**Enseignement Supérieur et Universitaire**

**UNIVERSITE PEDAGOGIQUE NATIONALE**

BP 8815 KINSHASA I

FACULTE DES SCIENCES

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**

**THESE DE DOCTORAT N°……..**

Domaine : Biologie
Spécialité : Hydrobiologie
Présentée et soutenue publiquement
Par

**Jean-Claude KAMB TSHIJIK**
Chef de Travaux

# STRUCTURE DES PEUPLEMENTS DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES ET EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE ET ECOLOGIQUE DES RIVIERES GOMBE, KINKUSA ET MANGENGENGE A KINSHASA/ RD CONGO

Promoteur : Pr. Jean-Claude MICHA (Université de Namur)
Co-promoteur : Pr. Alexandre MBAYA NTUMBULA (Université Pédagogique Nationale)

**JURY**

Président : Pr. Jean LUAMBA Lua NSEMBO (Université Pédagogique Nationale)
Rapporteur : Pr. Alphonse MATAND TWILENG (Université Pédagogique Nationale)
Membres : Pr. Ivonne IBEBEKE BOMANGWA SAILA (Université Pédagogique Nationale)
Pr. Alain BULUKU EKWAKWA (Université Pédagogique Nationale)
Pr. MUTAMBEL'HITY S.N. (Université Pédagogique Nationale)

**Juin 2018**

# RESUME

La qualité biologique et écologique des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge a été évaluée durant la période allant de 2013 à 2015 à partir des données relatives aux macroinvertébrés benthiques (MIB) récoltés, les paramètres physico-chimiques, indices biotiques (Shannon et Weaver, Equitabilité de Piélou, Similarité de Jaccard, Hilsenoff, Indice Biologique Global Normalisé, Qualité de la bande riveraine) et de la caractérisation du substrat.

L'analyse des paramètres abiotiques des eaux (température, conductivité, pH, turbidité, oxygène dissous, $NH^{+}_{4}$, $NO_3^-$, $NO_2^-$, $PO_4^{3-}$, $SO_4^{2-}$, $DBO_5$, DCO), de la composition du substrat et celle de la végétation aquatique, a permis une caractérisation de la répartition des MIB dans la gombe, kinkusa et la mangengenge.

Douze types de substrats ont été prélevés (VaMO, VaVé, VaMOVé, VaMOSa, VaMOGvGl, VaMOSaGl, SaVé, VaSa, SaMO, SaMOVé, SaGvVé, SaMOGvVé).

Dans l'ensemble, 11. 328 MIB ont été récoltés (5363) en saison pluvieuse et (5 965) en saison sèche, lesquels appartiennent à trois classes, réparties en 10 ordres et 40 familles. La Gombe a enregistré 3 classes, 7 ordres et 17 familles ; la Kinkusa 3 classes, 8 ordres et 19 familles ; et la Mangengenge 2 classes, 6 ordres et 24 familles.

Le calcul de différents indices a indiqué que la Gombe et la Kinkusa sont moins diversifiées que la Mangengenge mais ont une abondance brute plus élevée que cette dernière. Dans la Mangengenge, les taxons sont mieux répartis dans les différentes stations que dans les deux autres hydrosystèmes. Les rivières Gombe et Kinkusa ont présenté une richesse taxonomique plus proche que la rivière Mangengenge.

La qualité écologique appréciée selon l'indice d'Hilsenoff a révélé que : les rivières Gombe et Kinkusa sont caractérisées par une pollution organique grave, la rivière Mangengenge a une pollution organique légère possible.

Par contre le calcul de l'Iindice Biologique Global Normalisé (IBGN) a dégagé : la mauvaise qualité biologique pour les rivières Gombe et Kinkusa (taxon indicateur : Mollusque), la bonne qualité biologique pour la rivière Mangengenge (taxon indicateur : Potamanthidae).

Les Hydrophilidae, Philopotamidae, Glossosomatidae et Potamanthidae récoltés dans la Mangengenge indiquent la bonne qualité de ses eaux ; tandis que les Tubificidae, Lymnaeidae, Physidae, Lumbriculidae, Lumbricidae, Syrphidae et Chironomidae de la Gombe et la Kinkusa ont reflété la mauvaise qualité de leurs eaux.

Une relation positive a été observée entre l'IQBR, le FBI et l'IBGN et un modèle élaboré à partir des données physico-chimiques et biologiques de ces trois hydrosystèmes a permis à prédire la qualité biologique et écologique d'un cours d'eau peu profond pour la ville de Kinshasa.

**Mots clés** : Macroinvertébrés benthiques – Hydrosystèmes – Gombe – Kinkusa – Mangengenge – Qualité biologique et écologique

# ABSTRACT

The biological and ecological quality of 3 hydrosystems in Kinshasa (Gombe, Kinkusa and Mangengenge rivers) was evaluated using data on benthic macroinvertebrates (BMI) collected, physicochemical parameters, biotic indices and substrates characterization.

The analysis of the abiotic parameters of the water, the composition of the substrate and that of the aquatic vegetation, allowed a characterization of the BMI distribution.

Twelve types of substrates were collected. Overall, 11,328 BMI were harvested (5363) in the rainy season and (5,965) in the dry season, which belong to 10 taxa (the Gombe river recorded 3 classes, 7 orders and 17 families; Kinkusa 3 classes, 8 orders and 19 families; and Mangengenge 2 classes, 6 orders and 24 families).

The calculation of different indices indicated that Gombe and Kinkusa are less diversified than Mangengenge but have a higher gross abundance than Mangengenge. In Mangengenge, taxa are better distributed in the different stations than in the other two hydrosystems. The Gombe and Kinkusa rivers have taxonomic richness closer than the Mangengenge river has.

The ecological quality assessed by the Hilsenhoff Biotic Index (IBI) revealed that the Gombe and Kinkusa rivers are characterized by severe organic pollution. On the other hand, the calculation of the Standardized Global Biological Index (IBGN) has revealed the poor biological quality for the Gombe and Kinkusa rivers (indicator phylum: Mollusca) and a good biological quality for the Mangengenge river (indicator phylum: Potamanthidae). The Hydrophilidae, Philopotamidae, Glossosomatidae and Potamanthidae collected in the Mangengenge indicate the good quality of its waters; while the Tubificidae, Lymnaeidae, Physidae, Lumbriculidae, Lumbricidae, Syrphidae and Chironomidae of Gombe and Kinkusa reflect the poor quality of these 2 rivers.

A positive relationship was observed between IQBR, FBI and IBGN and a model developed from the physicochemical and biological data of these 3 hydrosystems helped to predict the biological and ecological quality of a shallow stream in Kinshasa.

**Keywords**: Benthic macroinvertebrates - Hydrosystems - Gombe - Kinkusa - Mangengenge - Organic and ecological quality

*A notre très chère et très tendre épouse Géraldine Ngoie Mafika ;*

*A nos très chers enfants Rodrigue Muland Tshijik et Benita Kaj-A-Kamb;*

*A nos très chers petits enfants Josh Jean-Claude Kamb Tshijik, Moshé Mwiz Tshijik et Bitia Yumba Tshijik ;*

*A nos très chers frères et sœurs : Vicky Kasil, Pierre Ntambw Tshjik, Gertrude Kabwiz Kat, Symphorien Kapend Tshijik, Patrick Kabash Tshijik, Thierry Keya Tshijik, Ado Mwiz Tshijik, Eddy Kayomb Tshijik, Serge Tshibumb Tshijik ;*

*A tous nos neveux et nièces ;*

*A nos regrettés parents Patrice Tshijik Mwiz et Charlotte Kaj Mujing ;*

*A notre regretté grand frère Florent Kasong Tshijik.*

*Nous dédions cette thèse*

# REMERCIEMENTS

A cet instant où sonne le dernier carillon de notre formation doctorale couronnée par la présente thèse, nous ne pouvons pas déroger à la règle universelle de reconnaissance envers toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Notre gratitude s'adresse aux autorités Académiques de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) et plus particulièrement aux autorités décanales du Département de Biologie pour leur encadrement et leur esprit de préparer la relève.

Nous sommes reconnaissant envers la formidable équipe de travail de la Faculté des Sciences de l'Université Pédagogique Nationale pour les inoubliables moments passés ensemble et pour avoir accepté de nous accompagner dans nos cogitations sur le sujet de la présente thèse.

Nous pensons avant tout à Monsieur le Professeur Emérite Jean-Claude Micha qui nous a ouvert les portes pour amorcer les travaux de troisième cycle malgré ses nombreuses obligations et qui en est le promoteur. Nous avons pu bénéficier de son expérience et de ses qualités scientifiques ; de ses conseils judicieux et de ses encouragements, lequles ont été décisifs dans l'aboutissement de ce travail.

Nous sommes également reconnaissant envers le Professeur Emérite Alexandre Mbaya Ntumbula, co-promoteur de cette thèse. Il nous a encouragé à nous engager dans cette recherche sur les macroinvertébres benthiques et dont nous avons fait une aventure personnelle. Sa disponibilité à lire et à relire les résultats de cette thèse a été un adjuvant à sa qualité. Qu'il soit rassuré de notre reconnaissance et de notre attachement.

Nous ne saurons oublier le Professeur Victor Pwema Kiamfu qui a assuré l'encadrement de cette thèse depuis sa génèse jusqu'à son aboutissement. Ses conseils et son souci de nous voir évoluer ont été sa préoccupation. Nous l'en remercions sincèrement.

Notre gratitude va aussi à l'endroit des Professeurs Jean Luamba Lua Nsembo, Séraphin Ifuta Ndey Bibuya et Pierre Kabwika Mukulu pour leurs remarques pertinentes dans la réalisation de cette dissertation.

C'est pour nous, un bien agréable devoir d'exprimer notre cordiale gratitude à Monsieur le Professeur Jean Lohaka Djonga qui, malgré ses multiples

occupations, a accepté de codiriger notre mémoire de DEA qui nous a donné le goût de parfaire cette recherche.

Notre expression de notre profonde reconnaissance s'adresse au Professeur Deogratias Mutambel'Hity Schie Nkung pour ses encouragements réguliers à mener à bon port cette belle aventure.

Nous exprimons à travers cette dissertation notre gratitude aux professeurs Yvonne Ibebeke Bomangwa, Patience Ngelinkoto, Alphonse Matand Twileng, Alain Buluku Ekwakwa et Maurice Nsikungu Kelukul pour leurs remarques et observations y intégrées.

Nos pensées s'orientent aussi vers le Professeur Valentin Ntumbwa pour ses conseils qui nous ont motivé à aller toujours de l'avant.

Nous tenons également à remercier notre équipe de recherche pour sa franche collaboration et l'harmonie qui ont régné tant au laboratoire que lors des sorties sur terrain. Il s'agit des Chefs de Travaux Rombaut Ndombe Tamasala, Xavier Kusakana N'kenda et Philippe Mabiala Muloba ; des Assistants Eric Lohate, Edouard Sisa Mbungu, Jérémie Amanakou Ukonda Lemba et Nazaire Kadima Kabemba.

Nous serions ingrat si nous occultions la contribution positive du Directeur Général François Beya Kasonga, qui nous a permis de descendre sur terrain pour la récolte des données sans que notre Direction Générale de Migration (DGM) n'en patisse dans son fonctionnement.

Un remercièment particulier est réservé à la famille Lohate de Maluku qui a accepté de nous héberger pendant toutes nos sorties qui ont permis d'échantillonner des données dans la rivière Mangengenge à Maluku.

Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail trouvent, ici, l'expression de notre cordiale reconnaissance.

# PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

# (Annexe 22)

- Jean-Claude Kamb Tshijik, Séraphin Ndey Ifuta, Alexandre Ntumbula Mbaya et Victor Kiamfu Pwema, 2015. Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge, Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(2) : 970-985. http://www.ajol.info/index.php/ijbcs

- Jean-Claude Kamb Tshijik, Dudu Akaibe, Jean-Claude Micha, Victor Kiamfu Pwema, 2016. Analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge à Kinshasa. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 16 N° 2, pp 260-271. http://www.ijias.issr-journals.org

# TABLE DES MATIERES

RESUME ..... I
ABSTRACT ..... II
REMERCIEMENTS ..... IV
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES ..... VI
TABLE DES MATIERES ..... VII
LISTE DES ABREVIATIONS ..... IX
LISTE DES CODES MNEMOTECHNIQUES DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES ..... X
LISTE DES CODES MNEMOTECHNIQUES DE LA VEGETATION ..... XI
LISTE DES FIGURES ET PHOTOS ..... XIII
LISTE DES TABLEAUX ..... XVII
LISTE DES ANNEXES ..... XIX
INTRODUCTION ..... 1
CHAPITRE I ..... 4
GENERALITES ..... 4
I.1 Considérations générales de la ville de Kinshasa ..... 4
I.1.1 Localisation ..... 4
I.1.2 Données démographiques ..... 6
I.1.3 Sols et Géologie ..... 6
I.1.4 Relief ..... 9
I.1.5 Données climatiques ..... 12
I.2 Macroinvertébrés benthiques (MIB). ..... 12
I.2.1 Définition ..... 12
I.2.2 Rôle des Macroinvertébrés benthiques ..... 13
CHAPITRE II ..... 15
MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES ..... 15
II.1 Description du milieu d'étude ..... 15
II.1.1 Géomorphologie et géologie des bassins versants ..... 17
II.2 Matériel ..... 18
II.3 Méthodes ..... 18
II.3.1 Caractérisation de l'hydrologie des hydrosystèmes ..... 18
II.3.2 Evaluation des paramètres physico-chimiques ..... 19
II.3.3 Caractérisation des habitats benthiques ..... 20
II.3.4 Détermination de la composition floristique des bassins versants ..... 20
II.3.5 Indice de la Qualité de la Bande Riveraine (IQBR) ..... 21
II.3.6 Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques ..... 22
CHAPITRE III ..... 28
RESULTATS ..... 28
III.1 Paramètres abiotiques ..... 28

III.1.1 Paramètres physiques ..... 28
III.1.2 Paramètres chimiques ..... 35
III.1.3 Caractérisation des habitats ..... 48
III.2 Paramètres biotiques ..... 51
III.2.1 Végétation ..... 51
III.2.2 Traitement statistique des données stationnelles des peuplements des MIB ..... 62
III.2.3 Distribution écologique des MIB ..... 87
III.2.4 Analyses en Composantes Principales ..... 93

INTERPRETATION ..... 126
DISCUSSION ..... 132

1. Paramètres abiotiques ..... 132
1.1 Rivière Gombe ..... 132
1.2 Rivière Kinkusa ..... 134
1.3 Rivière Mangengenge ..... 135
2. Paramètres biotiques ..... 136
2.1 Structure des peuplements des MIB ..... 136
2.2 Evaluation de la qualité biologique et écologique des hydrosystèmes. ..... 141
3. Modèle de prédiction ..... 144
CONCLUSION ..... 146

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 149

TEXTES JURIDIQUES EN COURS EN RD CONGO ..... 159

ANNEXES ..... 160

# LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|---|---|
| ACP | : Analyse en Composantes principales |
| AFNOR | : Agence Française de Normalisation |
| B.A. | : Bulletin Administratif |
| B.A.C. | : Bulletin Administratif et Commercial |
| B.O. | : Bulletin Officiel |
| CBJC | : Corporation du Bassin Jacques Cartier |
| CGEA | : Commissariat Général à l'Energie Atomique |
| FBI | : Family Biotic Index (Index de Famille Biotique) |
| IBGN | : Indice Biologique Général Normalisé |
| IQBR | : Indice de Qualité de la Bande Riveraine |
| MIB | : Macro Invertébrés Benthiques |
| MICS 2 | : Multiple Indicator Cluster Surveys 2 |
| UPN | : Université Pédagogique Nationale |

# LISTE DES CODES MNEMOTECHNIQUES DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES

| CODES | FAMILLES |
|---|---|
| *Aph* | *Aphelocheiridae* |
| *Cer* | *Ceratopogonidae* |
| *Chir* | *Chironomidae* |
| *Coen* | *Coenagrioniodae* |
| *Cul* | *Culicidae* |
| *Doli* | *Dolichopodidae* |
| *Dryo* | *Dryopidae* |
| *Dyst* | *Dysticidae* |
| *Ecm* | *Ecnomidae* |
| *Elm* | *Elmidae* |
| *Empi* | *Empididae* |
| *Gerr* | *Gerridae* |
| *Gloss* | *Glossiphonidae* |
| *Gloso* | *Glossosomatidae* |
| *Gomph* | *Gomphidae* |
| *Hiru* | *Hirudidae* |
| *Hychi* | *Hydrochidae* |
| *Hyphi* | *Hydrophilidae* |
| *Hypsy* | *Hydropsychidae* |
| *Hygr* | *Hygrobiidae* |
| *Lept* | *Leptoceridae* |
| *Libel* | *Libellulidae* |
| *Limnb* | *Limnebiidae* |
| *Lumci* | *Lumbricidae* |
| *Lumcu* | *Lumbriculidae* |
| *Lymna* | *Lymnaeidae* |
| *Naidi* | *Naididae* |
| *Nau* | *Naucoridae* |
| *Nep* | *Nepidae* |
| *Noto* | *Notonectidae* |
| *Philo* | *Philopotamidae* |
| *Physi* | *Physidae* |
| *Plan* | *Planariidae* |
| *Pota* | *Potamanthidae* |
| *Scio* | *Sciomyzidae* |
| *Sperc* | *Spercheidae* |
| *Syrph* | *Syrphidae* |
| *Tabni* | *Tabaniidae* |
| *Thaum* | *Thaumaleidae* |
| *Tub* | *Tubificidae* |

# LISTE DES CODES MNEMOTECHNIQUES DE LA VEGETATION

| CODES | ESPECES VEGETALES |
|---|---|
| Agecon | *Ageratum conyzoides L* |
| Alcord | *Alchornea cordifolia (schumach &Thonn) Miill Arg.* |
| Alscon | *Alstonia congensis Engl* |
| Altses | *Altternanthera sessilis (L) Dc* |
| Amhyd | *Amaranthus hydrides L Subsp cruentus* |
| Amspi | *Amaranthus spinosus L* |
| Amvir | *Amaranthus viridis L* |
| Ancdif | *Anchomanes difformis (Bl) Engl* |
| Athfil | *Athyrium filix (L) Roth i.* |
| Bamvul | *Bambusa vulgaris (schrad exwend)* |
| Blespec | *Blechnum specant (Kurnif)* |
| Calmuc | *Calopagonium mucunoides (Desc)* |
| Caindi | *Canna indica L* |
| Cenpub | *Centrosema pubescens Benth* |
| Chrodo | *Chromoleana odorata (L) R. King & H. Robinson* |
| Colescu | *Colocasia esculenta (L) Schott* |
| Comdif | *Commelina diffusa (Burm. f)* |
| Cosafe | *Costus afer Ker Gawl* |
| Cramon | *Crassocephalum montuosum(S. Moore) Milne-Redhead* |
| Cyndac | *Cynodon dactylon (L) Pers* |
| Cypart | *Cyperus articulatus L* |
| Diclin | *Dicranopteris linearis (Burmof) undern* |
| Draman | *Draceana mannii (Baker)* |
| Harmad | *Harungana madagascariensis Lan ex Poir* |
| Haulie | *Haumania liebrechtsina (De wild &T.Durand) J. Léonard* |
| Hydgla | *Hydrolea glabra Schiemach & Thonn* |
| Kylbul | *Kyllinga bulbosa P. Beau* |
| Lagsic | *Lagenaria siceraria (Molina) Standley* |
| Lasene | *Lasimorpha senegalesis schoh* |
| Lepcon | *Leptoderris congolensis (De wild)* |
| Ludaby | *Ludwigia abyssinica A. Rich* |

| | |
|---|---|
| Ludsen | *Ludwigia senegalensis (DC) Trochain* |
| Lycern | *Lycodiella cernua (L) Pic Serm* |
| Marpur | *Marantochloa purpurea (Ridl)* |
| Megmuc | *Megastachya mucronata (Poir) P. Beauv* |
| Miminv | *Mimosa invisa Mart* |
| Munpur | *Mucuna puriens (L)* |
| Musapi | *Musa sapientum L* |
| Oncwel | *Oncoba welwitschii (Olix) Gilg* |
| Pamaxi | *Panicum maximum (Jacq)* |
| Pasori | *Paspalum oribiculare Forst* |
| Penpol | *Pennisetum polystachion (L)* |
| Penpur | *Pennisetum purpureum (Schumach)* |
| Penect | *Pentaclethra ectveldeana De wild & T. Durand* |
| Phynir | *Phyllanthus niruri L* |
| Polyse | *Polygonum senegalense Meissn* |
| Psosca | *Psophocarpus scandens (Endl) Verdc* |
| Pteaqu | *Pteridium aquilinum (L) Kuhn* |
| Rhycor | *Rhynchospora corymbosa (L) Britton* |
| Sacoff | *Saccharum officinarum L* |
| Sapcor | *Sapium cornutum Pax* |
| Selmyo | *Selaginella myosurus (Sw) Alston* |
| Titdiv | *Tithonia diversifolia (Heusl)* |
| Trincom | *Tristemma incompletum R. Br* |
| Trilei | *Tristemma leiocalyx (Cogn)* |
| Tricor | *Triufetta cordifolia A. Rich* |
| Urelob | *Urena lobata L* |
| Wedtri | *Wedelia trilobata (L) Hitche* |

# LISTE DES FIGURES ET PHOTOS


| N° | TITRE | PAGE |
|---|---|---|
| Figure I.1 : | Carte hydrographique de Kinshasa……. | 5 |
| Figure I.2 : | Carte géologique de Kinshasa……..... | 8 |
| Figure I.3 : | Carte géomorphologique de la ville de Kinshasa…… | 11 |
| Figure II.1 : | Carte des stations d'échantillonnage dans les trois hydrosystèmes étudiés…….. | 16 |
| Figure III.1 : | Evolution de la température (°C) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. | 28 |
| Figure III.2 : | Evolution de la température (°C) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. | 29 |
| Figure III.3 : | Evolution de la conductivité (µs/cm) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. | 30 |
| Figure III.4 : | Evolution de la conductivité (µs/cm) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. | 31 |
| Figure III.5 : | Evolution du pH des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. | 32 |
| Figure III.6 : | Evolution du pH des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... | 33 |
| Figure III.7 : | Evolution de la turbidité des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. | 34 |
| Figure III.8 : | Evolution de la turbidité des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... | 35 |
| Figure III.9 : | Evolution de l'oxygène dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. | 36 |
| Figure III.10 : | Evolution d'oxygène dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……..... | 36 |
| Figure III.11 : | Evolution de l'ammonium dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…..... | 37 |
| Figure III.12 : | Evolution de l'ammonium dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. | 38 |
| Figure III.13 : | Evolution des nitrates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… | 39 |

Figure III.14 : Evolution des nitrates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... 40
Figure III.15 : Evolution des nitrites dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 40
Figure III.16 : Evolution des nitrites dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... 41
Figure III.17 : Evolution des phosphates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. 42
Figure III.18 : Evolution des phosphates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. 43
Figure III.19 : Evolution des sulfates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 44
Figure III.20 : Evolution des sulfates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... 44
Figure III.21 : Evolution de la $DBO_5$ dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 45
Figure III.22 : Evolution de la $DBO_5$ dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015…….. 46
Figure III.23 : Evolution de la DCO dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 47
Figure III.24 : Evolution de la DCO dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... 47
Figure III.25 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 86
Figure III.26 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015…….. 87
Figure III.27 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. 88
Figure III.28 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015……. 89
Figure III.29 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 90

Figure III.30 : Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015…… 91
Figure III.31 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 93
Figure III.32 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015……. 95
Figure III.33 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 96
Figure III.34 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015…… 98
Figure III.35 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015… 100
Figure III.36 : Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. 102
Figure III.37 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 104
Figure III.38 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015…….. 105
Figure III.39 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 107
Figure III.40 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015…….. 109
Figure III.41 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……..... 110
Figure III.42 : Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……... 112
Figure III.43 : Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 114
Figure III.44 : Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015……..... 116
Figure III.45 : Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015……...……. 118

| | | |
|---|---|---|
| Figure III.46 : | Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015……... | 120 |
| Figure III.47 : | Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……..... | 121 |
| Figure III.48 : | Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015…….. | 123 |
| | Modèle prédictible de la qualité biologique et écologique des eaux des rivières peu profondes de la ville de Kinshasa…… | 137 |
| Photos III.1 | Stations et bassins versants de la rivière Gombe…… | 57 |
| Photos III.2 | Stations et bassins versants de la rivière Kinkusa…….. | 59 |
| Photos III.3 | Stations et bassins versants de la rivière Mangengenge…… | 61 |

# LISTE DES TABLEAUX


| N° | TITRE | PAGE |
|---|---|---|
| Tableau II.1 : | Définitions granulométriques ……..…… | 20 |
| Tableau II.2 : | Grille d'évaluation de la capacité de la bande riveraine…….. | 21 |
| Tableau II.3 : | Interprétation de la qualité biologique et écologique de l'eau……. | 26 |
| Tableau III.1 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. | 48 |
| Tableau III.2 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015…… | 48 |
| Tableau III.3 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… | 49 |
| Tableau III.4 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015…….. | 49 |
| Tableau III.5 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015….. | 50 |
| Tableau III.6 : | Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. | 50 |
| Tableau III.7 : | Espèces végétale présentes dans la rivière Gombe de 2013 à 2015…. | 52 |
| Tableau III.8 : | Espèces végétale présentes dans la rivière Kinkusa de 2013 à 2015…. | 53 |
| Tableau III.9 : | Espèces végétale présentes dans la rivière Mangengenge de 2013 à 2015…… | 55 |
| Tableau III.10 : | Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… | 58 |
| Tableau III.11 : | Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015……..... | 58 |
| Tableau III.12 : | Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… | 60 |
| Tableau III.13 : | Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015……..... | 60 |
| Tableau III.14 : | Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. | 61 |

Tableau III.15 : Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. 62
Tableau III.16 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…….. 63
Tableau III.17 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 66
Tableau III.18 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015…… 66
Tableau III.19 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015……. 69
Tableau III.20 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Kinkusu en saison pluvieuse de 2013 à 2015……... 70
Tableau III.21 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015……. 73
Tableau III.22 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Kinkusu en saison sèche de 2013 à 2015……..... 74
Tableau III.23 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015…….. 77
Tableau III.24 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015……... 78
Tableau III.25 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015…… 81
Tableau III.26 : Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. 82
Tableau III.27 : Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015……. 85

# LISTE DES ANNEXES

**Annexe 1** : Coordonnées géographiques de stations, caractéristiques hydrologiques, environnementales et végétation de stations ..... 160

**Annexe 2** : Détermination de la Cote de l'I.B.G.N ..... 161

**Annexe 3a** : Résultats des paramètres physico-chimiques prélevés dans les stations d'étude en saison pluivieuse ..... 162

**Annexe 3b** : Résultats des paramètres physico-chimiques prélevés dans les stations étudiées en saison sèche ..... 162

**Annexe 4** : Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 164

**Annexe 5 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 165

**Annexe 6** : Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 166

**Annexe 7 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 167

**Annexe 8 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 168

**Annexe 9 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 169

**Annexe 10 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 170

**Annexe 11 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 171

**Annexe 12** : Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 172

**Annexe 13 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 173

**Annexe 14 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison pluivieuse de 2013 à 2015 ..... 174

**Annexe 15 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 175

**Annexe 16 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015 ..... 176

**Annexe 17 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 177

**Annexe 18** : Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015 ..... 178

**Annexe 19 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 180

**Annexe 20** : Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015 ..... 182

**Annexe 21 :** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015 ..... 184

**Annexe 22 :** Productions scientifiques ..... ….186

**Annexe 23 :** Données climatiques de la ville de Kinshasa (2005-2014) ..... ….187

**Annexe 24 :** Modes opératoires et principes d'échantillonnage de l'eau et traitement au laboratoire ..... 188

**Annexe 25** : Photographies des MIB ……..…….. 189
**Annexe 26** : Cotes de tolérance adaptées selon l'identification à la famille……197
**Annexe 27:** Distribution écologique de MIB ……..201

# INTRODUCTION

La ville de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, est bâtie sur la rive gauche du fleuve Congo. Elle est située à 284 mètres d'altitude, entre 4°19'19'' de latitude Sud et 15°19'6'' de longitude Est (Pain, 1975). Sa superficie est de 9965 $km^2$. Son réseau hydrographique est constitué du fleuve Congo, des rivières allogènes et des rivières locales dont les plus importantes sont : la N'djili et la N'sele. A côté de ces dernières, il y'a également les rivières Gombe, Kinkusa, Lukunga, Bitshaku-Tshiaku, Kalamu, Lukaya, Mango, Tshwenge et Mangengenge.

Kinshasa connaît une croissance urbaine sans précédent. Cette dernière se fait sans organisation d'ensemble. Les schémas directeurs ne sont pas appliqués et s'avèrent totalement inappropriés (Lelo, 2011).

Selon le rapport MICS2, cité par Shomba *et al.* (2015), Kinshasa vit une explosion démographique. L'accroissement naturel, l'exode rural et l'incorporation dans la ville des secteurs et chefferies sont à la base de cette explosion dont le taux de croissance annuelle est estimé à 6%, avec un nombre moyen de 6,7 personnes par ménage pour une population de 6 millions d'habitants en 2000. En 2015, la population de cette mégapole est estimée à 12 millions d'habitants.

L'étalement de la ville et l'inflation de sa démographie ont induit une production exponentielle des ordures ménagères. Et selon Lelo (2008), un individu vivant dans les quartiers populaires de Kinshasa, produit 0,5 kg d'ordures ménagères par jour. Par manque de civisme écologique, une bonne frange de la population déverse ces ordures dans les différents cours d'eau qui serpentent la ville. Aussi, les rivières qui traversent la ville de Kinshasa, comme celles qui traversent les grandes agglomérations africaines, sont utilisées pour l'arrosage, le maraîchage, la baignade et l'élimination des effluents domestiques et industriels (Kabamba, 1981 ; Brusle et Quignard, 2004).

Ces apports exotiques aux hydrosystèmes sont inévitablement, susceptibles de modifier le mécanisme fondamental de leur fonctionnement.

Venot *et al.* (2011) ont qualifié de socioécosystèmes, les écosystèmes qui ont subi des modifications suite à une anthropisation accentuée.

Dejoux *et al.* (1982) ont également qualifié ces cours d'eau de véritable ''système rénal de la nature'' dans la mesure où ils servent à éliminer les déchets ménagers.

L'intensification de l'agriculture le long des cours d'eau d'une ville est une des causes principales de la dégradation des écosystèmes aquatiques (Leight *et al.,* 2010). Malheureusement en République Démocratique du Congo en général, et à Kinshasa en particulier, la règlementation sur les concessions et l'administration des eaux des lacs et cours d'eau (B.O., 1952) et sur la pollution et la contamination des sources, des lacs et des cours d'eau (B.A.C., 1914) est obsolète et son application inexistante. L'absence de l'application de la réglementation en la matière et des normes de qualités écologiques légales ne permet pas d'évaluer le degré de pollution des hydrosystèmes (Micha *et al.*, 1977 ; Micha, 1982).

## Problématique

Selon Tachet *et al.* (2010), dans ses rapports avec la nature, l'homme est intéressé par ce qui le concerne directement : dans le domaine des eaux douces, les poissons et la pollution. De ce fait, les macroinvertébrés, comme d'autres organismes vivants, sont mal connus ou ignorés. Et pourtant, ils constituent un groupe essentiel sur trois niveaux de trois points suivants : la transformation de la matière organique, la nourriture des poissons et l'indication du degré dela pollution.

Dans la ville de Kinshasa, les études sur les MIB sont fragmentaires. Il y a lieu de citer les travaux de : Golama et Lohaka (1999) sur la nécessité de mettre en place une réglementation adéquate relative à l'évacuation des déchets ménagers et industriels via les cours d'eau, et une normalisation de la qualité des eaux superficielles ; Mansiangi *et al.* (1999) sur l'incidence des déchets sur la qualité de l'eau et la biocénose de la rivière Kemi ; Mbadu (2002) sur l'impact de l'utilisation du bassin versant de la Lukunga sur son environnement ; Kamb (2013) sur la structure et la dynamique des peuplements des macroinvertébrés dans la rivière Lukunga ; Kamb *et al.*(2015) sur l'influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés dans les rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge ; Kamb *et al.(*2016) sur l'analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge.

Cependant, la caractérisation des peuplements des MIB de la majeure partie des rivières de la ville de Kinshasa est encore embryonnaire.

## Objetif général

Cette étude a pour objectif de caractériser la structure des biocénoses des macroinvertébrés benthiques des systèmes lotiques de trois rivières de la ville de Kinshasa.

## Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques pour la compréhension de mode de distribution des MIB et l'explication des éléments à la base de cette répartition sont :

- caractériser l'habitat des macroinvertébrés benthiques à partir des paramètres environnementaux caractéristiques de chaque rivière ;
- inventorier la macrofaune benthique de ces cours d'eaux ;
- déterminer la composition de la végétation aquatique et de celle bordant chaque cours d'eau afin de relever l'influence de celle-ci sur la chimie de l'eau et sur la diversité taxonomique ;
- évaluer la qualité biologique et écologique de ces hydrosystèmes.

