrigues, 2014), et ont été attribués essentiellement à la pollution organique dûe aux rejets domestiques et industriels qui modifient

considérablement la composition des communautés de diatomées, en favorisant davantage le développement des taxons polluo-tolérants.

Les communautés de diatomées du Nga et de la Mefou, ainsi que le secteur supérieur non pollué de Tongolo, d'Abiergué et du Ntsomo sont dominées par *Navicula heimansioïdes*, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Diademsis contenta*, *Frustulia rhomboïdes* var. *saxonica*, *Achnanthes subhudsonis*, *A. munitissima*, *A. inflata*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *F. pinnata*, *Eunotia pectinalis* var. *minor*, *E. incisa*, *Cymbella gracilis*, *C. descripta*, *Brachysira neoexilis*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum* var. *parvulus* et *G. parvulum* var. *exilissimum*. Toutes ces espèces et variétés de diatomées sont oligosaprobies, polyoxybiontes et ont une préférence pour les eaux oligotrophes, neutres à légèrement alcalines (Schoeman, 1973; Gasse, 1986; Lange-Bertalot & Metzeltin, 1991; Van Dam *et al.*, 1994; Silva-Benavides, 1996; Soininen, 2002; Niamien Ebrottié *et al.*, 2008) comme il en est pour les eaux du Nga, de la Mefou et du tronçon supérieur du Tongolo, de l'Abiergué et du Ntsomo. Ce résultat se confirme avec des corrélations négatives obtenues entre l'abondance de la plupart de ces taxons et la conductivité électrique, l'oxydabilité et les ions ammonium, nitrates, nitrites et orthophosphates. Les effectifs relativement importants de ces diatomées polluosensibles avaient également été notés dans les cours d'eau de forêt de Tanzanie (Bellinger *et al.*, 2006), du Kenya (Triest *et al.*, 2012) et de la Côte d'Ivoire (Niamien Ebrottié *et al.*, 2008). Par ailleurs, la couleur et la turbidité de l'eau, signalées par Fallu *et al.* (2002), Soininen (2002) et Salomoni *et al.* (2006) comme facteurs régulant la distribution des communautés de diatomées dans les hydrosystèmes forestiers, semblent jouer le même rôle dans le Nga et la Mefou. En effet, ces variables ont été corrélées positivement avec les abondances de *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *F. pinnata*, *F. ulna* var. *acus*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum* var. *parvulus*, *G. parvulum* var. *exilissimum* et *Frustulia rhomboïdes* var. *saxonica*. Ceci pourrait, en partie, expliquer les pics de croissance de ces espèces enregistrés pendant les mois pluvieux lorsque les eaux sont très turbides et plus colorées (Soininen, 2002).

La variation d'abondance de certaines espèces de diatomées caractéristiques du Nga et de la Mefou (*Navicula heimansioïdes*, *Achnanthes subhudsonis*, *A. inflata* et *Brachysira neoexilis*) ne semble pas dépendre de la plupart des variables physico-chimiques évaluées. Ce résultat suggère que d'autres facteurs abiotiques comme l'intensité lumineuse influencent probablement le développement de ces espèces qui affichent les effectifs élevés dans les stations du Nga (N<sub>1</sub> et N<sub>4</sub>) et de la Mefou (Me<sub>1</sub> et Me<sub>2</sub>) fortement couvertes par la ripisylve. En effet, plusieurs études ont montré que certaines espèces appartenant aux genres *Achnanthes*, *Navicula* et *Fragilaria* se développent

mieux, comparées à d'autres, dans les conditions de faible éclaircissement comme il en est dans les stations sus-mentionnées (Steinman & McItire, 1986; Robinson & Rushford, 1987; Michel, 1998).

Les variations mensuelle et saisonnière des principales espèces et variétés de diatomées apparaissent dans l'ensemble des hydrosystèmes prospectés à de degrés différents. Dans le réseau hydrographique du Mfoundi, ces taxons (notamment *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Pinnularia subcapitata*, *Navicula geoppertiana*, *Amphora montana*), bien que toujours dominants pendant toute la période d'étude, se multiplient davantage en saison de pluies. Cette variabilité saisonnière des communautés de diatomées serait beaucoup plus attribuée à la richesse du milieu en sels nutritifs provenant des eaux de ruissellement (pollution diffuse), en plus des apports d'eaux usées domestiques et des effluents industriels. Cette situation pourrait également justifier la dominance dans l'ensemble du réseau hydrographique du Mfoundi des formes mobiles et érigées, plus compétitives pour les ressources nutritives (Katoh, 1992; Passy, 2007; Berthon *et al.*, 2011; Kovacs *et al.*, 2013). Ces observations rejoignent celles effectuées par Coste (1978) et Eulin (1997) dans certains tronçons urbains de la Seine et de la Garonne en France.

Les pluies régulent également la distribution des principales espèces et variétés de diatomées de la Mefou et du Nga localisés en zone rurale. En effet, ces taxons sont, pour une bonne part, des formes prostrées (*Achnanthes munitissima*, *A. subhudsonis*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Eunotia incisa*, *E. pectinalis* var. *minor*, *Diademsis contenta*) et coloniales (*Cymbella gracilis*, *C. descripta*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *F. pinnata*, *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum*, *G. parvulum* var. *parvulus*) très adhérentes aux substrats et reconnues pour résister au détachement (émigration) occasionné par les brusques variations des débits et le brassage des eaux lors des épisodes pluvieux (Penny, 1993; Eulin, 1997; Graba, 2011; Taotang *et al.*, 2013). Ceci pourrait expliquer leurs pics de croissance régulièrement relevés pendant la petite et la grande saison de pluies au cours de cette étude.

Il faut souligner la présence dans les stations du Nga (N<sub>3</sub>), de la Mefou (Me<sub>1</sub> et Me<sub>3</sub>) et celle du Mfoundi (Mf<sub>7</sub>), non ou modérément polluées, des taxons *Stephanopyxis turris*, *Chaetoceros* sp. et *Trinacria* sp. qui sont des diatomées marines (Hawood & Bohaty, 2000), également récoltées dans les rivières côtières de Sierra Leone (Carter & Denny, 1987), et qui sont signalées pour la première fois au Cameroun. La présence de ces espèces suggère une potentielle transgression de l'Océan Atlantique qui aurait recouverte la région pendant le Mérozoïque et le Cénozoïque (Boutin & Coineau, 1990). On mentionnera également la présence des formes tératologiques de *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* et de *Fragilaria ulna* var. *ulna* dans certaines stations

urbaines (A<sub>4</sub> et Mf<sub>5</sub>). Ce résultat suggère la contamination de ces cours d'eau par les métaux lourds, bien que non évalués dans ce travail.

### III-2-2-3 Indices diatomiques et qualité des eaux des cours d'eau étudiés

Les modifications des communautés de diatomées peuvent être exprimées sous forme numérique par le calcul de différents indices. Les quatre indices diatomiques (IPS, IBD, IDG, IDEP) testés ont présenté des profils de variation similaires le long des cours d'eau étudiés et révèlent une détérioration de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval de la plupart de ces biotopes, comme signalées par les caractéristiques physico-chimiques. Ce qui suggère leur utilisation potentielle pour la surveillance de la qualité des cours d'eau de la région de Yaoundé. D'après ces indices, les eaux de la Mefou, du Nga, du Ntsomo et du tronçon supérieur de Tongolo, de l'Abiergué et du Mfoundi sont de bonne à très bonne qualité (13,5 à 15,6 et 16,7 à 19, 8), tandis que celles du reste des stations urbaines recevant de fortes quantités d'eaux usées domestiques et d'effluents industriels sont fortement polluées (3,6 à 10,8). Ces indices diatomiques ont donc été capables de traduire les changements de la qualité de l'eau, en particulier la pollution organique et l'eutrophisation dont plusieurs secteurs des cours d'eau urbains sont victimes. Ces observations pourraient se justifier par les corrélations significatives obtenues entre les indices diatomiques et les variables indicatrices de la pollution organique, de l'eutrophisation et de la minéralisation. Ces indices avaient également été appliqués avec succès dans plusieurs pays en zones tempérée et tropicale pour l'estimation de la qualité biologique de l'eau (Prygiel & Coste, 1993; Fawzi *et al.*, 2001; Wu & Kow, 2002; Solak *et al.*, 2007; Taylor *et al.*, 2007; Blanco *et al.*, 2008).

Parmi les indices diatomiques testés dans cette étude, l'IPS semble plus adapté à l'évaluation de la qualité des eaux des cours d'eau prospectés car il présente des corrélations plus fortes avec les facteurs abiotiques évalués et l'IPO, et a la particularité d'intégrer tous les taxons dont l'écologie est connue (Coste, 1982; Goma *et al.*, 2005; Blanco *et al.*, 2008). En outre, les autres indices, surtout l'IDG et l'IDEP, tendent à sur-estimer ou sous-estimer la qualité de l'eau à certaines stations. Cette différence observée entre les valeurs indicielles est le plus souvent liée à la composition de la liste taxonomique intégrée dans le calcul de chaque indice et le mode d'attribution des valeurs indicatrices et du coefficient de sensibilité à la pollution pour chaque espèce ou taxon (Prygiel & Coste, 1993). En effet, plusieurs espèces des genres *Achnanthes*, *Fragilaria*, *Gomphonema* et *Navicula*, dont l'écologie peut varier d'une région à l'autre, sont le plus souvent responsables des écarts observés entre l'IPS, l'IBD et l'IDG (Eulin, 1997; Blanco *et al.*, 2008; Martín *et al.*, 2009). De plus, les espèces ne partagent pas nécessairement les mêmes préférences écologiques que le genre considéré comme c'est le cas pour l'IDG qui utilise les genres. Ceci suppose qu'il faudrait calibrer

certaines de ces indices diatomiques (IDG et IDEP) en redéfinissant de nouveau les profils écologiques des différents taxons constituant l'assemblage et responsables des écarts notés avec l'IPS (Prygiel et Coste, 1993). Pour une utilisation pratique, plus fiable et applicable en routine de l'ensemble des indices testés, la meilleure approche consisterait à travailler au niveau générique couplé régulièrement à des déterminations à l'espèce pour l'estimation de l'état de santé des cours d'eau de la région de Yaoundé. Duong *et al.* (2006) et Taylor *et al.* (2007) sont arrivés à la même conclusion et suggèrent que les indices diatomiques, mis au point dans d'autres régions du monde, doivent prendre en compte les espèces endémiques et les spécificités de chaque région avant leur utilisation en routine.

#### **III-2-2-4 Impact des substrats artificiels utilisés sur la structure des communautés de diatomées et la productivité du biofilm.**

Les communautés de diatomées installées sur les substrats artificiels pendant les six semaines d'expérimentation sont riches en espèces et la composition spécifique dépend du niveau trophique des stations prospectées. En effet, la station du Nga (N<sub>2</sub>), oligotrophe, est dominée par l'association *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Eunotia incisa*, *Navicula heimansioïdes*, *Achnanthes minutissima* et *Gomphonema gracile* qui sont toutes sensibles à la pollution (Van Dam *et al.*, 1994; Triest *et al.*, 2012). La florule diatomique récoltée dans les stations du Mfoundi (Mf<sub>3</sub>, Mf<sub>5</sub>, Mf<sub>6</sub>) recevant d'importantes quantités d'eaux usées domestiques et d'effluents de la SABC et de SOFAVINC est caractérisée par la prédominance de deux espèces saprohiles (*Nitzschia palea* et *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*) qui sont accompagnées de *Pinnularia subcapitata*, *Navicula geoppertiana*, *Aulacoseira granulata*, *A. muzzanensis* et *Cyclotella kuetzingiana*. Ces mêmes espèces et variétés de diatomées établies sur les substrats sont également présentes dans les communautés naturelles avec des proportions relativement différentes. Ce résultat indique que la colonisation des nouveaux substrats par les diatomées dans un tronçon donné du cours d'eau se fait essentiellement par le stock d'espèces en place (Hoagland *et al.*, 1982; Eulin & Le Cohu, 1998; Hameed, 2003; Duong *et al.*, 2012). Ceci pourrait également expliquer les différences non significatives notées entre le nombre d'espèces et l'indice de diversité spécifique de ces deux communautés. Par ailleurs, les différences d'abondance relative des principales espèces observées entre l'épilithon naturel et celui installé sur les substrats seraient attribuées à la modification du microhabitat par les taxons eux-mêmes (compétition) et au broutage sélectif de ces algues par les invertébrés notamment les larves de Trichoptères et de Chironomidés observés dans certaines de ces stations. Ces observations corroborent avec celles effectuées en France par Eulin (1997) et Morin *et al.* (2007) dans le fleuve Garonne et la rivière Riou-mort, respectivement.

Concernant la succession des espèces sur les substrats, *F. ulna* var. *acus*, *C. placentula* var. *euglypta*, *E. incisa*, *N. heimansioïdes* et *G. gracile* sont des colonisateurs précoces dans le Nga. Ces diatomées sont pour la plupart des formes prostrées (*C. placentula* var. *euglypta*), adnées (*E. incisa*) et coloniales (*F. ulna* var. *acus*, *G. gracile*) qui occupent généralement la strate basale du biofilm des secteurs des rivières non polluées comme le Nga (Hoagland *et al.*, 1982; Hudon & Bourget, 1981; Passy & Larson, 2001; Steuer *et al.*, 2009). La prédominance de ces taxons et d'*Achnanthes minutissima* pendant toute la durée de colonisation indique certainement un biofilm jeune composé d'espèces pionnières où aucun stade d'équilibre (climax) n'est atteint (Stevenson, 1996; Biggs *et al.*, 1998). L'allure de la courbe de l'évolution de la biomasse périphytique dans le Nga nous réconforte dans cette position. Dans le Mfoundi, *N. palea* et *G. parvulum* var. *lagenula* qui sont des espèces saprophytes dominent la florule diatomique pendant l'expérimentation. Ces deux espèces opportunistes sont plus compétitives pour les ressources nutritives et ont un taux de multiplication plus important que les autres (Passy, 2007). Ce qui pourrait expliquer l'épaississement rapide du biofilm noté dans les stations du Mfoundi et le développement des diatomées planctoniques (*A. granulata*, *A. muzzanensis* et *C. kuetzingiana*) piégées dans cette matrice polysaccharidique. L'émergence de ces formes filamenteuses sur les substrats souligne la maturité du biofilm du Mfoundi (Korte & Blinn, 1983) comparé à celui du Nga.

Les résultats de la biomasse périphytique (poids sec et matières sèches sans cendre) montrent que les eaux du Mfoundi sont plus productives (0,08 à 0,35 mg/cm<sup>2</sup> et 0,03 à 0,95 mg/cm<sup>2</sup>) que celles du Nga (0,04 et 0,009 mg/cm<sup>2</sup>). Cette différence serait surtout liée à un apport constant dans le Mfoundi des nutriments et des substances organiques par le biais des rejets d'eaux usées domestiques et d'effluents de la SABC. Ces ressources nutritives sont donc nécessaires à la croissance du biofilm (Biggs, 1996; McCormick *et al.*, 1996; Lavoie *et al.*, 2003; Potapova *et al.*, 2005 b; Bouletreaux, 2007; Artigas *et al.*, 2012). La biomasse maximale dans le Mfoundi est atteinte au bout de quatre semaines de colonisation indiquant un biofilm mature. Sa baisse observée pendant les deux dernières semaines serait attribuée au détachement autogène (perte soudaine de biomasse liée à la sénescence des couches les plus anciennes du biofilm qui assurent son ancrage au substrat et favorisée par les températures relativement élevées) et au broutage des communautés algales et bactériennes du biofilm par les invertébrés (larve de Trichoptères et Chironomidés) abondantes sur les substrats durant toute la durée de colonisation (Peterson *et al.*, 1990; Biggs, 1996; Teissier *et al.*, 2007; Bouletreaux, 2007). Dans le Nga, la biomasse maximale n'est pas atteinte après six semaines de colonisation. Ce résultat pourrait être associé aux faibles teneurs en nutriment des eaux du Nga et

à la forte couverture de la station par la végétation rivulaire réduisant la biodisponibilité du rayonnement solaire (Michel, 1998).

L'accumulation de la *chl a* sur les substrats suit la même évolution que celle de la biomasse, le Mfoundi affichant toujours les plus fortes valeurs (0,03 à 0,04 mg/Cm<sup>2</sup>). Ces valeurs restent supérieures à celles obtenues par Eulin (1997) dans le fleuve Garonne en aval de la ville de Toulouse (France).