## Intérêt

Cette étude est une contribution à l'approfondissement des connaissances sur la faune des MIB de trois rivières de la ville de Kinshasa.

## Subdivision du travail

Outre l'introduction et la conclusion, cette thèse s'articule autour de trois chapitres :

- le premier traite des généralités sur le milieu d'étude (ville de Kinshasa) à travers une revue bibliographique se rapportant à sa situation géographique, à ses conditions climatiques, à son hydrographie et à ses caractéristiques abiotiques ;
- le deuxième décrit le milieu d'étude, le matériel et les méthodes utilisés ;
- le troisième présente les résultats obtenus et la discussion qui en découle.

# CHAPITRE I

# GENERALITES

## I.1 Considérations générales de la ville de Kinshasa

### I.1.1 Localisation

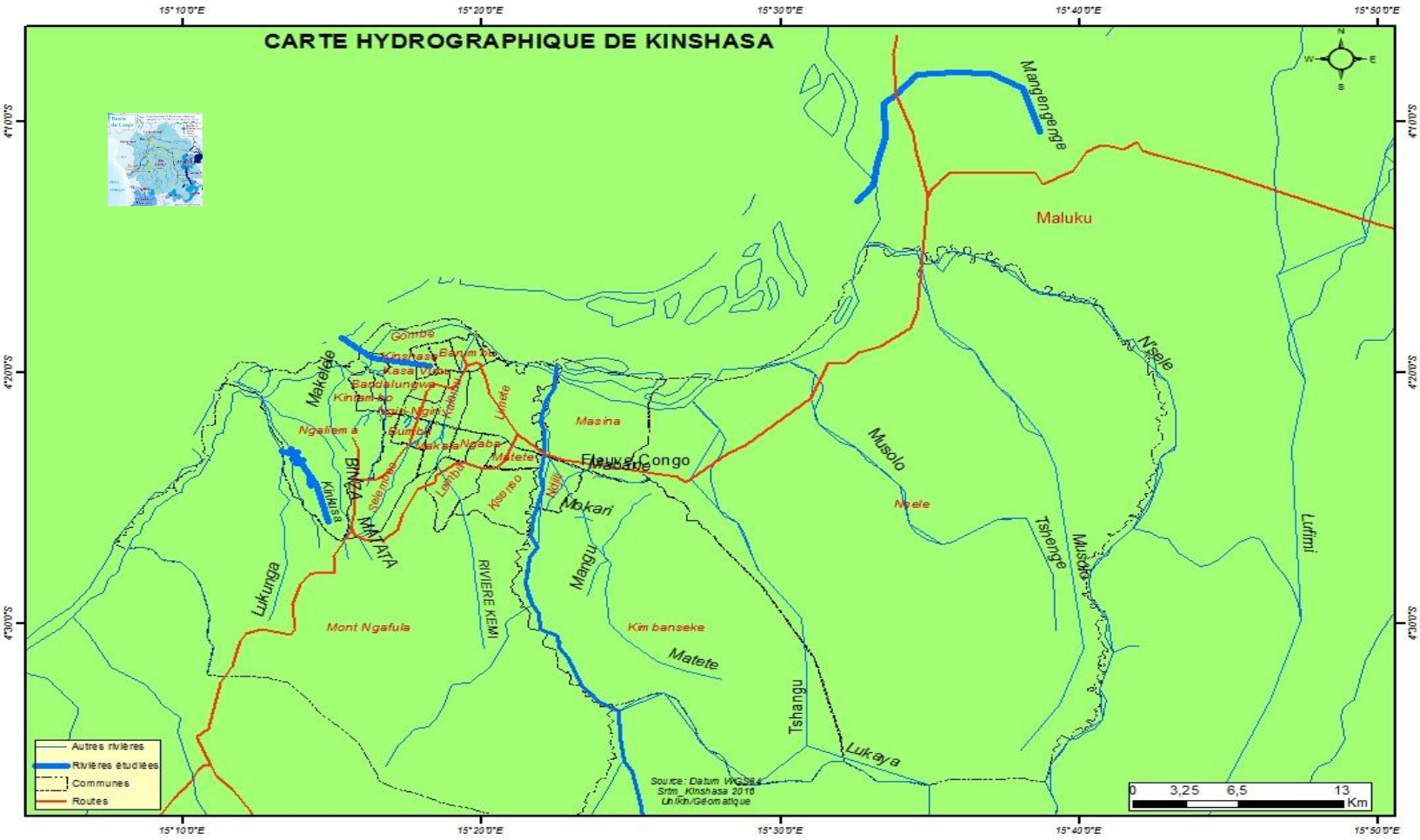
La ville de Kinshasa est limitée :

- au Sud par la province du Kongo Central ;
- à l'Est par les provinces de Mai-ndombe, Kwango et Kwilu ;
- au Nord -Ouest par le fleuve Congo qui marque la frontière naturelle entre la République Démocratique du Congo et la République du Congo.

La ville de Kinshasa, située entre 4° et 5° de latitude Sud, et entre 15° et 16° de longitude Est ; est la plus grande de la République Démocratique du Congo. Elle couvre 9.965 $km^2$ (De Saint Moulin, 2005).

Kinshasa s'est développé dans la plaine en bordure du fleuve Congo qui est située à 300 m d'altitude et qui s'étend sur environ 200 $km^2$. C'est la zone la plus densément peuplée et la plus anciennement habitée, zone appellée « la ville basse ». Après l'indépendance en 1960, la ville s'est étendue sur le complexe collinaire l'entourant et culminant à environ 600 m d'altitude (Kayembe *et al.*, 2009).

Selon Pain (1979 et 1984), l'urbanisation de la ville de Kinshasa suit la structure de relief avec plus de concentration dans la zone Est qu'occupe une plaine allant de la commune de la Gombe à celle de Maluku. La figure I.1 illustre la carte hydrographique du bassin du Congo montrant la ville de Kinshasa et les rivières étudiées.




Source : Datum WGS84 Srtm_Kinshasa 2016 Unikin/Géomatique

**Figure I.1.** Carte hydrographique de Kinshasa

### I.1.2 Données démographiques

La population actuelle de la ville de Kinshasa, comme déjà sigalée serait de 12 millions d'habitants. Cette ville se classe parmi les mégapoles du monde. Allusion faite au rapport de l'ONU (2015) pour certaines capitales comme : Le Caire (16.542.314 habitants), Lagos (13.122.800 habitants) et Tokyo (9,273 millions d'habitants).

Selon Ricquier (1949), la population de Kinshasa comportait 189.000 habitants (soit 180.000 indigènes ayant sextuplé en 15 ans et la population européenne quintuplée dans la même période).

Selon Capelle (cité par Ricquier, 1949), l'examen des statistiques relatives à la population autochtone a permis de faire les observations suivantes :

- de 1923 à 1929, la population a crû régulièrement ;
- de 1929 à 1934, elle a diminué à la suite de la crise économique qui fut particulièrement sévère au Congo ;
- dès 1934 et jusqu'en 1940, l'augmentation s'est manifestée à nouveau de façon continue ;
- de 1940 à 1948, la population a triplé suite à la reprise des activités économiques qui ont nécessité une main-d'œuvre importante.

La croissance démographique, de 1955 à 1960 a connu un ralentissement à cause du refoulement de Kinshasa des chômeurs et des sans-emploi. Cette croissance couplée à l'exode rural a repris après l'indépendance c'est-à-dire de 1960 à 1970. Elle est passée de 1.679.091 à 2.722.000 entre 1975 et 1985. De 1985 à 1995, cette population est passée à 4.493.000 habitants. De 1995 à 2005, sa population a atteint un effectif de 6.766.000 habitants et de 2005 à 2015, la ville de Kinshasa a atteint 12.000.066 habitants. Cette inflation démographique est due au laxisme de l'administration publique et aux rébellions qu'a connue la République Démocratique du Congo (Shomba *et al.*, 2015).

### I.1.3 Sols et géologie

Selon Flouriot *et al.* (1975), le soubassement du précambrien affleure à hauteur des rapides sur le fleuve Congo au pied de Mont Ngaliema, en aval de Kinshasa et en amont de la rivière N'djili au Sud. Ce soubassement est composé essentiellement de roches gréseuses rouges et finement stratifiées.

Les caractéristiques des sols de la ville de Kinshasa varient en fonction de la structure géomorphologique des plaines, des plateaux, des collines et des marécages.

Selon Sys *et al.* (1961), les sols de Kinshasa appartiennent à l'ordre des Kaolisols, au sous-ordre des hydro-xérokaolisis et au grand groupe d'arénoféralsols.

D'une manière générale, ces sols sont essentiellement sablonneux et ont une faible capacité de rétention d'eau (figure I.2).

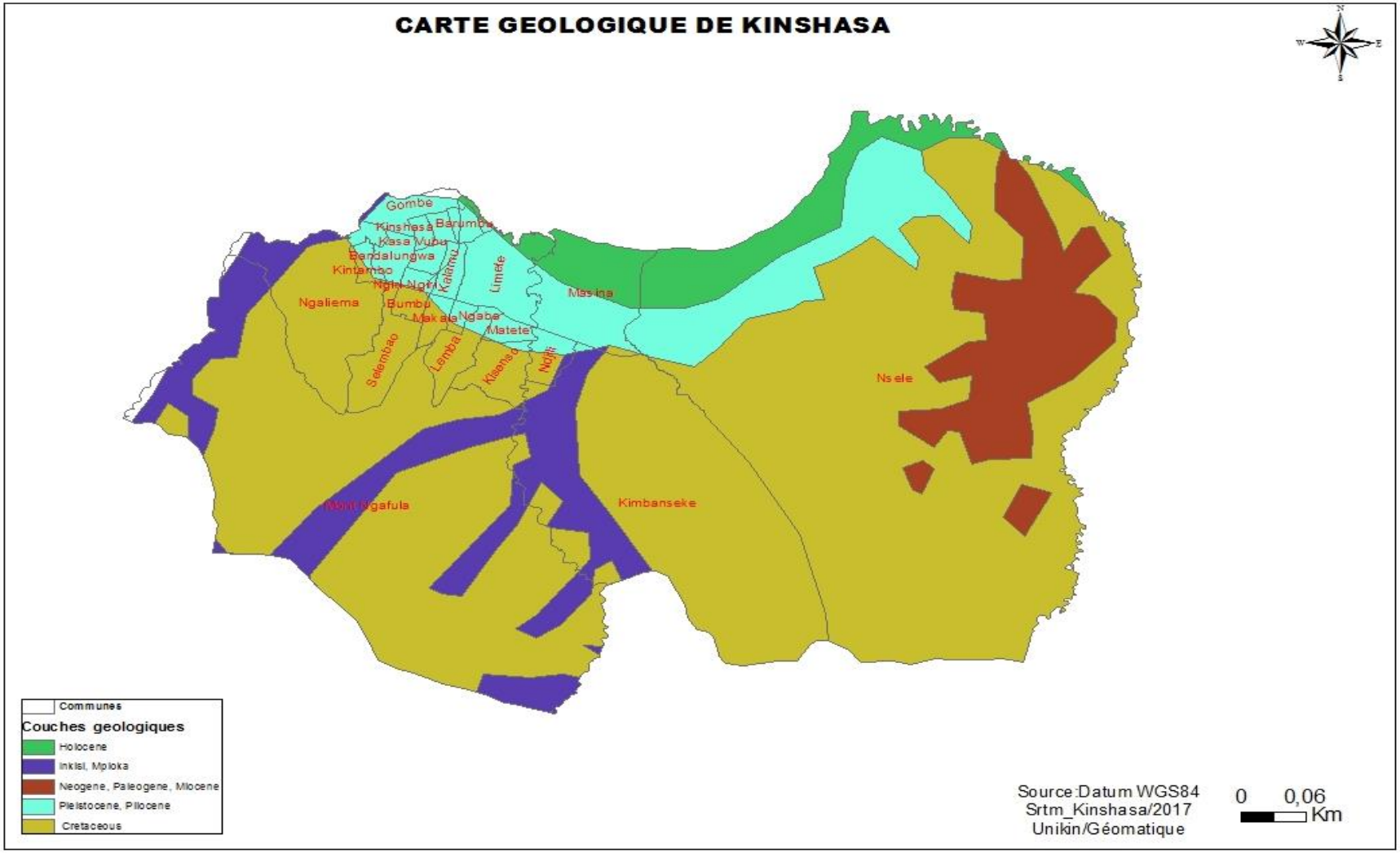
Le plateau de Bateke est couvert d'arénoféralsol, à profil de type AC, structure des sols que l'on trouve aussi sur les collines ; et de podzols, comme dans les plaines et les mares asséchées.

Vers les collines du Sud-Ouest, il y a, par endroits, mélange d'arenoféralsols avec d'autres sols à tendance kaolinitique ou ferralitique. Ce sont des sols minéraux développés sur du sable kalaharien. Ils sont caractérisés par une teneur en argile de moins de 20% sur au moins 100cm de profondeur, par une faible réserve de minéraux altérables et par une faible capacité de rétention d'eaux.

Dans les plaines, il y a 2 types de sols : les sols organiques caractérisés par la présence de la matière organique dans la première couche (à une trentaine de centimètres de la surface) et les podzols localisés dans certaines parties planes. Dans l'ensemble, les plaines de la ville de Kinshasa sont constituées de sables dans la première couche.

Ces sables qui se posent sur des grès tendres manifestent trois formations différentes :

- du sable kaolinien, argileux, micacé et de couleur blanche ;
- du sable limoneux brun ou orangé ;
- du sable grossier, peu argileux et blanchâtre.




Source : Datum WGS84 Srtm_Kinshasa 2017 Unikin/Géomatique

**Figure I.2.** Carte géologique de Kinshasa

### I.1.4 Relief

Selon Pain (1979), le relief de la ville de Kinshasa (figure I.3) est caractérisé par l'existence de quatre éléments principaux : pool, plaine, terasse de 325m et collines.

### I.1.4.1 Pool

Le pool actuel est la partie du fleuve Congo situé entre Maluku et les rapides de Kinsuka. C'est l'élargissement du fleuve Congo qui se situe à une altitude moyenne de 272 m et s'étend entre 4°05' et 4° 20' latitude Sud et 15° 19' et 15 ° 32' longitude Est. Le fleuve y est très actif et seule la baie de Ngaliema constitue, en recul du courant principal, une zone de sédimentation. Son influence sur la géomorphologie de la partie urbanisée du site est sensible.

La limite entre le pool actuel et la plaine est constituée de talus d'une dizaine de mètres à l'Est de la N'djili mais aussi d'abruptes falaises de plus de dix mètres à l'Ouest de la N'djili dont la falaise de la Gombe.

Les anciens pools ont fonctionné d'une manière identique au pool actuel qui n'est pas une simple étendue d'eau mais bien plutôt un complexe d'îles sillonné de chenaux et bordé par endroit de basses plaines marécageuses dont les contours et le dessin changent sans cesse.

### I.1.4.2 Plaine

La plaine de Kinshasa forme l'espace le plus urbanisable de la ville. L'érosion y est peu sensible ; seules les inondations dues au mauvais drainage présentent un inconvénient saisonnier. La basse terrasse qui constitue la plaine de Kinshasa est un ancien pool du fleuve. Elle se divise en deux parties : à l'Ouest, la plaine de Kinshasa proprement dite et à l'Est, la plaine située entre les rivières N'djili et N'sele.

Dans la plaine de Kinshasa, on observe des aires surélevées et allongées qui culminent à 290 m et 305 m et qui sont séparées par des zones basses orientées grossièrement de l'Est à l'Ouest, du Nord à l'Ouest ou du Sud à l'Est.

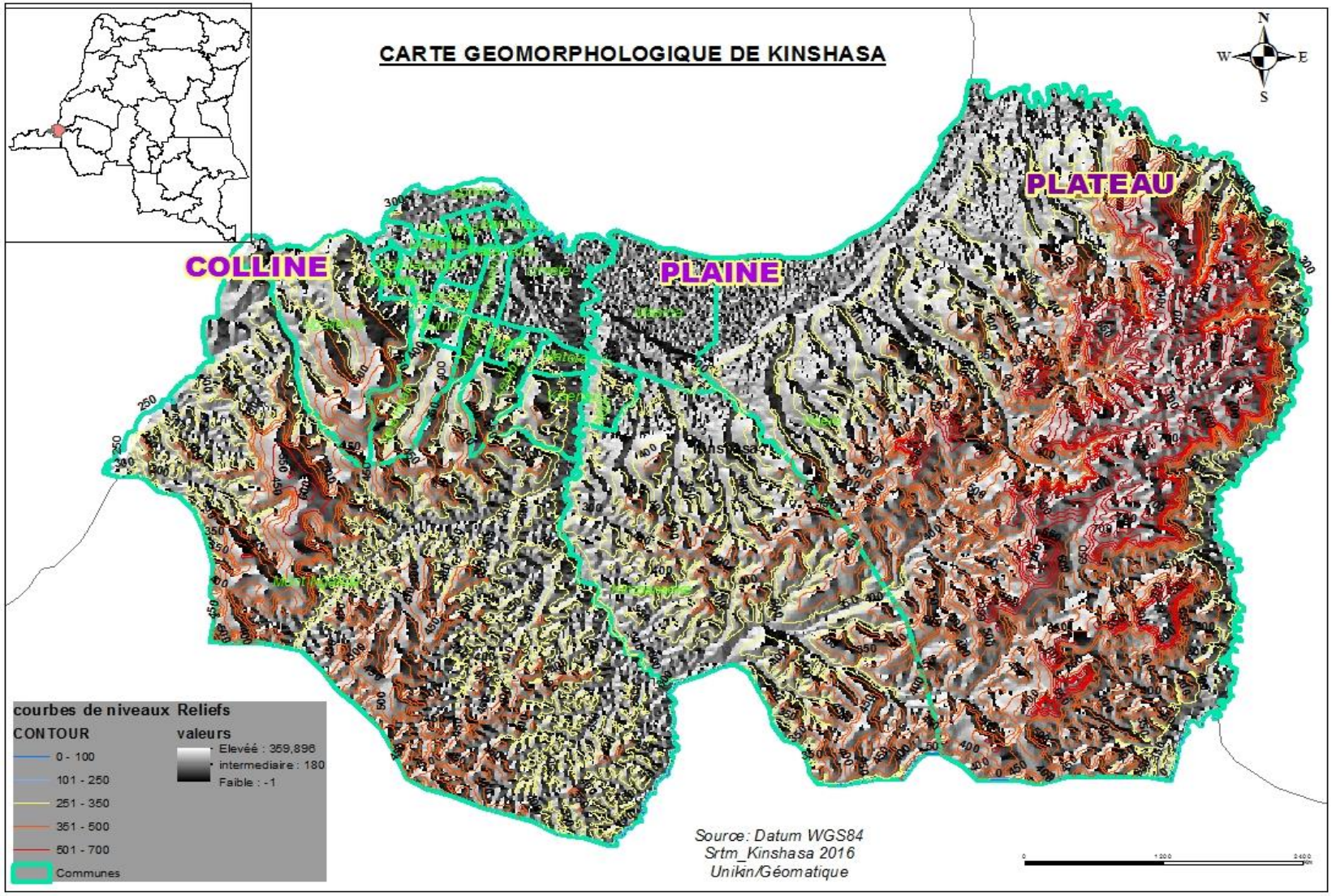
Cet ensemble occupe la majeure partie de la ville basse. Il est bordé au Sud par une zone plus étroite qui monte en pente douce entre les côtes de 300 m et de 310 m et en un glacis s'arrêtant au pied de la terrasse de 325m.

### I.1.4.3 Terrasse de 325 m

Cette terrasse est un ensemble de collines basses qui surmontent la plaine de 10 à 25 m. Elle est le vestige d'une surface qui ne subsiste que dans la partie occidentale de la ville, entre N'djili et Mont-Ngafula, au pied des collines dont elle constitue en quelque sorte la première marche. Comme la plaine, cette terrasse est constituée d'un dépôt caillouteux de blocs de grès tendres mêlés de grès silicifiés recouvrant une argile jaune et surmonté de limon brun. La terrasse de 325 m est le reste du Pool le plus ancien et le plus étendu car à ce niveau, le fleuve a rencontré davantage de résistance au creusement.

### I.1.4.4 Collines

Les collines commencent à quelques kilomètres du Pool Malebo. Certaines d'entre elles sont considérées comme des buttes témoins du plateau de Bateke. A l'Ouest et au Sud, rien n'indique clairement leur origine. Elles s'étendent sur une très grande profondeur et culminent à plus de 700 m. Elles sont arrondies aux formes molles façonnées et modelées par les rivières locales qui creusent de nombreuses têtes de vallon en forme de cirques.




ɔ

**Source** : Datum WGS84 Srtm_Kinshasa 2016 Unikin/Géomatique)

**Figure I.3.** Carte géomorphologique de la ville de Kinshasa

### I.1.5 Données climatiques

Pour caractériser le climat de la région de Kinshasa, les éléments thermiques, l'humidité relative et les précipitations ont été récueillies à la station météorologique de Kinshasa Binza durant une période de 10 ans, soit de 2005 à 2014.

La ville de Kinshasa jouit d'un climat tropical de type AW4 selon la classification de Köppen. La saison sèche très accentuée s'étend de fin mai à mi-septembre (Bultot, 1954 ; Compere, 1970). Selon Compere (1970), ce climat est influencé par sa proximité avec l'océan Atlantique et particulièrement par les vents alizés du Sud Ouest et le courant marin froid du Benguela.

La saison sèche commence vers la fin du mois de mai et se termine à la mi-septembre. Le reste des mois de l'année est caractérisé par une saison pluvieuse, intercalée par une courte saison sèche entre janvier et février qui devient de plus en plus aléatoire compte tenu des mutations climatiques. La classification de Köppen nécessite une mise à jour. Les températures moyennes mensuelles de la ville de Kinshasa enrégistrées à la station metéorologique de Kinshasa ont oscillé entre 22,36°C en juillet et 26,03°C en mars. La température moyenne sur les 10 années a été de 24,66°C (annexe 23 a).

Les précipitations de Kinshasa pour la période allant de 2005 à 2014 sont reprises à l'annexe 23 b. Elles ont oscillé entre 1211,7 mm (en 2005) et 1898,5 mm (en 2012). La moyenne annuelle est de 1642,8 mm pour toutes les dix années.

## I.2 Macroinvertébrés benthiques (MIB).

### I.2.1 Définition

Les invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de colonne vertébrale, d'os ni de cartilage. Les Macroinvertébrés benthiques sont des organismes animaux visibles à l'œil nu tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs (Tachet *et al.*, 2006 ; Moisan et Peletier, 2008).

Selon Cummins (1975), les macroinvertébrés ont une taille comprise entre 3 et 5 millimètres au dernier stade de leur développement, ce qui implique un recouvrement des tailles entre les stades jeunes des macroinvertébrés et leurs derniers stades.

### I.2.2 Rôle des Macroinvertébrés benthiques

Les macroinvertébrés benthiques forment un groupe important des écosystèmes d'eau douce. Plusieurs études ont montré qu'un grand nombre de poissons des rivières africaines consomment en majorité des invertébrés. Le pourcentage des espèces zoophages est de 80 % (Leveque et Paugy, 2006). Ils constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, car ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Foto *et al.,* 2010).

Les macroinvertébrés benthiques sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, leur cycle de vie varié, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (Micha et Noiset, 1982 ; Moisan et Peletier, 2008).

C'est un groupe très diversifié, et les organismes le composant possèdent des sensibilités variables à différents stress telle la pollution ou la modification de l'habitat (Verniers et Micha, 1982 ; Alhou, 2008 ; Moisan, 2010 ; Alhou, 2014).

Les macroinvertébrés présentent une sensibilité différentielle aux différentes formes de pollutions, et peuvent être utilisés comme témoins de ces dernières (Micha *et al.,* 1977 ; Micha, 1982 ; Verniers et Micha, 1982 ; Tachet *et al.,* 2010).

L'utilisation des macroinvertébres dans l'étude de la qualité des eaux est devenue très fréquente et diversifiée, ce qui explique l'explosion de nombreuses méthodes utilisées actuellement pour évaluer l'état des écosystèmes aquatiques :

- l'étude de la structure et de la composition des macroinvertébrés (Lomond et Colbo, 2000 ; Tumwesigye *et al.,* 2000),
- l'utilisation des indices biotiques (Lafont *et al.,* 1991 ; Micha *et al.,* 1999 ; Solimini *et al.,* 2000),
- l'utilisation des traits biologiques (Usseglio-Polatera *et al.,* 2000 ; Usseglio-Polatera, 2002 ; Statzner *et al.,* 2004 ; Vanden Bossche & Usseglio-Polatera, 2005 ; Mondy *et al.,* 2012) et

les analyses multivariées qui mettent en relation les facteurs environnementaux et les communautés de macroinverébrés (Lancaster, 1999 ; Sarkar *et al.,* 2005 ; Piscart *et al.,*2005 ; Floury *et al.,* 2013).

Dans certains pays, la surveillance biologique constitue un élément essentiel pour évaluer la qualité de l'eau (Piscart *et al.,* 2005).

Fortement diversifiés et occupant une large gamme d'habitats, les macroinvertébrés sont d'excellents témoins de la qualité des habitats où ils se rencontrent,

d'où leur utilisation de plus en plus fréquente dans différents types d'indices biotiques (Micha et Noiset, 1982 ; Descy et Micha, 1988 ; Micha *et al.*, 1999 ; Tachet *et al*., 2010).

En sus, les macroinvertébrés jouent un rôle très important dans la transformation de la matière organique. Une part importante des feuilles d'arbres qui tombent et qui sont entraînées par le vent dans les eaux stagnantes ou courantes, ne sont dégradées que lentement sous l'action des microorganismes. Les macroinvertébrés interviennent en les dissociant en éléments plus fins pour faciliter l'action de ces microorganismes (Tachet *et al.*, 2010).

# CHAPITRE II

# MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

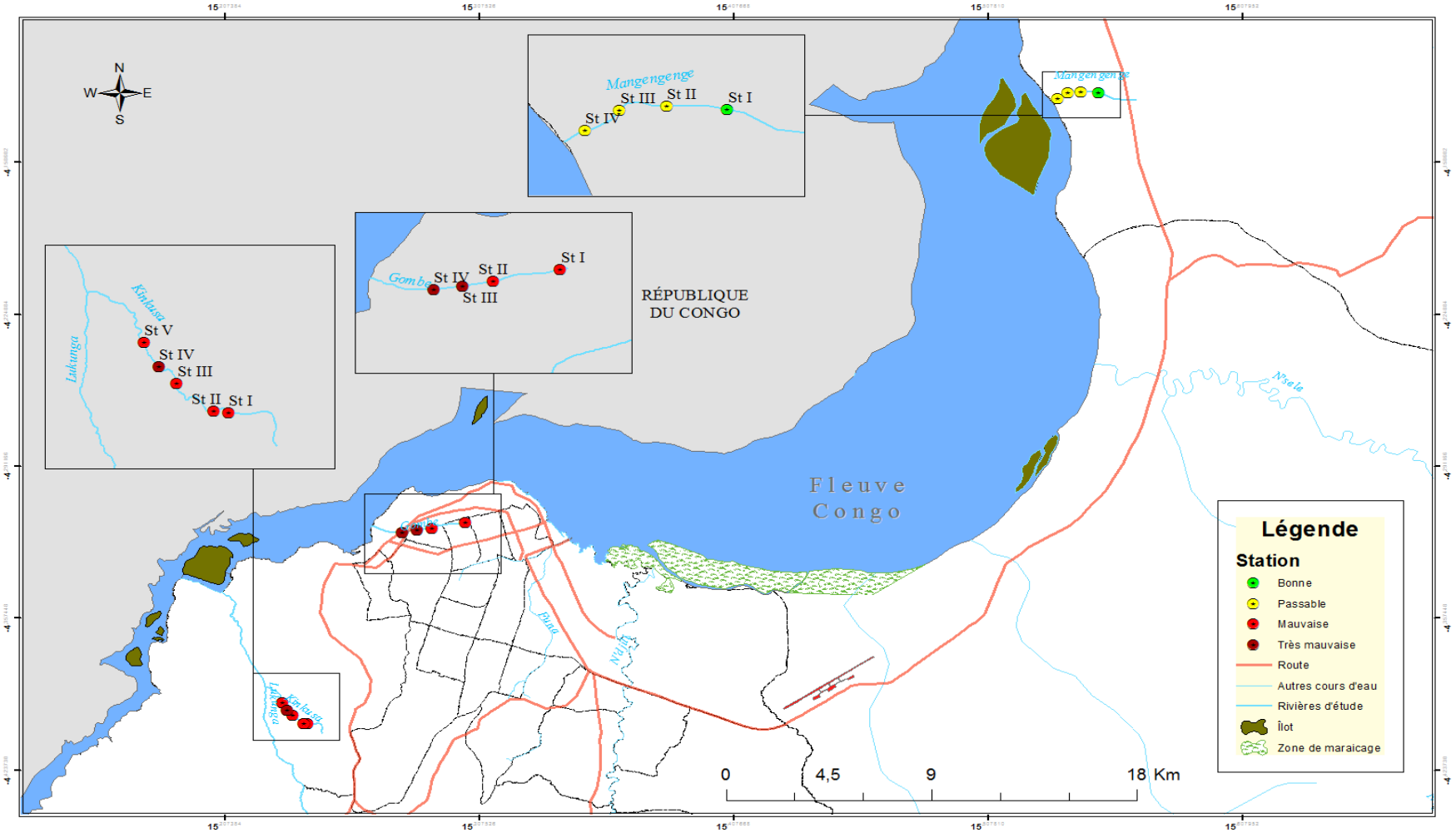
## II.1 Description du milieu d'étude

Les hydrosystèmes étudiés dans la présente thèse, font partie des rivières locales (Flouriot *et al.*, 1975), c'est-à-dire nées sur le site de Kinshasa (figure II.1).

Le choix opéré sur la Gombe repose sur le fait que son lit serpente plusieurs quatiers habités ; celui sur la Kinkusa est justifié par le fait que son bassin versant est victime d'un processus d'urbanisation sauvage ; celui sur la Mangengenge par le fait que son bassin versant est non anthropisé.

L'évaluation de la structure des Macroinvertébrés benthiques des trois rivières étudiées a été faite par station, en tenant compte de ses caractères hydrologiques moyens (largeur et profondeur du lit, vitesse d'écoulement), de la stabilité des berges et de l'absence de trace d'une source de pollution.

Treize stations ont été choisies d'amont en aval et leurs coordonnées géographiques déterminées à l'aide d'un GPS (Global Positionning System) de marque Garmin II.




Source : Datum WGS84 Srtm_Kinshasa 2016 Unikin/Géomatique

**Figure II.1.** Carte des stations d'échantillonnage dans les trois hydrosystèmes étudiés

### II.1.1 Géomorphologie et géologie des bassins versants

## II.1.1.1 Rivière Gombe

La Gombe est une rivière qui traverse de grandes agglomérations. Sa source située dans la commune de Linguala, la Gombe est longée par des immeubles et elle fait l'objet de plusieurs activités anthropiques qui ont modifié la nature du bassin versant.

Elle reçoit des effluents provenant des activités diverses (eaux ménagères, eaux vannes etc…). Les eaux de la rivière Gombe coulent d'Est à l'Ouest sur une longueur de 4,3 km (Lelo, 2008) et se jettent dans le fleuve Congo.

Selon De Maximy et Van Caillie (1974), le bassin versant de la Gombe est situé dans une zone d'érosion nulle, avec un espace urbanisé spécialisé. Toutefois la zone de son embouchure est constituée des berges alluvionnaires, avec un bassin versant droit formé d'érosion active et un processus de ruissellement diffus et continu.

De Maximy et Van Caillie (1974) ont établi que la rivière Gombe coule sur des grès tendres blancs ou roses.

## II.1.1.2 Rivière Kinkusa

La Kinkusa prend sa source dans le versant des collines du quartier UPN. Elle traverse une zone non urbanisée et coule sur un parcours de 7,5 km avant de se jeter dans la rivière Lukunga.

Elle draine des ordures ménagères et des polluants issus des activités de maraichage et d'élevage effectuées sur son bassin versant et reçoit des effluents domestiques (eaux ménagères et eaux vannes). Ce bassin versant présente encore des recrues de galeries forestières.

De Maximy et Van Caillie (1974), décrivent le bassin versant de la Kinkusa qui baigne dans une zone d'érosion lente avec un processus de ruissellement diffus et discontinu.

L'intensité de l'érosion est caractérisée par un alluvionnement avec un processus des dépôts de crues.

### II.1.1.3 Rivière Mangengenge

La Mangengenge prend sa source dans les montagnes qui portent le même nom. Elle coule d'Est à l'Ouest, sur une longueur approximative de 5 km avant de se jeter dans le fleuve Congo.

Son bassin versant est dominé par une savane boisée et son lit fend une forêt secondaire composée essentiellement d'*Alcornea cordifolia (*schumach & Thonn) Miill Arg. et *Oncoba Welwitshi (Olix) Gilg*. La géologie de ce bassin est essentiellement constituée des roches silicifiées ou grès polymorphes.

## II.2 Matériel

Onze mille trois cent vingt-huit (11.328) MIB ont été échantillonnés dans les rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge et, ce durant la période allant de 2013 à 2015. Cinq mille trois cent soixante-trois (5.363) MIB ont été récoltés en saison pluvieuse et cinq mille neuf cent soixante-cinq (5.965) autres en saison sèche, selon une périodicité bimensuelle.

Les spécimens échantillonnés dans la rivière Gombe appartiennent à 3 classes, 7 ordres et 17 familles. Ceux récoltés dans la rivière Kinkusa appartiennent également à 3 classes, 8 ordres et 19 familles tandis que ceux recueillis dans la Mangengenge sont regroupés dans 2 classes, 6 ordres et 24 familles.

## II.3 Méthodes

Dans chaque hydrosystème étudié, 4 à 5 stations de 100 m de longueur, ont été selectionnées d'amont en aval, après prospection du milieu d'étude.

L'examen de la biocénose benthique a été effectué en tenant compte des paramètres hydrologiques, physico-chimiques ainsi que du substrat de fond inhérent aux différentes stations.

### II.3.1 Mode de caractérisation de l'hydrologie des hydrosystèmes

Les hydrosystèmes étudiés ont été caractérisés par la largeur moyenne du lit, la profondeur moyenne de la colonne d'eau, la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau et le substrat de fond.

Les mesures de la largeur moyenne du lit et de la profondeur moyenne de la colonne d'eau, ont été effectuées dans chaque station à l'aide d'un mètre ruban de 10 m (précision 0,1 cm) et d'une règle plate de 1m (précision 0,1 cm).

La vitesse moyenne (cm/s) a été mesurée à l'aide d'un courantomètre de marque Flo-mate Marsh-Mcbirney Inc, 2000. Le substrat de fond a été évalué en pourcentage de recouvrement dans les différentes stations.

### II.3.1.1 Description des stations

Les coordonnées géographiques ainsi que les caractéristiques environnementales des stations dans chaque hydrosystème étudié sont reprises en annexe 1.

## II.3.2 Evaluation des paramètres physico-chimiques

### II.3.2.1 Paramètres physiques

Quatre paramètres physiques ont été prélevés *in-situ*, à cause de leur sensibilité aux conditions du milieu et leur susceptibilité à varier dans des proportions importantes de nature à influencer l'interprétation. Il s'agit : de la température (°C), de la conductivité à 20°C (µS/cm), de la turbidité (UNT : Unité Néphélométrique de Turbidité) et du pH.

La température (précision ±0,5°C), la conductivité (précision ±2%), et le pH (précision ±0,05), ont été mesurés à l'aide d'une sonde à l'analyseur multiparamètre de marque Combo Hanna HI 98130.

La sonde multiparamètre WTW340i/Set a permis de mesurer la turbidité.

### II.3.2.2 Paramètres chimiques

L'oxygène dissous (précision 0,09) a été prélevé *in-situ* à l'aide d'une sonde multiparamètre de marque WTW 340i/Set.

Plusieurs autres paramètres chimiques de l'eau ont été analysés au laboratoire du Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA/CREN-K) à partir des échantillons d'eau prélevés.

Le spectrophotomètre de marque HACH DR/2400 a permis d'évaluer ces paramètres qui sont : l'ammonium ($NH_4^+$) (précision 0,10), les nitrites ($NO_2^-$) (précision 0,002), les nitrates ($NO_3^-$) (précision 0,004), les phosphates ($PO_4^{3-}$) (précision 0,3), et les sulfates ($SO_4^{2-}$) (précision 1).

Pour permettre la lecture des résultats de l'analyse sur le spectrophotomètre, l'eau échantillonnée a été filtrée à l'aide des papiers filtres, les réactifs respectifs ont été ajoutés puis le Programme Hach (PH) de l'élément ou de l'ion à doser a été sélectionné.

La Demande Biologique en Oxygène ($DBO_5$) a été déterminée après incubation pendant 5 jours dans une enceinte thermostatée (Les conditions communément utilisées sont 5 jours à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air) (Annexe 24).

### II.3.3 Caractérisation des habitats benthiques

Les échantillons des sédiments du fond du lit des cours d'eau étudiés, ont été prélevés dans chaque station. L'évaluation de la taille des particules colloïdales a été effectuée au laboratoire du Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA/CREN-K). Leur analyse a permis de définir ces sédiments de manière qualitative et quantitative.

La biodiversité d'un écosystème est directement liée à la qualité des différents types d'habitats que ce dernier offre aux divers peuplements et population, qui la composent (Evrard et Micha, 1995).

Le substrat pris en compte, dans cette étude, est composé d'éléments minéraux et organiques.

Selon Fournier *et al*. (2012), les définitions granulométriques sont nombreuses et variables, et dépendent des auteurs, de l'échelle spatiale des secteurs géographiques étudiés et de la nature des sédiments rencontrés. La classification granulométrique de Fournier *et al*. (2012), a été adoptée (tableau II.1).

**Tableau II.1.** Définitions granulométriques selon Fournier *et al.* (2012)

| **Taille** | | **Dénomination** |
|---|---|---|
| > 20mm | | Galets < |
| | 5 à 20 mm | Graviers |
| 2 mm | 2 à 5mm | Granules |
| | 1 à 2mm | Sable grossier |
| | 0,5 à 1mm | Sable moyen |
| 200µm | 200 à 50µm | Sable fin |
| | 100 à 200µm | Sablon grossier |
| 63µm | 63 à 100µm | Sablon fin |
| | 40 à 63 µm | Silt |
| | 2 à 40µm | Vase |
| <2mm | | Argile |

### II.3.4 Détermination de la composition floristique des bassins versants

L'identification des plantes récoltées a été effectuée au laboratoire des ressources animales et végétales du Département de Biologie de l'UPN ; en tenant compte de la classification botanique des angiospermes établie par l'Angiosperms Phylogeny Group APG III (2009).

Les travaux de Lebacq *et al.* (1967), Lejoly *et al.* (1988), Terashima *et al*. (1989), Massens (1997), Tailfer (1998), Judd (1999), Pauwels (2003), Nyakabwa (2004), Nyakabwa, (2006), Mangilu (2007), Pauwels (2007) et Belesi (2009) ; ont été utilisés pour la vérification et la précision des noms scientifiques.

### II.3.5 Indice de Qualité de la Bande Riveraine (IQBR)

La qualité de la bande riveraine est généralement mise en relation avec la qualité biotique d'un hydrosystème.

Cette bande riveraine essentiellement constituée de la végétation, est une zone intermédiaire entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. La caractérisation et l'évaluation de sa condition écologique pourraient permettre une mise en relation directe entre la qualité de l'habitat de l'écosystème riverain et celle retrouvée dans les cours d'eau (Saint-Jacques et Richard, 1998).

Pour les trois rivières, quatre à cinq stations ont été sélectionnées. A chaque station de rivières correspond un secteur de la bande riveraine. Le pourcentage de recouvrement de chaque composante, a été évalué visuellement, la somme de recouvrements devant égaler 100%.

Les données ainsi recueillies ont été combinées de manière à obtenir des renseignements sur la station (Saint-Jacques et Richard, 1998).

Pour chaque station de la rivière, l'Indice de Qualité de la Bande Riveraine (IQBR) a été calculé à l'aide de la formule proposée par la CBJC (2010) :

$$IQBR = \left[\sum (\%i.Pi)\right]/10 \ ;$$

Avec :

$i$ : énième composante ;

$\%i$ : pourcentage du secteur couvert par la énième composante ;

$Pi$ : facteur de pondération de la énième composante.

Les différentes valeurs de l'Indice de Qualité de la Bande Riveraine (IQBR) ont été comparées au barème de capacité de la bande riveraine à exercer ses fonctions écologiques (CBJC, 2010). Le tableau ci-dessous présente la grille d'évaluation de la bande riveraine.

**Tableau II.2.** Grille d'évaluation de la capacité de la bande riveraine

| **IQBR** | **Capacité de la bande à remplir ses fonctions écologiques** |
|---|---|
| ≤19 | Très faible |
| 19 à 46 | Faible |
| 47 à 58 | Moyen |
| 59 à 74 | Bon |
| 75 à 100 | Excellent |

Source : CBJC, 2010

## II.3.6 Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques

### II.3.6.1 Technique d'échantillonnage

Une approche multihabitat a été adoptée pour la récolte des spécimens dans chaque station. Trois bandes parallèles au chenal, ont été fixées dans chaque station, l'une comprenant la rive droite, l'autre la rive gauche et la troisième le centre du cours d'eau (Goaziou, 2004). Ce protocole a été appliqué compte tenu du caractère meuble du substrat (Moisan et Pelletier, 2011).

Les macroinvertébres benthiques ont été prélevés à l'aide d'un surber. Ce dernier est constitué d'un cadre métallique vertical de 30 cm de coté sur lequel est fixé un filet cônique à maille de 1 mm, et d'une structure horizontale de 30 cm de côté également. Le matériel est posé horizontalement sur le substrat, l'ouverture du filet orientée à contrecourant facilitant la récupération des macroinvertébres localisés dans cette aire chaque fois que le substrat est agité.

Les spécimens récoltés ont été déposés dans des bocaux transparents de 2 litres, contenant l'eau du site afin de permettre leur mobilité et faciliter leur capture ; après un premier tri consistant à les séparer des matières organiques ainsi des autres sédiments (vase, sable, galet etc…). Chaque bocal a porté les mentions suivantes : nom de la rivière, nom de la station, date et heure du prélèvement, section de la station où le prélèvement a été opéré (berge gauche, milieu du lit, berge droite). Le substrat a été aussi prélevé pour en identifier la nature au laboratoire.

### II.3.6.2 Identification des macroinvertébrés au laboratoire

Les spécimens prélevés *in-situ* ont été fixés dans du formol 4% conditionné dans des flacons de 10 ml, avant leur identification jusqu'au niveau de la famille, à l'aide des clés de détermination proposées par Macan (1959), Durand et Lévêque (1981), Evrard (2001), Tachet *et al*. (2010) ; sous stéréo-loupe et occasionnellement à l'aide d'un microscope à l'objectif 10X pour certains détails précis.

Les flacons contenant des individus identifiés ont porté des étiquettes comportant les mêmes informations que les bocaux.

Le formol a été utilisé pour une conservation ultérieure des spécimens.

Afin de réduire le risque d'erreur, la position systématique a été fixée jusqu'au niveau de la famille. Ce niveau systématique est utile lorsqu'on veut obtenir un portrait général d'un écosystème aquatique (Touzin, 2008). Ce choix constitue un compromis entre ce qui est souhaitable d'un point de vue information écologique et possible d'un point de vue

identification (Tachet *et al.,* 2010). Dans une étude d'évaluation de l'intégrité biotique d'un hydrosystème basée sur les MIB, les résultats obtenus recouvrent, pour l'essentiel, ceux obtenus en fonction de l'espèce (Goaziou, 2004).

### II.3.7 Traitement des données

Les données se référant à la structure des peuplements des macroinvertébrés benthiques des trois hydrosystèmes, ont été soumises à divers traitements statistiques. La méthode avec variables simples a été adoptée compte tenu du nombre insuffisant des stations de référence.

Outre les différentes métriques inhérentes à la méthode avec variables simples, les données relatives aux macroinvertébres benthiques ont été corrélées, d'une part à la présence de la végétation dans les trois rivières et d'autre part, aux différents paramètres abiotiques. Et cette corrélation a été effectuée à l'aide de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ainsi que de l'Indice Biotique Global Normalisé (IBGN) (Micha *et al.,* 1999 ; AFNOR, 2004).

#### II.3.7.1 Diversité taxonomique

La diversité taxonomique est représentée par deux composantes : la richesse taxonomique et l'abondance relative (Campbell et Reece, 2007).

Cinq indices ont été calculés pour comparer la diversité taxonomique stationnelle des rivières. Il s'agit de : la richesse taxonomique, la composition taxonomique, la diversité de Shannon et Weaver, la distribution des taxons au sein des stations ou l'équitabilité de Piélou, et la similarité de Jaccard basée sur la présence ou l'absence des taxons entre les trois hydrosystèmes. La tolérance ou l'intolérance des taxons à la pollution organique par station, a été évaluée à l'aide de l'indice d'Hilsenhoff.

#### II.3.7.2 Richesse taxonomique

Elle représente le nombre de taxons présents dans une communauté prélevée dans chaque station de chacun des hydrosystèmes étudiés.

#### II.3.7.3 Composition taxonomique

La composition taxonomique ou l'abondance relative des taxons est la proportion de chaque famille de MIB par rapport au nombre total d'individus contenus dans une communauté. Elle permet de brosser un tableau de l'organisation et de la contribution relative d'une population dans l'ensemble faunistique de l'échantillon (Goaziou, 2004).

### II.3.7.4 Indice de Shannon-Weaver

Cet indice tient compte du nombre de taxons et de l'abondance relative de ces derniers. Il est calculé à l'aide de la formule suivante (Kapoor et White, 1992 ; Evrard, 1996) :

$$H' = - \sum_{i=1}^{S} \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N}$$

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver ;

S : nombre de taxons (familles) ;

$\frac{ni}{N}$ : abondance relative de chaque taxon;

ni : effectif du taxon i;

N : effectif total.

Dans la nature, la valeur de H' se situe entre 0,5 (faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes).

### II.3.7.5 Indice d'équitabilité de Piélou

L'indice d'équitabilité permet de mesurer l'équilibre au sein d'un peuplement. Cet indice est obtenu par le rapport entre l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et une distribution fictive équitable de ces taxons (Moisan et Pelletier, 2011). Cet indice varie de 0 à 1, et s'obtient par la formule :

Une équitabilité faible représente une dominance de quelques espèces.

### II.3.7.6 Tolérance ou intolérance à la pollution organique

Une abondance relative élevée d'un ou de deux taxons, est une variable utilisée comme mesure de tolérance à la pollution au sein d'un hydrosystème. Des cotes de tolérance, variant sur une échelle de 0 à 10, ont été attribuées aux différents taxons. Des cotes adaptées à la famille sont reprises dans l'annexe 26 (Hilsenhoff, 1988). Seuls les taxons qui ont une cote de tolérance sont inclus dans le calcul. A une station donnée, l'indice d'Hilsenhoff (FBI : Family Biotic Index) se calcule comme suit :

$$FBI = \sum xi.ti / n \; ;$$

*xi* : nombre d'individus du énieme taxon ;

*ti* : tolérance du énieme taxon ;

n : nombre d'individus composant l'échantillon.

Plus le résultat est élevé, plus l'hydrosystème est susceptible d'être touché par un stress (Moisan et Pelleteir, 2011).

Hilsenhoff (1988) propose une échelle d'interprétation des résultats obtenus pour le FBI :

- 0,00 à 3,75 : sans pollution organique
- 3,76 à 4,25 : légère pollution organique possible
- 4,26 à 5,00 : pollution organique probable
- 5,76 à 6,50 : pollution organique substantielle
- 6,51 à 7,26 : pollution organique grave

### II.3.7.7 Indice de similarité de Jaccard

Il mesure le degré de similarité des peuplements des différentes stations au sein d'un hydrosystème. Il est calculé à l'aide de la formule (Kapoor et white, 1992 ; Evrard, 1996) :

$$I = \frac{Nc}{Nx + Ny - Nc}$$

Où : Nc : nombre de taxons communs aux stations x et y

Nx et Ny : nombre de taxons présents respectivement aux stations x et y.

L'indice de similarité de Jaccard varie de 0 à 1.

### II.3.7.8 Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

L'évaluation de la qualité biologique et écologique des trois rivières, a été faite à l'aide de l'IBGN conformément aux prescriptions reprises dans la norme NFT 90-350 de mars 2004 selon l'Agence Française de NORmalisation (AFNOR, 2004).

Cet indice a pour objet d'évaluer la tendance d'évolution de la qualité des eaux des écosystèmes lotiques à partir de l'étude des indicateurs biologiques négatifs (eaux pures) ou positifs (eaux polluées) existant dans la macrofaune benthique (Ramade, 2005).

L'IBGN permet d'attribuer une note de qualité biologique et écologique au milieu, qui intègre à la fois l'influence de la qualité physico-chimique de l'eau et l'influence des caractéristiques morphologiques et hydrauliques du cours d'eau. Cette méthode évalue l'aptitude globale d'un milieu à héberger des êtres vivants en prenant en compte, à la fois la variété des MIB, et la représentativité des habitats présents sur la station (AFNOR, 2004).

L'amplitude de la gamme des valeurs de l'IBGN varie de 20 (pour les eaux très pures) à 1 (pour les eaux très polluées par des matières organiques fermentescibles) (Ramade, 2005).

Le calcul de l'IBGN se fait en 3 étapes :

- la détermination de la classe de variété taxonomique (st) ;
- le groupe faunistique indicateur (GI), ne prend en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 individus ou 10 selon les taxons ;
- la lecture de l'indice au croisement de la colonne de la variété taxonomique (st) et de la ligne du groupe faunistique indicateur (GI) (annexe 3).

**Tableau II.3.** Interprétation de la qualité biologique et écologique de l'eau

| Classe de couleur | Qualité biologique | Note I.B.G.N |
|---|---|---|
| Bleu | Très bonne | Note ≥ 17 |
| Vert | Bonne | 16 ≥ Note ≥ 13 |
| Jaune | Passable | 12 ≥ Note ≥ 9 |
| Orange | Mauvaise | 8 ≥ Note ≥ 5 |
| Rouge | Très mauvaise | Note < 5 |

Source : AFNOR, 2004

La qualité biologique et écologique des eaux des rivières repose sur la richesse taxonomique de chaque station et sur la sensibilité à la pollution des groupes faunistiques indicateurs (Rodier, 2009).

### II.3.7.9 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales est une analyse multivariée très utilisée dans le traitement des données écologiques. Elle permet une expression simplifiée de l'information contenue dans un tableau à plusieurs variables à partir d'un nombre réduit de variables (Frontier *et al.*, 2007 ; Alhou, 2007).

Dans ce travail, l'Analyse en Composantes Principales a été réalisée dans le but d'établir une classification des stations de prélèvement en fonction de leur qualité physico-chimique et des variables biotiques. Toutes les données ont été d'abord normalisées (LOG (X+1)) ensuite centrées réduites ; le but de la normalisation étant de transformer la distribution des données brutes en distribution normale. Les données transformées sont centrées réduites pour standardiser les différents facteurs environnementaux qui ne sont pas exprimés dans le même ordre de grandeur.

Le logiciel Past (Paleontological Statistics version 2.16) (Ter Braak, 1987 ; Ter Braak, 1988 ; Palmer, 1993 ; Ter Braak et Smilauer, 1998 ; Hammer *et al.,* 2001) a été utilisé pour déterminer la corrélation entre les variables abiotiques et biotiques.

Pour l'interprétation des axes, les variables dont la contribution est exclusivement supérieure à la contribution moyenne ( $> 1/\sqrt{p}$ , p désignant le nombre de variables) ont été retenues (Morineau et Aluja-Banet, 1998).

# CHAPITRE III
# RESULTATS

Des données relatives aux paramètres abiotiques, à la détermination taxonomique et à la distribution longitudinale des Macroinvertébrés ainsi qu'à celles liées à la végétation ; ont été déterminées pour les 3 hydrosystèmes.

## III.1 Paramètres abiotiques

### III.1.1 Paramètres physiques

Les résultats des paramètres physiques sont repris en annexes 4a et 4b. Les plus usuels sont : la  température, la conductivité, la turbidité et le pH.

### III.1.1.1 Température

L'évolution des valeurs stationnelles de la température des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse est illustrée par la figure III.1.

#### III.1.1.1.1 Saison pluvieuse

La température enregistrée par les stations des trois hydrosystèmes est illustrée par la figure III.1.

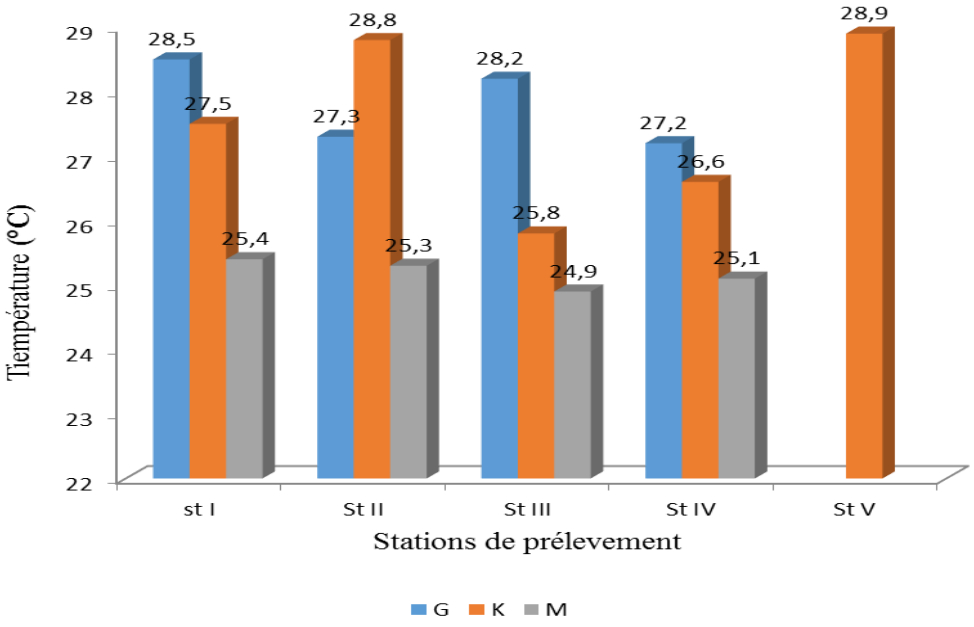



**Figure III.1.** Evolution de la température (°C) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

L'évolution longitudinale des valeurs de la température prélevées dans les trois hydrosystèmes a indiqué que le pic a été atteint par les stations suivantes : St I (28,5°C), St V (28,9°C) et St I (25,4°C) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

Les valeurs les plus faibles ont été recueillies dans les stations ci-après : St IV (27,2°C), St III (25,8°C) et St III (24,9°C) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge

### III.1.1.1.2 Saison sèche

La figure III.2 illustre l'évolution longitudinale de la température des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge.

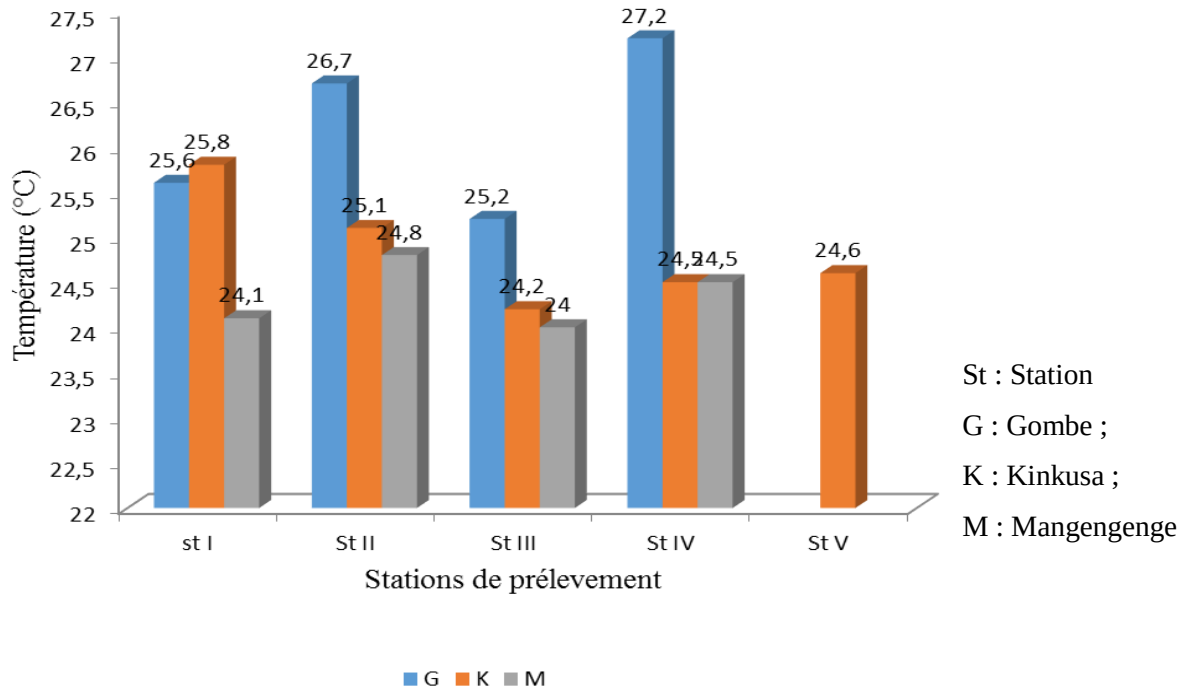



**Figure III.2.** Evolution de la température (°C) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

La température mesurée dans les trois rivières, d'amont en aval, a révélé que les grandes valeurs ont été enregistrées aux stations suivantes : St IV (27,2°C), St I (25,8°C) et St II (24,8°C) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

Les valeurs les plus faibles ont été constatées aux stations St III (25,2°C), St III (24,2°C) et St III (24°C) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge

## III.1.1.2 Conductivité

L'évolution de la conductivité des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge à 20°C en saison pluvieuse et en saison sèche, est illustrée par les figures III.3 et III.4.

### III.1.1.2.1 Saison pluvieuse

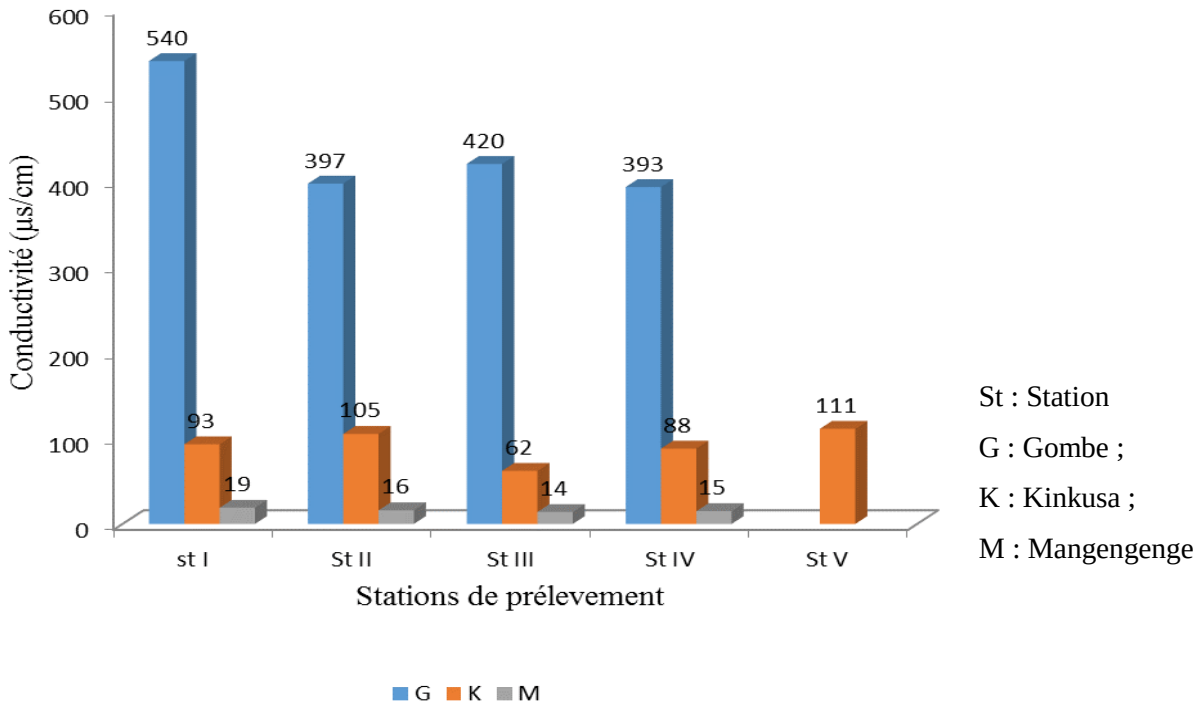



**Figure III.3.** Evolution de la conductivité (µs/cm) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Les valeurs de la conductivité recueillies dans les stations des trois hydrosystèmes en saison pluvieuse ont montré une grande importance aux stations St I (540 µs/cm), St V (111 µs/cm) et St I (19 µs/cm) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées aux stations St IV (393 µs/cm), St III (62 µs/cm) et St III (14 µs/cm) ; respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge

### III.1.1.2.2 Saison sèche

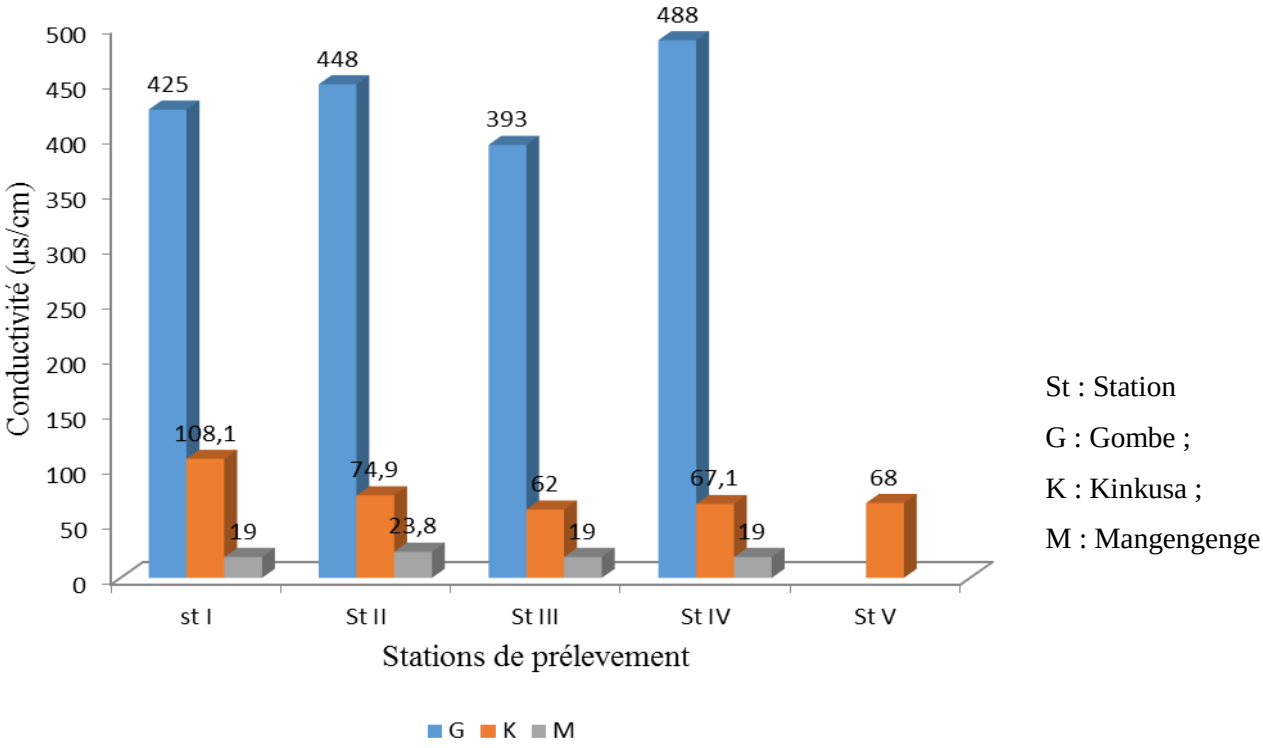


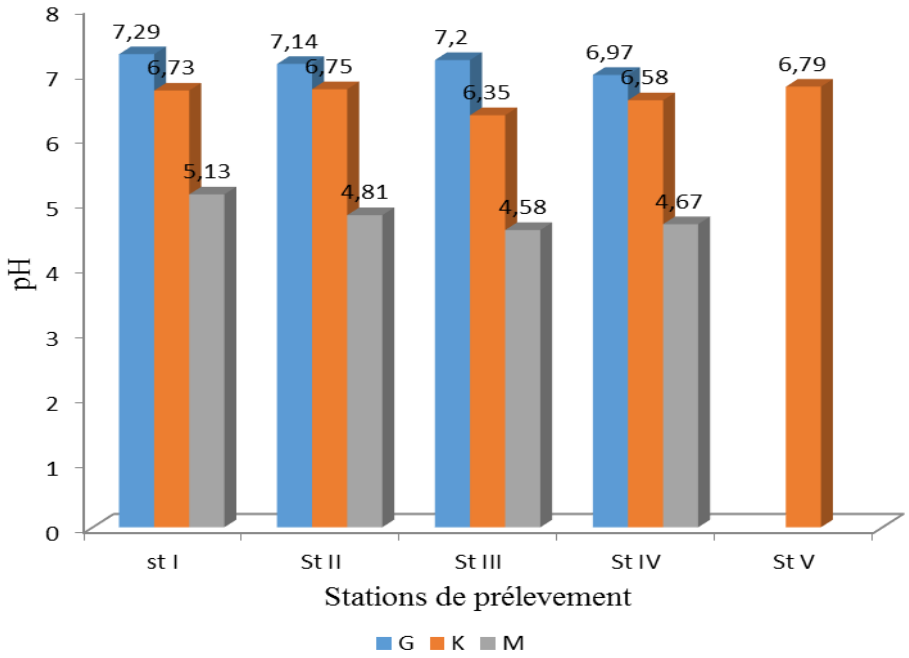

**Figure III.4.** Evolution de la conductivité (µs/cm) des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

En saison sèche, la valeur la plus élevée de la conductivité a été observée aux stations St IV dans la Gombe (488 µs/cm), St I dans la Kinkusa (108,1 µs/cm) et St II dans la Mangengenge (23,8 µs/cm). Les plus faibles valeurs ont été obtenues aux stations St III dans la Gombe (393 µs/cm), St III dans la Kinkusa (62 µs/cm) et St I dans la Mangengenge (19 µs/cm).