En somme, l'étude des caractéristiques spécifiques (richesse spécifique, indice de diversité de Shannon et Weaver, composition spécifique) des communautés de diatomées du Nga et du Mfoundi n'a pas révélé de différences significatives entre l'épilithon naturel et celui installé sur les lames de verre. Ce qui souligne que ce type de substrat est bien adapté à l'étude de l'épilithon de ces hydrosystèmes. En outre, les critères généraux (poids sec, matières sèches sans cendre, *Chl a*) et les espèces dominantes sur les substrats, qui reflètent les conditions d'exposition de chaque station, ont permis de séparer la station du Nga à celles du Mfoundi, mettant ainsi en évidence les effets combinés de la charge organique et des nutriments sur la structure, l'architecture et la productivité du biofilm épilithique.

## **CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

## CONCLUSION

La présente étude, axée sur une approche comparative, a porté sur la caractérisation de l'état écologique des cours d'eau du réseau hydrographique de la Mefou par les analyses physico-chimiques des eaux et la diversité et la structure spatio-temporelle des communautés de diatomées afin d'établir les «biotypes» selon le niveau d'altération.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux ont révélé une pollution organique importante des cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi, surtout dans leurs tronçons moyen et inférieur, due aux apports d'eau usées domestiques et des effluents industriels fortement chargés en matières organiques et en sels dissous. Cette dégradation de la qualité des eaux se traduit par les valeurs élevées des variables indicatrices de la pollution organique (oxydabilité, DBO<sub>5</sub>, azote ammoniacal, nitrates, nitrites, orthophosphates) et de la minéralisation (conductivité électrique). En saison des pluies, les eaux de ruissellement accentuent cette pollution par l'apport considérable des polluants via de nombreuses sources diffuses. Comparativement aux cours d'eau urbains dont les eaux sont eutrophes à hypereutrophes, celles du Nga et de la Mefou révèlent un caractère oligotrophe à mésotrophe, présentant des valeurs faibles à très faibles de la plupart des variables physico-chimiques analysées. Ces cours d'eau périurbains peuvent donc être considérés comme «milieu de référence» pour la région de Yaoundé et exploités à différentes fins comme la production d'eau potable en cas de débit suffisant.

Le peuplement diatomique de l'ensemble des cours d'eau étudiés est riche et diversifié en relation avec les conditions du milieu qui prévalent dans ces biotopes. Au total, 435 espèces et variétés de diatomées, majoritairement cosmopolites, dont l'existence était jusqu'alors insoupçonnée ont été inventoriées. Les communautés de diatomées des stations fortement polluées des cours d'eau du Mfoundi et ses affluents sont dominées par les taxons résistants à la pollution organique et à la forte minéralisation des eaux (*Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* var. *lagenula*, *Navicula arvensis*, *Pinnularia subcapitata* et *Aulacoseira granulata*). Dans le Nga et la Mefou, ainsi que le tronçon supérieur de Tongolo, de l'Abiergué et du Ntsomo se multiplient abondamment les taxons oligosaprobies et polyoxybiontes (*Navicula heimansioïdes*, *Diademesis contenta*, *Achnanthes minutissima*, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Cymbella gracilis*, *Eunotia incisa*, *Gomphonema gracile*).

Les métriques de diversité spécifique, bien que variables d'un cours d'eau à l'autre, n'ont pas permis de caractériser toute l'ampleur de l'altération de la qualité des eaux. Toutefois, les 4 indices diatomiques (IPS, IBD, IDG, IDEP) ont été testés avec succès pour la première fois au Cameroun pour estimer la qualité de l'eau des rivières et révèlent une pollution forte à très forte des eaux du Mfoundi et ses affluents, et des eaux de bonne à très bonne qualité du Nga et de la Mefou.

Ce qui traduit une modification de la composition des communautés de diatomées face aux changements de la qualité de l'eau. Des modifications saisonnières plus ou moins marquées de la structure des communautés de diatomées sont apparues avec une forte représentation des formes prostrées dans le Nga et la Mefou pendant la saison de pluies, et les formes mobiles et érigées, plus compétitives pour les ressources nutritives, dans le Mfoundi et ses affluents au cours de la même saison coïncidant avec la richesse des eaux en nutriments.

L'expérimentation utilisant les lames de verre a montré qu'elles sont bien adaptées à l'étude de l'épithon des cours d'eau de la région de Yaoundé, confirmant aussi que les eaux du Mfoundi sont plus productives que celles du Nga. Les teneurs en matières organiques et en nutriments semblent donc indispensables à la croissance du biofilm.

Cette étude suggère que la structure des communautés de diatomées épilithiques et les indices diatomiques peuvent être utilisés pour le contrôle et le suivi de la qualité des cours d'eau au Cameroun. Les limites des différentes classes de qualité doivent cependant être adaptées aux types de rivières et aux caractéristiques écorégionales.

## **RECOMMANDATIONS**

Les eaux des cours d'eau du réseau hydrographique du Mfoundi, largement utilisées par les populations riveraines, sont de mauvaise qualité et les exposent certainement à des maladies d'origine hydrique. Afin d'optimiser les services écosystémiques rendus par ces milieux, l'amélioration de leur état de santé est primordiale et nécessite:

- la limitation des apports polluants dans les cours d'eau via la construction d'un réseau de canalisation des eaux usées (domestiques, municipales et industrielles), ainsi que les stations d'épuration de ces eaux résiduaires. Celles-ci doivent être rejetées dans les cours d'eau après leur traitement;

- la gestion efficace des eaux pluviales par drainage et le ramassage régulier des ordures;

- le curage et le faucardage qui assurent le bon écoulement des eaux, pouvant ainsi aider à l'augmentation du potentiel autoépurateur des cours d'eau;

- la revégétalisation des berges des cours d'eau urbains par des espèces pionnières afin de diminuer l'érosion des sols et restaurer les habitats aquatiques;

- le suivi régulier de la qualité physico-chimique et biologique des eaux des cours d'eau, sanctionné par l'établissement de la carte de santé de ces milieux sur la base de laquelle peuvent être envisagées des actions curatives par tronçon de rivière;

-la restitution des travaux de recherche sur le terrain (avec l'aide de la municipalité) à travers les campagnes de sensibilisation des populations riveraines sur l'importance socio-économique des cours d'eau de manière à les inciter à coopérer activement à la gestion de la salubrité.

## **PERSPECTIVES**

La mise en place des plans de gestion rationnelle et surtout de conservation des hydrosystèmes à l'échelle nationale exige de dresser au préalable un état de santé de ces milieux intégrant à la fois la chimie de l'eau et les organismes aquatiques. Pour nos travaux futurs, nous nous proposons donc:

-d'étendre l'étude à d'autres hydroécotones du Cameroun, afin de disposer des données suffisantes sur la biodiversité taxonomique des diatomées benthiques et les caractéristiques physico-chimiques de leur habitats, ainsi que le profil écologique des principaux taxons;

-déterminer, pour chaque hydroécotone du pays, le bon état écologique des eaux courantes, étape nécessaire à la mise sur pied des programmes de biosurveillance;

-d'évaluer le pouvoir bioindicateur de ces microalgues à d'autres types de polluants comme les métaux lourds (pollution métallique) et les produits phytosanitaires (pollution agricole) généralement enregistrés au Cameroun.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AFNOR (2003).** Qualité de l'eau. Guide pour l'échantillonnage en routine et le pré-traitement des diatomées benthiques des rivières. Normes NF EN 13946, Agences de l'Eau-Cemagref, 16 p.
- Ajeegah, G.A., Njiné, T., Bilong Bilong, C.F., Foto Menbohan, S., Wouafo Ndayo M., Nola M., Di Giovanni, G.D., Huw, S. (2010).** Seasonal distribution of enteric opportunistic *Cryptosporidium* Spp. Oocysts and *Giardia* Spp. Cysts in a tropical water basin, Cameroon. *Water*, 2, 44-57.
- Alverson, A.J., Courtney, G.W. (2002).** Temporal patterns of diatom ingestion by larval net-winged midges (Diptera: Blephariceridae: *Blepharicera*). *Freshwater Biology*, 47, 2087–2097.
- Amou'ou Jam, J.P., Melingui, A., Moukam J., Tchepannou, A. (1985).** *Géographie du Cameroun*. Armand Colin, Paris, 127p.
- Anonyme (1966).** Determination of photosynthetic pigment, report of SCOR-UNESCO Working Group 17, *Monographies Oceanographies*, 9-18.
- APHA-AWWA (1985).** Standard methods for the examination of water and wastewater. 15<sup>th</sup> edition, APHA-AWWA-WPCF, Pennsylvania, Washington, DC, U.S.A., 1150 p.
- APHA-AWWA (2012).** Standard methods for the examination of water and wastewater. 22<sup>th</sup> edition, APHA-AWWA-WPCF, Pennsylvania, Washington, DC, U.S.A., Part.2000-4500.
- Archibald, R.E.M. (1972).** Diversity in some South African diatom associations and its relation to water quality. *Water Research*, 6, 1229-1238.
- Artigas, J., Fund, K., Kirchen, S., Morin, S., Obst, U., Romani, A.M., Sabater, S., Schwartz, T. (2012).** Patterns of biofilm formation in two streams from different bioclimatic regions: analysis of microbial community structure and metabolism. *Hydrobiologia*, 695, 83–96.
- Baars, J.W.M. (1983).** Autoecological investigations on freshwater diatoms. 1. Generation times of some species. *Archiv für Hydrobiologie - Supplement.*, 67(1), 11-18.
- Bachelier, G. (1959).** Étude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogenèse des sols ferrallitiques. *Agronomie Tropicale*, 19 (3), 279-305.
- Bate, N. & Newall, P. (2002).** *Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves?* In: John, J. (eds.) *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Diatom Symposium*. Ganter, A.R.G. Verlag K.G., Germany, p 153-160.
- Bellinger, B.J., Cocquyt, C., O'reilly, C.M. (2006).** Benthic diatoms as indicators of eutrophication in tropical streams. *Hydrobiologia*, 573, 75-87.
- Berard, A., Rimet, F., Capowiez, Y., Leboulanger, C. (2004).** Procedures for determining the pesticide sensitivity of indigenous soil algae: A possible bioindicator of soil contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 46(1), 24-31.
- Bere, T. & Tundisi, J.G. (2011).** Influence of ionic strength and conductivity on benthic diatom

- communities in a tropical river (Monjolinho), São Carlos-Sp, Brazil. *Hydrobiologia*, 661, 261-276.
- Berrahou B., Cellot, R., Richoux P. (2001).** Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ses principaux affluents (Maroc). *Annales de Limnologie*, 37, 223-235.
- Berthon, V., Bouchez, A., Rimet, F. (2011).** Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia*, 673, 259-271.
- Bertrand, J. (1999).** Mouvements des diatomées VI. Les efforts pendant le déplacement apical. Mesures, analyses, relations : longueur, vitesse, force. *Cryptogamie Algologie*, 20(1), 43-57.
- Beyene, A., Addis, T., Kifle, D., Legesse, W., Kloos, H. & Triest, L. (2009).** Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: Case study of the Kabena and Akaki rivers in Addis Ababa., *Ethiopian Ecological Indicator*, 9, 381-392.
- Biggs, B.J.F. (1995).** The contribution of flood disturbance, catchment geology and land use to the habitat template of périphyton in stream ecosystems. *Freshwater Biology*, 33, 419-438.
- Biggs, B.J.F. (1996).** Patterns in benthic algae of streams. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds) .Algal ecology of freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego-California, USA, pp 31-56.
- Biggs, B.J.F., Close, M.E. (1989).** Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flow and nutrients. *Freshwater Biology*, 22, 209-231.
- Biggs, B.J.F., Stevenson ,R.J., Lowe, .R.L. (1998).** A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie*, 143, 21-56.
- Bitom, D. (1988).** Organisation et évolution d'une couverture ferrallitique en zone tropicale humide (Cameroun). Genèse et transformation d'ensembles ferrugineux indurés profonds. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, France, 164 p.
- Blanco, S., Ector, L., Decares, E. (2004).** Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish shallow lakes, *Life and Milieu*, 54 (2/3), 71-79.
- Blanco, S., Ector, L., Huck, V., Monnier, O., Cauchie, H.M., Hoffmann, L., Becares, E. (2008).** Diatom assemblage and water quality assessment in the Duoro Basin (NW Spain). *Belgian Journal of Botany*, 141(1), 39-50.
- Blandin, P. (1986).** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, 17 (4), 215-307.
- Blinn, D.W, Bailey, P.C.E. (2001).** Land-use influence on stream water quality and diatom

communities in Victoria, Australia: a response to secondary salinization. *Hydrobiologia*, 466, 231-244.

**Boulêtreau, S. (2007).** Déterminisme des fonctions d'accrétion et de détachement du biofilm phototrophe en milieu naturel: études expérimentale et numérique des facteurs de contrôle de la biomasse en rivière. Thèse de Doctorat, Université e Toulouse III, France, 190 p.

**Boutin, C., Coineau, N. (1990).** "Regression Model" "Modèle biphasé d'évolution" et origine des microorganismes interstitiels continentaux, *Revue de Micropaléontologie*, 33 (3/4), 303-322.

**Bourrelly, P. (1968).** *Les algues d'eau douce : les algues jaunes et brunes*. Boubée et Cie, Paris, France, 438 p.

**BUCREP (2005).** Présentation des résultats définitifs du 3e recensement de la population et de l'habitat du Cameroun, Rapport du Bureau Central des recensements et d'études de la population, Yaoundé, Cameroun, 65p.

**Casey, H., Clarke, R.T., Marker, A.F.H. (1981).** The seasonal variation in silicon concentration in chalk stream in relation to diatom growth. *Freshwater Biology*, 11, 335-344.

**Carr, G., Morin, A., Chambers, P. A. (2005).** Bacteria and algae in stream periphyton along a nutrient gradient. *Freshwater Biology*, 50, 1337-1350.

**Carter, J.R & Denny, P. (1982-1992).** Freshwater algae of Sierra Leone, IV. Bacillariophyceae. 1: Diatoms from the River Jong (Taia) at Njala, 331p; 2: diatoms from the coastal region of the Southern Province, 46 p; 3: diatoms from the Lake Sonfon region and from Lake Popei, 52 p. Nova Hedwigia, Stuttgart, Germany.

**Chuks, C.A. (1998).** The effect of industrial activities on the périphyton community at the upper reaches of Calabar river, Niger delta, Nigeria. *Water Research*, 32 (4), 1137-1143.

**Clausen, B., Biggs, B.J.F. (1997).** Relationships between benthic biota and hydrological indices in New Zealand streams. *Freshwater Biology*, 38, 327-342.

**Compère, P. (1975).** Algues de la région du lac Tchad IV Diatomophycées. *Cah. ORSTOM Ser. Hydrobiol.*, IX, 203-290.

**Coring, E. (1996).** Use of diatoms for monitoring acidification in small mountain river in Germany with special emphasis on diatom assemblage analysis (DATA). In: Whitton, B.A., Rott, E. (eds). Use of algae for monitoring rivers II. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Austria, p 7-16.

**Costanza, R., Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M. (1997).** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

- Coste, M. (1978).** Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes, Thèse de Doctorat, Université de Besançon, France, 150 p.
- Coste, M. (1982).** Étude des méthodes biologiques quantitatives d'appréciation de la qualité des eaux. Rapport Cemagref -Q.E. Lyon- A.F.B. Rhône-Méditerranée-Corse, France, 218 p.
- Coste, M. (1999).** Atlas des diatomées pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Agence de l'Eau - Cemagref QEBX, Bordeaux, France, 130p.
- Coste M. & Ayphassorho, H. (1991).** Étude de la qualité des eaux du Bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques (Application des indices diatomiques). Rapport Cemagref Bordeaux-AE Artois-Picardie, France, 227 p.
- Cox, E.J. (1988).** Microdistributional patterns of freshwater diatoms in relation to their use as bioindicator. In: *Proceedings of the 10 th Inter national Diatom Symposium* (eds. H. Simola), pp. 521–528. Koeltz, Koenigstein, Joensuu, Finland.
- Cox, E.J. (1996).** Identification of freshwater diatoms from live material. Chapman & Hall, London, United Kingdom, 143 p.
- Dajoz, R. (2000).** Précis d'écologie. Dunod, Paris, France, 615 p.
- Debenest, T. (2007).** Caractérisation de l'impact des pollutions agricoles sur les diatomées benthiques, Thèse de Doctorat en Ecotoxicologie de l'Environnement, Université de Bordeaux I, France, 251p.
- Dejoux, C. (1988).** La pollution des eaux continentales africaines. Expérience acquise. Situation actuelle et perspectives, ORSTOM, Paris, France, 513p.
- Della Bella, V., Pace, G., Barile, M., Zedde, A., Puccinelli, C., Ciadamidaro, S., Danieli, P.P., Andreani, P., Aulicino, F.A., Belfiore, C., Mancini, L. (2012).** Benthic diatom assemblages and their response to human stress in small-sized volcanic-siliceous streams of central Italy (Mediterranean eco-region). *Hydrobiologia*, 695, 207-222.
- De La Rey, P.A., Van Renburg, L., Vosloo, A. (2008).** A comparison of the response of diversity and autecological diatom indices to water quality variables in the Marico-Molopo River catchment *Water SA* , 34 (1), 53-60.
- Dell'uomo, A. (1996).** Assessment of water quality of an Apennian river as a pilot study for diatom based monitoring of Italian watercourses. In: Whitton and Rott (eds). *Use of algae for monitoring rivers. Inst.f. Botanik, Innsbruck*, 2, 65-72.
- DeNicola, D. M. (1996).** Periphyton response to temperature at different ecological levels. In: **Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L.,** (eds.). *Algal ecology of freshwater benthic ecosystems*, Aquatic Ecology Series, Academic Press, Boston, U.S.A., p149-181.