### III.1.1.3 pH

Les valeurs du pH des eaux des trois rivières pendant les deux saisons, sont illustrées par les figures III.5 et III.6.

#### III.1.1.3.1 Saison pluvieuse




St : Station

G : Gombe ;

K : Kinkusa ;

M : Mangengenge

**Figure III.5.** Evolution du pH des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

En saison pluvieuse, les valeurs élevées du pH ont été observées aux stations St I (7,29), St V (6,79) et St I (5,13) respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs minimales ont été observées aux stations St IV (6,97), St III (6,35) et St III (4,58) ; relativement aux rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge.

### III.1.1.3.2 Saison sèche

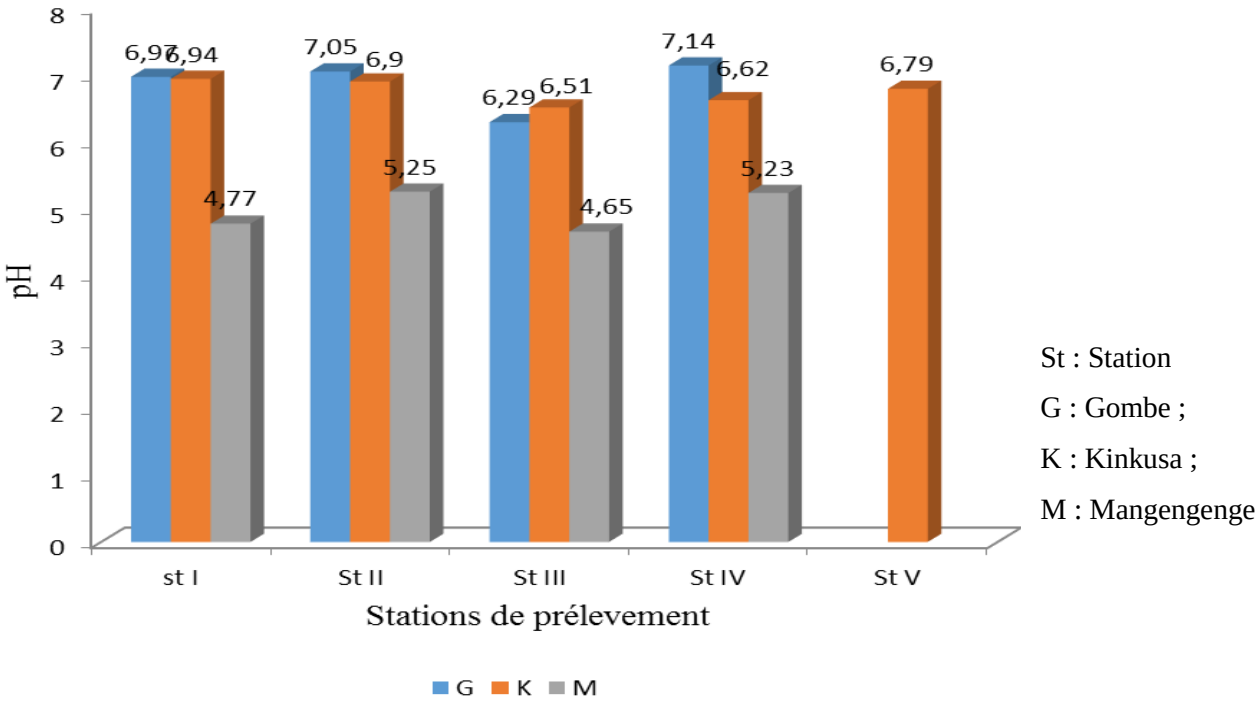



**Figure III.6.** Evolution du pH des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

Les valeurs élevées du pH, en saison sèche, ont été obtenues aux stations St IV da (7,14), St I (6,94) et St II (5,25) respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs minimales ont été observées à la station St III de toutes les rivières étudiées : Gombe (6,29), Kinkusa (6,51) et Mangengenge (4,65).

### III.1.1.4 Turbidité

Les valeurs de la turbidité enregistrées d'amont en aval des rivières étudiées, sont représentées par les figures III.7 et III.8.

### III.1.1.4. 1 Saison pluvieuse

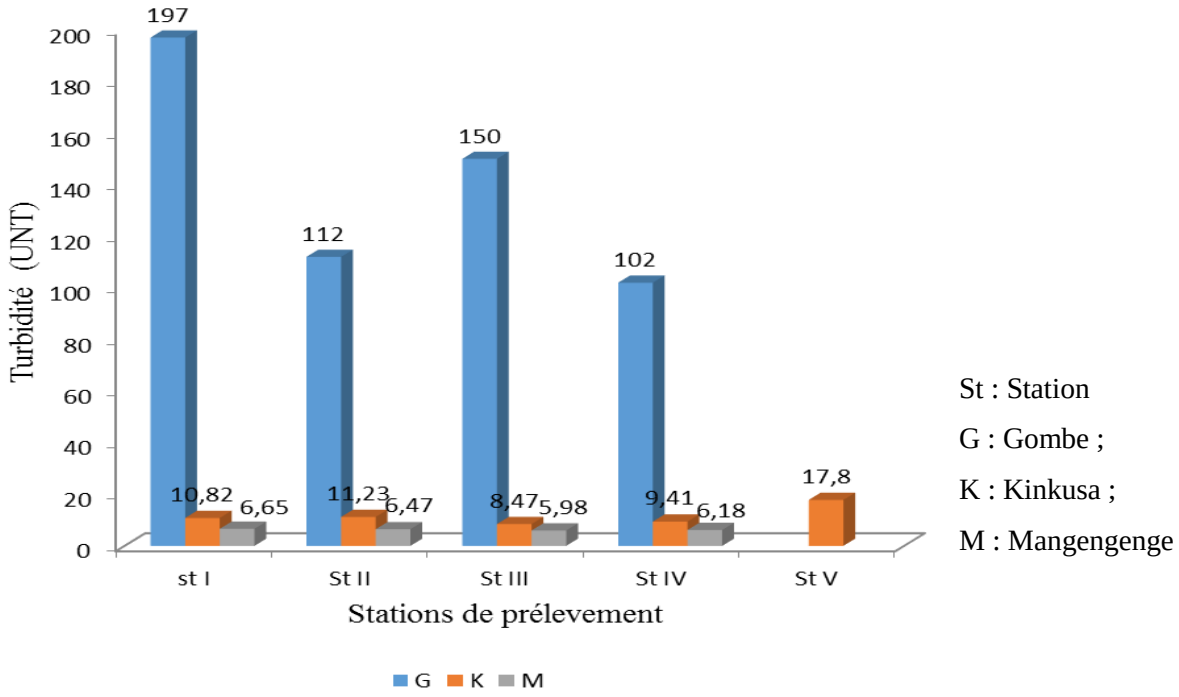



**Figure III.7**. Evolution de la turbidité des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

En saison pluvieuse, les stations St I de la Gombe, St V de la Kinkusa et St I de la Mangengenge ont enregistré les valeurs élevées de la turbidité avec respectivement 197 UNT ; 17,8 UNT et 6,65 UNT. Les valeurs minimales de ce paramètre ont été observées aux stations St IV de la Gombe (102 UNT), St III de la Kinkusa (8,47 UNT) et St III de la Mangengenge (5,98UNT).

### III.1.1.4.2 Saison sèche

En saison sèche, les valeurs maximales de la turbidité, dans la figure III.8, ont été enregistrées aux stations St II de la Gombe, St I de la Kinkusa et St II de la Mangengenge avec respectivement 144 UNT ; 18,4 UNT et 6,87 UNT. Les valeurs minimales ont été observées à la station St III de chacune des rivières : 102 UNT (Gombe) ; 11,16 UNT (Kinkusa) et 5,94 UNT (Mangengenge).

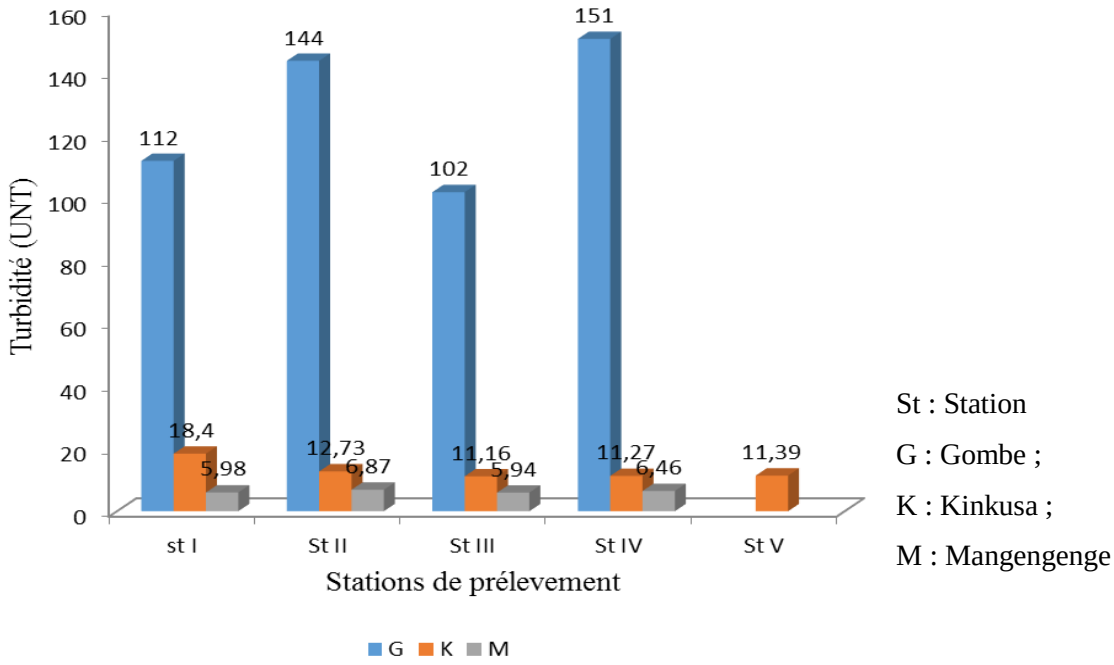



**Figure III.8.** Evolution de la turbidité des eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

### III.1.2 Paramètres chimiques

Quelques paramètres chimiques usuels ont été étudiés dans chacun des trois écosystèmes aquatiques. Il s'agit de l'oxygène dissous ($O_2$), de l'ammonium ($NH_4^+$), des nitrites ($NO_2^-$), des nitrates ($NO_3^-$), des phosphates ($PO_4^{3-}$), des sulfates ($SO_4^{2-}$), de la Demande Biologique en Oxygène ($DBO_5$) et de la Demande Chimique en Oxygène (DCO).

Outre ces paramètres, les annexes 3a et 3b reprennent les résultats des sels dissous.

### III.1.2.1 Oxygène dissous

La variation des valeurs stationnelles de l'oxygène dissous dans les eaux pendant les deux saisons, est visualisée par les figures III.9 et III.10.

#### III.1.2.1.1 Saison pluvieuse

Le pic des valeurs de l'oxygène dissous prélevées en saison pluvieuse dans les trois rivières (Figure III.9) a été atteint par les stations St IV et St III avec respectivement 0,19mg/l (Gombe) ; 1,98mg/l (Kinkusa) et 4,04mg/l (Mangengenge). Les valeurs les plus faibles ont été recueillies aux stations St I, St V et St I avec respectivement 0,06mg/l (Gombe) ; 1,39mg/l (Kinkusa) et 2,98mg/l (Mangengenge).

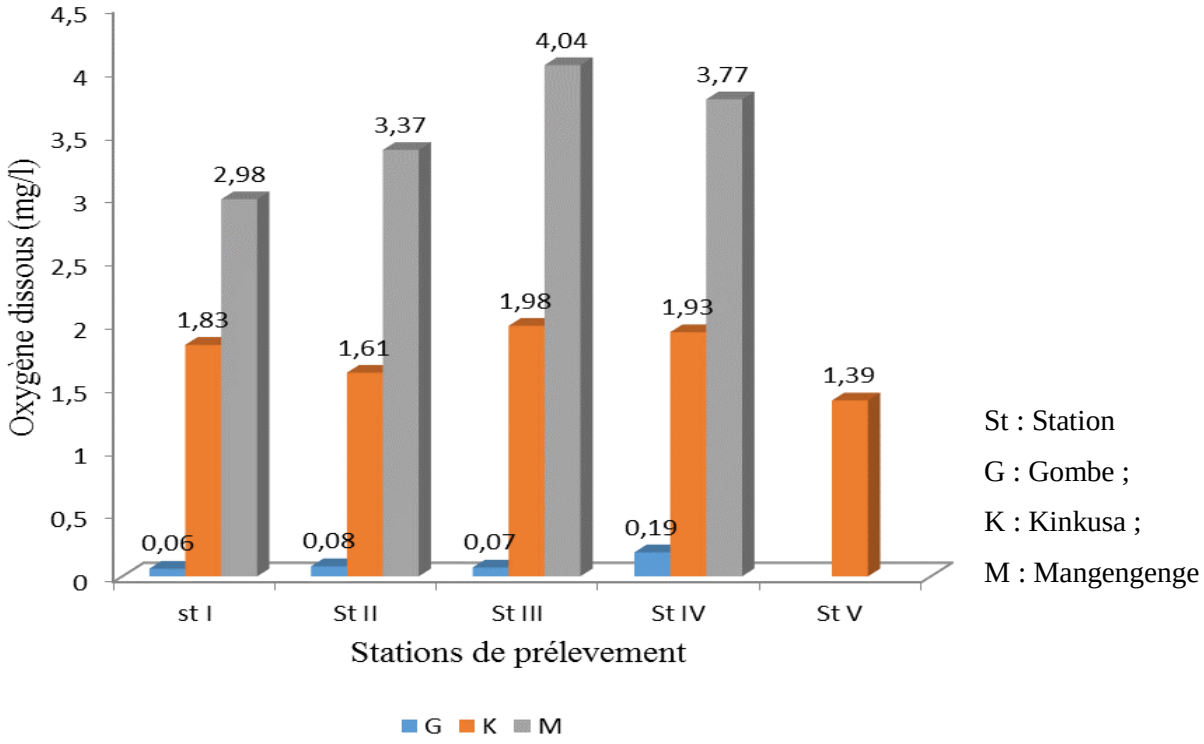



**Figure III.9.** Evolution de l'oxygène dissous dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

### III.1.2.1.2 Saison sèche

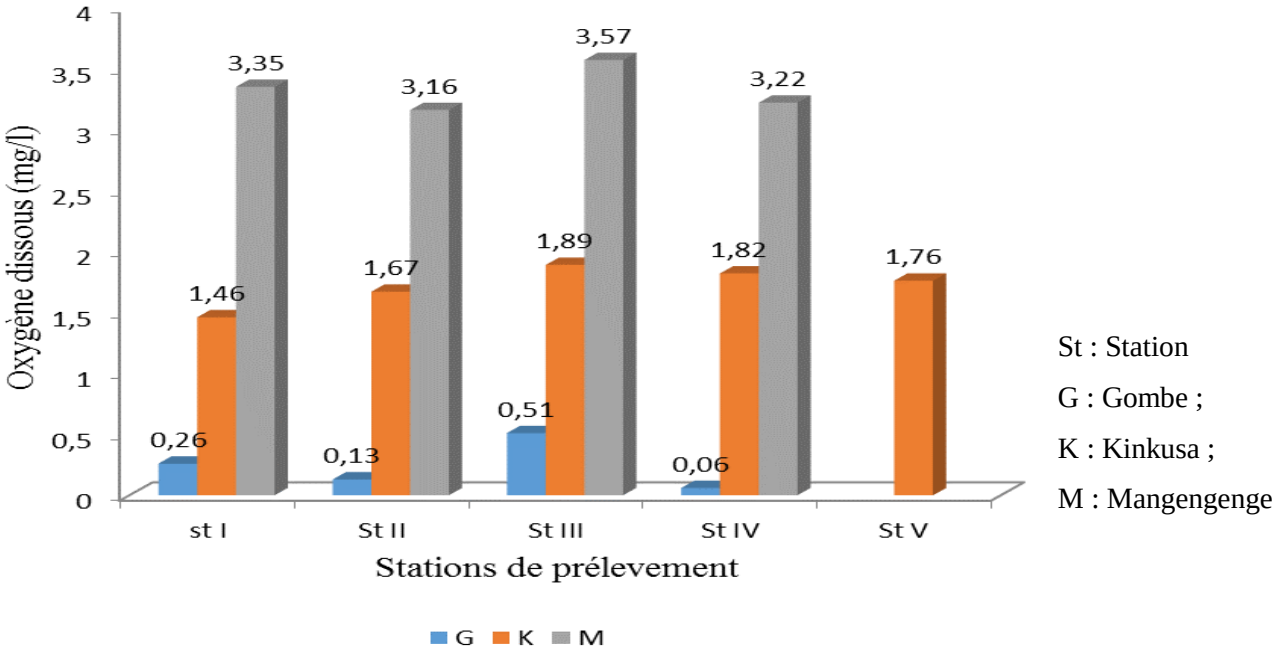



**Figure III.10.** Evolution de l'oxygène dissous dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

En saison sèche les valeurs de l'oxygène dissous ont été plus élevées à la station St III de chacune de rivières étudiées : 0,51mg/l (Gombe) ; 1,89mg/l (Kinkusa) et 3,57mg/l (Mangengenge). Les valeurs les plus faibles ont été constatées aux stations St IV, St I et St II avec respectivement 0,06mg/l (Gombe), 1,46mg/l (Kinkusa) et 3,16 mg/l (Mangengenge).

### III.1.2.2 Ammonium

Les valeurs longitudinales de l'ammonium prélevées dans les eaux de 3 rivières pendant les 2 saisons d'étude, sont illustrées par les figures III.11 et III.12.

#### III.1.2.2.1 Saison pluvieuse

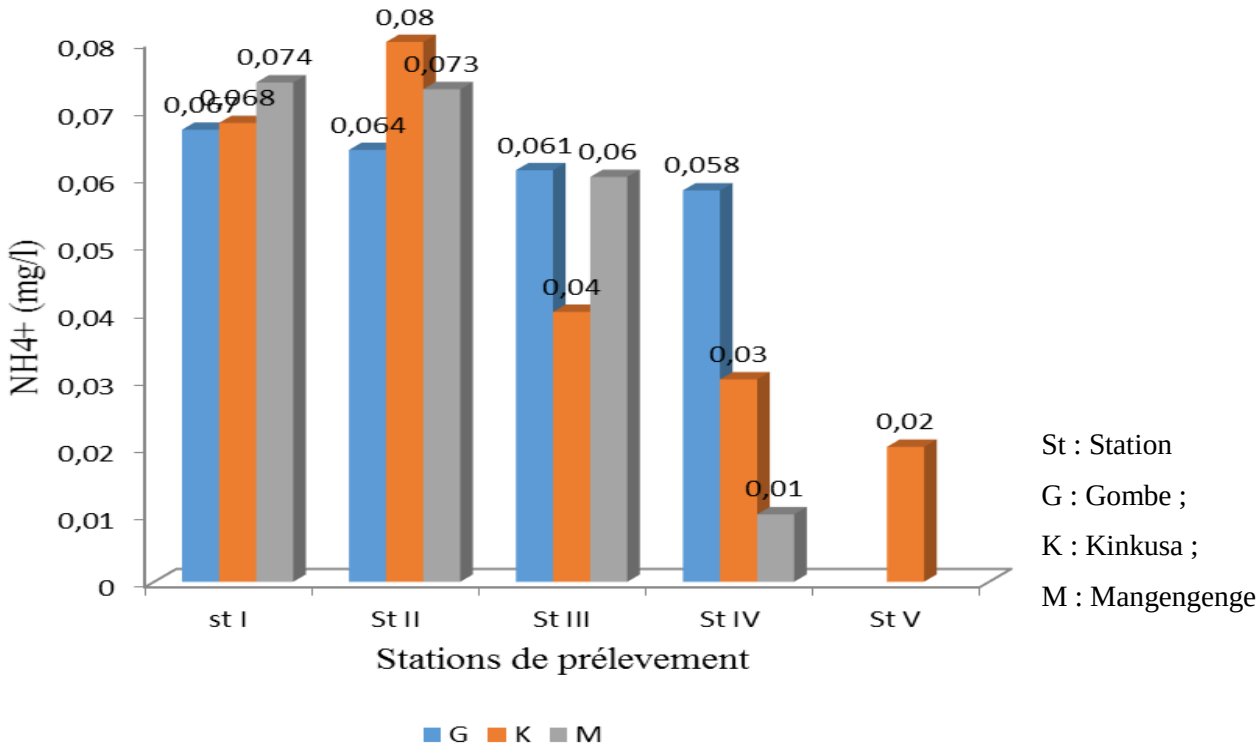



**Figure III.11.** Evolution de l'ammonium dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Pendant la saison pluvieuse, les valeurs les plus élevées de l'ammonium dans les trois hydrosystèmes ont été enregistrées aux stations St I dans la Gombe (0,067mg/l), St II dans la Kinkusa (0,08mg/l) et St I dans la Mangengenge (0,074mg/l). Les valeurs les plus faibles ont été observées aux stations St IV dans la Gombe (0,058mg/l), St V dans la Kinkusa (0,02mg/l) et St IV dans la Mangengenge (0,011mg/l).

### III.1.2.2.2 Saison sèche

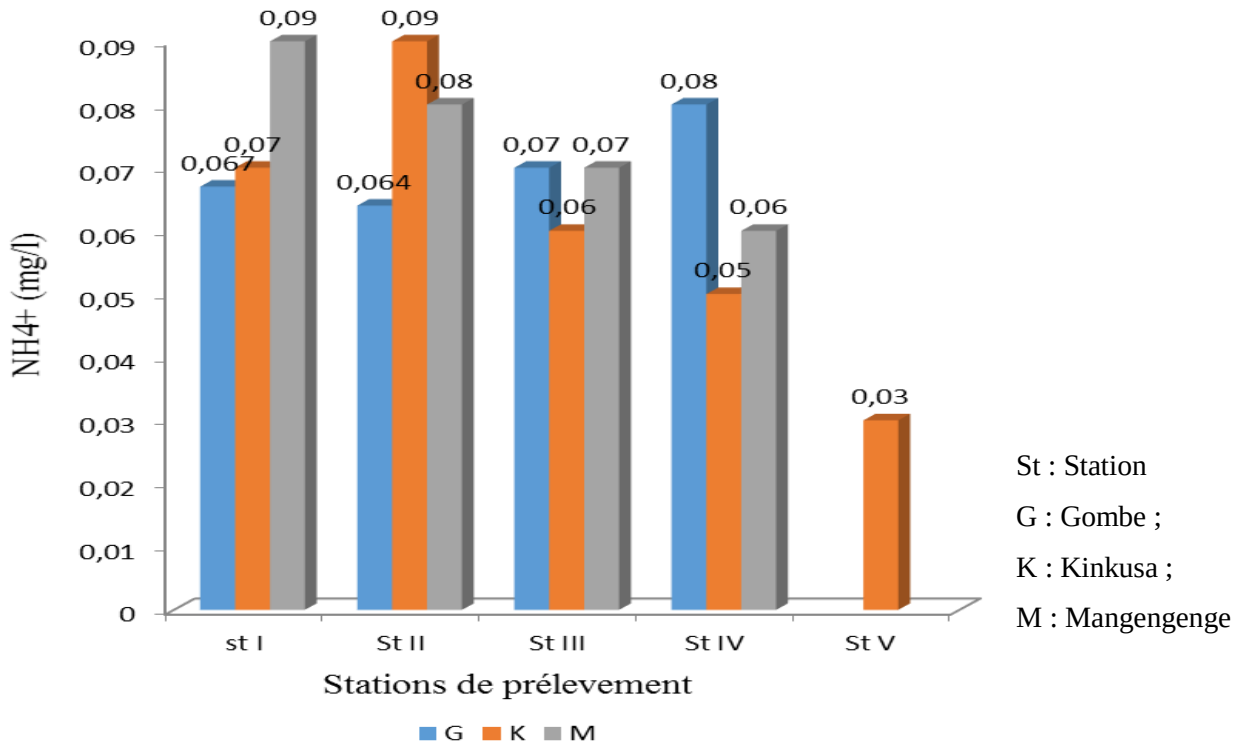



**Figure III.12.** Evolution de l'ammonium dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

L'évolution longitudinale des valeurs de l'ammonium prélevées en saison sèche dans les trois hydrosystèmes, a indiqué que le pic a été atteint par les stations ci-après : St IV dans la Gombe (0,08mg/l), St II dans la Kinkusa (0,09mg/l) et St I dans la Mangengenge (0,09mg/l). Les plus faibles valeurs ont été obtenues aux stations St II (0,06mg/l) dans la Gombe, St V dans la Kinkusa (0,03mg/l) et St IV dans la Mangengenge (0,06mg/l).

## III.1.2.3 Nitrates

Les valeurs des nitrates prélevées dans les différentes stations de trois écosystèmes aquatiques pendant les deux saisons, sont représentées par les figures III.13 et III.14.

### III.1.2.3.1 Saison pluvieuse

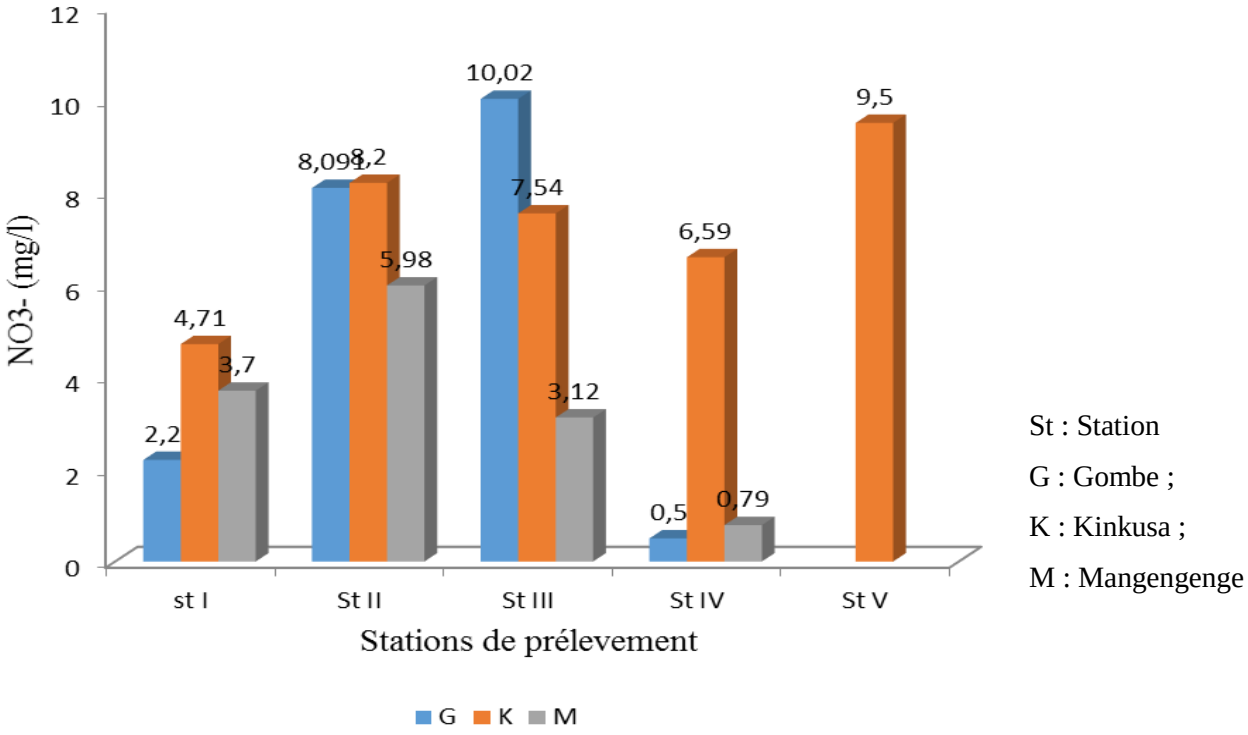



**Figure III.13.** Evolution des nitrates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Pendant la saison pluvieuse, les stations suivantes ont enregistré les valeurs des nitrates les plus élevées : St III (10,02mg/l), St V (9,50mg/l) et St II (5,98mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs les plus faibles de ces paramètres, ont été observées aux stations St IV (0,50mg/l), St I (4,71mg/l) et St IV (0,79mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

### III.1.2.3.2 Saison sèche

Dans la figure III.14, pendant la saison sèche, les stations suivantes ont enegistré le pic de valeurs des nitrates : St III (10,02 mg/l), St V (11,04 mg/l) et St I (6,53 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs les plus basses ont été observées aux stations St II (0,30 mg/l), St I (4,86 mg/l) et St II (5,61 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

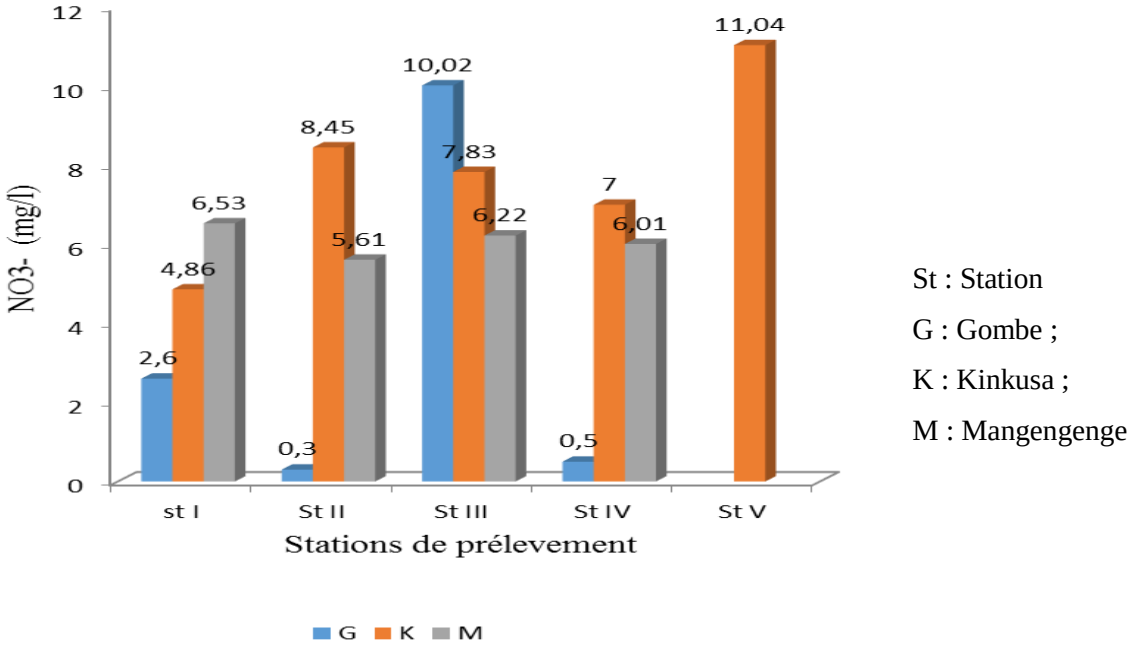



**Figure III.14.** Evolution des nitrates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

### III.1.2.4 Nitrites

Les figures III.15 et III.16 visualisent la variation stationnelle de valeurs des nitrites recueillies dans les 3 rivières pendant les 2 saisons.