- Descy, J.P. (1979).** A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*, 64, 305-323.
- Dixit, S. S., Smol, J. P., Kinston, J. C., Charles, D. F. (1992).** Diatoms: powerful indicators of environmental change. *Environmental Science and Technology*, 26, 23-33.
- Djuikom, E., Jugnia, L.B., Nola, M., Foto Menbohan, S., Sikati Foko V. (2009).** Physicochemical water quality of the Mfoundi River watershed at Yaoundé, Cameroon, and its relevance to the distribution of bacterial indicators of faecal contamination. *Water Science and Technology*, 60 (11), 2841-2849.
- Dodds, W.K., Smith, V.H., Lohman, K. (2002).** Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 865-874.
- Duong, T.T., Feurtet Mazel, A., Coste, M., Dang, D.K., Boudou, A. (2006 a).** Dynamics of diatom colonization process in some rivers influenced by urban pollution (Hanoi, Vietnam). *Ecological Indicator*, 7(4), 839-851.
- Duong, T.T., Coste, M., Feurtet Mazel, A., Dang, D.K., Gold, C., Park, Y.S., Boudou, A. (2006 b).** Impact of urban pollution from Hanoi area on benthic diatom communities collected from the Red, Nhue and Tolich rivers (Vietnam), *Hydrobiologia*, 563, 201-216.
- Duong, T.T., Coste, M., Feurtet Mazel, A., Dang, D.K., Ho, C.T., Le, T.P.Q. (2012).** Responses and structural recovery of periphytic diatom communities after short-term disturbance in some rivers (Hanoi, Vietnam). *Journal of Applied Phycology*, 24, 1053–1065.
- Dussart, B. H. (1992).** Limnologie: L'étude des eaux continentales, Boubée & C<sup>ie</sup>, 2<sup>e</sup> édition, Paris, France, 525p.
- Ébang Menye, D. (2004).** L'état de santé de l'Ewoué, un diagnostic par l'examen de la pollution par les rejets domestiques et urbains et ses incidences sur les biocénoses aquatiques. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies, Université de Yaoundé I., Cameroun, 65 p.
- Egnima Bamou, C. H. (2007).** Structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans le cours d'eau Nga. Mémoire de DEA, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 63p.
- Eloranta, P. (1995).** Type and quality of river waters in central Finland described using diatom indices. In: Marino D. and Montessor M. (eds). *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Diatom Symposium-Biopress*, Bristol., United Kingdom, pp 271-280.
- Elster, J., Seckbach, J., Vincent, W.F., Lhotsky, O., (2001).** Algae and extreme environments Ecology and Physiology. In: **Elster, J., Seckbach, J., Vincent, W. F., Lhotsky, O., (eds.)**, *Nova Hedwigia beiheft-Cramer*, Berlin- Stuttgart, Germany, 602 p.

- Éno Belinga, S. M. & Kabeyene Beyala (1982).** Géologie dynamique du paysage de fer de la ville de Yaoundé. Secteur Nord., *Annales de la Faculté des Sciences*, 1, 51 – 56.
- Eulin, A. (1997).** Les communautés de diatomées épilithiques de la Garonne. Répartition naturelle et étude expérimentale in situ de la dynamique de colonisation sur substrat artificiel, Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 250 p.
- Eulin, A., Le Cohu, R. (1998).** Epilithic diatom communities during the colonization of artificial substrates in the River Garonne (France). Comparison with natural communities. *Archiv für Hydrobiologie.*, 143 (1), 79-106.
- Fallu, M.A., Allaire, N., Pienitz, R. (2002).** Distribution of freshwater diatom in 64 Labrador lake (Canada): species-environment relationships along latitudinal gradients and reconstruction models for water color and alkalinity, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 329-349.
- Fawzi, B., Chlaida, M., Oubraim, S., Loudiki, M. Sabour, B., Bouzidi, A. (2001).** Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain : Oued Hassar, *Revue des Sciences de l'Eau*, 14, 73-89.
- Fawzi, B., Loudiki, M., Oubraim, S., Sabour, B., Chlaida, M. (2002).** Impact of wastewater effluent on the diatom assemblages structure of a brackish small stream: Oued Hassar (Morocco), *Limnologica*, 32, 54-65.
- Fernandes, J.F., Souza, A.L.T., Tananka, M.O. (2014).** Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? A tropical case study. *Hydrobiologia*, 724, 175-185.
- Ferris, J.A., Lehman, J.T. (2007).** Interannual variation in diatom bloom dynamic: roles of hydrology, nutrient limitation, sinking, and whole lake manipulation. *Water Research*, 41, 2551-2562.
- Finlay, K. P., Cyr, H., Shuter, B. J. (2001).** Spatial and temporal variability in water temperatures in the littoral zone of a multibasin lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 609-619.
- Fisher, J., Dunbar, M. J. (2007).** Towards a representative periphytic diatom sample. *Hydrology and Earth Systems*, 11, 399–407.
- Forsberg, C., Ryding, S.O. (1980).** Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste receiving lakes. *Archiv für Hydrobiologie*, 89 (1/2), 189-207.
- Foster, D., Wood A. & Griffiths M. (2001).** The EC Water Framework Directive and its implications for the Environment Agency. *Freshwater Forum*, 16, 4–28.

- Foto Menbohan, S., Zébazé Togouet, S.H., Ajeegah, G.A., Nzieleu Tchapgnoou, G.J., Njiné, T. (2011 a).** Ciliates community distribution and saprobic evaluation of an urban hydrosystème: the Biyeme stream (Cameroon, Central Africa). *Journal of Applied Biosciences*, 48, 3306-3315.
- Foto Menbohan, S., Zébazé Togouet, S.H., Nyamsi Tchatcho, N.L., Ajeegah, G.A., Njiné, T. (2011 b).** Evolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 55 (2), 291-300.
- Foto Menbohan, S. (2012).** Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé): Essai de biotypologie, Thèse de Doctorat d'État, Université de Yaoundé 1, 179 p.
- Foto Menbohan, S., Koji, E., Ajeegah, G.A., Bilong Bilong, C.F., Njiné, T. (2012).** Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon, *International Journal of Biosciences*, 2 (11), 137-145.
- Foto Menbohan, S., Njiné, T., Zébazé Togouet, S.H., Nola, M., Monkiédjé, A., Boutin, C. (2006).** Distribution spatiale du zooplancton dans un réseau hydrographique perturbé en milieu urbain tropical (cameroun). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle*, 142, 53-62.
- Francoeur, S.N, Biggs, B.J.F. (2006).** Short-term effects of elevated velocity and sedimentabrasion on benthic algal communities. *Hydrobiologia*, 561, 59-69.
- Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., Hurley, M.D. (1986).** A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context, *Environmental Management*, 10, 199-214.
- Garnier, J., Billen, G., Coste, M. (1995).** Seasonal succession of diatoms and chlorophyceae in the drainage network of the Seine River: observation and modeling, *Limnology and Oceanography*, 40, 750-765.
- Gasse, F. (1986).** East African diatoms: Taxonomy, Ecological distribution, *Bibliotheca Diatomologica*, J. Cramer, Berlin, Germany, 201 p.
- Gippel, C.J. (1995).** Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams, *Hydrological Process*, 9, 83-97.
- Ghosh, M., Gaur, J. P. (1998).** Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities, *Aquatic Botany*, 60, 1-10.
- Gold, C. (2002).** Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphytiques des cours d'eau. Approches expérimentales in situ et en laboratoire, Thèse de Doctorat, Univiversité de Bordeaux I, Francet, 175 p.

- Gold, C., Feurtet-Mazel, A., Coste, M. & Boudou, A (2002).** Field transfer of periphytic diatom communities to assess short-term structural effects of metals (Cd, Zn) in rivers, *Water Research*, 36 (14), 3654-3664.
- Goloma, S., & Symoens J.J. (1990).** Caractéristiques physico-chimiques de quelques cours d'eau de Kisangani (Zaire), *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-mer*, 35 (2), 145-157.
- Gomá, J., Rimet, F., Cambra, J., Hoffmann, L., Ector, L. (2005).** Diatom communities and water quality assessment in mountain rivers the upper Sègre basin (La Cerdanya, Pyrénées), *Hydrobiologia*, 551, 209-225.
- Gomez, N. (1998).** Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza-Riachuelo (Argentina), a pampean plain river, *Water Research*, 32, 2029-2034.
- Gosselain, V., Joakim, J.C., Viroux, I., Mena, M., Metens, A., Descy, J.P., Thomé, J.P. (1996).** Laboratory and in situ grazing rate of large river rotifers and their contribution to community grazing rate, *Archiv für Hydrobiologie*, 1 (4), 353-361.
- Graba, M. (2011).** Modélisation des interactions biophysiques entre la dynamique du biofilm épilithique et l'hydrodynamique locale, Thèse de Doctorat en sciences de l'eau et de l'environnement, Université de Toulouse III, France, 190 p.
- Guasch, H., Sabater, S. (1998).** Light history influences the sensitivity to atrazine in periphytic algae, *Journal of Phycology*, 34, 233 - 241.
- Gueade, G.A., Ouattara, A., Edia, O.E., Gourene, G. (2009).** Influence de la géologie du milieu sur les caractéristiques physico-chimiques de quelques cours d'eau naturels du sud de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest), *European Journal of Scientific Research*, 34 (3), 384-394.
- Häkansson, S. (1993).** Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in the Southern Sweden-A progress report. *Diatom Research*, 8, 349-370.
- Hameed, H.A. (2003).** The colonization of periphytic diatom species on artificial substrates in the Ashar canal, Basrah, Iraq, *Limnologica*, 33, 54-61.
- Hamilton, D.G. (2005).** Introduction. In: **Vikram Reddy, M.** (eds.). Restoration and management of tropical eutrophic lakes. Sciences Pub.Inc. Enfield, Blymouth., p. 1-10.
- Hawood, D.M., Bohaty, S.M. (2000).** Marine diatom assemblages from Eocene and younger erratics, Mc Murdo sound, Antarctica, *Antarctic Research Series*, 76, 73-98.
- Hecky, R.E (2000).** A biogeochemical comparison of lakes Superior and Malawé and the limnological consequences of an endless summer, *Aquatic Ecosystem Health Management*, 3, 23-3.
- Hillebrand, H. (2005).** Light regime and consumer control of autotrophic biomass, *Journal of Ecology*, 93, 758-769.

- Hill, W. R. (1996).** Effects of light. In: **Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L.** (eds.). Algal ecology of freshwater benthic ecosystems, Aquatic Ecology Series, Academic Press, Boston, U.S.A., p 121-148.
- Hill, W.R., Ryon, M.G., Schilling, E.M. (1995).** Light limitation in stream ecosystem: responses by primary producers and consumers, *Ecology*, 75, 1297-1309.
- Hill, W. R., Knight, A. W. (1988).** Nutrient and light limitation of algae in two northern California streams, *Journal of Phycology*, 24, 125-132.
- Hoagland, K.D., Rosowski, J.R., Gretz, M.R., Roemer, S.C. (1993).** Diatom extracellular polymeric substances: function, fine structure, chemistry, and physiology, *Journal of Phycology*, 29, 537-566.
- Hoagland, K., Roemer, S., Rosowski, J. (1982).** Colonization and community structure of 2 periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (bacillariophyceae), *American Journal of Botany*, 69 (2), 188–213.
- Hofmann, G (1994).** Aufwuchs diatoms in seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie, *Bibliotheca Diatomologica*, Germany, 30, 241p.
- Holomuzki, J.R., Biggs, B.J.F. (2006).** Food limitation affects algalivory and grazer performance for New Zealand stream macroinvertebrates, *Hydrobiologia*, 561, 83–94.
- House, W.A., Leach, D.V., Armitage, P.D. (2001).** Study of dissolved silicon and nitrate dynamics in a freshwater stream, *Water Research*, 35 (11), 2749–2757.
- Hudon, C., Bourget, E. (1981).** Initial colonisation of artificial substrata: community development and structure studied by scanning electron microscopy, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38, 1371-1384.
- Hudon, C., Legendre, P. (1987).** The ecological implications of growth forms in epibenthic diatoms. *Journal of Phycology*, 25, 434-441.
- Illies, J., Botosaneanu, L. (1963).** Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérée surtout du point de vue faunistique. *Mitteilung Vereinigung Internationale Limnologie*, 12, 1–57.
- Iltis, A. (1974).** Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). VII. Structure des peuplements, *Cahier ORSTOM, Hydrobiologie*, 8 (4), 51 – 76.
- Iltis, A., Lévêque, C. (1982).** Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d’Ivoire, *Revue d’Hydrobiologie Tropicale*, 15 (2), 115-130.

- John, J. (2000).** A guide to diatoms as indicators of urban stream health. Land and Water Resources Research and Development Corporation Australia, Report of Urban Sub Program-LWRRDC ,7 (14/99), Canberra, Australia, 133 p.
- Katoh, K. (1992).** Correlation between cell density and dominant growth form of epilithic diatom assemblages, *Diatom Research*, 7, 77-86.
- Keithan, E.D. & Lowe, R.L. (1985).** Primary productivity and spatial structure of phytolithic growth in streams in the Great Smoky Mountains National Park, Tennessee, *Hydrobiologia*, 123, 59-67.
- Kelly, M.G. (1998 a).** Use of the Trophic Diatom Index to monitor eutrophication in rivers, *Water Research*, 32 (1), 236-242.
- Kelly, M.G., Cazaubon, A., Coring, E., Dell'uomo, A., Ector, L., Goldsmith, B., Guasch, H., Hürlimann, J., Jarlman, A., Kawecka, B., Kwadrans, J., Laugaste, R., Lindstrom, E.A., Leitao, M., Marvan, P., Padisak, J., Pipp, E., Prygiel, J., Rott, E., Sabater, S., Van Dam, H. & Vizinet, J. (1998).** Recommendation for the routing sampling of diatoms for water quality assessment in Europe, *Journal of Applied Phycology*, 10, 215-224.
- Kelly, M., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H., Yallop, M. (2008).** Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms, *Freshwater Biology*, 53, 403–422.
- Kemka, N. (2000).** Evaluation du degré de trophie du Lac Municipal de Yaoundé: étude du milieu, dynamique et structure du peuplement phytoplanctonique. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> Cycle, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 183 p.
- Kemka, N., Njiné, T., Zébazé Togouet, S.H., Foto Menbohan, S., Nola, M., Monkiédjé, A., Niyitegeka, D., Compère, P. (2006).** Eutrophication of lakes in urbanized areas: the case of Yaounde Municipal Lake in Cameroon, Central Africa, *Lake Reservoirs and Research Management*, 11, 47-55.
- Kiampi Chioffo, C. (2004).** Ampleur de la pollution du Mingoa par les eaux usées domestiques, et réponse des organismes du milieu, Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies, Université de Yaoundé I., Cameroun, 52 p
- King, L., Clarke, G., Bennion, H., Kelly, M.G., Yallop, M. (2005).** Sampling littoral diatoms in lake for ecological status assessments: a literature review. Research report, Environment Agency-Rio-House, Bristol, United Kingdom, 31 p.
- Klee, O. (1991).** Angewandte Hydrobiologie. Thieme, Stuttgart, Germany, 272p.