### III.1.2.4.1 Saison pluvieuse

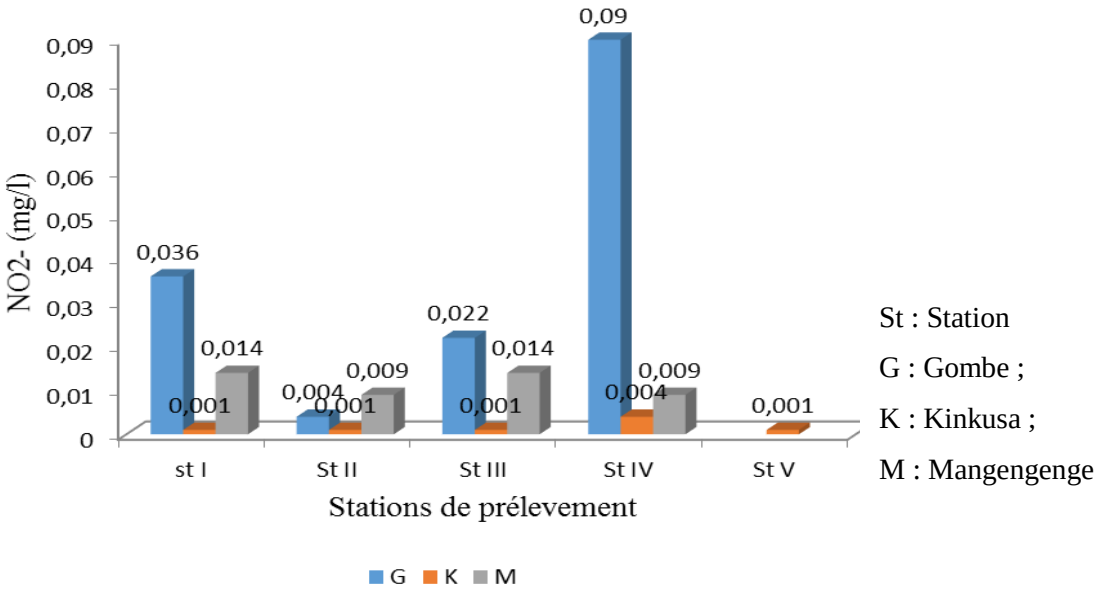



**Figure III.15.** Evolution des nitrites dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Pendant la saison pluvieuse, les valeurs les plus élevées des nitrites ont été observées aux stations : St IV (0,09 mg/l), St IV (0,004 mg/l) ; St I et St III (0,014 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs les plus faibles des nitrites ont été enregistrées aux stations suivantes : St II (0,004 mg/l) dans la Gombe ; St I, St II, St III et St V (0,001 mg/l) dans la Kinkusa ; St II et St IV (0,009mg/l) dans la Mangengenge.

### III.1.2.4.2 Saison sèche

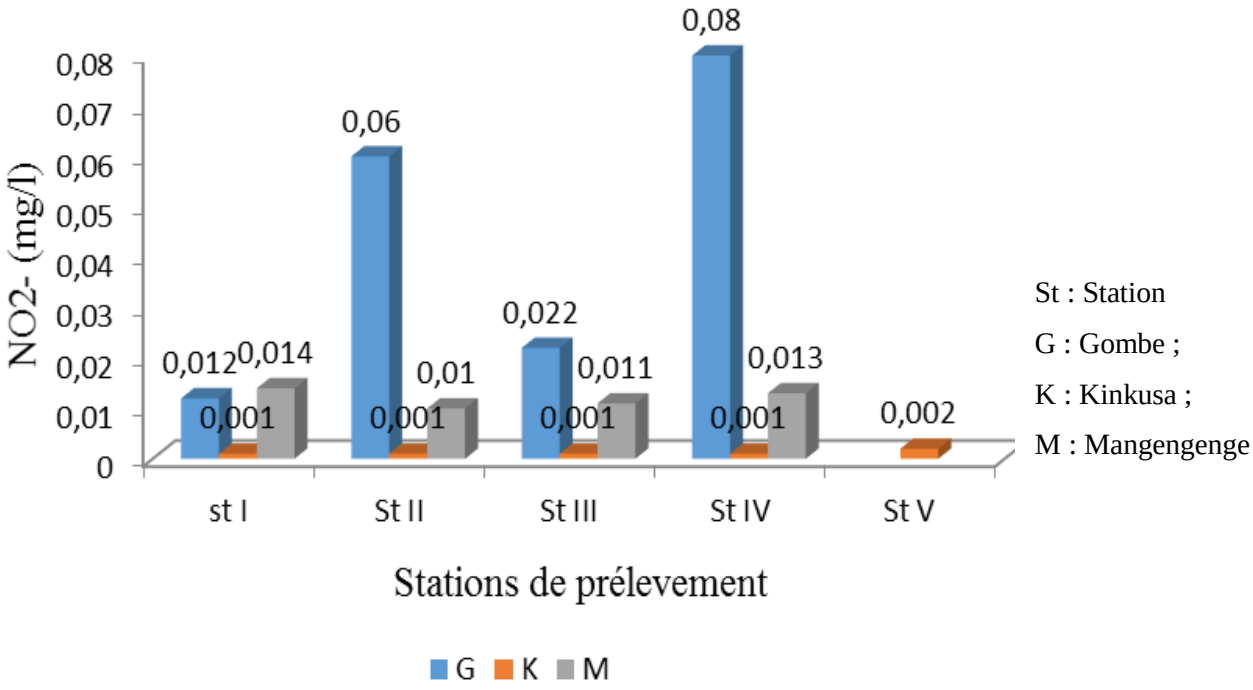



**Figure III.16.** Evolution des nitrites dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

Les valeurs les plus élevées des nitrites pendant la saison sèche, ont été enregistrées par les stations St IV (0,08mg/l), St V (0,002mg/l) et St I (0,014mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les valeurs les plus faibles ont été observées aux stations St I (0,012mg/l) dans la Gombe ; St I, St II, St III et St IV (0,001mg/l) dans la Kinkusa et St II (0,010mg/l) dans la Mangengenge).

### III.1.2.5 Phosphates

La variation des valeurs des phosphates dans les stations des 3 rivières durant les 2 saisons, est illustrée par les figures III.17 et III.18.

### III.1.2.5.1 Saison pluvieuse

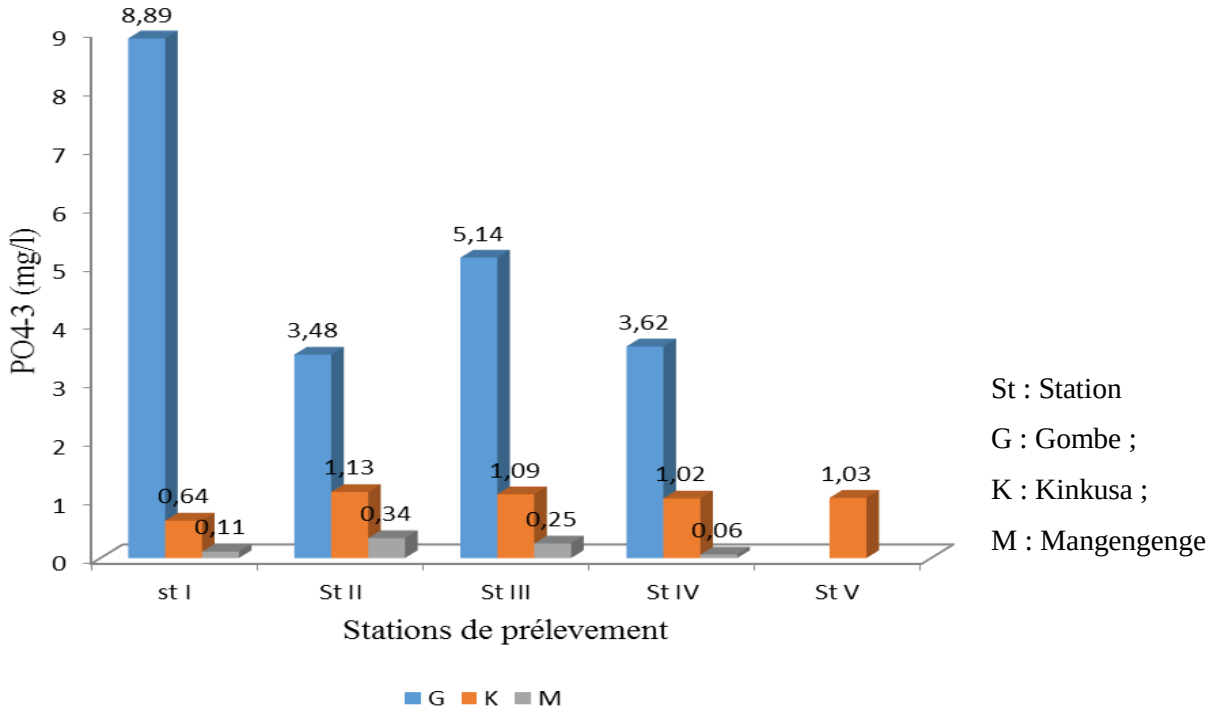



**Figure III.17.** Evolution des phosphates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

En saison pluvieuse (Figure III.17), les concentrations les plus importantes en phosphates, ont été observées aux stations St I (8,89 mg/l), St II (1,13mg/l) et St II (0,34 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les concentrations les plus faibles ont été enregistrées aux stations St II (3,48mg/l), St I (0,64mg/l) et St IV (0,06mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

### III.1.2.5.2 Saison sèche

La variation longitudinale de la concentration des phosphates observée en saison sèche a révélé des valeurs plus élevées aux stations St I (9,94mg/l), St II (1,16mg/l) et St I (0,48mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les plus basses ont été observées aux stations St IV (3,62 mg/l), St I (0,67 mg/l) et St II (0,37mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge (Figure III.18).

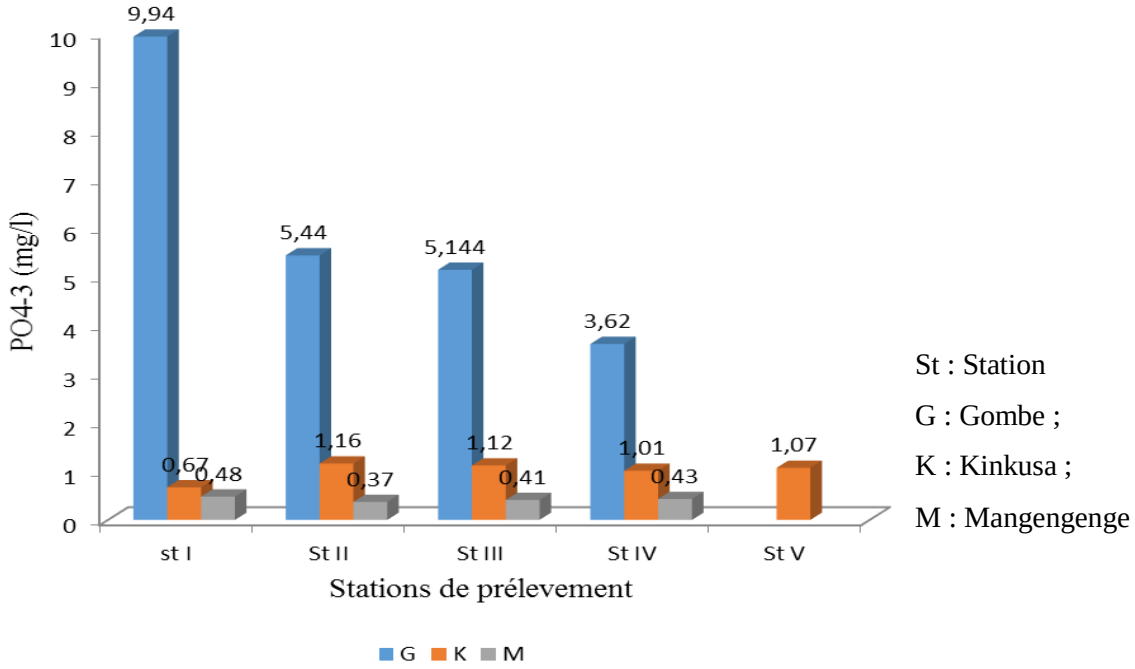



**Figure III.18.** Evolution des phosphates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

### III.1.2.6 Sulfates

Les figures III.19 et III.20 illustrent l'évolution stationnelle de la teneur en sulfates des eaux des trois hydrosystèmes pendant les 2 saisons d'étude.

#### III.1.2.6.1 Saison pluvieuse

Pendant la saison pluvieuse, la concentration en sulfates la plus élévée a été observée dans les stations suivantes : St IV pour la Gombe (24 mg/l) ; toutes les stations de la Kinkusa avec une valeur identique (2 mg/l) ; St I, St II et St III pour la Mangengenge avec une valeur unique (2 mg/l). Les concentrations les plus faibles ont été enregistrées aux stations St I dans la Gombe (15mg/l) et St IV dans la Mangengenge (1 mg/l).

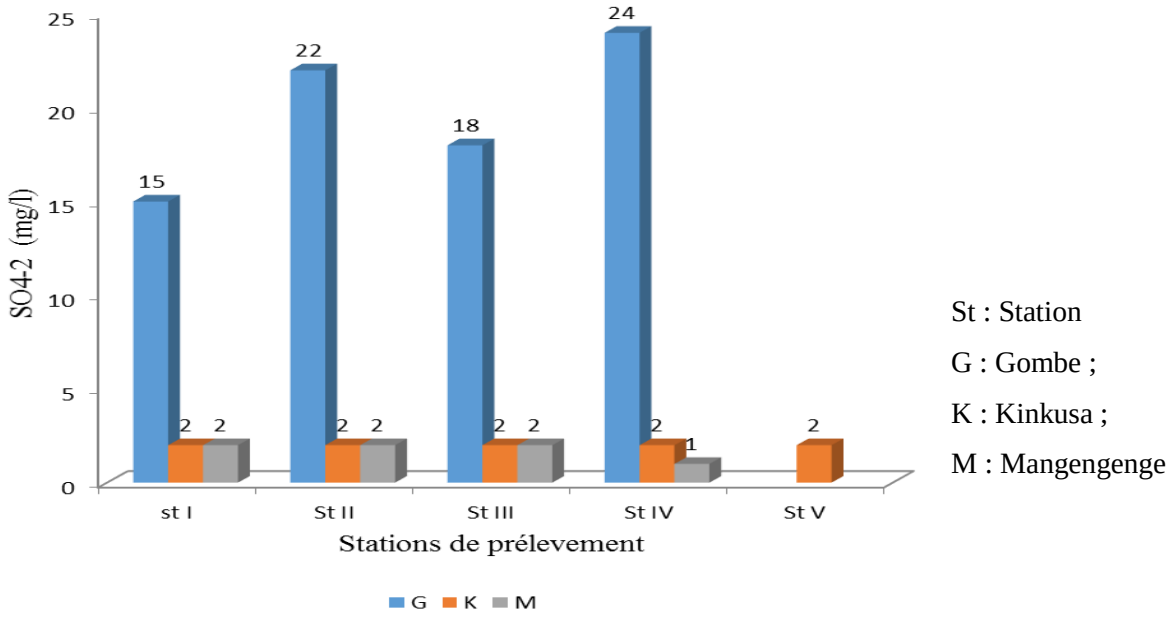



**Figure III.19.** Evolution des sulfates dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

### III.1.2.6.2 Saison sèche

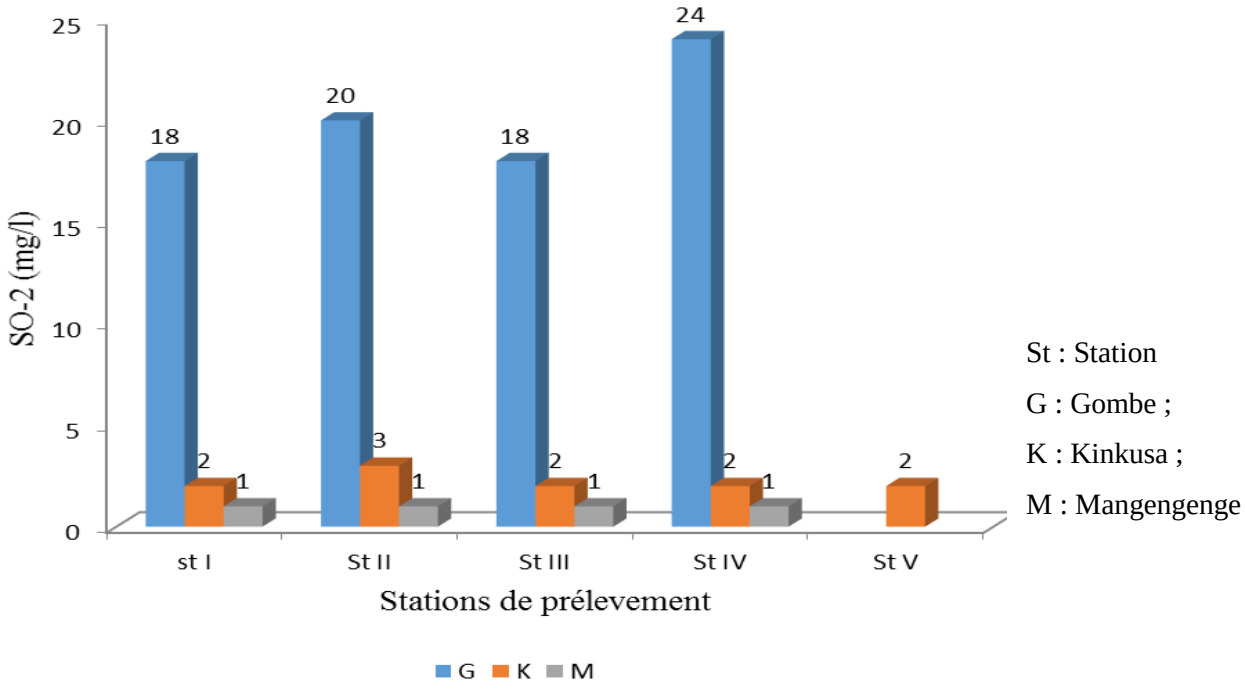



**Figure III.20**. Evolution des sulfates dans l'eau des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

Les valeurs les plus importatntes de la teneur en sulfates (Figure III.20), pendant la saison sèche, ont été observées aux stations St IV (24 mg/l) dans la Gombe, St II (3mg/l) pour la Kinkusa et toutes les stations de la Mangengenge avec une valeur unique (1mg/l). Les concentrations les plus faibles ont été enregistrées aux stations St I et St III pour la Gombe (18mg/l) ; St I, St III, St IV dans la Kinkusa (2 mg/l).

### III.1.2.7 Charge en matières organiques

La charge de pollution organique, exprimée en Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours ($DBO_5$) et en Demande Chimique en Oxygène (DCO), pour les trois rivières pendant les deux saisons est représentée par les figures III.21 à III.24.

#### III.1.2.7.1 Demande Biologique en Oxygène

#### III.1.2.7.1.1 Saison pluvieuse

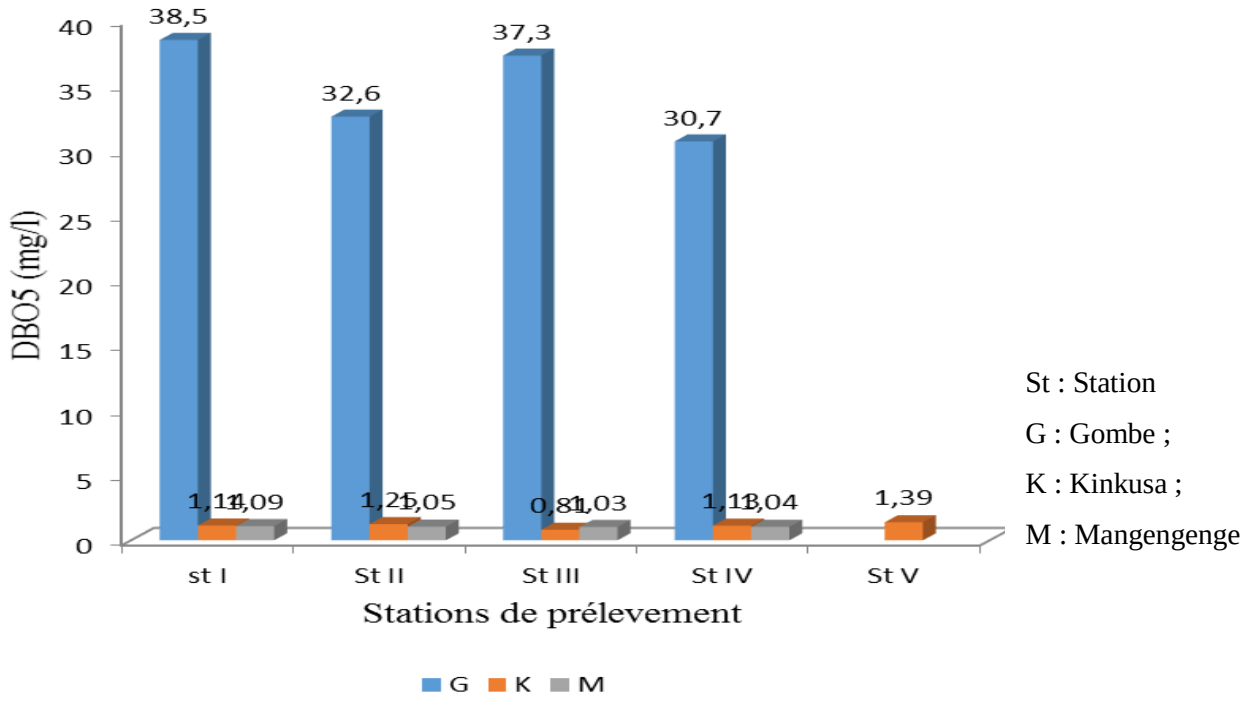



**Figure III.21.** Evolution de la $DBO_5$ dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Pendant la saison pluvieuse, l'évaluation de la $DBO_5$ d'amont en aval a révélé une teneur élevée aux stations St I (38,5mg/l), St V (1,39mg/l) et St I (1,09 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. De faibles teneurs ont été observées aux stations St IV (30,7 mg/l), St III (0,81 mg/l) et St III (1,03 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

### III.1.2.7.1.2 Saison sèche

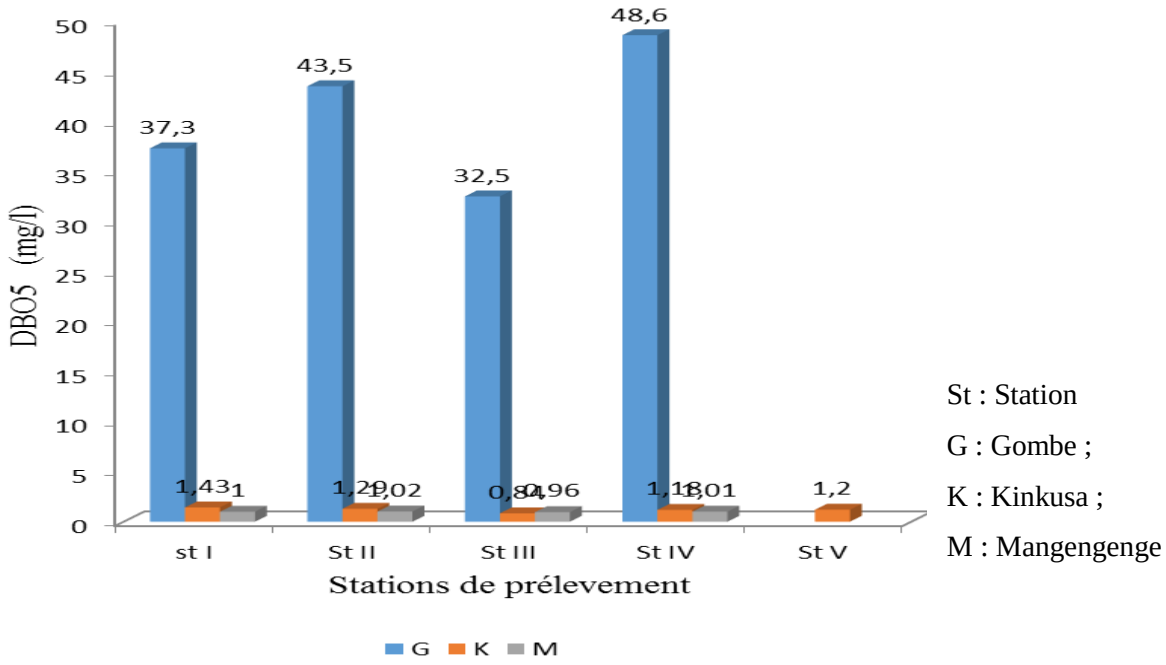


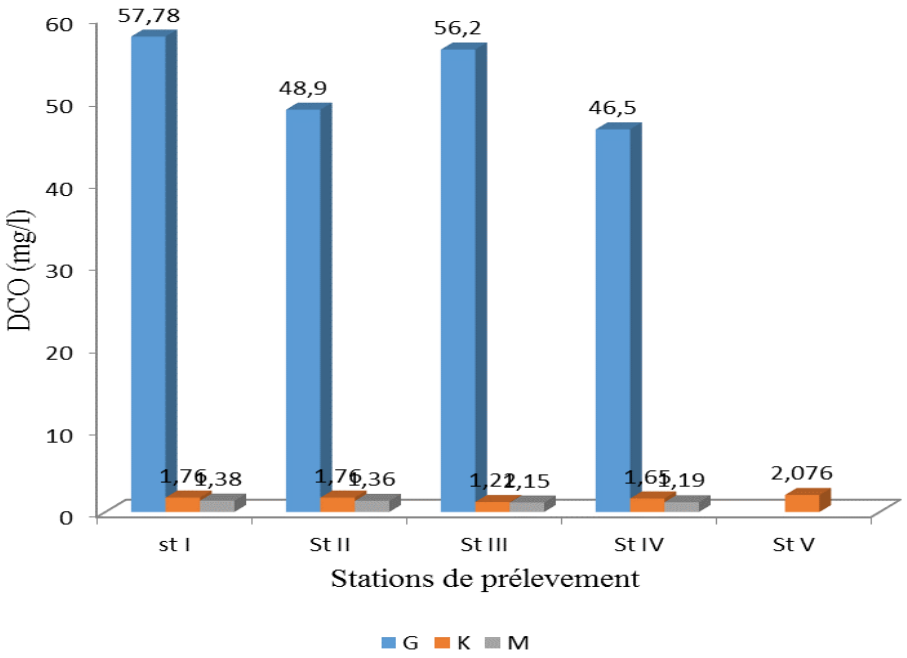

**Figure III.22.** Evolution de la $DBO_5$ dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

En saison sèche, la concentration la plus importante en $DBO_5$ (Figure III.22) a été enregistrée dans les stations suivantes : St IV (48,6mg/l), St I (1,43 mg/l) et St II (1,02 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. La teneur la plus faible de la $DBO_5$ a été observée dans les stations St III (32,5 mg/l), St III (0,84 mg/l) et St III (0, 96 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge.

## III.1.2.7.2 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

### III.1.2.7.2.1 Saison pluvieuse

La variation stationnelle de la DCO en saison pluvieuse, d'amont en aval, a montré des valeurs élevées aux stations St I (57,78mg/l), St V (2,076 mg/l) et St I (1,38 mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les stations suivantes ont enregistré une faible teneur: St IV (46,5 mg/l) dans la Gombe, St III (1,22 mg/l) dans la Kinkusa et St III (1,15 mg/l) dans la Mangengenge (Figure III.23).




St : Station

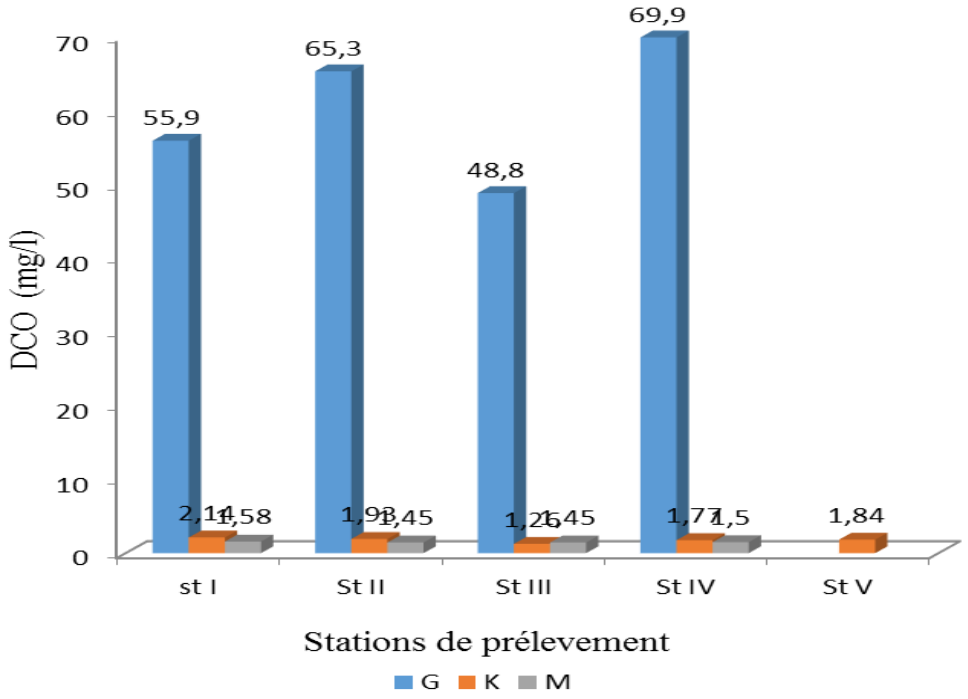
G : Gombe ;

K : Kinkusa ;

M : Mangengenge

**Figure III.23**. Evolution de la DCO dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

### III.1.2.7.2.2 Saison sèche




St : Station

G : Gombe ;

K : Kinkusa ;

M : Mangengenge

**Figure III.24.** Evolution de la DCO dans les eaux des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

Les valeurs prélevées de la DCO pendant la saison sèche ont révélé une concentration élevée aux stations St IV (69,9mg/l), St I (2,14mg/l) et St I (1,58mg/l), respectivement dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge. Les stations suivantes ont affiché une faible concentration : St III dans la Gombe (48,8mg/l), St III dans la Kinkusa (1,26mg/l) ; St II et St III dans la Mangengenge (1,45mg/l).

### III.1.3 Caractérisation des habitats

## III.1.3.1 Evaluation du recouvrement des substrats des hydrosystèmes en saison pluvieuse et en saison sèche

### III.1.3.1.1 Rivière Gombe

#### III.1.3.1.1.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.1.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Substrats** | **Stations** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV |
| Vase + MO | 55 | 0 | 40 | 0 |
| Vase + MO + Sable | 25 | 40 | 0 | 45 |
| Vase + MO + Vé | 20 | 20 | 0 | 40 |
| Vase + MO + Gravier + Galet | 0 | 0 | 50 | 0 |
| Sable+ MO + Galet | 0 | 40 | 0 | 0 |
| Vase + Vé | 0 | 0 | 10 | 15 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente.

Le tableau ci-dessus fait ressortir la prédominance de la présence de la vase et de la MO dans les substrats des différentes stations d'étude.

#### III.1.3.1.1.2 Saison sèche

**Tableau III.2.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| **Substrats** | **Stations** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV |
| Vase + MO | 70 | 0 | 0 | 0 |
| Vase + MO + Vé | 20 | 80 | 75 | 0 |
| Vase + MO + Sable | 10 | 0 | 0 | 25 |
| Vase + MO + Sable + Galet | 0 | 20 | 0 | 0 |
| Vase + MO + Galet+ Gravier | 0 | 0 | 25 | 0 |
| Vase +Vé | 0 | 0 | 0 | 75 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente

Le tableau ci-dessus dégage l'omniprésence de la vase dans les stations étudiées.

### III.1.3.1.2 Rivière Kinkusa

#### III.1.3.1.2.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.3.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Substrats** | **Stations** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV | St V |
| Vase + MO | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Vase + MO + Vé | 20 | 0 | 45 | 0 | 0 |
| Sable +MO | 0 | 0 | 0 | 35 | 25 |
| Sable +MO + Vé | 80 | 0 | 55 | 65 | 0 |
| Sable + Vé | 0 | 85 | 0 | 0 | 0 |
| Sable + Vase + Vé | 0 | 0 | 0 | 0 | 75 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente

Le tableau ci-dessus fait ressortir la présence du sable, de la matière organique et de la végétation émergente dans tous les substrats prelevés dans cet hydrosysteme.

#### III.1.3.1.2. 2 Saison sèche

**Tableau III.4.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| **Substrats** | **Stations** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV | St V |
| Vase + MO | 10 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Vase +Sable | 0 | 0 | 65 | 60 | 0 |
| Sable + MO | 0 | 10 | 0 | 0 | 55 |
| Sable + MO + Vé | 0 | 25 | 35 | 40 | 45 |
| Sable + Vé | 90 | 35 | 0 | 0 | 0 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente

Le tableau ci-dessus révèle la présence du sable dans la majorité des substrats prélevé dans la Kinkusa.