- Kobayasi, H., Mayama, S. (1989).** Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, 30, 188–196.
- Kodji, E. (2011).** Impact du barrage de la Mefou sur la qualité de son cours supérieur: diversité et dynamique des peuplements de macroinvertébrés benthiques. Mémoire du Diplôme de Master II, Université de Yaoundé 1, France, 51 p.
- Kooistra, W., Medlin, L.K. (1996).** Evolution of the diatoms (Bacillariophyta). Reconstruction of their age from small subunit rRNA coding regions and the fossil record, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 6(3), 391-407.
- Korte, V.L., Blinn, D.W. (1983).** Diatom colonization on artificial substrata in pool and riffle zones studied by light and scanning electron microscopy, *Journal of Phycology*, 19, 332-341.
- Kovács, C.S., Lengyel, E., Crossetti, L.O., Üveges, V., Padisák, J. (2013).** Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna- stream, Hungary, *Ecological Indicator*, 24,138-147.
- Kralj, K., Plenkovic-Moraj, A., Gligora, M., Primc-Habdija, B., Šipoš, L. (2006).** Structure of periphytic community on artificial substrata: influence of depth, slide orientation and colonization time in Karstic lake Visovacko, Croatia, *Hydrobiologia*. 560, 249-258.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986-1991).** Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, 2/1: Naviculaceae, 876 p.; 2/2: Nitzschiaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae, 596 p.; 2/3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, 576 p.; 2/4: Achnanthaceae, 437 p., G. Fischer, Stuttgart, Germany.
- Krstic, S., Levcov, Z., Stojanovski, P. (1999).** Saprobiological characteristics of diatom microflora in river ecosystems in the Republic of Macedonia as a parameter for determination of the intensity of anthropogenic influence. In: **Prygiel, J., Whitton, B.A., Bukowska, J.** (eds). Use of algae for monitoring Rivers III, Agence de l'eau Artois Picardie, Douai, France, p 145-153.
- Kupe, L., Schanz, F., Bachofen, R. (2007).** Biodiversity in the benthic diatom community in the upper River Töss reflected in water quality indices, *Clean-Soil, Air and Water*, 36, 84–91.
- Lair, N., Reyes-Marchant, P., Jacquet, V. (1998).** Développement du phytoplancton, des ciliés et des rotifères sur deux sites de la Loire moyenne (France), en période d'étiage, *Annales de Limnologie*, 34, 35 – 48.
- Lamb, M.A., Lowé, R.L. (1987).** Effects of current velocity on the physical structuring of diatom (bacillariophyceae) communities, *Ohio Journal of Science*, 87 (3), 72-78.
- Lange-Bertalot, H. (1979).** Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation, *Nova Hedwigia Beihefte.*, 64, 285-304.

- Lange-Bertalot, H& Metzeltin, D. (1996).** 800 Taxa representative of three ecologically distinct lake types:carbonate buffered-oligodystrophic-weakly buffered soft water. *Iconographia Diatomologica: annotated diatommicrographs*, Berlin, Germany, Vol 2, 390 p.
- Lange, K., Liess, A., Piggott, J.J., Townsend, C.R., Matthaei, C.D. (2011).** Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure, *Freshwater Biology*, 56, 264–278.
- Laviale, M. (2008).** Effet des polluants sur les communautés périphytiques. Apport des mesures de fluorescence chlorophyllienne en lumière modulée. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques de Lille I, France, 198 p.
- Lavoie, I., Vincent, W.F., Pienitz, R., Painchaud, J. (2003).** Effect of discharge on the temporal dynamics of periphyton in an agriculturally influenced river, *Revue des Sciences de l'Eau*, 16, 55-77
- Lavoie, I., Vincent, W.F., Pienitz, R., Painchaud, J. (2004).** Benthic algae as bioindicators of agricultural pollution in streams and rivers of southern Québec (Canada), *Aquatic Ecosystem Health Management*, 7 (1), 43-58.
- Lavoie, I., Campeau, S., Darchambeau, F., Cabana, G., Dillon, P.J. (2008).** Are diatoms good integrators of temporary variability in stream water quality?, *Freshwater Biology*, 53, 827–841.
- Lecerf, A. (2005).** Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin:étude du processus de décomposition des litières, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse 3, France, 159p.
- Leclercq, L., Maquet, B. (1987).** Deux nouveaux indices diatomiqueet de qualité chimique des eaux courantes. Application au Sam-sou et à ses affluents (bassin de la Meuse Belge). Comparaisonavec d'autres indices chimiques, biocénotiques et diatomiques. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Document de travail no. 38, 102 pp.
- Lecointe, C., Coste, M. & Prygiel, J. (1993).** *OMNIDIA*: a softwarefor taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management, *Hydrobiologia*, 269/270, 509-513
- Leland, H.V., Porter, S.D. (2000).** Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use, *Freshwater Biology*, 44, 279-301.
- Lenoir, A. & Coste, M. (1996).** Development of practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. In: Whitton, B.A., Rott, E. (eds). Use of algae for monitoring rivers. Inst.f. Botanik, Innsbruck, Austria, 2, 29-43.
- Letouzey, R. (1968).** Étude phytogéographique du Cameroun. (Eds.) Lechevalier, P., Paris, France, 511p.

- Levêque, C., Dejoux, C., Iltis, A. (1983).** Limnologie du Fleuve Bandama, Côte d'Ivoire, *Hydrobiologia*, 100, 113-141.
- Lienou, G., Mahé, G., Paturel, J-E., Servat, E., Sighomnou, D., Ekodeck, G-E, Dezetter, A., & Dieulin, C. (2008).** Évolution des régimes hydrologiques en région équatoriale Camerounaise: un impact de la variabilité climatique en Afrique équatoriale, *Hydrology and Sciences Journal*, 53, 798-801.
- Leira, M., Sabater, S. (2005).** Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors, *Water Research*, 39, 73–82.
- Lobo, E.A., Bes, D., Tudesque, L., Ector, L. (2004).** Water quality assessment of the Pardino river, RS, Brazil, using epilithic diatom assemblages and faecal coliforms as biological indicators, *Vie Milieu*, 54, 105-114.
- Lobo, E.A., Katoh, A. & Aruga, Y. (1995).** Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, *Japanese Freshwater Biology*, 34, 191-204.
- Lobo, E.A., Wetzel, C.E., Ector, L., Katoh, K., Blanco, S., Mayama, S. (2010).** Response of epilithic diatom communities to environmental gradients in subtropical temperate Brazilian rivers, *Limnetica*, 29 (2), 323-340.
- Ludes, B., Coste, M. (1996).** Diatomées et médecine légale. Application de la recherche des diatomées au diagnostic de la submersion vitale. Technique et Documentation, EM inter, Strasbourg, France, 254 p.
- Maznah, W.O.W., Mansor, M. (2002).** Aquatic pollution assessment based on attached diatom communities in the Pinang River Basin, Malaysia. *Hydrobiologia*, 487, 229–241.
- Martín, G., Toja, J., Sala, S.E., Reyes Fernández, M.D.L., Reyes, I., Casco, M.A (2009).** Application of diatom biotic indices in the Guadalquivir River Basin, a Mediterranean basin. Which one is the most appropriated? *Environmental Monitoring Assessment*, 170 (1-4), 519-534.
- Mary, N. (1999).** Caractérisation physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques, Thèse de Doctorat, Université Française du Pacifique, Nouvelle-Calédonie, 182 p.
- McCollum, E.W., Crowder, L.B., McCollum, S.A. (1998).** Complex interactions of fish, snails, and littoral zone periphyton, *Ecology*, 79, 1980–1994.
- McCormick, P. V., Stevenson, R. J. (1991).** Mechanism of benthic algal succession in lotic Environments, *Ecology*. 72, 1835-1848.

- McCormick, P.V., Ramlík, P.S., Lurding, K., Smith, E.P., Sklar, F.H. (1996).** Periphyton-water quality relationship along a nutrient gradient in the northern Florida Everglades, *Journal of the North American Benthological Society*, 15, 433-449.
- McNeely, R.N., Neimanis, V.P. Dwyer, L. (1984).** Water quality source book: a guide to water quality parameters, ONT-Ministry of supply and Services Canada , Ottawa, Canada, 88p.
- McQuoid, M.R. (2002).** Pelagic and benthic environmental controls on the spatial distribution of a viable diatom propagule bank on the Swedish west coast, *Journal of Phycology*, 38(5), 881-893.
- Medlin, L. (2011).** The permian-triassic mass extinction forces the radiation of the modern marine phytoplankton. *Phycologia*, 50 (6), 684–693.
- Medley, C.N., Clements, W.H. (1998).** Responses of diatom communities to heavy metals in streams: The influence of longitudinal variation, *Ecological Applications*, 8 (3), 631-644.
- Meybeck, M. (1986).** Composition chimique des ruisseaux non pollués de France, *Sciences Géologiques Bulletin*, 39 (1), 3-77.
- Meybeck, M. (1998).** Man and river interface: multiple impacts on water and particulates chemistry illustrated in the Seine river basin, *Hydrobiologia*, 373,1–20.
- Michel, A. (1998).** Effects of sewage water on diatoms (Bacillariophyceae) and water quality in two tropical streams in Costa Rica, *Revue de Biologie Tropicale*, 46 (6), 153-175.
- Michelutti, N., Holtham, A.J., Douglas, M.S.V., Smol, J.P. (2003).** Periphytic diatom assemblages from ultra- oligotrophic and UV transparent lakes and ponds on Victoria Island and comparisons with other diatom surveys in the Canadian Arctic, *Journal of Phycology*, 39, 465-480.
- Moby Étia, P. (1979).** Les climats du Cameroun. In: **Laclavère** (eds). Atlas de la République Unie du Cameroun, Jeune Afrique, Paris, France, 72p.
- Moisan, J., Pelletier, L. (2008).** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, cours d'eau peu profonds à substrats grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du développement Durable et des parcs, Document de travail, 86 p.
- Moreno, J.L., Navarro, C., De las Heras, J. (2006).** Abiotic ecotypes in south-central Spanish rivers: reference conditions and pollution, *Environmental Pollution*, 143, 388-396.
- Morin, S. (2006).** Bioindication des effets de pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques: Approches in situ et expérimentales. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, France, 289 p.
- Moresco, C., Rodrigues, L. (2014).** Periphytic diatom as bioindicators in urban and rural streams. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 36 (1), 67-78.

- Morin, S., Coste, M., Delmas, A (2007).** Substrats artificiel: dans quelles limites permettent-ils de décrire les peuplements diatomiques des cours d'eau, *Ingénieries*, 52, 3-12.
- Mortimer, C. H. C. (1956).** The oxygen content of air saturated fresh-waters and aids in calculating percentage saturation, *Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 6, 1–20.
- Mulholland, P.J. (1992).** Regulation of nutrient concentrations in temperate forest stream: roles of upland, riparian, and instream processes, *Limnology and Oceanography*, 37, 1512-1526
- Müller-Navarra, D.C., Brett, M.T., Liston, A.M., Goldman, C.R. (2000).** A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers. *Nature*, 403, 74–77.
- Naiman, R.J., Lonzarich, D.G., Beechie, T.J., Ralph, S.C (1992).** General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. In **Boon, P., Calow, P., Petts, G.** (eds), *Rivers conservation and Management*. Wiley & Sons Chichester, United Kingdom, p. 93-123.
- Namour, P. (1999).** Auto-épuration des rejets organiques domestiques : Nature de la matière organique résiduaire et son effet en rivière, thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I., France, 161 p.
- Ndam Ngoupayou, J.R., Apouamoun, R., Youego Sihon, J.R., Ngniké, P.M., Boeglin, J.L., Bedimo, J.P. (2007).** Transferts d'eau et de matières dans un écosystème forestier urbanisé en Afrique : le bassin versant de la Mefou au Sud du Cameroun, *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, Vietnam, 6 p.
- Ndiritu, G.G., Gichuki, N.N., Kaur, I.P., Triest, L. (2003).** Characterization of environmental gradients using physico-chemical measurements and diatom densities in Nairobi River, Kenya. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 6, 343-354.
- Ndiritu, G.G., Gichuki, N.N., Triest, L. (2006).** Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation*, 15, 3267-3293.
- Nelson, D. M., Tréguer, P., Brzezinski, M.A., Leynaert, A., Quéguiner, B. (1995).** Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation, *Global Biogeochemical Cycles*, 9, 359-732.
- Nguétsop, V.F. (1997).** Évolution des environnements de l'Ouest-Cameroun depuis 6 000 ans, d'après l'étude des diatomées actuelles et fossiles dans le lac Ossa. Implications paléoclimatiques. Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, France, 277 p.

- Nguetsop, V.F., Bentaleb, I., Favier, C., Martin, C., Bietrix, S., Giresse, P., Servant-Vildary, S., Servant, M. (2011).** Past environmental and climatic changes during the last 7200 cal yrs BP in Adamawa plateau (Northern-Cameroun) based on fossil diatoms and sedimentary carbon isotopic records from Lake Mbalang, *Climate of the Past*, 7, 1371-1393
- Nguétsop, V.F., Bentaleb, I., Favier, C., Bietrix, S., Martin, C., Servant-Vildary, S., Servant, M. (2013).** A late Holocene paleoenvironmental record from Lake Tizong, northern Cameroon using diatom and carbon stable isotope analyses, *Quaternary Science Reviews*, 72, 49-62.
- Niamien-Ebrottié, J.E., Konan Koffi, F., Edia Oi, E., Ouattara, A., Gourène, G. (2013).** Composition et variation spatio-saisonnière du peuplement algal des rivières côtières du Sud-est de la Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Bioscience*, 66, 5147– 5161.
- Niamien Ebrottie, J. E., Ouattara. A., Ouattara, M., Gourene, G. (2008).** Composition and structure of diatoms assemblages of a tropical coast river (Eholie, Ivory Coast), *European Journal of Scientific Research* , 20 (1), 44-55.
- Nisbet, M. & Verneaux, J., (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques, *Annales de Limnologie*, 2, 161-190.
- Njiné, T., Monkiédjé, A., Nola, M., Sikati Foko, V. ( 2001).** Evaluation de la charge polluante et de la charge bactérienne des rejets des stations d'épuration à boues activées à Yaoundé (Cameroun), *Cahiers santé*, 11, 79-84
- Nougang,M.E., Nola ,M., Ateba Bessa, H., Tamatcho Kweyang,B.P., Noah Ewoti, O.V., MOUNGANG, L.M. (2011).** Prevalence of pathogenic strains of Escherichia coli in urban streams in the equatorial region of Cameroon (Central Africa), *Journal of Applied Bioscience*, 48, 3293– 3305.
- Nyamsi, T. N. (2004).** Effets des rejets d'une usine de traitement de la cellulose sur la qualité des eaux du Ntsomo: Étude biologique et hydrologique du cours d'eau, Mémoire du Diplôme d'Études Approfondies. Université de Yaoundé I., Cameroun, 41 p.
- Nzolang, C., Kagami H., Nzenti J. P., Holtz F. (2003).** Geochemistry and preliminary Sr-Nd isotopic data on the Neoprotozoic granitoids from the Bantoum area, west Cameroon:evidence for a derivation from a Paleoproterozoic to Archean crust, *Polar Geoscience, National Institute of Polar Research*, 16, 196-226.
- OCDE (1982).** Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Final report- Environmental Directorate, OCDE, Paris, France, 154 p.

- O’driscoll, C., Eyto, E., Rodgers, M., O’connor, M., Asam, Z.Z., Xiao, L. (2012).** Diatom assemblages and their associated environmental factors in upland peat forest rivers, *Ecological Indicator*, 18, 443-451.
- Olivry, J.C. (1986).** Fleuves et rivières du Cameroun. Collection Monographies Hydrologiques ORSTOM N° 9. MESRES-ORSTOM, Paris, France, 733 p.
- Onana, F.M. (2009).** Evaluation de la qualité des eaux du Mfoundi: analyses physico-chimiques et structure de la communauté zooplanctonique, Mémoire de DEA, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 65 p.
- Onana, F.M., Zebaze Togouet, S.H., Nyamsi Tchatcho, N.L., Domche Teham, H.B., Ngassam, P. (2014).** Distribution spatio-temporelle du zooplancton en relation avec les facteurs abiotiques dans un hydrosystème urbain : le ruisseau Kondi (Douala, Cameroun), *Journal of Applied Biosciences*, 82, 7326 – 7338.
- Onguéné Mala. (1993).** Différenciations pédologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun): Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizonjaune et relation avec l'évolution du modelé. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France, 230p.
- Pan, Y., Herlihy, Kaufmann, P., Wigington, J., Van Sickle, J., Moser, T. (2004).** Linkage among land-use, water quality, physical habitat conditions and lotic diatom assemblages: a multi spatial scale assessment, *Hydrobiologia*, 515, 59-73.
- Pan, Y., Lowé, R.L. (1994).** Independent and interactive effects of nutrients and grazers on benthic algal community structure, *Hydrobiologia*, 290, 201-209.
- Passy, S.L. (2007).** Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters, *Aquatic Botany*, 86, 171-178.
- Passy, S.L., Larson, C. (2001).** Succession in stream biofilms is an environmentally driven gradient of stress tolerance, *Microbiology Ecology*, 62, 414-424.
- Patrick, R. (1977).** Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. In **Werner, D.** (eds): The biology of diatoms. Botanical. Monographs, Blackwell Scientific Publishers, Oxford, U.S.A., p 284-333.
- Pelletier, J.L. (1969).** Données générales sur la répartition des principaux types de sols de la région de Yaoundé, ORSTOM, France, 174p.
- Penny, C.J. (1993).** Influence of stream flow on epilithic diatom communities and its consequence for water quality monitoring. Master thesis of science in advanced Biology, University of. Durham, United Kingdom, 74 p.
- Peterson, C.G., Vormittag, K.A., Valett, H.M. (1998).** Ingestion and digestion of epilithic algae

by larval insects in a heavily grazed montane stream, *Freshwater Biology*, 40, 607–623.

**Peterson, C.G, Stevenson, R.J (1992).** Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current, *Ecology*, 73, 1445-1461.

**Peterson, C.G, Hoagland, K.D, Stevenson, R.J (1990).** Timing of wave disturbance and the resistance and recovery of a freshwater epilithic microalgal community, *Journal of the North American Benthological Society*, 9, 54-67.

**Piélou, E.C. (1966).** The measurement of diversity in different type of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131-144.

**Pierre, J.F. (1968).** Etude hydrobiologique de la Meurthe. Contribution à l'écologie des populations algales, Thèse de Doctorat ès-sciences naturelles, Université de Nancy, France, 145p.

**Porter, S.D., Mueller, D.K., Spahr, N., Munn, M.D., Dubrovsky, N.M. (2008).** Efficacy of algal metrics for assessing nutrient and organic enrichment in flowing waters, *Freshwater Biology*, 53, 1036–1054.

**Potapova, M., Charles, D.F. (2003).** Distribution of benthic diatoms in U.S.A rivers in relation to conductivity and ionic concentration, *Freshwater Biology*, 48, 1311-1328.

**Potapova, M., Charles, D.F. (2005 a).** Choice of substrate in algae based water-quality assessment, *Journal of the North American Benthological Society*, 24, 415–427.

**Potapova, M., Coles, J.F., Giddings, E.M.P., Zappia, H. (2005 b).** A comparison of the influences of urbanization in contrasting environmental settings on stream benthic algal assemblages, *American Fisheries Society Symposium*, 41, 333-359.

**Potapova, M., Charles, D.F. (2007).** Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States, *Ecological Indicator*, 7, 48–70.

**Power, M.E., & Dietrich, W.E. (2002).** Food webs in river networks, *Ecological Research.*, 17, 451-471.

**Pringle, C. M. (1990).** Nutrient spatial heterogeneity: effects on community structure, physiognomy, and diversity of stream algae, *Ecology*, 71, 905–920.

**Prochazkova, L., Blazka, P., Kvalova, M. (1970).** Chemical changes involving nitrogen metabolism in water and particulate matter during primary production experiments, *Limnology and Oceanography*, 15, 797-807.

**Prygiel, J., Coste, M. (1993).** Utilisation des indices diatomiques pour la mesure de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie: bilan et perspectives, *Annales de Limnologie*, 29 (3/4), 255-267.

**Prygiel, J., Coste, M. (2000).** Guide Méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées, Norme NF90-354, Agences de l'Eau-Cemagref, 134 p.

- Prygiel, J., Whitton, B. A., Bukowska, J. (1999).** Use of algae for monitoring rivers III. (eds), Agence de l'Artois Picardie, Douai, France, 271 p.
- Pullin, B.P., Hammer, B. (1991).** Aquatic plants improve wastewater treatment, *Water Environment & Technology*, 3, 36-40.
- Ravindra, K., Ameen, Meenakshi, Monika, Rani, Kaushik, A. (2003).** Seasonal variations in physico-chemical characteristics of River Yamuna in Haryana and its ecological best-designated use, *Journal of environmental Monitoring*, 5, 419 – 26.
- Rhee, G.Y. & Gothan, I.J. (1981).** The effect of environmental factors on phytoplankton growth: light and interaction of light with nitrate limitation, *Limnology and Oceanography*, 26, 649-659.
- Riber H.H., R.G. Wetzel (1987).** Boundary-layer and internal diffusion effects on phosphorus fluxes in lake periphyton, *Limnology and Oceanography*, 32, 1181-1194.
- Rimet, F. (2012).** Diatoms: an ecoregional indicator of nutrients, organic matter and micropollutants pollution. Doctorate thesis, University of Grenoble, France, 165 p.
- Rimet, F (2009).** Benthic diatom assemblages and their correspondence with ecoregional classifications: case study of rivers in north-eastern France, *Hydrobiologia*, 636 (1), 137-151.
- Robinson, C.T., Rushford, S.R. (1987).** Effects of physical disturbance and canopy cover on attached diatom community structure in an Idaho stream, *Hydrobiologia*, 154: 49-59.
- Rodier, J. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. Chimie, physico-chimie, interprétation des résultats. 8e édition, Dunod, Paris, France, 1384 p.
- Rodier, J., Legube, B., Melet, N., Lavison, G., Leroy, P., Bechemin, C., Seux, R., Moulin, L., Malocq, J.C. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. Chimie, physico-chimie, interprétation des résultats. 9e édition, Dunod, Paris, France, 1579 p.
- Romagnoli, T., Bavestrello, G., Cucchiari, E.M., De Stefano, M., Di Camillo, C.G., Pennesi, C., Puce, S., Totti, C. (2007).** Microalgal communities epibiotic on the marine hydroid *Eudendrium racemosum* in the Ligurian Sea during an annual cycle, *Marine Biology*, 151, 537–552.
- Rott, E., Duthie, H.C., Pipp, E. (1998).** Monitoring organic pollution and eutrophication in the Grand River, Ontario, by means of diatoms, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 55, 1443-1453.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G. (1990).** The Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 747 p.
- Saeijs, H. L., Van Berkel, M. J. (1995).** Global water crisis: the major issue of the 21st century, a growing and explosive problem, *European Water Pollution Control*, 5, 26 – 40.

- Salomoni, S.E., Rocha, O., Callegero, V.L., & Lobo, E.A (2006).** Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravatai River, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 559, 233-246.
- Schoeman, F.R. (1973).** A systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to the water quality. V & R Printers, Pretoria, South Africa, 365 p.
- SDAGE (2009).** Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. 24p.
- Sekar, R., Venugopalan, V.P., Nandakumar, K., Nair, K.V.K., Rao, V.N.R.(2004 a).** Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment, *Hydrobiologia*, 512, 97-108.
- Sekar, R., Venugopalan, V.P., Satpathy, K.K., Nair, K.V.K., Rao, V.N.R. (2004 b).** Laboratory studies on adhesion of microalgae to hard substrates, *Hydrobiologia*, 512 (1), 109-116.
- Servant-Vildary, S. (1978).** Etude des diatomées et paléolimnologie du bassin Tchadien au cénozoïque supérieur. In Travaux et Documents ORSTOM, 2 (84), 346 p.
- Shannon, C.E., Weaver, W. (1949).** The mathematical theory of communication, University Illinois Press, Urbana-Illinois, USA, 117 p.
- Sikati Foko, V. (1998).** Rejets des stations d'épuration à boues activées à Yaoundé (Cameroun): physico-chimie-microbiologie-essai d'épuration sur station pilote. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Yaoundé I, France, 136 p.
- Silva-Benavides, A.M. (1996).** The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America, *Diatom Research*, 11, 105-142.
- Simkhada, B., Jüttner, I., Chironomides, P.J.(2006).** Diatoms in Lowland Ponds of Koshi Tappu, Eastern Nepal-Relationships with Chemical and Habitat Characteristics, *International Review of Hydrobiology*, 91 (6), 574-593.
- Sladeczek, V. (1986).** Diatoms as indicator of organic pollution, *Acta Hydrochimica and Hydrobiologia*, 14, 555-566.
- Slim, K., Saad, Z., El-Samad, O., Kazfard, V. (2005).** Caractérisation chimique et algologique des eaux superficielles de la rivière Oronte (Liban) dans le climat semi-aride, *Secheresse*, 16 (2), 131-5.
- Soininen, J. (2002).** Responses of epilithic diatom communities to environmental gradients in some finnish rivers, *International Review of Hydrobiology*, 87 (1), 11-24.
- Soininen, J. (2004).** Determinant of benthic diatom community structure in boreal streams: the role of environmental and spatial factors at different scales, *International Review of Hydrobiology*, 89 (2), 139-150.

- Soininen, J.& Könönen, K. (2004).** Comparative study of monitoring South-Finnish Rivers and streams using macroinvertebrate and benthic diatom community structure, *Aquatic Ecology*, 38, 63–75.
- Solak, C.N., Ferh er, G., Barlas, M., Pabu cu, K. (2007).** Use of epilithic diatoms to evaluate water quality of Ak ay stream (B y k Menderes River) in Mugla, Turkey, *Archiv f r Hydrobiologie supplement*, 161 (3-4), 327-338.
- Sonneman, J.A., Walsh, C.J., Breen, P.F., Sharpe, A.K. (2001).** Effects of urbanization on streams of the Melbourne region, Victoria, Australia. II. Benthic diatom communities, *Freshwater Biology*, 46, 553-565.
- Souchon, Y., Andriamahefa, H., Cohen, P., Breil, P., Pella, H., Lamouroux, N., Malavoi, J.R., Wasson, J.G. (2000).** R gionalisation de l’habitat aquatique dans le bassin de la Loire, Rapport de synth se de l’Agence de l’eau Loire Bretagne, Cemagref, Lyon, BEA/LHQ, France, 291 p.
- Steinman, A. D., McIntire, C.D. (1986).** Effect of current velocity and light energy on the structure of periphyton assemblages in laboratory streams, *Journal of phycology*, 22, 352-361.
- Steinman, A.D., McIntire, C.D. (1987).** Effects of irradiance on the community structure and biomass of algal assemblages in laboratory streams, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44, 1640-1648.
- Steinman , A.D., Mulholland, P.J., Kirschtel, D.B. (1991).** Interactive effects of nutrient reduction and herbivory on biomass, taxonomic structure, and P uptake in lotic periphyton communities, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48, 1951–1959.
- Steinman, A. D., Mulholland, P. J., Hill, W. R. (1992).** Functional responses associated with growth form in stream algae, *Journal of the North American Benthological Society*, 11, 229-243.
- Steinman, A.D. (1992).** Does an increase in irradiance influence periphyton in a heavily grazed woodland stream? *Oecologia*, 91, 163-170.
- Steinman, A. D. (1996).** Effects of grazers on freshwater benthic algae. In: **Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L.** (eds). *Algal ecology of freshwater benthic ecosystem*, Aquatic Ecology Series, Academic Press, Boston, U.S.A., 1006p.
- Stephens, S.H., Brasher, A.M.D., Smith, C.M. (2012).** Response of an algal assemblage to nutrient enrichment and shading in a Hawaiian stream, *Hydrobiologia*, 683,135–150.
- Stermer, R.W., Elser, J.J., Fee, E.J., Guildford, S.J., Chrzanowski, T.H. (1997).** Light: nutrient ratio in lake: the balance of energy and materials affects ecosystem structure and function, *American Naturalist*, 150, 663-684.

- Steuer, J. J., Bales, J.D., Giddings, E. (2009).** Relationship of stream ecological conditions to simulated hydraulic metrics across a gradient of basin urbanization, *Journal of the North American Benthological Society*, 28, 955–976.
- Stevenson, R.J. (1996).** An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.). *Algal ecology of freshwater benthic ecosystems*, Academic Press, San Diego-California , USA, 1006 P.
- Stevenson, R.J. (1997).** Scale-dependant determinants and consequences of benthic algal heterogeneity, *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 248-262.
- Stevenson, R.J., Pan, Y.P. (1999).** Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. In: **Stoermer, E.F., Smol, J.P.** (eds). *The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, United kingdom, 482p.
- Stevenson, R., Singer, R., Roberts, D., Boylen, C. (1985).** Patterns of epipellic algal abundance with depth, trophic status, and acidity in poorly buffered New Hampshire lakes, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 1501-1512.
- Stevenson, R. J., Pan, Y.P., Van Dam, H. (2010).** Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. In: Smol, J.P., Stoermer, E.F. (eds). *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge , United Kingdom, 747 P.
- Stoddard, J.L., Larsen, D.P., Hawkins, C.P., Johnson, R.K., Norris R.H. (2006).** Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition, *Ecological Applications*, 16, 1267–1276.
- Strahler, A.N. (1957).** Quantitative analysis of watershed geomorphology, *American Geophysical Union Transactions*, 38 (6), 913-920.
- Suchel, J.B. (1987).** Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'État, Université de Bordeaux III, France, 1186 p.
- Surindra, S., Jitender, S., Mayuri, C., Arvind, K.N. (2010).** Water quality assessment of river Hindon at Ghaziabad, India: impact of industrial and urban wastewater, *Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 103-112.
- Tanawa, E., Djeuga Tchappinga, H.B., Ngnikam, E., Tchakountio, H., Wouatsa, G., Botta, H., Deleuil, J.M., Berdier, C., & Souham, A.B. (2003).** Gestion et valorisation des eaux usées dans les zones d'habitat planifié et leurs périphéries. Rapport final – Assainissement A08, Yaoundé, Cameroun, 167 p.

- Tamatcho Kweyang, B. P., Fotsing Kwetche, P. R., Nougang, M. E., Zébazé Togouet, S. H., Njiné, T. (2012).** Species richness and spatial distribution of pathogenic *Vibrio* (Bacteria, Vibrionaceae) in tropical surface waters: Yaoundé metropolis case (Cameroon, Central Africa), *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4 (5), 584-591.
- Tao Tang, Qian Niu, S., Dudgeon, D. (2013).** Responses of epibenthic algal assemblages to water abstraction in Hong Kong stream, *Hydrobiologia*, 703, 225-237.
- Taylor, J.C., De la Rey, P.A., Rensburg, L.V. (2005).** Recommendations for the collection, preparation and enumeration of diatoms from riverine habitats for water quality monitoring in South Africa, *African Journal of Aquatic Sciences*, 30 (1), 65-75.
- Taylor, J.C., Prygiel, J., Vosloo, A., De la Rey, P.A., Van Rensburg, L. (2007).** Can diatom-based pollution indices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area, *Hydrobiologia*, 592, 455–464.
- Tchakonté, S., Ajeegah, G., Diomandé, D., Camara, A.I., Konan Koffi M., Ngassam, P. (2014).** Impact of anthropogenic activities on water quality and Freshwater Shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4 (2), 183-194.
- Tchotsoua, M. (1993).** Érosion accélérée et contraintes à l'aménagement du site de la ville de Yaoundé : une contribution à la gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> Cycle, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 286 p.
- Teissier, S., Torre, M., Delmas, F., Garabétian, F. (2007).** Detailing biogeochemical N budgets in riverine epilithic biofilms, *Journal of the North American Benthological Society*, 26, 178-190.
- Temgoua, E., Bitom, D., Djeuda Tchappinga, H. B., Yongué, R. (2001).** Habitation, agricultural practices and degradation of the soil in urban area: the case of Ngoa-Ekelé and Oyomabang district of Yaoundé-Cameroon, Research report, University of Yaoundé 1, Cameroun, 18p.
- Tison, J., Park, Y.S., Coste, M., Wasson, J.G., Ector, L., Rimet, F., F. Delmas, F. (2005).** Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: A study on the French hydrosystem scale, *Water Research*, 39, 3177–3188.
- Tornés, E., Sabater, S. (2010).** Variable discharge alters habitat suitability for benthic algae and cyanobacteria in a forested mediterranean stream, *Marine and Freshwater Research*, 61, 441–450.
- Totti, C., Cucchiari, E., De Stefano, M., Pennesi, C., Romagnoli, T., Bovestrello, G. (2007).** Seasonal variations of epilithic diatoms on different hard substrates in the northern Adriatic Sea, *Journal of the Marine Biological Associations of the United Kingdom*, 87, 649-658.