### III.1.3.1.3 Rivière Mangengenge

#### III.1.3.1.3.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.5.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Substrats | Stations | | | |
|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV |
| Sable | 20 | 10 | 25 | 20 |
| Sable + MO + Vé | 0 | 0 | 25 | 20 |
| Sable + MO + Gravier + Vé | 30 | 20 | 0 | 0 |
| vase + MO + Gravier +Vé | 10 | 0 | 0 | 0 |
| Sable + Gravier | 40 | 70 | 50 | 60 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente

Le tableau ci-dessus dégage la présence du sable dans tous les substrats, de la matière organique et de la végétation émergente dans la majorité des substrats prélevés dans cette rivière.

#### III.1.3.1.3.2 Saison sèche

**Tableau III.6.** Taux de recouvrement (%) des substrats des stations de prélèvement dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Substrats | Stations | | | |
|---|---|---|---|---|
| | St I | St II | St III | St IV |
| Sable | 20 | 20 | 10 | 20 |
| Sable + Gravier | 50 | 40 | 40 | 30 |
| Sable + Gravier + Vé | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Sable + MO + Gravier + Vé | 0 | 40 | 50 | 50 |
| Vase + MO | 10 | 0 | 0 | 0 |

**Légende :** MO : Matière Organique ; Vé : Végétation émergente

Le tableau ci-dessus révèle la présence du sable dans la majorité des substrats, pendant que le gravier qui vient en deuxième position est suivi de la végétation émergente et de la vase.

## III.2 Paramètres biotiques

### III.2.1 Végétation

La composition floristique envisagée dans cette thèse a concerné les plantes maraichères et la végétation naturelle composée des plantes sauvages des bassins versants et des macrophytes peuplant les zones littorales et le chenal des cours d'eau.

Comme producteurs, les végétaux jouent un rôle majeur dans le réseau trophique existant dans un écosystème aquatique. Et la vie des MIB est intimement liée à la présence des producteurs dont ils sont les consommateurs. Ces deux composantes (producteurs et consommateurs) de la biocénose, liées entre elles par des relations alimentaires, sont des facteurs qui contribuent à l'équilibre hydrosystémique.

Le rôle des MIB dans la dissociation des matières organiques mortes en éléments fins, est déterminant dans la décomposition de MO par les microorganismes (Tachet *et al*, 2010).

Les débris des cormophytes (hydrophytes et héliophytes) sont aussi consommés par des MIB.

### III.2.1.1 Analyse floristique des écosystèmes aquatiques

Soixante-six espèces végétales, réparties dans 37 familles.

#### III.2.1.1.1 Rivière Gombe

**Tableaux III.7**. Espèces végétales présentes pendant les 2 saisons dans la rivière Gombe de 2013 à 2015

| N° | Familles | Espèces Végétales | Habitat | Stations | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | St I | St II | St III | St IV |
| 1 | Amaranthaceae | *Amaranthus spinosus* L | T | - | + | + | + |
| | | *Amaranthus viridis* L | T | - | - | - | + |
| | | *Amaranthus hybridus* L Subsp cruentus | T | - | - | - | + |
| 2 | Araceae | *Colocasia esculenta* (L) Schott | T | - | - | - | + |
| 3 | Cannaceae | *Canna indica* L | T | - | - | - | + |
| 4 | Commelinaceae | *Commelina diffusa* (Burm. f) | A | + | + | + | + |
| 5 | Cyperaceae | *Cyperus articulatus* L | T | + | + | + | + |
| | | *Kyllinga bulbosa* P. Beauv | T | - | - | + | + |
| 6 | Fabaceae | *Psophocarpus scandens* (Endl) Verdc | T | + | - | - | - |
| | | *Musa sapientum* L | T | - | - | - | + |
| 7 | Onagraceae | *Ludwigia senegalensis* (DC) Trochain | A | - | + | - | + |
| 8 | Poaceae | *Pennisetum polystachion* (L) | A | + | - | - | - |
| | | *Pennisetum purpureum* (Schumach) | A | - | - | - | |
| | | *Panicum maximum* (Jacq) | T | + | + | + | + |
| | | *Cynodon dactylon* (L) Pers | AT | + | + | + | + |
| | | *Saccharum officinarum* L | T | - | - | - | + |
| 9 | Polygonaceae | *Polygonum senegalense* Meissn | SA | + | + | - | + |

**Légende :**

+: Espèce présente ; **A** : Espèce aquatique ; **AT** : Espèce aquatique et terrestre ;

- : Espèce absente ; **T** : Espèce terrestre

Le tableau III.7 renseigne que la composition floristique de la Gombe est caractérisée par 17 espèces appartenant à 9 familles.

Les espèces suivantes ont été observées dans toutes les stations d'études : *Pannicum maximum, Cynodon dactylon, Commelina diffusa, Cyperus articulatus* et *Polygonum senegalensis.*

Certaines autres n'ont été observées que dans une seule station : *Pennisetum polystachion* et *Psophocarpus scandens* à la station St I *; Pennisetum purpereum, Saccharum officinarum, Amaranthus viridis, Amaranthus hybridus, Colocassia esculenta* et *Musa sapientum* à la station St IV.

En outre, il ressort de l'inventaire qualitatif des essences végétales peuplant les bassins versants et le lit de cet hydrosystème, que la station St IV regroupe toutes les espèces afférentes à la Gombe, à l'exception de *Pennisetum polystachion* et *de Psophocarpus scandens.*

### III.2.1.1.2 Rivière Kinkusa

**Tableaux III.8.** Essences végétales présentes pendant les 2 saisons dans la rivière Kinkusa de 2013 à 2015

| N° | Familles | Espèces Végétales | Habitat | Stations | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | St I | St II | St III | St IV | St V |
| 1 | Amaranthaceae | *Altternanthera sessilis* (L) Dc | A | - | + | + | + | + |
| 2 | Asteraceae | *Wedelia trilobata* (L) Hitche | SA | - | + | + | + | + |
| | | *Tithonia diversifolia* (Heusl) | T | - | + | + | + | + |
| | | *Ageratum conyzoides* L | T | - | + | + | - | + |
| | | *Chromoleana odorata* (L) R.King & H. Robinson | T | + | + | - | + | + |
| | | *Crassocephalum montuosum* (S. Moore) Milne-Redhead | T | + | + | - | - | + |
| 3 | Blechnaceae | *Blechnum specant* (Kurnif) | A | + | - | - | - | - |
| 4 | Commelinaceae | *Commelina difusa* (Burmf) | A | - | + | + | + | + |
| 5 | Costaceae | *Costus afer* Ker Gawl | AT | + | - | - | - | + |
| 6 | Cucurbitaceae | *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley | T | + | - | - | + | - |
| 7 | Cyperaceae | *Rhynchospora corymbosa* (L) Britton | A | - | - | + | - | + |
| 8 | Euphorbiaceae | *Alchornea cordifolia* (schumach &Thonn) Miill Arg. | T | + | - | - | - | - |
| 9 | Fabaceae | *Calopagonium mucunoides* (Desc) | T | + | + | + | + | + |
| | | *Centrosema pubescens* Benth | T | + | + | + | + | + |
| | | *Mucuna puriens* (L) | T | - | + | + | - | + |
| | | *Psophocarpus scandens* (Endl) Verdc | T | - | + | + | - | - |

**Légende** : +: Espèce présente ; **A** : Espèce aquatique ; **SA** : Espèce semi-aquatique ;

- : Espèce absente ; **T** : Espèce terrestre ; **AT** : Espèce aquatique et terrestre**.**

**Tableaux III.8.** Essences végétales présentes pendant les 2 saisons dans la rivière Kinkusa de 2013 à 2015 (suite)

| N° | Familles | Espèces Végétales | Habitat | St I | St II | St III | St IV | St V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | Gleicheniaceae | *Dicranopteris linearis* (Burmof) undern | A | + | + | - | - | - |
| 11 | Hypolepidaceae | *Pteridium aquilinum* (L) Kuhn | T | + | - | - | - | - |
| 12 | Lycopodiaceae | *Lycodiella cernua* (L) Pic Serm | SA | - | + | - | - | - |
| 13 | Malvaceae | *Urena lobata* L | T | + | - | - | + | + |
| | | *Triufetta cordifolia* A. Rich | T | + | - | - | - | - |
| 14 | Marantaceae | *Haumania liebrechtsina* (De wild &T.Durand) J. Léonard | A | + | - | - | - | - |
| 15 | Melastomataceae | *Tristemma leiocalyx* (Cogn) | T | + | - | - | - | - |
| 16 | Fabaceae | *Mimosa invisa* Mart | T | - | + | + | - | + |
| 17 | Onagraceae | *Ludwigia abyssinica* A. Rich | A | - | + | - | + | + |
| | | *Ludwigia senegalensis* (DC) Trochain | A | + | + | + | + | + |
| 18 | Phyllanthaceae | *Phyllanthus niruri* L | T | - | + | + | + | + |
| 19 | Poaceae | *Pennisetum polystachion (L)* | A | + | + | + | + | + |
| | | *Pennisetum purpureum* (Schumach) | A | + | + | - | + | - |
| | | *Panicum maximum* (Jacq) | T | + | + | + | + | + |
| | | *Bambusa vulgaris* (schrad exwend) | T | - | + | + | + | - |
| | | *Paspalum oribiculare* Forst | T | + | + | + | + | + |
| | | *Megastachya mucronata* (Poir) P. Beauv | SA | + | + | + | + | + |
| 19 | Selaginellaceae | *Selaginella myosurus* (Sw) Alston | SA | + | + | - | - | - |
| 20 | Woodsiaceae | *Athyrium filix* | A | + | - | + | - | - |

**Légende** : **+**: Espèce présente ; **A** : Espèce aquatique ; **SA** : Espèce semi-aquatique ;
**-** : Espèce absente ; **T** : Espèce terrestre ; **AT** : Espèce aquatique et terrestre

Le tableau III.8 informe sur la qualité de la flore qui peuple le bassin versant ainsi que le lit de la Kinkusa.

Vingt familles réparties en 35 espèces, ont été recensées. Les espèces suivantes sont présentes dans toutes les stations d'étude : *Pennisetum polystachion, Pannicum maximum, Paspalum orbiculare, Megastachya mucronata* et *Ludwigia senegalensis*.

D'autres, au contraire, n'ont été observées qu'à la station St I. Il s'agit de : *Blechnum specant, Alchornea cordifolia, Triufetta cordifolia, Tristemma leiocalyx, Lycodiella cernua* et *Haumania liebrechtsina*.

### III.2.1.1.3 Rivière Mangengenge

**Tableau III.9.** Essences végétales présentes pendant les 2 saisons dans la rivière Mangengenge de 2013 à 2015

| N° | Familles | Espèces Végétales | Habitat | Stations | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | St I | St II | St III | St IV |
| 1 | Agravaceae | *Draceana mannii* (Baker) | T | + | - | + | - |
| 2 | Amaranthaceae | *Altternanthera sessilis* (L) Dc | A | - | + | + | + |
| 3 | Apocynaceae | *Alstonia congensis* Engl | AT | + | + | - | + |
| 4 | Araceae | *Anchomanes differmis* (Bl) Engl | A | - | - | + | + |
| 5 | Asteraceae | *Wedelia trilobata* (L) Hitche | SA | + | + | - | - |
| | | *Chromoleana odorata* (L) | T | - | + | + | - |
| | | *Crassocephalum montuosum* (S. Moore) Milne-Red | T | - | + | + | + |
| 6 | Blechnaceae | *Blechnum specant* (Kurnif) | A | + | + | + | + |
| 7 | Clusiaceae | *Harungana madagascariensis* Lan ex Poir | T | + | - | + | + |
| 8 | Commelinaceae | *Commelina diffusa* (Burm. f) | A | + | + | - | - |
| 9 | Costaceae | *Costus afer* Ker Gawl | AT | + | + | + | - |
| 10 | Cyperaceae | *Rhynchospora corymbosa* (L) Britton | A | - | - | + | + |
| 11 | Euphorbiaceae | *Alchornea cordifolia* (schumach &Thon) | T | + | + | + | + |
| | | *Sapium cornutum* Pax | T | + | - | - | + |
| 12 | Fabaceae | *Leptoderris congolensis* (De wild) | T | + | + | - | - |
| | | *Pentaclethra ectveldeana* De wild & T. Durand | T | + | + | - | - |
| | | *Mimosa invisa* Mart | T | + | - | - | - |
| 13 | Gleicheniaceae | *Dicranopteris linearis* (Burmof) undern | A | + | - | - | + |
| 14 | Hydrophyllaceae | *Hydrolea glabra* Schiemach & Thonn | A | - | + | + | + |
| | | *Pteridium aquilinum* (L) Kuhn | T | - | - | + | - |
| 15 | Lycopodiaceae | *Lycodiella cernua* (L) Pic Serm | SA | - | + | + | + |
| 16 | Marantaceae | *Marantochloa purpurea* (Ridl) | T | + | + | + | - |
| | | *Haumania liebrechtsina* (De wild &T.Durand) J. Léonard | A | + | - | - | + |
| | | *Lasimorpha senegalesis* schoh | T | - | + | + | - |

**Légende** :

+: Espèce présente ; **A** : Espèce aquatique ; **AT** : Espèce aquatique et terrestre ;

- : Espèce absente ; **T** : Espèce terrestre ; **SA** : Espèce semi-aquatique.

**Tableau III.9.** Essences végétales présentes pendant les 2 saisons dans la rivière Mangengenge de 2013 à 2015 (suite)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | Melastomataceae | *Tristemma incompletum* R. Br | SA | + | + | - | + |
| | | *Tristemma leiocalyx* (Cogn) | T | + | - | + | + |
| 18 | Onagraceae | *Ludwigia abyssinica* A. Rich | A | + | + | + | + |
| | | *Ludwigia senegalensis* (DC) Trochain | A | + | + | + | + |
| 19 | Poaceae | *Pennisetum polystachion* (L) | A | - | - | - | + |
| | | *Paspalum oribiculare* Forst | T | - | - | + | + |
| | | *Megastachya mucronata* (Poir) P. Beauv | SA | - | - | + | + |
| 20 | Rubiaceae | *Pentodon pentandrus* (schumach & Thonn) Vatke | T | + | - | + | + |
| 21 | Salidaceae | *Oncoba welwitschii* (Olix) Gilg | T | + | + | - | + |
| 22 | Selaginellaceae | *Selaginella myosurus* (Sw) Alston | SA | - | - | + | + |

**Légende** :

+: Espèce présente ; **A** : Espèce aquatique ; **AT** : Espèce aquatique et terrestre ;

- : Espèce absente ; **T** : Espèce terrestre ; **SA** : Espèce semi-aquatique.

Le tableau III.9 renseigne que 22 familles divisées en 34 espèces végétales occupent les bassins versants et colonisent le lit de la Mangengenge.

Les espèces suivantes sont présentes dans toutes les stations d'étude de cet hydrosystème : *Blechnum specant, Alchornea cordifolia, Ludwigia abyssinica* et *Ludwigia senegalensis*. D'autres ne sont présentes que dans une seule station. Il s'agit de : *Mimosa invisa* à la station St I et *Pteridium aquilinum* à la station St III.

## III.2.1.2 Evaluation de l'Indice de Qualité de la Bande Riveraine (IQBR)

### III.2.1.2.1 Rivière Gombe

Les photos suivantes représentent les quatre stations de la rivière Gombe décrivant leurs bassins versants.



Station St I dominée par des herbacées.



Station St II dominée par les infrastructures.



Station St III dominée par les infrastructures.



Station St IV dominée par des herbacées et infrastructures.

Photos III.1 Stations et bassins versants de la rivière Gombe ( Source : KAMB, 2015)

### III.2.1.2.1.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.10.** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Stations | Composantes de la bande riveraine (en %) | | | | | | | | IQBR | Capacité de la bande |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | Culture | Friche Pelouse | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 0 | 0 | 5 | 5 | 10 | 0 | 0 | 80 | **22** | Faible |
| **St II** | 0 | 0 | 1 | 4 | 5 | 5 | 0 | 85 | 19,8 | Très faible |
| **St III** | 0 | 2 | 5 | 10 | 0 | 5 | 0 | 78 | **22,1** | Faible |
| **St IV** | 0 | 0 | 2 | 6 | 1 | 0 | 0 | 91 | 19,8 | Très faible |

Le tableau III.10 ci-dessus renseigne que la bande riveraine de la Gombe est très anthropisée par des infrastructures. La capacité de cette bande à remplir ses fonctions écologiques, alterne longitudinalement de faible à très faible ; l'indice le plus élevé ayant été observé à la station St III (IQBR=22,1) et le plus faible aux stations St II et St IV qui ont affiché une valeur identique (IQBR=19,8).

### III.2.1.2.1.2 Saison sèche

**Tableau III.11.** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| Stations | Composantes de la bande riveraine (en %) | | | | | | | | IQBR | Capacité de la bande |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | culture | Friche, Pelouse, Fourrage, Pâturage | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 80 | **21,4** | Faible |
| **St II** | 0 | 0 | 1 | 9 | 0 | 5 | 0 | 85 | 19,8 | Très faible |
| **St III** | 0 | 2 | 5 | 10 | 0 | 5 | 0 | 78 | **22,1** | Faible |
| **St IV** | 0 | 0 | 2 | 6 | 1 | 0 | 0 | 91 | 19,8 | Très faible |

Il ressort du tableau III.11 que les valeurs indicielles de la qualité de la bande riveraine en saison sèche, ont oscillé entre 19,8 (aux stations St II et St IV) et 22,1 (à la station St III) ; 21,4 ayant été l'indice enregistré à la station St I.

La capacité de cette bande à remplir ses fonctions écologiques, a alterné entre faible et très faible d'amont en aval de la rivière Gombe.

### III.2.1.2.2 Rivière Kinkusa

Les photos suivantes représentent les cinq stations de la rivière Kinkusa décrivant leurs bassins versants.



Station St I dominée par les herbacées



Station St II dominée par les herbacées.



Station St III dominée par herbacées.



Station St IV dominée les hercabées.



Station St V dominée par les herbacées.

Photos III.2 Stations et bassins versants de la rivière Kinkusa ( Source : KAMB, 2015)

### III.2.1.2.2.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.12.** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Stations | Composantes de la bande riveraine (en %) | | | | | | | | IQBR | Capacité de la bande |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | Culture | Friche, Pelouse, Fourrage, Pâturage | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 0 | 4 | 60 | 4 | 30 | 0 | 0 | 2 | **48,2** | Moyenne |
| **St II** | 2 | 8 | 50 | 5 | 30 | 0 | 0 | 5 | 47,4 | Moyenne |
| **St III** | 0 | 14 | 50 | 20 | 12 | 2 | 0 | 2 | **51,6** | Moyenne |
| **St IV** | 0 | 5 | 50 | 20 | 15 | 10 | 0 | 0 | 43,1 | Faible |
| **St V** | 0 | 19 | 20 | 30 | 23 | 6 | 0 | 2 | 41,1 | Faible |

Le tableau III.12 révèle une capacité moyenne de la bande riveraine des stations St I, St II et St III ; une faible capacité des stations St IV et St V, à remplir leurs fonctions écologiques pendant la saison pluvieuse. Les valeurs indicielles décroissantes suivantes ont été enregistrées : 51,6 à la station St III ; 48,2 à la station St I ; 47,1 à la station St II ; 43,1 à la station St IV et 41,1 à la station St V.

### III.2.1.2.2.2 Saison sèche

**Tableau III.13.** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| Stations | Composantes de la bande riveraine (en %) | | | | | | | | IQBR | Capacité de la bande |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | Culture | Friche, Pelouse, Fourrage, Pâturage | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 0 | 4 | 50 | 44 | 0 | 0 | 0 | 2 | 41 | Faible |
| **St II** | 2 | 8 | 45 | 40 | 0 | 0 | 0 | 5 | **43,2** | Faible |
| **St III** | 0 | 14 | 50 | 32 | 0 | 2 | 0 | 2 | **45,3** | Faible |
| **St IV** | 0 | 5 | 50 | 35 | 0 | 10 | 0 | 0 | 41,4 | Faible |
| **St V** | 0 | 10 | 20 | 53 | 0 | 6 | 0 | 11 | 32,8 | Faible |

Le tableau III.13 renseigne une faible capacité de la bande riveraine de la Kinkusa à remplir ses fonctions écologiques pendant la saison sèche, d'amont en aval.

L'indice le plus élevé a été enregistré à la station St III (IQBR=45,3), et le plus bas à la station St V (IQBR=32,8). Les autres ont affiché les valeurs décroissantes suivantes : 43,2 pour St II ; 41,4 pour St IV et 41 pour St I.

### III.2.1.2.3 Rivière Mangengenge

Les photos suivantes représentent les quatre stations de la rivière Mangengenge décrivant leurs bassins versants.



Station St I dominée par les arbustes.



Station St II dominée par les arbustes.



Station St III dominée par les arbustes.



Station St IV dominée par les arbustes et herbacées.

Photos III.3 Stations et bassins versants de la rivière Mangengenge ( Source : KAMB, 2015)

#### III.2.1.2.3.1 Saison pluvieuse

**Tableau III.14** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Stations** | **Composantes de la bande riveraine (en %)** | | | | | | | | **IQBR** | **Capacité de la bande** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | Culture | Friche, Pelouse, Fourrage, Pâturage | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 20 | 70 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **83,2** | Excellente |
| **St II** | 15 | 80 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **83,5** | Excellente |
| **St III** | 15 | 70 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **81,1** | Excellente |
| **St IV** | 5 | 60 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74,5 | Bonne |

Il ressort du tableau III.14 ci-dessus que la capacité de la bande riveraine de la rivière Mangengenge pendant la saison pluvieuse, est excellente de la station St I à la station St III, et bonne à la station St IV.

La valeur indicielle la plus élevée a été observée à la station St II (IQBR=83,1). Les stations St I et St III ont respectivement affiché les indices suivants : 83,2 et 81,1.

### III.2.1.2.3.2 Saison sèche

**Tableau III.15** Indice de Qualité de la Bande Riveraine de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Stations | Composantes de la bande riveraine (en %) | | | | | | | | IQBR | Capacité de la bande |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Forêt | Arbustes | Herbes | Culture | Friche, Pelouse, Fourrage, Pâturage | Sol nu | Socle rocheux | Infrastructures | | |
| **St I** | 20 | 70 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **83,2** | Excellente |
| **St II** | 15 | 80 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **83,5** | Excellente |
| **St III** | 15 | 70 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **81,1** | Excellente |
| **St IV** | 5 | 60 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74,5 | Bonne |

Le tableau III.15 indique une excellente capacité de la bande riveraine de la Mangengenge à remplir ses fonctions écologiques pendant la saison sèche ; et ce, de la station St I à la station St III. Relativement à la station St IV, celle-ci a manifesté une bonne capacité.

La station St II a dégagé un indice élevé (IQBR=83,5) par rapport aux autres qui ont étalé les valeurs décroissantes suivantes : 83,2 pour St I ; 81,1 pour St III et 74,5 pour St IV.

## III.2.2 Traitement statistique des données stationnelles des peuplements des MIB

Le traitement des résultats afférents aux trois hydrosystèmes, a été effectué à l'aide des métriques suivantes : richesse taxonomique, abondance brute et abondance relative ; diversité taxonomique, équilibre des taxons au sein des peuplements, tolérance ou intolérance à la pollution organique, similarité des stations et IBGN.

## III.2.2.1 Rivière Gombe

### III.2.2.1.1 Saison pluvieuse

Le tableau III.16 présente les résultats relatifs aux MIB prélevés dans la Gombe en saison pluvieuse (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.16** Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | N’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Insectes | Diptères | | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | |
| | | Culicidae | 66 | 0,209 | 11 | 0,036 | 5 | 0,048 | 0 | 0 | 82 |
| | | Chironomidae | 13 | 0,041 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | Syrphidae | 4 | 0,013 | 21 | 0,069 | 5 | 0,048 | 31 | 0,046 | 61 |
| | | Ceratopogonidae | 1 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Sciomyzidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,003 | 2 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 1 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Hydrochidae | 2 | 0,006 | 1 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | | Hygrobiidae | 0 | 0 | 1 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Hémiptères | Naucoridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,019 | 0 | 0 | 2 |
| | | Nepidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,010 | 2 | 0,003 | 3 |
| | Trichoptères | Ecnomidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,010 | 0 | 0 | 1 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Tubificidae | 145 | 0,459 | 46 | 0,15 | 50 | 0,481 | 474 | 0,705 | 715 |
| | | Lumbriculidae | 13 | 0,041 | 11 | 0,036 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| | | Lumbricidae | 36 | 0,114 | 2 | 0,007 | 1 | 0,010 | 9 | 0,013 | 48 |
| | Achètes (Arhychobdellida) | Hirudidae | 1 | 0,003 | 1 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Gastéropodes | Basommatophora | Physidae | 30 | 0,095 | 191 | 0,624 | 37 | 0,356 | 143 | 0,213 | 401 |
| | | Lymnaeidae | 4 | 0,013 | 21 | 0,069 | 2 | 0,019 | 11 | 0,016 | 38 |
| N | | | 316 | | 306 | | 104 | | 672 | | 1398 |
| % | | | 22,6 | | 21,89 | | 7,44 | | 48,07 | | |
| S | | | 12 | | 10 | | 9 | | 7 | | |
| H' | | | | 2,32 | | 1,83 | | 1,86 | | 1,26 | |
| J' | | | | 0,65 | | 0,55 | | 0,59 | | 0,45 | |
| FBI | | | | 7,93 | | 7,94 | | 7,76 | | 8,03 | |

**Légende :**

ni : Nombre d’individus par famille

N’ : Somme de ni au sein d’une famille dans les 4 stations

N : Nombre d’individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% des individus par station par rapport à ∑N’

S : Nombre de taxons par station

H’ : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station

J’ : Indice d’équitabilité de Piélou par station

FBI : Indice d’Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

La richesse taxonomique des peuplements des MIB inventoriés d'amont en aval de la Gombe renseigne que 17 familles reparties en 7 ordres et 3 classes ont été récoltées.

La station St I a regroupé le plus grand nombre de familles (S=12); suivi des stations St II (S=10), St III (S=9) et St IV (S=7).

## 2° Abondance Brute et abondance relative

Le tableau III.16 renseigne que mille trois cent nonante-huit (1.398) individus ont été recueillis dans la Gombe.

La station St IV a révélé une abondance brute plus importante que les autres, avec 48,07%. Les stations St I, St II et St III ont affiché respectivement 22,60% ; 21,89% et 7,44% de l'ensemble des MIB récoltés dans la Gombe pendant la saison pluvieuse.

A la station St I, la famille des Tubificidae est la plus abondante avec 45,9% d'individus récoltés, suivie des Culicidae (20,9%), des Lumbricidae (11,4%), des Physidae (9,5%), des Chironomidae et Lumbriculidae (4,1%), des Syrphidae et Lymnaeidae (1,3%) et des Hydrochidae (0,6%). Chacune des familles des Ceratopogonidae, Hydrophilidae et Hirudidae a présenté 0,3%.

La station St II est caractérisée par une abondance relative élevée de la famille des Physidae avec 62,4% d'individus recueillis, talonnée par les familles des Tubificidae (15%), des Syrphidae (6,9%), des Lymnaeidae (6,9%), des Culicidae (3,6%), des Lumbricidae (3,6%), des Lumbricidae (0,7%); des Hydrochidae (0,3%), des Hygrobiidae (0,3%) et des Hirudidae (0,3%).

La famille des Tubificidae a enregistré un grand nombre d'individus récoltés à la station St III, représentant 48,1% du total des spécimens qui y ont été recueillis.

Cette famille est suivie par celles des Physidae (35,6%), des Culicidae (4,8%), des Syrphidae (4,8%), des Naucoridae (1,9%), des Lymnaeidae (1,9%), des Nepidae (1%), des Ecnomidae (1%) et Lumbricidae (1%).

A la station St IV, le pic d'individus récoltés a été observé dans la famille des Tubificidae avec 70,5% de la somme de spécimens qui y ont été recueillis. Et viennent ensuite les familles des Physidae (21,3%), des Syrphidae (4,6%), des Lymnaeidae (1,6%), des Lumbricidae (1,3%), des Sciomyzidae (0,3%) et Nepidae (0,3%).

Le dénombrement des individus récoltés dans toutes les stations d'étude de la Gombe, a révélé que la famille des Tubificidae est la plus abondante avec 51,1% du total des

spécimens recueillis. Elle est suivie par les familles des Physidae (28,7%), des Culicidae (5,9%), des Syrphidae (4,4%), des Lumbricidae (3,4%), des Lymnaeidae (2,7%), des Lumbriculidae (1,7%), des Hydrochidae (0,21%), des Nepidae (0,21%), des Sciomyzidae (0,1%), des Naucoridae (0,1%) et des Hirudidae (0,1%), des Ceratopogonidae (0,07%), des Hydrophilidae (0,07%), des Hygrobiidae (0,07%) et des Ecnomidae (0,07%).



Tubificidae (Annexe 25)



Physidae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

Le tableau III.16 donne l'indice de Shannon-Weaver des 4 stations de la Gombe. Le peuplement des MIB récoltés à la station St I (H'=2,32) est plus diversifié que celui des autres stations.

L'indice de diversité des MIB à la station St III (H'=1,86) est plus élevé qu'aux stations St II (H'=1,83) et St IV (H'=1,26).

## 4° Equitabilité de Piélou

Relativement à l'équilibre des taxons au sein des peuplements des MIB récoltés dans les différentes stations de la Gombe, l'indice d'équitabilité de Piélou (Tableau III.16) indique que les taxons sont mieux répartis à la station St I (J'=0,65) qu'aux stations St III (J'=0,59), St II (J'=0,55) et St IV (J'=0,45).

## 5° Tolérance à la pollution organique

Concernant la tolérance ou l'intolérance à la pollution, le calcul de l'indice Hilsenhoff renseigne que la station St IV a l'indice le plus élevé (FBI=8,03). Elle est suivie des stations St II (FBI=7,94), St I (FBI=7,93) et St III (FBI=7,76).

## 6° Similarité

Le calcul de l'indice de similarité de Jaccard a permis de comparer les stations sur base des échantillons des MIB qui y ont été récoltés.

L'indice le plus élevé a été observé entre les stations St I et St II (I=0,8) et le plus faible entre les stations St I et St III, St I et St IV (I=0,4). Les stations St II et St III, St II et St IV ont enregistré un indice identique (I=0,5).

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.17** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| | **Stations** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** |
| **Somme de taxons** | 12 | 10 | 9 | 7 |
| **Classe de variété** | 4 | 4 | 3 | 3 |
| **Groupe indicateur** | Mollusque (Physidae) | Mollusque (Physidae et Lymnaeidae) | Mollusque (Physidae) | Mollusque (Physidae et Lymnaeidae) |
| **IBGN** | 5 | 5 | 4 | 4 |
| **Classe de qualité** | Mauvaise | Mauvaise | Très Mauvaise | Très Mauvaise |

Le tableau III.17 ci-dessus renseigne que les Mollusques (Physidae et Lymnaeidae) constituent le taxon indicateur des MIB récoltés dans toutes les 4 stations.

L'IBGN obtenu longitudinalement dans la Gombe indique que les stations St I et St II sont des milieux de mauvaise qualité biologique et écologique ; et les stations St III et St IV des milieux de très mauvaise qualité biologique et écologique.

### III.2.2.1.2 Saison sèche

Le tableau III.18 présente les résultats relatifs aux MIB prélevés dans la Gombe en saison sèche, ainsi que des indices biologiques y afférents (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.18** Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | N' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | Ni | ni/N | |
| Insectes | Diptères | Culicidae | 145 | 0,196 | 302 | 0,159 | 44 | 0,076 | 49 | 0,096 | 540 |
| | | Chironomidae | 186 | 0,252 | 815 | 0,428 | 235 | 0,407 | 116 | 0,228 | 1352 |
| | | Syrphidae | 21 | 0,028 | 135 | 0,071 | 115 | 0,199 | 42 | 0,083 | 313 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,002 | 1 |
| | | Hygrobiidae | 0 | 0 | 10 | 0,005 | 6 | 0,010 | 1 | 0,002 | 17 |
| | | Elmidae | 1 | 0,001 | 0 | 0 | 1 | 0,002 | 0 | 0 | 2 |
| | | Spercheidae | 0 | 0 | 23 | 0,012 | 5 | 0,009 | 0 | 0 | 28 |
| | | Nepidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,003 | 0 | 0 | 2 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Tubificidae | 175 | 0,236 | 160 | 0,084 | 4 | 0,007 | 131 | 0,258 | 470 |
| | | Lumbriculidae | 20 | 0,027 | 94 | 0,049 | 1 | 0,002 | 30 | 0,059 | 145 |
| | | Lumbricidae | 86 | 0,116 | 230 | 0,121 | 4 | 0,007 | 4 | 0,008 | 324 |
| | Achètes (Arhychobdellida) | Hirudidae | 2 | 0,003 | 2 | 0,001 | 1 | 0,002 | 3 | 0,006 | 8 |
| | Tricladida | Planariidae | 0 | 0 | 6 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Gastéropodes | Basommatophora | Physidae | 97 | 0,131 | 84 | 0,044 | 110 | 0,190 | 122 | 0,240 | 413 |
| | | Lymnaeidae | 8 | 0,011 | 43 | 0,023 | 50 | 0,087 | 9 | 0,018 | 110 |
| N | | | 741 | | 1904 | | 578 | | 508 | | 3731 |
| % | | | 19,9 | | 51 | | 15,5 | | 13,6 | | |
| S | | | 10 | | 12 | | 13 | | 11 | | |
| H' | | | 2,58 | | 2,56 | | 2,30 | | 2,55 | | |
| J' | | | 0,78 | | 0,71 | | 0,62 | | 0,74 | | |
| FBI | | | 8,03 | | 7,83 | | 8,05 | | 8,12 | | |

**Légende :**

ni : Nombre d'individus par famille

N' : Somme de ni au sein d'une famille

N : Nombre d'individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% des individus par station par rapport à ∑N'

S : Nombre de taxons par station

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station

J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station

FBI : Indice d'Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

Les indicateurs recueillis de l'inventaire qualitatif des MIB échantillonnés dans la Gombe, renseignent que 15 familles y ont été répertoriées en saison sèche.