- Townsend, C.R. (1989).** The patch dynamics concept of stream community ecology, *Journal of the North American Benthological Society*, **8**, 36–50.
- Townsend, S. A., Gell, P. A. (2005).** The role of substrate type on benthic diatom assemblages in the Daly and Roper rivers of the Australian Wet/Dry Tropics, *Hydrobiologia*. 548, 101-115.
- Triest, L., Lung'ayia, H., Ndiritu, G., Beyene, A. (2012).** Epilithic diatoms as indicators in tropical African rivers (Lake Victoria catchment), *Hydrobiologia*, 695, 343-360.
- USEPA (1999).** National recommended water quality criteria-correction, Office of water 4304, United State Environmental Protection Agency, USA, 25p.
- Vallerie, M. (1973).** Contribution à l'étude des sols du centre-sud Cameroun : type de différenciation morphologique et pédogénétique sous climat subéquatorial, *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.*, 29, 1-111.
- Van Dam, H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994).** A coded checklist and ecological indication values of freshwater diatoms from Netherlands, *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28,117-133.
- Van Den Hoek, C., Mann, D.G., Jahns, H.M. (1995).** Algae: An introduction to phycology, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 275p.
- Vannote, R.L, Minshall, G.M, Cummins, J.R, Sedell, J.R, Cushing, C.E (1980).** The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- Vazquez, G., Ake-Castillo, J.A., Favila, M.E. (2011).** Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical Mexican streams with different land uses, *Hydrobiologia*, 667, 173-189.
- Vicat, J.P., Bilong, P. (1998).** Esquisse géologique du Cameroun. In Vicat et Bilong : Géosciences au Cameroun, Presses Universitaires, Yaoundé 1, Cameroun, 454 p.
- WFD (2000) .** Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, *Official Journal of the European Communities*, L327, 1–73.
- Walsh, C. J.; Roy, A. H.; Feminella, J. W.; Cottingham, P. D.; Groffman, P. M.; Morgan, R. P. (2005).** The urban stream syndrome: current knowledge and search for a cure, *Journal of the North American Benthological Society*, 24 (3), 706-723.
- Wasson, J.G. (1989).** Éléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes: revue critique de quelques approches existantes, *Bulletin d'Ecologie*, 20 (2), 109-127.

- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Souchon, Y. (2001).** Définition des hydroécotones françaises. Méthodologie de définition des conditions de référence au sens de la Directive Cadre pour la gestion des eaux, Rapport Cemagref, Lyon, BEA/LHQ-MATE/DE, France, 68 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. (2002).** Définition des hydroécotones de France métropolitaine. Approche régionale de typologie des eaux courantes et éléments pour une définition des peuplements de référence d'invertébrés, Rapport Cemagref, Lyon, BEA/LHQ-MATE/DE, France, 190 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Sauquet, E., Mengin, N. (2006).** Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau. Typologie des cours d'eau de France métropolitaine, Rapport Cemagref, Lyon, France, 62 p.
- Watanabe, T., Asai, K., Houki, A. (1986).** Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using epilithic diatom assemblage. Diatom assemblage Index (DAIpo), *Sciences of the Total Environment*, 55, 209-218.
- Weerman, E.J., Van Der Geest, H.G., Van Der Meulen, M.D., Manders, E.M.M., Van De Koppel, J., Herman, P.M.J., Admiraal, W. (2011).** Ciliates as engineers of phototrophic biofilms, *Freshwater Biology*, 56, 1358–1369.
- Wendker, S. (1992).** Influence of current velocity on diatoms of a small soft water stream, *Diatom Research.*, 7 (2), 387-396.
- Werner, D.E. (1977).** The biology of diatoms. Botanical monographs 13. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.S.A., 498 p.
- Wetzel, R.G. (1983).** Opening remarks. In: Wetzel, R.G (ed.): Periphyton of freshwater ecosystems. Developments in hydrobiology. Dr W. Junk Publishers, Boston., USA, Vol. 17, 367 p.
- Wetzel, R.G. and Likens, G.E (1991).** Limnological analysis, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, New York, U.S.A., 391p.
- Winter, J.G, Duthie, H.C.(1998).** Effects of urbanization on water quality, periphyton and invertebrate communities in a Southern Ontario stream, *Canadian Water Research Journal*, 23,235-257.
- Wojtal, A.Z., Sobczyk, L. (2012).** The influence of substrate and physico-chemical factors on the composition of diatom assemblages in karst spring and their applicability in water quality assessment, *Hydrobiologia*, 695, 97-108.
- Wu, J.C. & Kow, L.T. (2002).** Applicability of a generic index for diatom assemblage to monitor pollution in the tropical river Tsanwun, Taiwan, *Journal of Applied Phycology*, 14, 63-69.

**Ywuong, G.P. (2004).** Étude biologique du cours d'eau Tongolo, affluent du cours supérieur du Mfoundi en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des eaux, Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 47 p.

**Zébazé Togouet, S.H. (2011).** Zooplancton et eutrophisation d'un lac en zone tropical. Édition Universitaire Européenne, Sarrebruck, Berlin, Allemagne, 200p.

**Zelinka, M. & Marvan, P. (1961).** Zur Praxisierung der biologischen Klassifikation des Rheinheit fliessender Gewässer, *Archiv für Hydrobiologie*, 57, 389-407.

## ANNEXES

**Annexe 1:** Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux du Nga et de la Mefou, évalués de février 2008 à février 2009

Paramètres		Nga				Mefou			
		Stations							
		N1	N2	N3	N4	Me1	Me2	Me3	Me4
Température (°C)	Min	19,5	20	20	22	19	22	21,5	23,5
	Max	23	23,5	24	24,5	25,5	29	26	24,5
	Moy	21,5	22,04	22,08	23,35	21,65	25,96	24,2	24
pH (UI)	Min	6,36	6,35	6,27	6,36	6,46	6,37	6,41	6,5
	Max	7,84	7,71	7,65	8,43	7,92	8,3	8	7,49
	Moy	7,13	7,05	7,01	7,22	7,19	7,21	6,95	6,99
Conductivité électrique (µS/cm)	Min	10,26	8,52	9,48	9,85	10,63	11,43	22,5	34
	Max	73,4	45,4	46,2	78,3	79,8	99,1	85,5	97
	Moy	33,99	22,65	24,41	31,07	31,5	34,28	53,42	73,43
Couleur (PtCo)	Min	20	106	120	142	50	57	76	107
	Max	116	408	441	365	219	225	464	376
	Moy	70,77	178,85	197,85	201,54	98,23	108,46	187,15	189,49
Turbidité (UTF)	Min	10	10	8	28	11	11	17	27
	Max	27	79	86	58	42	44	115	72
	Moy	15	32,84	34,76	38,15	21,15	21,3	38,77	44,12
MES (mg/L)	Min	4	7	6	14	4	3	9	12

	Max	23	31	29	37	19	27	64	76
	Moy	11,69	15,31	17,46	20,69	11,15	9,85	21,69	25,87
Alcalinité (mg/L)	Min	6	4	4	2	4	4	8	6
	Max	50	20	26	18	20	24	36	32
	Moy	13,54	11,38	12,77	11,38	10,92	12,62	17,08	21,23
Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Min	2	2	2	4	4	4	4	14
	Max	22	16	10	24	16	32	24	27
	Moy	8	7,23	5,23	9,23	7,69	10,15	11,23	17,22
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Min	3,1	2	3	2,6	2,26	2,48	2,09	1,52
	Max	8	7	14	12,5	13,1	6	14,9	11,07
	Moy	5,53	4,62	6,12	5,75	6,39	4,57	6,37	6,54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Min	0	0	0	0	0	0	0,03	0,03
	Max	0,5	0,75	0,84	2,16	0,46	0,56	0,66	1,15
	Moy	0,16	0,26	0,34	0,42	0,15	0,17	0,27	0,45
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Min	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001
	Max	0,013	0,015	0,015	0,022	0,011	0,029	0,089	0,600
	Moy	0,004	0,005	0,004	0,003	0,003	0,007	0,028	0,101
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Min	0,03	0,1	0	0,06	0,00	0,11	0,00	0,10
	Max	1,03	1,60	1,40	1,80	1,80	1,70	1,90	2,00
	Moy	0,67	0,82	0,74	0,91	0,75	1,06	1,24	0,84

#### Annexe 1 (Suite)

Paramètres		Nga				Mefou			
		Stations							
		N1	N2	N3	N4	Me1	Me2	Me3	Me4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Min	0,03	0,05	0,08	0,01	0,11	0,09	0,12	0,05
	Max	0,39	0,63	0,56	0,78	1,9	1,4	2,96	0,74
	Moy	0,16	0,26	0,33	0,3	0,49	0,34	0,65	0,26
Oxygène (% sat.)	Min	40,80	44,50	41,00	41,10	37,10	37,2	26,10	41,70
	Max	82,90	78,40	82,20	79,50	80,90	75,80	78,10	69,50
	Moy	59,05	59,44	56,88	56,59	56,62	56,07	49,99	55,57
Oxydabilité (mg/L)	Min	2,37	0,39	1,58	0,98	1,38	1,19	1,79	3,06
	Max	15,99	21,46	22,67	23,66	19,55	16,19	16,98	22,12
	Moy	8,27	12,92	13,73	15,40	11,73	8,81	9,87	14,37
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Min	20	50	30	15	10	20	15	20
	Max	95	100	115	120	95	95	125	95
	Moy	70,15	82,10	73,43	73,93	60,38	58,85	82,69	66,34

**Annexe 2:** Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux du Mfoundi, évalués de février 2008 à février 2009

Paramètres	Stations
------------	----------

		Mf1	Mf2	Mf3	Mf4	Mf5	Mf6	Mf7
Température (°C)	Min	21	20	22	21,5	21,3	22,5	23
	Max	25	25	26	27	27	27	27
	Moy	22,92	23,38	24,15	24,33	24,98	25,29	24,86
pH (UI)	Min	6,46	6,42	6,87	7	6,95	6,7	6,26
	Max	8,7	7,52	8,49	8,01	8,91	7,74	7,88
	Moy	7,14	7,01	7,36	7,41	7,49	7,23	7,12
Conductivité (µS/cm)	Min	106,2	193,3	157,2	164,8	181	185,2	136,6
	Max	204	330	339	356	446	416	338
	Moy	151,59	248,29	277,94	294,37	324,85	305,48	255,89
Couleur (PtCo)	Min	70	79	71	61	128	123	76
	Max	3064	2068	1428	1456	956	1098	312
	Moy	644,31	411,31	308,23	291,46	295,08	416,23	178,92
Turbidité (UTF)	Min	14	24	21	23	28	33	11
	Max	608	266	219	197	170	248	60
	Moy	123,21	68,29	56,14	49,5	56,79	80,86	33,21
MES (mg/L)	Min	4	3	5	6	10	12	4
	Max	564	207	174	152	110	235	97
	Moy	110,15	43,54	34,77	33,62	38,38	58	18,46

## Annexe 2 (suite)

Paramètres		Stations						
		Mf1	Mf2	Mf3	Mf4	Mf5	Mf6	Mf7
Alcalinité (mg/L)	Min	18	34	24	20	44	8,8	38
	Max	168	98	104	98	184	96	88
	Moy	39,38	55,38	60	55,54	75,38	65,6	64,15
Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Min	14	8	10	28	24	18	20
	Max	48	52	44	52	48	52	44
	Moy	27,54	31,08	33,54	36,77	35,69	34,62	31,38
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Min	1,52	1,56	1,23	2,22	1,43	1,41	2,81
	Max	8,1	14,9	7,3	18,1	30,6	41,2	28
	Moy	5,22	4,91	5,09	6,52	6,7	7,85	6,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Min	0,64	1,04	0,71	0,66	0,66	0,84	0,48
	Max	2,62	5,22	5,38	5,4	4,94	5	4,8
	Moy	1,46	3,16	3,33	3,47	3,38	3,26	2,43
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Min	0,013	0,002	0,031	0,072	0,005	0	0
	Max	0,288	0,207	0,243	0,76	0,59	0,303	0,158
	Moy	0,12	0,094	0,132	0,217	0,184	0,126	0,035
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Min	0,01	0	0	0	0,1	0	0,2

(mg/L)	Max	5,1	6	5,2 0	35,2	6,5	5,6	4,9
	Moy	1,6	1,95	1,61	5,87	2,45	2,07	1,76
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Min	0,06	0,25	0,17	0,16	0,18	0,1	0,07
	Max	4,82	2,04	4,16	1,43	1,91	3,82	1,39
	Moy	1,03	0,76	0,86	0,56	0,72	0,73	0,39
Oxygène (% sat)	Min	10,7	4	4,3	19,08	1,8	3	4,6
	Max	75,8	74,6	70,1	71,3	67,2	73,2	76,5
	Moy	45,45	27,07	34,11	34,92	18,93	22,22	32,43
Oxydabilité (mg/L)	Min	4,14	4,34	5,53	4,34	6,51	4,94	1,78
	Max	13,43	18,56	30,02	19,35	44,63	31	22,71
	Moy	8,12	12,14	13,55	13,87	25,75	19,06	12,71
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Min	20	30	40	35	45	50	20
	Max	160	170	150	175	185	150	160
	Moy	60,56	68,33	68,33	135	82,78	92,78	62,78

**Annexe 3:** Valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux des affluents du Mfoundi, évalués à chaque saison en 2008.

Paramètres		Abiergué				Mingoa			Olézoa			Ntsomo			Ntem		Tongolo		Ebogo		Ewoué		Aké		
		Stations																							
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Ol <sub>1</sub>	Ol <sub>2</sub>	Ol <sub>3</sub>	Ns <sub>1</sub>	Ns <sub>2</sub>	Ns <sub>3</sub>	Nt <sub>1</sub>	Nt <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Eb <sub>1</sub>	Eb <sub>2</sub>	Ew <sub>1</sub>	Ew <sub>2</sub>	Ak <sub>1</sub>	Ak <sub>2</sub>	
T (°C)	Min	23	23,3	24,2	25,1	26	25,1	24,5	24	22	21,5	21,5	23,5	24	22,5	20,9	20,8	23	22,5	20,8	23	21,5	22,8	24,5	
	Max	25	25	26	27	31	29	29	28	27	24,5	25	25	24,5	29	26	27	26,5	28	25,2	27	24	28	27,5	
	Moy	24,3	24,3	25,2	26,5	28	27	27,4	26	24,8	23,6	23,8	24,3	24,5	25,9	24,2	24,6	25,1	25,5	23,3	25,3	23,1	25,7	26,4	
pH (UI)	Min	6,21	6,46	6,59	6,61	6,44	6,54	7,06	6,83	7,04	6,67	7,2	6,6	6,58	6,81	6,84	6,44	6,94	6,77	6,9	7,01	7,03	6,72	6,4	
	Max	6,7	7,41	7,7	7,77	7,29	7,53	8,21	7,45	7,78	7,8	7,9	7,6	7,74	7,5	7,46	7,67	7,64	7,4	7,42	7,23	7,45	7,53	7,3	
	Moy	6,53	7,02	7,17	7,2	7	7,13	7,66	7,21	7,31	7,16	7,5	7,2	7,3	7,15	7,17	6,94	7,27	7,07	7,18	7,07	7,26	7,08	6,9	
Cond (µS/cm)	Min	41	287	458	227	523	384	220	447	176	196	56	204	172	213	322	29	263	164	171	181	294	152	270	
	Max	56	438	544	526	604	478	278	532	227	298	83	345	273	443	411	45,6	432	302	299	297	508	422	380	
	Moy	48,8	381,5	513,8	412,8	556,5	447	246	484	199	259	69	255	205	325	357	39,9	355	266	250	251	411	298,8	339,3	
Couleur (PtCo)	Min	27	129	138	94	181	107	158	204	160	154	184	144	129	189	152	12	164	119	126	141	51	239	198	
	Max	186	258	219	157	397	335	543	344	342	1084	532	3272	201	359	392	84	270	1152	334	509	134	964	766	
	Moy	88	180,3	169,3	116,5	301,3	242	319	260	267	445	284	1054	170,8	284	231,8	57,8	229,5	397,5	200,8	245	104	431,8	382	
Turb. (UTF)	Min	6	25	23	14	35	20	33	39	52	30	36	35	29	32	31	1	29	25	31	26	8	44	39	
	Max	29	47	45	35	76	66	96	72	76	156	109	554	40	109	106	16	63	99	61	110	244	220	124	
	Moy	16	34,3	33,3	22,5	57,5	45,8	58,3	52	59,5	79,3	59	186	34,5	67,8	60	11,8	46	46,8	46,8	52,8	76,5	91,3	70,3	
MES (mg/L)	Min	3	12	14	6	24	12	25	22	16	12	29	14	13	4	8	1	18	10	22	8	2	10	31	
	Max	34	31	19	10	46	31	80	47	59	105	115	447	26	99	77	15	43	77	59	244	57	168	83	

	Moy	14,3	17,5	16	8,8	35,3	22,8	47,3	33,3	41,3	48,5	56	140	19,5	44,3	44	8,8	31,8	30	34,8	90,3	22	56,5	50,8
Alcal. (mg/L)	Min	10	72	92	42	88	76	48	60	34	46	16	42	36	76	70	8	62	42	52	38	80	48	58
	Max	22	110	138	86	130	136	64	94	48	60	20	58	46	152	128	20	132	86	108	72	138	126	120
	Moy	15,5	88	101	72,5	100	97,5	53,5	73,5	40	51,5	18	50	40	97	85,5	13	86	58	69	52,5	97,5	83	85,5
Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Min	8	36	40	40	34	32	30	34	26	24	8	26	24	24	30	8	24	28	26	28	32	34	26
	Max	100	80	88	86	66	62	36	80	82	62	58	72	66	86	132	94	40	80	52	112	74	90	104
	Moy	34	48,5	57	55	42	41,5	34	50	42	39	22	43,5	37,5	50	67,5	29,5	32,5	43	35	53	48	51,5	50,5
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Min	5,1	3,41	1,2	3,4	2,1	3,1	0,95	5,94	1,35	3	5,3	1,67	4,95	5,13	2,25	3,09	4,8	5,16	2,67	4,8	2,3	6,4	1,77
	Max	12,4	5,75	6,3	4,76	9,8	4,9	3,6	12,1	13,3	11	14	48	9,6	7,7	10,8	6,3	12,1	7,5	12,8	10,7	5,01	7,09	10,1
	Moy	7,65	4,37	3,46	4,28	5,57	3,91	2,12	7,89	5,99	7,44	10	18,3	6,76	6,77	6,63	4,84	8,13	5,91	7,85	6,76	3,69	6,68	5,99
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Min	0,05	7,68	10,2	8,32	7,41	6,35	1,66	5,3	0,55	2,19	0,1	1,34	0,28	0,21	0,36	0,14	2,26	1,92	0,32	1,54	5,28	3,68	2,31
	Max	0,51	14,4	18,6	15,3	16,96	16,8	3,08	14,9	2,59	4,46	0,9	2,04	2,4	8,36	10,3	0,55	10,7	8,42	8,56	2,67	12,9	9,08	6,93
	Moy	0,26	11,2	13,4	10,6	10,9	10,4	2,2	10,8	1,58	3,34	0,4	1,78	1,22	4,89	5,04	0,34	6,03	5,12	3,32	2	8,61	6,21	3,6

T : Température; Cond: conductivité électrique; Turb.: turbidité; alcal: alcalinité.

Annexe 3 (suite)

Paramètres		Abiergué				Mingoa			Olézoa			Ntsomo			Ntem		Tongolo		Ebogo		Ewoué		Aké		
		Stations																							
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Ol <sub>1</sub>	Ol <sub>2</sub>	Ol <sub>3</sub>	Ns <sub>1</sub>	Ns <sub>2</sub>	Ns <sub>3</sub>	Nt <sub>1</sub>	Nt <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Eb <sub>1</sub>	Eb <sub>2</sub>	Ew <sub>1</sub>	Ew <sub>2</sub>	Ak <sub>1</sub>	Ak <sub>2</sub>	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Min	0,003	0,001	0,004	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,003	0,01	0,01	0,004	0,002	0	0,001	0,14	0,02	0,44	0,21	0,001	0,002	
	Max	0,014	0,63	0,3	0,28	0,19	0,27	0,14	0,62	0,59	0,08	0,016	0,09	0,03	0,26	0,25	0,02	0,21	0,31	0,14	1,17	0,31	0,33	0,29	
	Moy	0,008	0,16	0,09	0,17	0,05	0,09	0,07	0,31	0,18	0,05	0,009	0,05	0,02	0,08	0,07	0,007	0,09	0,25	0,06	0,7	0,26	0,16	0,08	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Min	0,9	0,0	0,3	0,8	0,4	0,1	0,00	0,8	0,1	0,02	0,5	0,1	1	0,8	0,9	0,6	0,4	2,3	1,2	3,3	2,1	0,05	0,5	
	Max	4,1	6,3	7,5	3,4	5,3	4,8	4,2	5	0,9	2,3	2	2	2,3	6,5	18	3,6	4,8	6,9	3,5	6,5	3,9	4,4	11,1	
	Moy	1,85	1,8	2,15	1,45	2,18	1,85	1,45	3,3	0,53	1,41	1,45	0,73	1,6	2,48	6,4	2,07	2	4,27	2,32	4,83	2,88	1,71	5,53	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Min	0,15	0,77	0,87	0,5	0,34	0,57	0,07	0,26	0,06	0,07	0,03	0,03	0,00	0,41	0,49	0,07	0,5	0,32	0,26	0,12	0,4	0,59	0,43	
	Max	0,19	1,53	1,49	1,16	2,1	1,73	0,26	0,56	0,26	0,51	0,14	0,35	0,41	0,61	0,76	0,83	1,57	1,08	0,37	0,29	0,53	1,45	0,63	
	Moy	0,18	1,04	1,09	0,81	1,54	1,13	0,17	0,39	0,13	0,32	0,08	0,21	0,15	0,48	0,62	0,34	0,79	0,56	0,32	0,23	0,45	1,02	0,54	
Oxygène (%sat)	Min	40,6	6,1	10,8	8,9	8,1	12,7	26,3	7,9	9	8,9	42,3	26,1	37,5	16,7	9,6	43,8	9,1	12,3	8,9	7,9	26,7	11,5	7,4	
	Max	70,1	51,1	29,6	31,8	21,9	40,1	42,8	35,2	70,9	60,4	73,8	63	68,6	64,8	51,2	74,6	64	73,6	65,4	58,2	59,8	53,3	13,5	
	Moy	56,8	25,2	22,7	18,8	16,8	21,5	34,1	19,7	39,4	36,3	56,6	43,8	51	33,7	32,4	54,1	26,5	33,3	33	24,5	40,4	23,3	10,09	
Oxydabilité (mg/L)	Min	0,98	14,8	8,3	9,67	20,1	5,3	5,53	15,2	14	2,96	0,4	6,5	3,2	14,4	15,6	1,77	14,6	7,7	7,9	10,1	12,4	15,8	22,3	
	Max	3,16	61,6	45,4	24,5	61,2	35,6	34,2	37,9	28,4	22,3	21,3	19,4	20,7	27,3	20,9	3	42,5	39,3	26,1	35,4	37,9	45,8	43,5	
	Moy	1,68	30,7	26,2	18,6	36,9	24,3	21,9	25,2	22,8	13,2	9,1	12,9	9,8	19,4	18	2,22	29,6	21,6	16,7	19,2	21,4	26	31,5	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Min	15	80	90	90	100	30	20	60	40	65	5	40	35	55	70	70	30	10	40	35	65	55	180	
	Max	90	130	125	125	135	120	140	135	110	100	80	90	95	130	140	110	120	110	130	150	125	130	350	
	Moy	60	110	113,8	106	116	81,3	81,3	100	80	76,3	36,3	62,5	56,3	110	98,8	86,3	88,8	68,8	95	90	105	91,3	265	

**Annexe 4:** Liste des différents taxons de diatomées épilithiques inventoriées dans le réseau hydrographique de la Mefou suivant la classification de Round *et al.*(1990).

EMBRANCHEMENT: CHROMOPHYTES / SOUS-EMBRANCHEMENT: BACILLARIOPHYTES																
Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
COSCINODISCOPHYCEAE	Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira faurii</i>												*	
		Stephanodisceaceae	<i>Cyclotella kutzingiana</i>	*	*						*	*		*		*
			<i>C. sp af. comensis</i>													*
			<i>C. atomus</i>													*
			<i>C. fottii</i>		*											*
			<i>C. iris</i>											*		*
			<i>C. meneghiniana</i>	*	*	*				*	*	*	*	*		*
			<i>C. ocellata</i>	*	*							*	*			*
			<i>C. pseudostelligera</i>		*		*									*
			<i>Cyclotella sp.</i>													*
			<i>C. striata</i>													*
		<i>Stephanodiscus astraea</i>	*	*									*	*	*	*
		<i>S. damasii</i>	*													*
		<i>S. hantzschii f. tenuis</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira distans</i>													*
			<i>M. distans var. africana</i>													*
			<i>M. nyassensis var. victoriae</i>													*
			<i>M. sp. af. nummuloides</i>	*												
			<i>M. varians</i>			*				*		*		*	*	*
		Stephanopyxidaceae	<i>Stephanopyxis turris</i>													*

Annexe 4 (suite)

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
COSCINODISPHYCEAE	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>valida</i>	*	*			*		*	*		*		*	
			<i>A. granulata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>A. granulata</i> var. <i>tenuissima</i>	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*
			<i>A. italica</i>													*
			<i>A. muzzanensis</i>	*	*	*	*				*		*		*	
			<i>A. sp. af. alpigena</i>							*						
			<i>A. sp. af. distans</i>													*
			<i>A. sp. af. lacustris</i>								*					
	Orthoseirales	Orthoseiraceae	<i>Orthoseira rooseana</i>	*	*										*	
	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i> sp.												*	
Hemiaulales	Hemiaulaceae	<i>Trinacria</i> sp.	*													
Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros</i> sp.		*										*		
FRAGILARIOPHYCEAE	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Diatoma mesodon</i>												*	
			<i>Diatoma</i> sp.													*
			<i>D. tenuis</i>										*			*
			<i>D. vulgaris</i>													*
			<i>D. vulgaris sensu</i> var. <i>distorta</i>													*
			<i>Fragilaria acus</i> var. <i>radians</i>	*									*			*
			<i>F. biceps</i>	*	*					*	*	*	*	*	*	*
			<i>F. brevistriata</i>										*			*
			<i>F. capucina</i>													*
			<i>F. capucina</i> var. <i>rumpens</i>	*	*											*
<i>F. capucina</i> var. <i>amphicephala</i>	*												*			

Annexe 4 (suite)

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
FRAGILARIOPHYCEAE	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>F. capucina</i> var. <i>gracilis</i>													*		
			<i>F. capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	*	*									*	*		*	
			<i>F. construens</i>	*	*													*
			<i>F. construens</i> f. <i>venter</i>	*	*										*			*
			<i>F. crotonensis</i>															*
			<i>F. exigua</i>															*
			<i>F. fasciculata</i>															*
			<i>F. hungarica</i>															*
			<i>F. leptostauron</i> var. <i>leptostauron</i>										*		*			*
			<i>F. leptostauron</i> var. <i>rhomboides</i>															*
			<i>F. leptostauron</i> var. <i>dubia</i>	*					*									
			<i>F. pinnata</i> var. <i>pinnata</i>	*	*										*			*
			<i>F. pinnata</i> var. <i>intercedens</i>															*
			<i>F. pseudoconstruens</i>															*
			<i>F. pulchella</i>															*
			<i>Fragilaria</i> sp1															*
			<i>F. ulna</i> var. <i>ulna</i>	*	*						*	*	*			*		*
			<i>F. ulna</i> var. <i>acus</i>	*	*													*
			<i>F. virescens</i>															*
	<i>Opephora pacifica</i>															*		
<i>Opephora</i> sp. af. <i>olsenii</i>												*			*			
Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Tetracyclus</i> sp.													*			

Annexe 4 (suite)

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
BACILLARIOPHYCEAE	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia arculus</i>													*		
			<i>E. arcus</i>	*													*	
			<i>E. asterionelloides</i>	*														
			<i>E. biceps</i>													*	*	
			<i>E. bidens</i>		*													
			<i>E. bilunaris</i> var. <i>mucophila</i>	*		*					*	*	*		*	*	*	*
			<i>E. bilunaris</i> var. <i>bilunaris</i>	*	*					*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>E. curvata</i>		*													*
			<i>E. exselta</i>															*
			<i>E. faba</i>	*	*	*							*			*	*	*
			<i>E. fallax</i>	*														
			<i>E. fallax</i> var. <i>groenlandica</i>		*													
			<i>E. flexuosa</i>	*	*					*	*							
			<i>E. formica</i>		*													
			<i>E. implicata</i>															*
			<i>E. incisa</i>	*	*	*					*	*	*	*		*	*	*
			<i>E. Monodon</i> var. <i>monodon</i>	*	*							*				*	*	*
			<i>E. naegeli</i>	*	*	*						*						*
			<i>E. noefallax</i>		*													*
			<i>E. paludosa</i>	*														
<i>E. pectinalis</i>	*	*								*					*			
<i>E. pectinalis</i> var. <i>undulata</i>	*														*			
<i>E. pectinalis</i> var. <i>ventralis</i>	*																	

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau															
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi				
BACILLARIOPHYCEAE	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>minor</i>		*						*					*			
			<i>E. praerupta</i> var. <i>bidens</i>	*															
			<i>E. praerupta</i>	*	*													*	
			<i>E. praerupta</i> var. <i>excelsa</i>	*	*											*		*	
			<i>E. rhomboidea</i>	*	*						*	*	*			*		*	
			<i>E. soleirolii</i>		*														
			<i>E. sp.af. circumborealis</i>	*															
			<i>E. sp.af. testula</i>																*
			<i>Eunotia</i> sp.1	*	*								*						*
			<i>Eunotia</i> sp.2		*									*					*
			<i>Eunotia</i> sp.3		*														
			<i>E. steineckii</i>														*		*
			<i>E. sudetica</i>																*
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella hustedtii</i>			*												*	
			<i>C. naviculiformis</i>																*
			<i>C. affinis</i> var. <i>afarensis</i>																*
			<i>C. caespitosa</i>																*
			<i>C. cistula</i>												*				*
			<i>C. cuspidata</i>	*	*							*		*		*		*	*
			<i>C. descripta</i>	*	*														*
			<i>C. gracilis</i>	*								*		*	*				*
			<i>C. hybrida</i>																*
			<i>C. mesiana</i>																*
<i>C. minuta</i>	*											*				*			
<i>C. silesiaca</i>	*	*	*						*	*	*	*	*	*	*	*			
<i>C. similis</i>		*																	

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
BACILLARIOPHYCEAE	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella subaequalis</i>								*					*		
			<i>C. tumida</i>	*	*									*			*	
			<i>C. turgidula</i>															*
			<i>C. ventricosa</i>															*
			<i>Placoneis clementis</i>		*	*						*	*		*	*		*
		Gomphonemataceae	<i>Gomphonema acuminatum</i>															*
			<i>G. affine</i>															*
			<i>G. affine</i> var. <i>rhombicum</i>															*
			<i>G. angustum</i>	*	*													*
			<i>G. augur</i>	*	*	*											*	*
			<i>G. augur</i> f. <i>turris</i>					*		*	*	*	*					*
			<i>G. bohemicum</i>												*			*
			<i>G. clavatum</i>															*
			<i>G. clevei</i>		*													
			<i>G. gracile</i>	*	*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>G. gracile</i> f. <i>turris</i>	*									*	*				*
			<i>G. mexicanum</i>										*					
			<i>G. minutum</i>		*													*
			<i>G. olivaceum</i>															*
			<i>G. olivaceum</i> var. <i>calcareum</i>															*
			<i>G. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>G. parvulum</i> var. <i>exilissimum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>G. parvulum</i> var. <i>lagenula</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		<i>G. parvulum</i> var. <i>parvulus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		<i>G. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i>			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau																
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi					
BACILLARIOPHYCEAE	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>		*						*					*				
			<i>G. pseudotenellum</i>	*	*										*					
			<i>G. rhombicum</i>	*		*				*		*			*		*	*		
			<i>G. sp af. hebridense</i>											*						
			<i>G. sp af. lagerheimii</i>											*						
			<i>G. sp af. pumilum</i>	*											*			*		
			<i>G. subtile</i>												*			*		
			<i>G. vibrioides</i>	*																
			<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>			*													*	
	Achnanthes	Achnanthaceae	<i>Achnanthes carissima</i>	*																
			<i>A. clevei</i> var. <i>botmica</i>																*	
			<i>A. coarctata</i>																*	
			<i>A. delicatula</i>																*	
			<i>A. eutrophila</i>			*	*			*	*	*		*		*		*	*	
			<i>A. exigua</i> var. <i>elliptica</i>																*	
			<i>A. exigua</i> var. <i>exigua</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			<i>A. exilis</i>							*									*	
			<i>A. hungarica</i>			*													*	
			<i>A. impexa</i>			*														
			<i>A. impexiformis</i>										*							
			<i>A. inflata</i>	*	*												*		*	
			<i>A. kryophila</i>																*	
			<i>A. lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i> var. <i>minor</i>																	*
			<i>A. lanceolata</i> ssp. <i>rostrata</i>	*	*															*
			<i>A. laterostrata</i>																	*