La station St III a enregistré le plus grand nombre de familles (S=13). Elle est suivie des stations St II (S=12), St IV (S= 11) et St I (S=10).

## 2° Abondance brute et abondance relative

L'inventaire quantitatif des MIB a révélé que 3731 individus ont été récoltés dans la Gombe en saison sèche.

L'abondance brute la plus élevée a été enregistrée à la station St II (51%), et la plus faible à la station St IV (13,6%). Les stations St I et St III ont respectivement 19,9% et 15,5% de l'ensemble des spécimens recueillis (Tableau III.18).

Cet inventaire a aussi révélé l'abondance relative des taxons répertoriés. La station St I a enregistré une proportion importante des Chironomidae avec 25,2%. Cette famille est suivie par celles des Tubificidae (23,6%), des Culicidae (19,6%), des Physidae (13,1%), des Lumbricidae (12%), des Syrphidae (2,8%), des Lumbriculidae (2,7%), des Lymnaeidae (1,1%), des Hirudidae (0,3%) et des Elmidae (0,1%).

La station St II est dominée par la famille des Chironomidae avec 42,8% d'abondance relative. Elle est talonnée par la famille des Culicidae (15,9%), suivie des familles des Lumbricidae (12,1%), des Tubificidae (8,4%), des Lymnaeidae (2,3%), des Spercheidae (1,2%) et des Hygrobiidae (0,5%).

Il a été observé une abondance importante des Chironomidae à la station St III, représentant ainsi 40,7% des individus récoltés. Cette famille est suivie par celles des Syrphidae (19,9%), des Physidae (19%), des Lymnaeidae (8,7%), des Culicidae (7,6%), des Hygrobiidae (1%), des Spercheidae (0,9%), des Tubificidae (0,7%), des Lumbricidae (0,7%), des Nepidae (0,3%), des Elmidae (0,2%), des Lumbriculidae (0,2%) et des Hirudidae (0,2%).

La station St IV est dominée par la famille des Tubificidae représentant 25,8% des spécimens récoltés. Elle est suivie par les familles des Physidae (24%), des Chironomidae (22,8%), des Culicidae (9,6%), des Syrphidae (8,3%), des Lumbriculidae (5,9%), des Lymnaeidae (1,8%), des Lumbricidae (0,8%), des Hirudidae (0,6%), des Hydrophilidae (0,2%) et des Hygrobiidae (0,2%).



Culicidae (Annexe 25)



Chironomidae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

L'étude comparative de la diversité taxonomique des différentes stations, a été faite dans la Gombe pendant la saison sèche.

Il en ressort que la station St I a eu la plus grande diversité (H'=2,58). Elle est suivie par les stations St II (H'=2,56), St IV (H'=2,55) et St III (H'=2,3) (Tableau III.18).

## 4° Equitabilité de Piélou

Le tableau III.18 renseigne que la répartition des peuplements des MIB dans la Gombe en saison sèche, est mieux équilibrée à la station St I (J'=0,78) qu'aux stations St IV (J'=0,74), St II (J'=0,71) et St III (J'=0,62).

## 5° Tolérance à la pollution organique

Le calcul de l'indice d'Hilsenhoff a permis d'évaluer longitudinalement, le degré de pollution organique de chaque station de la Gombe, pendant la saison sèche.

La tolérance à la pollution la plus élevée a été enregistrée à la station St IV (FBI=8,12), alors que la plus faible a été obtenue à la station St II (FBI=7,83). L'indice d'Hilsenhoff aux stations St III et St I a été respectivement de 8,05 et 8,03 (Tableau III.18).

## 6° Similarité

L'indice de Jaccard entre les différentes stations de la Gombe a révélé la similarité la plus élevée entre St II et St III (I=0,79) ; et la plus faible entre St I et St II (I=0,69).

Pour le reste, l'indice de similarité s'est présenté de la manière suivante : St I et St III (I=0,77) ; St I et St IV (I= 0,75) ; St III et St IV (I=0,71).

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.19** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| | **Stations** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** |
| **Somme de taxons** $\sum t$ | 10 | 12 | 13 | 11 |
| **Classe des variétés** | 4 | 4 | 5 | 4 |
| **Groupe faunistique indicateur** | Mollusque (Physidae et Lymnaeidae) | Mollusque (Physidae et Lymnaeidae) | Mollusque (Physidae) | Mollusque (Physidae et Lymnaeidae) |
| **IBGN** | 5 | 5 | 6 | 5 |
| **Qualité du milieu** | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise |

Il se dégage du tableau III.19 ci-dessus que les Mollusques constituent le groupe faunistique indicateur des peuplements des MIB récoltés dans les 4 stations de la Gombe en saison sèche. Ces Mollusques sont essentiellement représentés par les familles de Physidae et Lymnaeidae.

L'évaluation stationnelle de l'IBGN de la Gombe indique que cet hydrosystème est de mauvaise qualité biologique et écologique.

## III.2.2.2 Rivière Kinkusa

### III.2.2.2.1 Saison pluvieuse

Le tableau III.20 donne les résultats des MIB récoltés dans la Kinkusa en saison pluvieuse (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.20.** Distribution taxonomique des MIB dans Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | **St V** | | N’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | |
| Insectes | Diptères | Culicidae | 0 | 0 | 3 | 0,005 | 3 | 0,005 | 1 | 0,001 | 1 | 0,001 | 8 |
| | | Syrphidae | 3 | 0,004 | 5 | 0,008 | 6 | 0,009 | 3 | 0,004 | 1 | 0,001 | 18 |
| | | Tabaniidae | 5 | 0,007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,001 | 6 |
| | | Thaumaleidae | 0 | 0 | 1 | 0,002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Empididae | 4 | 0,005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | | Sciomyzidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Odonates | Libellulidae | 231 | 0,308 | 97 | 0,161 | 162 | 0,256 | 230 | 0,317 | 212 | 0,258 | 932 |
| | | Coenagrionidae | 44 | 0,059 | 0 | 0 | 5 | 0,008 | 20 | 0,028 | 21 | 0,026 | 90 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 4 | 0,005 | 2 | 0,003 | 3 | 0,005 | 27 | 0,037 | 1 | 0,001 | 37 |
| | | Hygrobiidae | 1 | 0,001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Hémiptères | Naucoridae | 12 | 0,016 | 1 | 0,002 | 17 | 0,027 | 0 | 0 | 159 | 0,193 | 189 |
| | | Nepidae | 24 | 0,032 | 2 | 0,003 | 3 | 0,005 | 0 | 0 | 3 | 0,004 | 32 |
| | Trichoptères | Hydropsychidae | 6 | 0,008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Tubificidae | 387 | 0,517 | 452 | 0,750 | 416 | 0,658 | 437 | 0,602 | 391 | 0,475 | 2083 |
| | | Lumbriculidae | 4 | 0,005 | 17 | 0,028 | 8 | 0,013 | 4 | 0,006 | 5 | 0,006 | 38 |
| | | Lumbricidae | 20 | 0,027 | 15 | 0,025 | 3 | 0,005 | 3 | 0,004 | 23 | 0,028 | 64 |
| | Achètes (Arhychobdellida) | Hirudidae | 0 | 0 | 4 | 0, 007 | 3 | 0,005 | 1 | 0,001 | 4 | 0,005 | 12 |
| Gastéropodes | Basommatophora | Physidae | 4 | 0,005 | 2 | 0,003 | 2 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | | Lymnaeidae | 0 | 0 | 2 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,001 | 3 |
| N | | | 749 | | 603 | | 632 | | 726 | | 823 | | 3533 |
| % | | | 21, 2 | | 17,1 | | 17,9 | | 20,5 | | 23,3 | | |
| S | | | 14 | | 13 | | 13 | | 9 | | 13 | | |
| H’ | | | 1,92 | | 2,81 | | 1,41 | | 1,40 | | 1,88 | | |
| J’ | | | 0,50 | | 0,76 | | 0,38 | | 0,44 | | 0,51 | | |
| FBI | | | 7,87 | | 7,90 | | 8,22 | | 8,24 | | 6,70 | | |

**Légende**

ni : Nombre d’individus par famille

N’ : Somme de ni au sein d’une famille

N : Nombre d’individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% des individus par station par rapport à ∑N’

S : Nombre de taxons par station

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station

J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station

FBI : Indice d'Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

Le tableau III.20 renseigne que 19 familles des MIB ont été récoltées dans la Kinkusa pendant la saison pluvieuse.

Quatorze (14) familles ont été inventoriées à la station St I, 13 dans chacune des stations St II, St III et St V; et 9 à la station St IV.

La station St I a présenté la richesse taxonomique la plus élevée, avec 73,7%, elle est suivie des stations St II, St III et St V qui sont ex-aequo (64,4%) et de la station St IV (47,4%).

### 2° Abondance brute et abondance relative

Le tableau III.20 indique que trois mille cinq cent trente-trois (3533) MIB ont été récoltés dans la Kinkusa pendant la saison pluvieuse.

La station St V a affiché l'abondance brute la plus élevée avec 823 spécimens échantillonnés, représentant 23,3% des individus recueillis longitudinalement dans cette rivière. Elle est talonnée par les stations St I, St IV, St III et St II avec respectivement 749 (21,2%), 726 (20,5%), 632 (17,9%) et 603 (17,1%) spécimens.

L'abondance relative a été estimée par station et par famille des MIB.

A la station St I, la famille des Tubificidae a réalisé l'abondance relative la plus élevée, avec 51,7%. Cette famille est suivie par celles des Libellulidae (30,8%), des Coenagrionidae (5,9%), des Nepidae (3,2%), des Lumbricidae (2,7%), des Naucoridae (1,6%), des Hydropsychidae (0,8%), des Tabaniidae (0,7%) ; des Empididae (0,5%), des Hydrophilidae (0,5%), des Lumbriculidae (0,5%), des Physidae (0,5%), des Syrphidae (0,4%) et des Hygrobiidae (0,1%).

A la station St II, l'abondance relative la plus élevée a été observée dans la famille des Tubificidae avec 75%. Elle est suivie par les familles des Libellulidae (16,1%), des Lumbriculidae (2,8%), des Lumbricidae (2,5%), des Syrphidae (0,8%), des Hirudidae (0,7%), des Culicidae (0,5%), des Hydrophilidae (0,3%), des Nepidae (0,3%), des Physidae (0,3%) et des Lymnaeidae (0,3%), des Thaumaleidae (0,2%) et des Naucoridae (0,2%).

A la station St III, le pic de l'abondance relative est atteint par la famille des Tubificidae avec 65,8%. Et juste après, ont été enregistrées les familles des Libellulidae

(25,6%), des Naucoridae (2,7%), des Lumbriculidae (1,3%), des Syrphidae (0,9%), des Coenagrionidae (0,8%), des Culicidae (0,5%), des Hydrophilidae (0,5%), des Nepidae (0,5%), des Lumbricidae (0,5%) et Hirudidae (0,5%), des Physidae (0,3%) et des Sciomyzidae (0,2%).

La station St IV a enregistré l'abondance relative la plus élévée dans la famille des Tubificidae a l'abondance relative la plus importante à la station St IV, avec 60,2%. Cette famille est suivie par celles des Libellulidae (31,7%), des Hydrophilidae (3,7%), des Coenagrionidae (2,8%), des Lumbriculidae (0,6%) ; des Syrphidae (0,4%), des Lumbricidae (0,4%), des Culicidae (0,1%) et Hirudidae (0,1%).

L'abondance relative la plus élevée à la station St V été observée dans la famille des Tubificidae (47,5%). Les familles des Libellulidae et des Naucoridae ont présenté respectivement 25,8% et 19,3% d'abondance relative. Elles sont talonnées par les familles des Lumbricidae (2,8%), des Coenagrionidae (2,6%), des Lumbriculidae (0,6%), des Hirudidae (0,5%), des Nepidae (0,4%), des Culicidae (0,1%), des Syrphidae (0,1%), des Tabaniidae (0,1%), des Hydrophilidae (0,1%) et des Lymnaeidae (0,1%).



Libellulidae (Annexe 25)



Coenagrionidae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

L'étude stationnelle de la biodiversité de la Kinkusa en saison pluvieuse, a renseigné que St II (H'=2,81) est plus diversifiée que St I (H'=1,92), St V (H'=1,88), St III (H'=1,41) et St IV (H'=1,4) (tableau III.20).

## 4° Equitabilité de Piélou

L'analyse des équilibres dans la répartition des MIB au sein des peuplements présents dans les différentes stations, a indiqué qu'à St II (J'=0,76) les individus sont mieux répartis qu'aux stations St V (J'=0,51), St I (J'=0,5), St IV (J'=0,44) et St III (J'=0,38) (Tableau III.20).

## 5° Tolérance à la pollution organique

L'évaluation de la pollution organique dans les différentes stations de la Kinkusa pendant la saison pluvieuse à partir de l'indice d'Hilsenhoff, a dégagé que celle-ci est plus accentuée aux stations St III et St IV (FBI=8,2) qu'aux stations St I, St II (FBI=7,9) ; et St V (FBI=6,7) (Tableau III.20).

## 6° Similarité

Le calcul de l'indice de similarité de Jaccard a révélé une ressemblance entre les différentes stations, prises 2 à 2, par rapport aux assemblages des MIB dans la Kinkusa.

Il s'est dégagé de cette étude que les stations St II et St III, St II et St V ainsi que St III et St V, ont affiché l'indice de similarité le plus élevé (I=0,73).

Elles sont suivies par les stations St III et St IV, St IV et St V (I=0,69) ; St I et St III, St I et St V (I=0,59) ; St II et St IV (I=0,57) ; St I et St II (I=0,50) ; St I et St IV (I=0,44).

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.21.** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| | **Stations** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** | **St V** |
| **Somme de taxons** $\sum t$ | 14 | 13 | 13 | 9 | 13 |
| **Classe de variété** | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| **Groupe faunistique indicateur** | Hydropsychidae | Oligochètes (Tubificidae, Lumbricidae et Lumbriculidae) | Oligochètes (Tubificidae, Lumbricidae et Lumbriculidae) | Oligochètes (Tubificidae, Lumbricidae et Lumbriculidae) | Oligochètes (Tubificidae, (Lumbricidae et Lumbriculidae) |
| **IBGN** | 7 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| **Qualité du milieu** | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise | Très Mauvaise | Mauvaise |

Il ressort du tableau III.21 que la station St I est représentée par la famille des Hydropsychidae comme taxon indicateur. Et les stations St II, St III, St IV et St V ont eu comme taxon indicateur les oligochètes (Tubificidae, Lumbricidae et Lumbriculidae).

En sus, ce tableau renseigne que la station St IV est d'une très mauvaise qualité biologique et écologique, alors que les stations St I, St II, St III et St V ont une mauvaise qualité biologique et écologique.

### III.2.2.2.2 Saison sèche

Le tableau III.22 reprend les résultats des MIB récoltés dans la Kinkusa pendant la saison sèche (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.22.** Distribution taxonomique des MIB dans Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | **St V** | | N' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | |
| Insectes | Diptères | Culicidae | 0 | 0 | 5 | 0,007 | 0 | 0 | 2 | 0,005 | 0 | 0 | 7 |
| | | Syrphidae | 0 | 0 | 4 | 0,005 | 2 | 0,007 | 0 | 0 | 3 | 0,012 | 9 |
| | Odonates | Libellulidae | 6 | 0,043 | 62 | 0,085 | 129 | 0,461 | 93 | 0,230 | 104 | 0,419 | 394 |
| | | Coenagrionidae | 0 | 0 | 2 | 0,003 | 6 | 0,021 | 15 | 0,037 | 7 | 0,028 | 30 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 2 | 0,014 | 2 | 0,003 | 9 | 0,032 | 2 | 0,005 | 0 | 0 | 15 |
| | | Hygrobiidae | 0 | 0 | 6 | 0,008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | Hémiptères | Naucoridae | 15 | 0,109 | 4 | 0,005 | 42 | 0,15 | 5 | 0,012 | 71 | 0,286 | 137 |
| | | Nepidae | 3 | 0,022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0,012 | 6 | 0,024 | 14 |
| | Trichoptères | Hydropsychidae | 4 | 0,029 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Tubificidae | 96 | 0,696 | 608 | 0,833 | 42 | 0,15 | 168 | 0,415 | 42 | 0,169 | 956 |
| | | Lumbriculidae | 2 | 0,014 | 4 | 0,005 | 15 | 0,054 | 69 | 0,170 | 2 | 0,008 | 92 |
| | | Lumbricidae | 5 | 0,036 | 12 | 0,016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,012 | 20 |
| | Achètes (Arhychobdellida) | Hirudidae | 0 | 0 | 11 | 0,015 | 33 | 0,118 | 43 | 0,106 | 9 | 0,036 | 96 |
| | | Glossiphonidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,007 | 0 | 0 | 3 |
| Gastéropodes | Basommatophora (Mollusques) | Physidae | 5 | 0,036 | 10 | 0,014 | 2 | 0,007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | | Lymnaeidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,004 | 1 |
| N | | | 138 | | 730 | | 280 | | 405 | | 248 | | 1801 |
| % | | | 7,66 | | 40,5 | | 15,55 | | 22,49 | | 13,77 | | |
| S | | | 9 | | 12 | | 9 | | 10 | | 10 | | |
| H' | | | 1,68 | | 1,19 | | 2,23 | | 2,28 | | | 2,15 | |
| J' | | | 0,53 | | 0,33 | | 0,72 | | 0,69 | | | 0,65 | |
| FBI | | | 6,84 | | 7,98 | | 7,20 | | 8,05 | | | 5,98 | |

**Légende :**

ni : Nombre d'individus par famille

N' : Somme de ni au sein d'une famille

N : Nombre d'individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% des individus par station par rapport à ∑N'

S : Nombre de taxons par station

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station

J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station

FBI : Indice d'Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

Le tableau III.22 renseigne que 16 familles des MIB ont été inventoriées dans la Kinkusa pendant la saison sèche, d'amont en aval. Leur répartition longitudinale s'est présentée de la manière suivante : 9 à la station St I, 12 à la station St II, 9 à la station St III, 10 à la station St IV et 10 à la station St V. La richesse taxonomique la plus élevée a été observée à la station St II avec 75% de l'effectif total des familles recueillies dans la Kinkusa. Elle est suivie par les stations St IV et St V (62,5%) ; St I et St III (56,25%).

## 2° Abondance brute et abondance relative

Mille huit cent et un (1801) MIB ont été échantillonnés dans la rivière Kinkusa. D'amont en aval, ces spécimens sont répartis de la manière suivante : 138 à la station St I, 730 à la station St II, 280 à la station St III, 405 à la station St IV et 248 à la station St V.

Le pic de l'abondance brute a été réalisé à la station St II avec 40,50%, celle-ci est talonnée par les stations St IV (22,49%), St III (15,55%), St V (13,77%) et St I (7,66%).

L'abondance relative, celle-ci a été évaluée par station et par famille des MIB.

A la station St I, la famille des Tubificidae a réalisé l'abondance relative la plus élevée avec 69,6% de l'ensemble des taxons qui y ont été prélevés. Cette famille est suivie par celles des Naucoridae (10,9%), des Libellulidae (4,3%), des Lumbricidae (3,6%), des Physidae (3,6%) ; des Hydropsychidae (2,9%), des Nepidae (2,2%), des Hydrophilidae (1,4%) et des Lumbriculidae (1,4%).

A la station St II, la plus haute fréquence relative a été observée dans la famille des Tubificidae (83,3%) ; et la plus basse dans celle des Hydrophilidae (0,3%). Les familles des Libellulidae, des Lumbricidae, des Hirudidae, des Physidae, des Hygrobiidae, des Culicidae, des Syrphidae, des Naucoridae et des Lumbriculidae ; ont respectivement enregistré 8,5%, 1,6%, 1,5%, 1,4%, 0,8%, 0,7%, 0,5%, 0,5 et 0,5%.

La station St III a enregistré la fréquence relative la plus élevée dans la famille des Libellulidae (46%). Cette dernière est suivie par celles des Naucoridae et Tubificidae avec 15% chacune, des Hirudidae (11,8%), des Hydrophilidae (3,2%), des Coenagrionidae (2,1%), des Syrphidae et Physidae avec 0,7% chacune.

A la station St IV, la famille des Tubificidae a obtenu l'abondance relative la plus élevée avec 41,5%. Les autres familles ont enregistré les fréquences relatives suivantes : Libellulidae (23%), Lumbriculidae (17%); Hirudidae (10,6%), Coenagrionidae (3,7%), Naucoridae (1,2%), Nepidae (1,2%), 0,7% pour Glossiphonidae (0,7%), Culicidae (0 ,5%) et Hydrophilidae (0,5%).

Les familles de la station St V ont enregistré les valeurs décroissantes des fréquences relatives suivantes : Libellulidae (41,9%), Naucoridae (28,6%), 16,9% pour Tubificidae (16,9%), Hirudidae (3,6%), Coenagrionidae (2,8%), 2,4% pour Nepidae (2,4%), Syrphidae (1,2%), Lumbricidae (1,2%), Lumbriculidae (0,8%) et Lymnaeidae (0,4%).



Naucoridae (Annexe 25)



Hirudidae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

Le calcul de l'indice de Shannon-Weaver a révélé une biodiversité inhérente à l'assemblage des MIB dans chaque station de la Kinkusa pendant la saison sèche. Il en ressort que la station St IV (H'=2,28) soit la plus diversifiée ; et la station St II (H'=1,19) la moins diversifiée (Tableau III.22).

## 4° Equitabilité de Piélou

L'analyse des équilibres observés au sein des peuplements des MIB dans les différentes stations de la Kinkusa, a démontré que la répartition des taxons est plus équitable à la station St III (J'=0,72) que dans les stations St IV (J'=0,69), St V (J'=0,65), St I (J'=0,53) et St II (J'=0,33) (Tableau III.22).

## 5° Tolérance à la pollution

Le calcul de l'indice d'Hilsenhoff a établi que la station St IV (FBI=8,05) est plus tolérante à la pollution organique que les autres stations. Elle est suivie par les stations St II (FBI=7,98), St III (FBI=7,20), St I (FBI=6,84) et St V (FBI=5,98) (Tableau III.22).

## 6° Similarité

Le calcul de l'indice de Jaccard a permis d'établir les affinités existant entre les stations. Le degré d'affinité le plus élevé a été constaté entre les stations St II et St III (I=0,75), le plus faible entre St I et St IV (I=0,46) ; St I et St V (I=0,46). Les stations St III et St IV ; St III et St V ont affiché un indice de similarité identique (I=0,58).

Les autres stations prises aussi 2 à 2 ont degagé les indices de similarité suivants : St II et St V (0,57), St II et St IV (I=0,57), St IV et St V (I=0,54), St I et St II (I=0,50), St I et St III (I=0,50).

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.23.** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| | **Stations** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** | **St V** |
| **Somme de taxons** $\sum t$ | 9 | 12 | 9 | 10 | 10 |
| **Classe de variété** | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| **Groupe faunistique indicateur** | Hydropsychidae | Mollusques (Physidae) | Oligochètes (Tubificidae et Lumbriculidae) | Oligochètes (Tubificidae et Lumbriculidae) | Oligochètes (Tubificidae) |
| **IBGN** | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 |
| **Qualité du milieu** | Mauvaise | Mauvaise | Très Mauvaise | Très Mauvaise | Très Mauvaise |

Le tableau III.23 renseigne que les stations St I et St II ont eu respectivement les familles des Hydropsychidae et des Physidae (Mollusques) comme taxons indicateurs.

Les stations St III, St IV et St V ont présenté les Oligochètes comme groupe faunistique indicateur. Concernant la qualité biologique et écologique des stations de la Kinkusa pendant la saison sèche, le calcul de l'IBGN a montré que les stations St I et St II ont révélé une mauvaise qualité, et les stations St III, St IV et St V une très mauvaise qualité.

## III.2.2.3 Rivière Mangengenge

### III.2.2.3.1 Saison pluvieuse

Le tableau III.24 présente les résultats des MIB récoltés dans la Mangengenge pendant la saison pluvieuse, dans les quatre stations d'étude (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.24.** Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | **N'** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ni | ni/N | Ni | Ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | |
| Insectes | Diptères | Ceratopogonidae | 1 | 0,008 | 5 | 0,042 | 3 | 0,026 | 1 | 0,014 | 10 |
| | | Tabaniidae | 2 | 0,016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | Dolichopodidae | 1 | 0,008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 33 | 0,268 | 29 | 0,246 | 44 | 0,376 | 25 | 0,338 | 131 |
| | | Dryopidae | 7 | 0,057 | 5 | 0,042 | 3 | 0,026 | 2 | 0,027 | 17 |
| | | Hygrobiidae | 1 | 0,008 | 0 | 0 | 2 | 0,017 | 3 | 0,041 | 6 |
| | | Spercheidae | 0 | 0 | 4 | 0,034 | 0 | 0 | 2 | 0,027 | 6 |
| | Hémiptères | Naucoridae | 11 | 0,089 | 6 | 0,051 | 4 | 0,034 | 10 | 0,135 | 31 |
| | | Nepidae | 1 | 0,008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,014 | 2 |
| | | Aphelocheiridae | 8 | 0,065 | 15 | 0,127 | 7 | 0,060 | 3 | 0,041 | 33 |
| | | Notonectidae | 12 | 0,098 | 3 | 0,025 | 9 | 0,077 | 4 | 0,054 | 28 |
| | Trichoptères | Ecnomidae | 0 | 0 | 1 | 0,008 | 1 | 0,009 | 0 | 0 | 2 |
| | | Hydropsychidae | 5 | 0,041 | 21 | 0,178 | 15 | 0,128 | 3 | 0,041 | 44 |
| | | Philopotamidae | 4 | 0,033 | 3 | 0,025 | 3 | 0,026 | 6 | 0,081 | 16 |
| | Odonates | Libellulidae | 12 | 0,098 | 11 | 0,093 | 12 | 0,103 | 10 | 0,135 | 45 |
| | | Coenagrionidae | 4 | 0,033 | 5 | 0,042 | 8 | 0,068 | 1 | 0,014 | 18 |
| | | Gomphidae | 14 | 0,114 | 6 | 0,051 | 3 | 0,026 | 2 | 0,027 | 25 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Tubificidae | 3 | 0,024 | 0 | 0 | 3 | 0,026 | 1 | 0,014 | 7 |
| | | Lumbriculidae | 0 | 0 | 4 | 0,034 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | | Lumbricidae | 4 | 0,033 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| N | | | 123 | | 118 | | 117 | | 74 | | 432 |
| % | | | 28,5 | | 27,3 | | 27,1 | | 17,1 | | |
| S | | | 17 | | 14 | | 14 | | 15 | | |
| H' | | | 3,45 | | 3,31 | | 3,04 | | 3,15 | | |
| J' | | | 0,84 | | 0,87 | | 0,80 | | 0,80 | | |
| FBI | | | 4,10 | | 4,20 | | 4,44 | | 3,90 | | |

**Légende :**

ni : Nombre d'individus par famille

N' : Somme de ni au sein d'une famille

N : Somme d'individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% : Pourcentage des individus par station par rapport à ∑N'

S : Nombre de taxons par station

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station

J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station

FBI : Indice d'Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

Vingt (20) familles des MIB ont été inventoriées dans la Mangengenge pendant la saison pluvieuse.

La station St I est la plus représentative, avec 17 familles représentant 85% de l'effectif total des familles recueillies dans cette rivière. Elle est suivie par les stations St IV, St II et St III comprenant respectivement 15 familles (75%), et 14 (soit 65%) pour les deux dernières stations.

## 2° Abondance brute et abondance relative

Quatre cent trente-deux (432) spécimens ont été récoltés dans les quatre stations (Tableau III.24).

La station St I a été la plus abondante en MIB, avec 123 individus recueillis (soit 28,5% du total des MIB récoltés dans les quatre stations). Elle est talonnée par les stations St II, St III et St IV avec respectivement 118 (27,3%), 117 (27,1%) et 74 (17,1%) individus.

L'abondance relative a été évaluée par station et par famille. La station St I a été marquée par la famille des Hydrophilidae qui a presenté l'abondance relative la plus élevée, avec 26,8%. Elle a été suivie par les familles des Gomphidae (11,4%), des Notonectidae (9,8%), Libellulidae (9,8%), des Naucoridae (8,9%), des Aphelocheiridae ( 6,5%), des Dryopidae (5,7%), des Hydropsychidae (4,1%) , des Philopotamidae (3,3%), des Coenagrionidae (3,3%), Lumbricidae (3,3%), des Tabaniidae (1,6%); des Ceratopogonidae (0,8%), Dolichopodidae (0,8%), Hygrobiidae (0,8%) et Nepidae ( 0,8%).

A la station St II, l'abondance relative la plus importante a été observée dans la famille des Hydrophilidae, avec 24,6%. Sont ensuite arrivées les familles des Hydropsychidae (17,8%), des Aphelocheiridae (12,7%), des Libellulidae (9,3%), des Naucoridae (5,1%), Gomphidae (5,1%) ; des Ceratopogonidae (4,2%), des Dryopidae (4,2%), des Coenagrionidae (4,2%) ; des Spercheidae (3,4%), Lumbriculidae (3,4% ), des Notonectidae (2,5%), Philopotamidae (2,5%) et des Ecnomidae (0,8%).

A la station St III, la famille des Hydrophilidae a obtenu la fréquence la plus élevée, avec 37,6%.Elle est suivie par les familles des Hydropsychidae ( 12,8%), des Libellulidae ( 10,3%), des Notonectidae ( 7,7%), des Coenagrionidae ( 6,8%), des

Aphelocheiridae ( 6%), des Naucoridae ( 3,4%) ; des Ceratopogonidae (2,6%), Dryopidae (2,6%), Gomphidae (2,6%), Tubificidae ( 2,6%) ; des Hygrobiidae ( 1,7% ) et des Ecnomidae (0,9%).

A la station St IV, la famille des Hydrophilidae a enregistré l'abondance relative la plus élevée avec 33,8%. Les autres ont réalisé différentes valeurs d'abondance relative. Il s'agit des familles des Naucoridae (13,5%), Libellulidae (13,5%), Notonectidae (5,4%%), Aphelocheiridae (4,1%), Hydropsychidae (4,1%), Dryopidae (2,7%), Spercheidae (2,7%), Gomphidae (2,7%) ; Ceratopogonidae (1,4%), Nepidae (1,4%), Coenagrionidae (1,4%) et Tubificidae (1,4%).



Philopotamidae (Annexe 25)



Hydrophilidae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

L'indice de Shannon-Weaver a permis de cerner la biodiversité de station d'étude de la rivière Mangengenge pendant la saison pluvieuse. Il s'est dégagé du calcul de cet indice que la station St II est plus diversifiée que les autres. Elle est suivie par les stations St II (H'=3,31), St IV (H'=3,15) et St III (H'=3,04) (Tableau III.24).

## 4° Equitabilté de Piélou

L'analyse des équilibres entre taxons au sein des assemblages des MIB, a révélé que la station St II (J'=0,87) a l'indice le plus élevé dans la Mangengenge pendant la saison pluvieuse.

Elle est suivie par la station St I (J'=0,84) et les stations St III et St IV qui ont présenté une valeur indicielle identique (J'=0,80) (Tableau III.24).

## 5° Tolérance à la pollution organique

L'indice de tolérance à la pollution organique le plus élevé, a été observé à la station St III (FBI=4,44) et le plus faible à la station St IV (FBI=3,9).

Les stations St II et St I ont présenté des valeurs intermédiaires (FBI=4,20 et FBI=4,10) (Tableau III.24).

## 6° Similarité

Le calcul de l'indice de Jaccard a permis de dégager des similitudes entre les stations, concernant les taxons qui constituent les différents peuplements des MIB.