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
BACILLARIOPHYCEAE	Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes microcephala</i>	*		*									*	*
			<i>A. minutissima</i>	*	*				*	*	*	*		*	*	
			<i>A. minutissima</i> var. <i>scotica</i>													*
			<i>A. minutissima</i> var. <i>jackii</i>				*		*	*	*		*		*	
			<i>A. petersenii</i>												*	
			<i>A. rupestroides</i>		*											
			<i>A. subatomoides</i>	*												*
			<i>A. subhudsonis</i>	*	*						*					
			<i>A. trinodis</i>		*											*
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>placentula</i>	*												*
			<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i>													*
			<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i>	*	*									*	*	*
		Naviculales	Diadesmidaceae	<i>Diadesmis contenta</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	<i>Diadesmis</i> sp.														*	
	Amphipleuraceae		<i>Frustulia crassinervia</i>	*	*	*	*			*	*	*	*		*	*
			<i>F. erifuga</i>		*											
			<i>F. rhomboides</i>	*												*
			<i>F. rhomboides</i> var. <i>saxonica</i>	*	*	*					*	*	*		*	*
			<i>Frustulia</i> sp.											*		*
			<i>F. spicula</i>		*											*
<i>F. vulgaris</i>			*	*	*	*				*		*		*	*	
Brachysiraceae	<i>Brachysira neoexilis</i> , Morphotype II "capitata"		*		*					*		*	*	*	*	
	<i>B. sp</i> af. <i>garrensis</i>									*						
Neidiaceae	<i>Neidium alpinum</i>													*	*	
	<i>N. affine</i> var. <i>amphyrhynchus</i>			*												

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau															
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi				
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Neidiaceae	<i>N. affine</i> var. <i>longipes</i>	*	*	*					*	*	*		*	*			
			<i>N. ampliatum</i>	*	*						*		*	*	*	*	*		
			<i>N. bisulcatum</i>	*	*														
			<i>N. dubium</i>	*	*														
			<i>N. hercynicum</i>									*						*	
			<i>N. hitchcockii</i>	*	*													*	
			<i>N. iridis</i> var. <i>amphygomphus</i>	*	*														*
			<i>N. septentrionale</i>																*
			<i>Neidium</i> sp											*					
		Sellaphoraceae	<i>Sellaphora pupula</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	*	*									*				*	
			<i>P. anglica</i>															*	
			<i>P. biceps</i>															*	
			<i>P. bicepsf. petersteni</i>															*	
			<i>P. borealis</i>	*	*	*	*	*				*	*	*		*	*	*	
			<i>P. borealis</i> var. <i>rectangularis</i>	*	*	*							*					*	
			<i>P. borealis</i> var. <i>undulata</i>															*	
			<i>P. braunii</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			<i>P. braunii</i> var. <i>amphicephala</i>																*
			<i>P. brebissonii</i>																*
			<i>P. divergens</i>	*															*
			<i>P. divergentissima</i>	*	*	*							*			*	*	*	
			<i>P. gibba</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		<i>P. hemiptera</i>																*	

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia. intermedia</i>													*		
			<i>P. joculata</i>		*		*			*	*	*				*		
			<i>P. mesolepta</i>		*												*	
			<i>P. microstauron</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			<i>P. microstauron</i> var. <i>brebissonii</i>															*
			<i>P. nodosa</i>	*	*													
			<i>P. obscura</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>P. rupestris</i>	*														
			<i>P. similis</i>	*														
			<i>P. sp. af. mayor</i>		*													
			<i>P. sp af. lange-bertalotii</i>	*														
			<i>P. sp. af. brevicostata</i>		*													
			<i>P. sp. af. interrupta</i>		*													
			<i>Pinnularia</i> sp1		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>Pinnularia</i> sp2															*
			<i>Pinnularia</i> sp3															*
			<i>Pinnularia</i> sp4															
			<i>P. stomatophora</i> var. <i>stomatophora</i>	*	*							*	*	*		*	*	*
			<i>P. subcapitata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>P. subcapitata</i> var. <i>elongata</i>	*	*				*		*	*	*		*	*	*	
			<i>P. subgibba</i> var <i>subgibba</i>		*							*					*	
			<i>P. sudetica</i>	*	*													
<i>P. sudeticavar.commutata</i>		*																
<i>P. viridiformis</i> var. <i>viridiformis</i>	*	*										*	*	*				

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau													
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi		
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Caloneis alpestris</i>												*		
			<i>C. bacillum</i>	*	*		*		*	*	*	*	*	*	*		
			<i>C. clevei</i>		*											*	
			<i>C. incognita</i>					*									
			<i>C. leptosoma</i>	*													
			<i>C. tenuis</i>		*												
			<i>C. ventricosa</i>	*	*												
		Diploneidaceae	<i>Diploneis interrupta</i>														*
			<i>D. finnica</i>														*
			<i>D. ovalis</i>									*					*
			<i>D. petersenii</i>		*												
			<i>D. puella</i>					*									*
			<i>D. smithii</i>		*												
			<i>D. subovalis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Naviculaceae	<i>Navicula arvensis</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. atomus</i> var. <i>atomus</i>	*						*							*
			<i>N. atomus</i> var. <i>permitis</i>														*
			<i>N. brasiliana</i>														*
			<i>N. brekkaensis</i> var. <i>brekkaensis</i>	*										*			*
			<i>N. bryophila</i>		*												
			<i>N. capitata</i>	*													
			<i>N. capitatoradiata</i>		*					*							*
			<i>N. cincta</i>	*	*							*	*	*		*	*

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Naviculaceae	<i>Naviula cocconeiformis</i>						*							
			<i>N. cohnii</i>					*					*		*	
			<i>N. concinna</i>		*											
			<i>N. confervacea</i>	*							*	*			*	*
			<i>N. constans</i> var. <i>symmetrica</i>	*												*
			<i>N. cryptocephala</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. cryptocephala</i> var. <i>exilis</i>	*										*		*
			<i>N. cryptotenella</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*		*
			<i>N. cryptotenelloides</i>								*					
			<i>N. cuspidata</i>	*		*	*				*	*				*
			<i>N. densa</i>		*											*
			<i>Navicula dicta detenta</i>								*					*
			<i>N. digitulus</i>	*									*			*
			<i>N. elginensis</i>		*						*	*				*
			<i>N. erifuga</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. gastrum</i> var. <i>gastrum</i>	*	*						*		*		*	*
			<i>N. geoppertiana</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. halophila</i>										*			
			<i>N. halophila</i> f. <i>robusta</i>		*											
			<i>N. heimansii</i>													*
			<i>N. heimansioides</i>	*	*	*							*		*	*
			<i>N. insociabilis</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. jaernefeltii</i>										*		*	
<i>N. laevissima</i> var. <i>laevissima</i>	*	*							*	*	*	*	*			
<i>N. lanceolata</i>		*		*				*	*	*	*	*	*			
<i>N. laterostrata</i>	*															

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula lesmonensis</i>								*							
			<i>N. mediocris</i>			*							*				*	
			<i>N. menisculus</i>	*	*							*			*			*
			<i>N. minima</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. minuscula</i> var. <i>minuscula</i>	*	*										*			*
			<i>N. mitigata</i>						*					*				*
			<i>N. mutica</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*
			<i>N. mutica</i> var. <i>intermedia</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. muticoides</i>	*														
			<i>N. peguana</i>	*														*
			<i>N. perlatoides</i>	*														
			<i>N. petilina</i>															*
			<i>N. pseudoventralis</i>															*
			<i>N. radiosa</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. rhynchocephala</i>															*
			<i>N. riparia</i>			*							*	*				
			<i>N. saxophila</i>	*														
			<i>N. schoenfeldii</i>	*														
			<i>N. schroeterii</i>	*														
			<i>N. scutiformis</i>										*			*		*
			<i>N. seminuloides</i>											*				*
			<i>N. seminulum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. similis</i>			*							*					*
<i>N. sp</i> af. <i>bulnheimii</i>	*																	
<i>N. sp</i> af. <i>hambergii</i>	*														*			

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau													
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi		
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i> sp af. <i>inpunctata</i>	*											*		
			<i>N. sp af. krasskei</i>													*	
			<i>N. sp af. perminuta</i>	*													*
			<i>N. sp af. suchlandtii</i>											*			
			<i>N. sp af. heuferiana</i>		*	*	*			*	*			*	*	*	*
			<i>N. sp. af. crucicula</i>		*												
			<i>N. sp. af. tenella</i>	*	*			*		*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. sp aff. cincta</i>														*
			<i>Navicula</i> sp.1														*
			<i>Navicula</i> sp.2														*
			<i>N. stroemii</i>	*									*				*
			<i>N. sublucidula</i>														*
			<i>N. subminuscula</i>							*	*	*	*				*
			<i>N. submolesta</i>	*													
			<i>N. subrhynchocephala</i>							*							
			<i>N. subrotundata</i>	*	*	*	*		*	*	*			*			*
			<i>N. subtilissima</i>	*	*	*				*	*	*	*				*
			<i>N. tenella</i>	*													
			<i>N. tenelloides</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. trivialis</i>									*		*			*
		<i>N. variostrata</i>														*	
<i>N. veneta</i>	*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*			
<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>	*	*	*			*	*	*	*	*		*	*	*			
Pleurosigmataceae			<i>Gyrosigma scalproides</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*			

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
BACILLARIOPHYCEAE	Naviculales	Pleurosigmataceae	<i>Gyrosigma acuminatum</i>		*											
			<i>G. attenuatum</i>												*	
			<i>G. spencerii</i>	*										*		
			<i>Pleurosigma</i> sp af. <i>angulatum</i>	*												
		Stauroneidaceae	<i>Craticula ambigua</i>													*
			<i>Capartogramma crucicula</i>	*	*											
			<i>Stauroneis acuta</i>													*
			<i>S. kriegei</i>	*	*								*			*
			<i>S. legumen</i>	*										*		
			<i>S. lundii</i>	*												*
			<i>S. nobilis</i>	*												
			<i>S. phoenicenteron</i>	*	*										*	
			<i>S. prominula</i>	*	*	*						*			*	*
			<i>S. pseudosubobtusoides</i>													*
	<i>S. smithii</i>	*	*		*				*	*		*		*		
	<i>S. smithii</i> var. <i>sagitta</i>	*														
	<i>Stauroneis</i> sp													*		
	Thalassiopsales	Catenulaceae	<i>Amphora montana</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			<i>A. coffaeformis</i>	*												
			<i>A. normanii</i>												*	
<i>A. ovalis</i>				*												
<i>A. pediculus</i>														*		
<i>A. sabiniana</i>				*												
<i>A. sp. af. fagediana</i>			*	*								*		*		
<i>A. sp. af. subacutiuscula</i>		*														

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau														
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi			
BACILLARIOPHYCEAE	Thalassiosphaerales	Catenulaceae	<i>Amphora veneta</i>				*								*			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Bacillaria paradoxa</i>													*		
			<i>Denticula kuetzingii</i>														*	
			<i>Denticula</i> sp.															*
			<i>D. tenuis</i>		*													
			<i>Hantzschia abundans</i>		*		*											*
			<i>H. amphioxys</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>H. amphioxys</i> var. <i>africana</i>									*						*
			<i>H. amphioxys</i> var. <i>capitellata</i>		*													
			<i>Nitzschia acicularis</i>	*														
			<i>N. acidoclinata</i>		*		*			*	*	*	*					*
			<i>N. amphibia</i>	*		*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. amplexans</i>		*													
			<i>N. brevissima</i>	*	*		*	*						*	*	*	*	*
			<i>N. capitellata</i>															*
			<i>N. clausii</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. communis</i>															*
			<i>N. dissipata</i>	*	*												*	*
			<i>N. dissipata</i> var. <i>media</i>															*
			<i>N. dubia</i>															*
			<i>N. filiformis</i>															*
			<i>N. fonticola</i>	*		*												*
			<i>N. frustulum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	<i>N. gracilis</i>	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*		
<i>N. inconspicua</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau													
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi		
BACILLARIOPHYCEAE	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia intermedia</i>	*		*	*		*		*				*		
			<i>N. lacuum</i>													*	
			<i>N. laevis</i>				*				*						
			<i>N. levidensis</i>	*													
			<i>N. linearis</i>		*	*					*		*		*	*	*
			<i>N. lorenziana</i>	*	*		*						*	*		*	*
			<i>N. microcephala</i>														*
			<i>N. obtusa</i>														*
			<i>N. palea</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			<i>N. palea var. debilis</i>														*
			<i>N. paleacea</i>	*					*								*
			<i>N. paleaformis</i>			*											*
			<i>N. recta</i>		*												*
			<i>N. sigma</i>	*	*	*											*
			<i>N. sigmoidea</i>		*												*
			<i>N. sp. aff. sociabilis</i>														*
			<i>N. sp. aff. lancettulata</i>		*												
			<i>N. sp. aff. spectabilis</i>		*												
			<i>Nitzschia</i> sp.1														*
			<i>Nitzschia</i> sp.2														*
			<i>Nitzschia</i> sp.3														*
			<i>N. tropica</i>		*												*
			<i>N. umbonata</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>N. vermicularis</i>								*				*					
<i>Tryblionella victoriae</i>										*	*						

Annexe 4 (suite).

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Cours d'eau												
				Mefou	Nga	Tongolo	Ntem	Ebogo	Ewoué	Abiergué	Mingoa	Olézoa	Aké	Ntsomo	Mfoundi	
BACILLARIOPHYCEAE	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia hyndmanii</i>										*		*	
			<i>E. sorex</i>												*	
			<i>E. turgida</i>		*									*		*
			<i>Rhopalodia gibba</i>		*								*	*	*	*
			<i>R. gibberula</i>	*	*					*	*		*	*		*
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Cymatopleura elliptica</i>		*											
			<i>Cymatopleura</i> sp.													*
			<i>Stenopterobia curvula</i>	*	*										*	
			<i>S. delicatissima</i>	*												
			<i>Stenopterobia</i> sp.			*										
			<i>Surirella angusta</i>			*					*				*	*
			<i>S. angusta</i> f. <i>constricta</i>													*
			<i>S. brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i>													*
			<i>S. capronii</i>	*											*	*
			<i>S. didyma</i>	*												
			<i>S. linearis</i> var. <i>constricta</i>	*	*										*	*
			<i>S. linearis</i> f. <i>elongata</i>		*											
			<i>S. linearis</i>	*	*						*					*
			<i>S. roba</i>													*
			<i>S. robusta</i>	*	*											*
			<i>S. sp</i> af. <i>cuspidata</i>			*										
			<i>S. sp</i> af. <i>tchadensis</i>													*
			<i>Surirella</i> sp.													*
			<i>S. tenera</i>													*
			<i>S. tenuis</i>	*	*						*					*
	<b>Nombre total de taxons</b>				<b>194</b>	<b>175</b>	<b>77</b>	<b>63</b>	<b>56</b>	<b>65</b>	<b>117</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>98</b>	<b>333</b>

## LISTE DES PUBLICATIONS TIRÉES DE LA THÈSE

-**Ebang Menye, D.**, Zébazé Togouet, S.H., Foto Menbohan, S., Kemka, N., Nola, M., Boutin, C., Nguétsop, V.F., Moussa Djaouda, Njiné, T. (2012). *Bio-écologie des diatomées épilithiques de la rivière Mfoundi (Yaoundé-Cameroun) : diversité, distribution spatiale et influence des pollutions organiques*. **Rev. Sci. Eau**, 25(3), 203-218.

-**Ebang Menye, D.**, Njiné, T., Zébazé Togouet, S.H., Moussa Djaouda, Boutin, C., Nola, M., Foto Menbohan, S., Kemka, N. Diversity, abundance and community structure of epilithic diatoms in an undisturbed equatorial forest stream (Cameroon, Central Africa) (soumis pour publication).