Prises 2 à 2, les stations St I et St IV ont présenté l'indice le plus élevé (I=0,78), tandis que les stations St III et St IV ont fourni l'indice le plus faible (I=0,38).Les stations St II et St III ; St I et St III ; St II et St IV ; St I et St II ont affiché les valeurs indicielles décroissantes suivantes : I=0,75 ; I=0,72 ; I=0,71 ; I=0,55.

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.25.** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Stations | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** |
|---|---|---|---|---|
| Somme de taxons $\sum t$ | 17 | 14 | 14 | 15 |
| Classe de variété | 6 | 5 | 5 | 5 |
| Groupe faunistique indicateur | Philopotamidae | Philopotamidae | Philopotamidae | Philopotamidae |
| IBGN | 13 | 12 | 12 | 12 |
| Qualité du milieu | Bonne | Passable | Passable | Passable |

Il se dégage du tableau III.25 que la famille des Philopotamidae a constitué le groupe faunistique indicateur de toutes les stations de la Mangengenge en saison pluvieuse.

La qualité biologique et écologique de cet hydrosystème révélée par le calcul de l'IBGN, a démontré que la station St I est d'une bonne valeur, tandis que les stations St II, St III et St IV sont d'une valeur passable.

### III.2.2.3.2 Saison sèche

Le tableau III.26 présente les résultats relatifs aux MIB prélevés dans la Mangengenge en saison sèche (Photographies Annexe 25).

**Tableau III.26.** Distribution taxonomique des MIB dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015.

| **Classes** | **Ordres** | **Familles** | **St I** | | **St II** | | **St III** | | **St IV** | | N' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | ni | ni/N | |
| Insectes | Diptères | Culicidae | 1 | 0,006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Ceratopogonidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,021 | 2 |
| | Coléoptères | Hydrophilidae | 15 | 0,092 | 5 | 0,048 | 5 | 0,070 | 10 | 0,106 | 35 |
| | | Dysticidae | 0 | 0 | 1 | 0,010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Limnebidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,011 | 1 |
| | | Spercheidae | 0 | 0 | 1 | 0,010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | Ephéméroptères | Potamanthidae | 5 | 0,031 | 3 | 0,030 | 7 | 0,099 | 4 | 0,043 | 19 |
| | Hémiptères | Naucoridae | 24 | 0,147 | 8 | 0,076 | 0 | 0 | 4 | 0,043 | 36 |
| | | Nepidae | 3 | 0,018 | 4 | 0,038 | 2 | 0,028 | 4 | 0,043 | 13 |
| | | Gerridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,021 | 2 |
| | | Aphelocheiridae | 8 | 0,049 | 16 | 0,152 | 4 | 0,056 | 17 | 0,181 | 45 |
| | | Notonectidae | 6 | 0,037 | 6 | 0,057 | 10 | 0,141 | 0 | 0 | 22 |
| | Trichoptères | Ecnomidae | 0 | 0 | 2 | 0,019 | 0 | 0 | 2 | 0,021 | 4 |
| | | Leptoceridae | 0 | 0 | 1 | 0,010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Hydropsychidae | 6 | 0,037 | 24 | 0,229 | 14 | 0,197 | 9 | 0,096 | 53 |
| | | Philopotamidae | 2 | 0,012 | 4 | 0,038 | 3 | 0,042 | 6 | 0,064 | 15 |
| | | Glossosomatidae | 7 | 0,043 | 5 | 0,048 | 3 | 0,042 | 4 | 0,043 | 19 |
| | Odonates | Libellulidae | 60 | 0,368 | 20 | 0,19 | 10 | 0,141 | 18 | 0,191 | 108 |
| | | Coenagrionidae | 12 | 0,074 | 3 | 0,030 | 2 | 0,028 | 5 | 0,053 | 22 |
| | | Gomphidae | 10 | 0,061 | 2 | 0,019 | 10 | 0,141 | 2 | 0,021 | 24 |
| Clitellates | Oligochètes (Lumbriculida) | Naididae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,011 | 1 |
| | | Lumbriculidae | 2 | 0,012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | Lumbricidae | 2 | 0,012 | 0 | 0 | 1 | 0,014 | 1 | 0,011 | 4 |
| | Achètes (Arhychobdellida) | Hirudidae | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,021 | 2 |
| N | | | 163 | | 105 | | 71 | | 94 | | 433 |
| % | | | 37,6 | | 24,2 | | 16,4 | | 21,7 | | |
| S | | | 15 | | 16 | | 12 | | 18 | | |
| H' | | | 3,10 | | 3,58 | | 3,25 | | 3,62 | | |
| J' | | | 0,79 | | 0,89 | | 0,90 | | 0,87 | | |
| FBI | | | 5,23 | | 3,76 | | 3,66 | | 4,03 | | |

**Légende :**

ni : Nombre d'individus par famille

N' : Somme de ni au sein d'une famille

N : Somme d'individus par station

ni/N : Abondance relative par station

% des individus par station par rapport à ∑N'

S : Nombre de taxons par station

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver par station
J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station
FBI : Indice d'Hilsenhoff

## 1° Richesse taxonomique

Il ressort du tableau III.26 que 24 familles des MIB ont été récoltées dans la Mangengenge pendant la saison sèche. Celles-ci sont réparties en 8 ordres et 2 classes.
La station St IV a été plus riche que les autres avec 18 familles représentant 75% de l'ensemble des taxons recueillis. Elle est suivie par les stations St II (16 familles), St I (15 familles) et St III (12 familles) ; exprimant respectivement 66,7% ; 62% et 50% du total des taxons inventoriés.

## 2° Abondance brute et abondance relative

Le tableau III.26 rensigne que quatre cent trente-trois (433) spécimens des MIB ont été récoltés longitudinalement dans la Mangengenge pendant la saison sèche. Il découle de ces statistiques que la station St I a représenté l'abondance brute la plus élevée en MIB par rapport aux autres, avec 163 individus représentant 37,6% de l'effectif total. Elle est talonnée par les stations St II (105 individus), St IV (94 individus) et St III (71 individus) ; exprimant respectivement 24,2% ; 21,7% et 16,4%.

L'évaluation du degré de participation de chaque famille dans la constitution des peuplements de MIB, a été faite par station et par famille.

En ce qui a trait à la station St I, l'abondance relative la plus élevée a été observée dans la famille des Libellulidae, avec 36,8% du taux de participation. Elle est accompagnée par les familles des Naucoridae (14,7%), des Hydrophilidae (9,2%), des Coenagrionidae (7,4%), des Gomphidae (6,1%), des Aphelocheiridae (4,9%), des Notonectidae (3,7%), des Hydropsychidae (3,7%), des Nepidae (1,8%), des Lumbriculidae (1,2%), Lumbricidae (1,2%) et des Culicidae (0,6%).

A la station St II, il s'est dégagé que la famille des Hydropsychidae a enregistré l'abondance relative la plus élevée, avec 22,9%. Elle est suivie par les familles des Libellulidae (19%), des Aphelocheiridae (15,2%), des Naucoridae (7,6%), des Notonectidae (5,7%), des Hydrophilidae (4,8%), des Nepidae (3,8%), des Coenagrionidae (2,9%); des Potamanthidae (2,9%) ; des Ecnomidae (1,9%) et Gomphidae (1,9%) ; des Dysticidae (1,2%), des Spercheidae (1,2%), des des Leptoceridae (1,2%), des Philopotamidae (1,2%) et Glossosomatidae (1,2 %).

A la station St III, la famille des Hydropsychidae a enregistré l'abondance relative la plus importante, avec 19,7%. Elle est succédée par les familles des Notonectidae (14,1%), des Gomphidae (14,1%), des Libellulidae (14,1%) ; des Potamanthidae (9,9%) ; des Hydrophilidae (7%) ; des Aphelocheiridae (5,6%), des Philopotamidae (4,2%), des Glossosomatidae (4,2%), des Nepidae (2,8%), des Coenagrionidae (2,8%) et des Lumbricidae ( 1,4%).

L'abondance relative la plus élevée à la station St IV a été observée dans la famille des Libellulidae, avec 19,1%. Elle est talonnée par les familles suivantes : Aphelocheiridae (18,1%), Hydrophilidae (10,6%), Hydropsychidae (9,6%), Philopotamidae (6,4%), Coenagrionidae (5,3%), Glossosomatidae (4,3%), Potamanthidae (4,3%), Naucoridae (4,3%), Nepidae (4,3%) ; Ceratopogonidae (2,1%), Gerridae (2 ,1%), Ecnomidae (2,1%), Gomphidae (2,1%), Hirudidae (2,1%) ; Limnebidae (1,1%), Naididae (1,1%) et Lumbricidae (1,1%).



Hydropsychidae (Annexe 25)



Aphelocheiridae (Annexe 25)

## 3° Diversité taxonomique

L'évaluation de l'indice de diversité afférent aux différents assemblages des MIB récoltés dans les stations de la Mangengenge pendant la saison sèche, a révélé que la St IV a été la plus diversifiée (H'=3,62).

Le calcul de l'indice de diversité de Shannon-Weaver pour les autres stations, a affiché les valeurs décroissantes ci-après : H'=3,58 pour St II ; H'=3,25 pour St III et H'=3,10 pour St I (Tableau III.26).

## 4° Equitabilité de Piélou

L'analyse des équilibres entre les taxons au sein des différentes communautés des MIB existant dans la Mangengenge, a démontré que les différentes familles qui les composent sont mieux réparties à la station St III (J'=0,90) qu'aux stations St II (J'=0,89), St IV (J'=087) et St I (J'=0,79) (Tableau III.26).

## 5° Tolérance à la pollution organique

Le calcul de l'indice d'Hilsenhoff a permis d'évaluer le niveau de tolérance à la pollution organique pour chacune des stations. Il s'en est dégagé que la station St I (avec FBI=5,23) a affiché une tolérance à la pollution plus élevée que les autres.

Elle est suivie par St V (FBI=4,03), St II (FBI=3,76) et St III (FBI=3,66) (Tableau III.26).

## 6° Similarité

Le calcul de l'indice de Jaccard a démontré un rapprochement entre les stations de la Mangengenge par rapport à la composition taxonomique des assemblages des MIB. Il a été constaté que les stations St I et St III ont affiché une très grande affinité (I=0,8).

Prise 2 à 2, les autres stations ont présenté les indices de similarité suivants :

St II et St III (I=0,65) ; St I et St II (I=0,63) ; St III et St IV (I=0,58) ; St I et St IV (I=0,57) ; St II et St IV (I=0,55).

## 7° Indice Biologique Global Normalisé

**Tableau III.27.** Evaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Stations | **St I** | **St II** | **St III** | **St IV** |
|---|---|---|---|---|
| Somme de taxons $\sum t$ | 15 | 16 | 12 | 18 |
| Classe de variété | 5 | 5 | 4 | 6 |
| Groupe faunistique indicateur | Glossosomatidae | Philopotamidae | Philopotamidae | Philopotamidae |
| IBGN | 11 | 12 | 11 | 13 |
| Qualité du milieu | Passable | Passable | Passable | Bonne |

Le tableau III.27 ci-dessus renseigne que la station St I a présenté la famille des Glossosomatidae comme groupe faunistique indicateur, tandis que les stations St II, St III et St IV ont eu comme groupe indicateur la famille des Philopotamidae.

Concernant la valeur biologique et écologique des eaux de cette rivière, le calcul de l'IBGN a révélé que les stations St I, St II et St III sont d'une qualité passables, alors la station St IV est d'une bonne qualité.

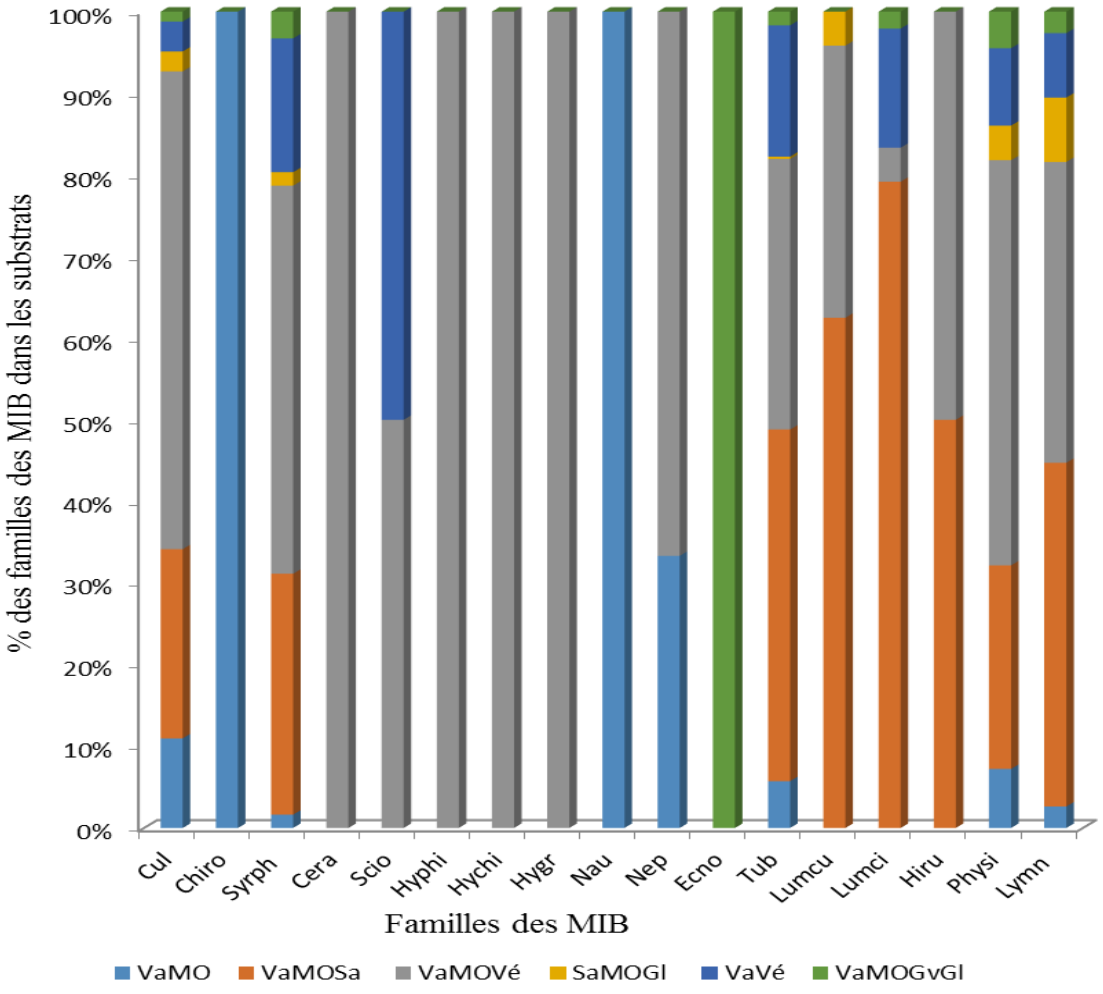
### III.2.3 Distribution écologique des macroinvertébrés

La répartition des MIB dans les substrats a été évaluée dans chaque hydrosystème pendant les 2 saisons (Annexe 27).

## III.2.3.1 Rivière Gombe

Les figures III.25 et III.26 représentent la répartition des MIB dans les différents substrats inventoriés dans la Gombe en saison pluvieuse et en saison sèche.

### III.2.3.1.1 Saison pluvieuse




**Figue III.25.** Répartition écologique de MIB dans les substrats des eaux de la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015 (VaMO : Vase et Matière Organique ; VaMOSa : Vase, Matière Organique et Sable ; VaMOVé : Vase, Matière Organique et Végétation émergente ; SaMOGl : Sable, Matière Organique et Galet ; Vavé : Vase et Végétation émergente ; VaMOGvGl : Vase, Matière Organique, Gravier et Galet)

La figure III.25 renseigne que les familles des Hygrobiidae, Hydrochidae et Hydrophilidae ne sont présentes que dans le substrat VaMoVé. Quant aux familles des Chironomidae et des Ecnomidae, celles-ci ne sont respectivement presentes que dans les substrats VaMO et VaMOGrGl.

Les familles suivantes sont ubiquistes dans la rivière Gombe : Culicidae, Physidae, Lymneidae.

### III.2.3.1.2 Saison sèche

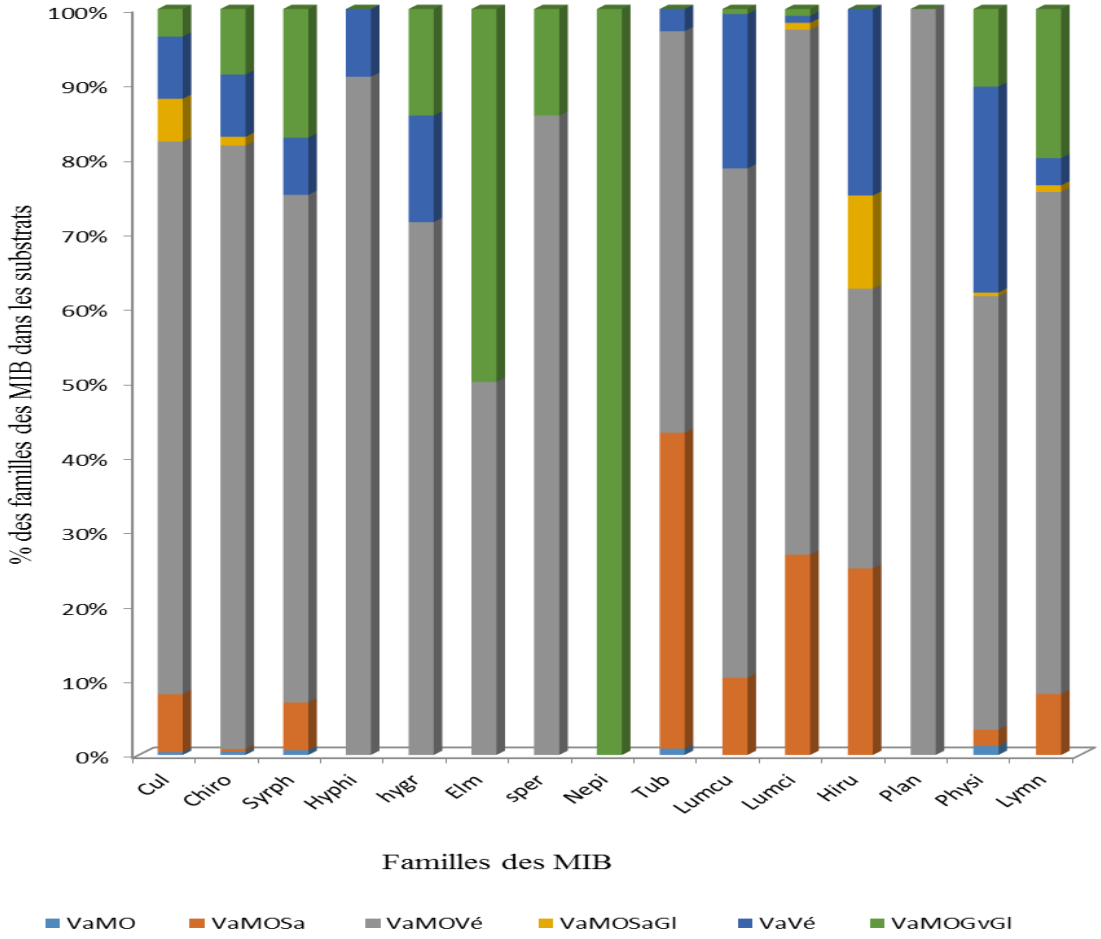



**Figure III.26.** Répartition écologique des MIB dans les substrats des eaux de la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015 (VaMO : Vase et Matière Organique ; VaMOSa : Vase, Matière Organique et Sable ; VaMOVé : Vase, Matière Organique et Végétation émergente ; VaMOSaGl : Vase, Matière Organique, Sable et Galet ; VaVé : Vase et Végétation émergente ; VaMOGvGl : Vase, Matière Organique, Gravier et Galet).

La figure III.26 révèle qu'en saison sèche, chaque famille des MIB est représentée dans le substrat VaMOVé. Les familles des Nepidae et Planeriidae ne sont retrouvées que dans les substrats VaMOGvGl pour la première et VaMOVé pour la deuxième.

Les familles des Culicidae, Chironomidae, Syrphidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Tubificidae, Lumbriculidae, physidae et Lymnaeidae sont plus représentées dans le substrat VaMOVé que dans les autres.

### III.2.3.2 Rivière Kinkusa

Les figures III.27 et III.28 illustrent la distribution des MIB dans les substrats inventoriés dans la rivière Kinkusa pendant les deux saisons d'étude.

#### III.2.3.2.1 Saison pluvieuse

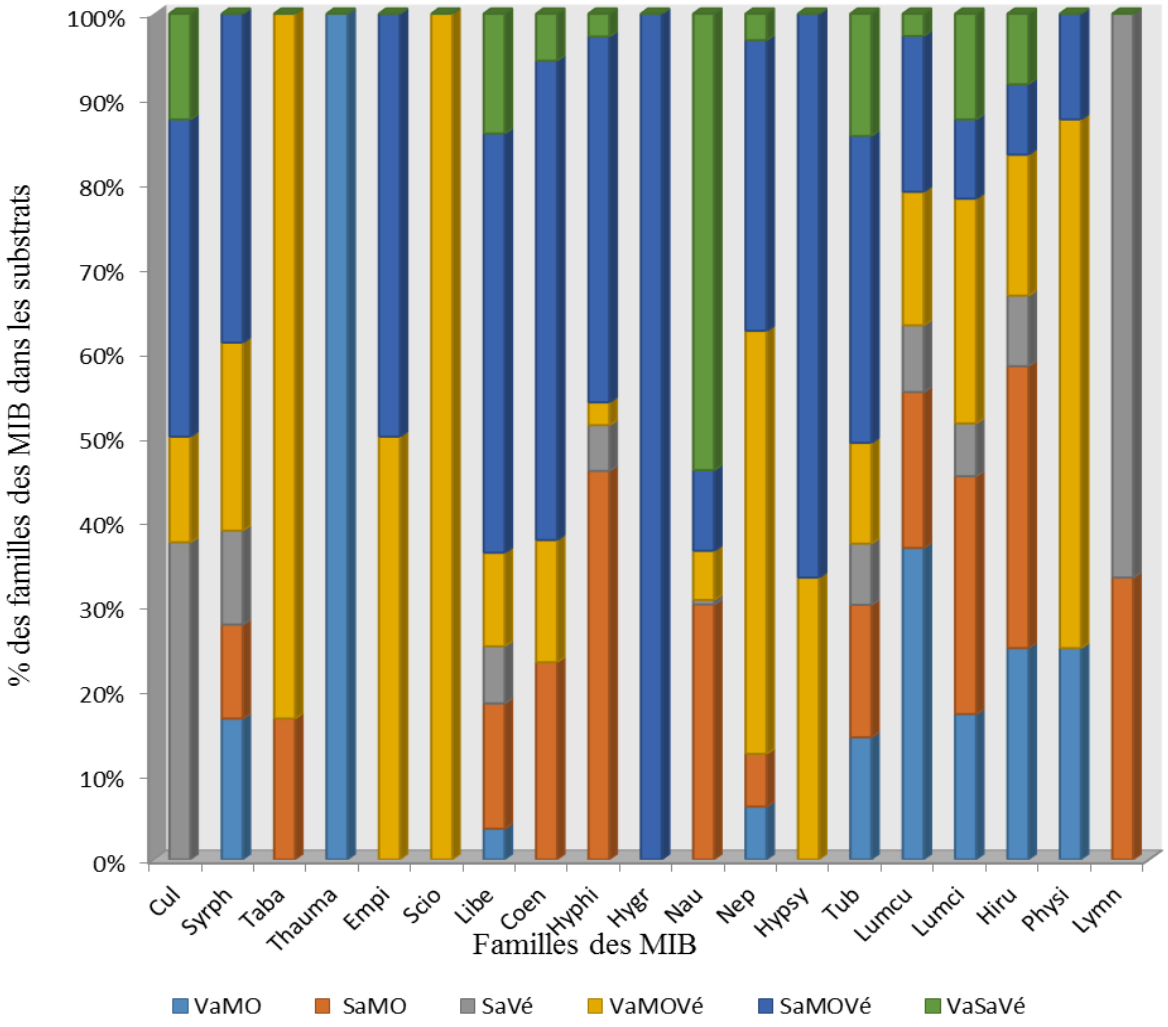



**Figure III.27.** Répartition écologique des MIB dans les substrats des eaux de la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015 (VaMO : Vase et Matière Organique ; VaMOSa : Vase, Matière Organique et Sable ; VaMOVé : Vase, Matière Organique et Végétation émergente ; VaMOSaGl : Vase, Matière Organique, Sable et Galet ; VaVé : Vase et Végétation émergente ; VaMOGvGl : Vase, Matière Organique, Gravier et Galet).

Il se dégage de la figure III.27 que les familles ci-dessous ne sont présentes que dans un substrat. Il s'agit de Thaumaleidae dans VaMO et Hygrobiidae dans SaMOVé.

Les familles suivantes sont ubiquistes dans la rivière Kinkusa : Libellulidae, Tubificidae, Lumbriculidae, Lumbricidae, Hirudidae.

### III.2.3.2.2 Saison sèche

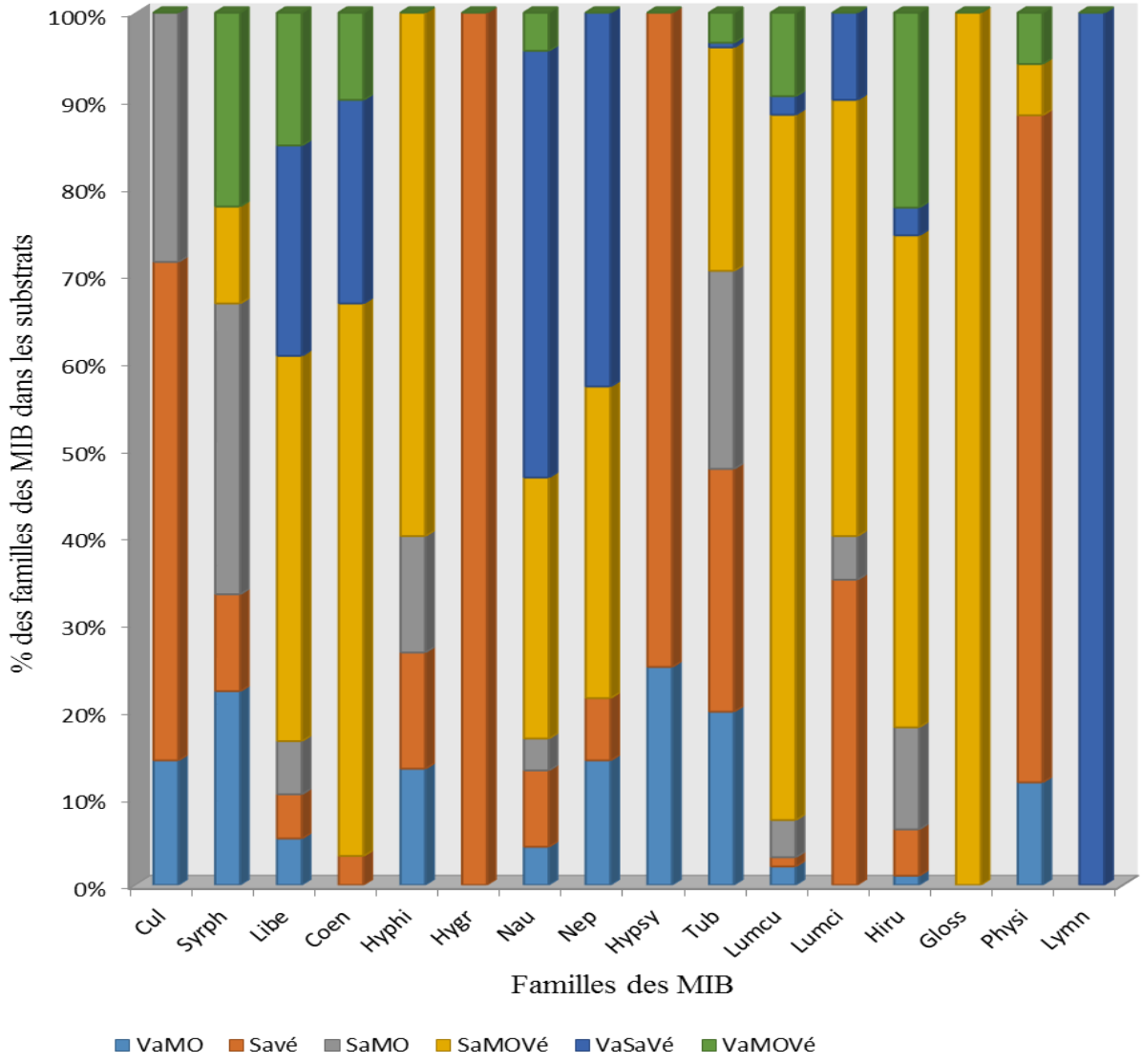



**Figure III.28.** Répartition des MIB dans les substrats des eaux de la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015 (VaMO : Vase et Matière Organique ; SaVé : Sable et Végétation émergente ; SaMO : Sable, Matière Organique ; SaMOVé : Sable, Matière Organique et Végatation émergente ; VaSaVé : Vase, Sable et Végétation émergente ; VaMOVé : Vase, Matière Organique et Végétation émergente)

Dans la Kinkusa, en saison sèche, les familles suivantes n'ont été répertoriées que dans un seul substrat. Il s'agit des Hygrobiidae dans le substrat SaVé, Glossiphonidae dans le substrat SaMOVé et Lymnaeidae dans le substrat VaSaVé.

Les familles des Libellulidae, des Naucoridae, des Tubificidae, des Lumbriculidae et des Hirudidae sont ubiquistes.

### III.2.3.3 Rivière Mangengenge

Les figures III.29 et III.30 représentent la répartition des MIB dans les substrats échantillonnés dans la rivière Mangengenge pendant les deux saisons d'étude.

#### III.2.3.3.1 Saison pluvieuse

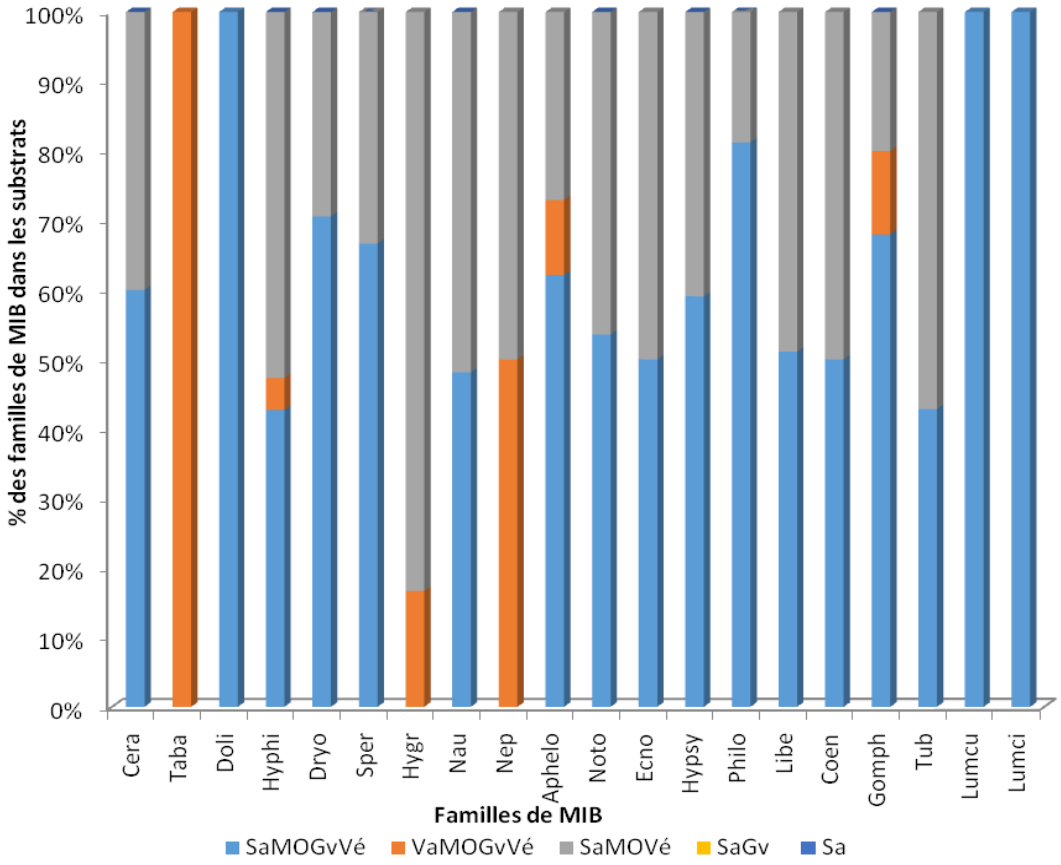



**Figure III.29.** Répartition écologique des MIB dans les substrats des eaux de la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015 (SaMOGvVé : Sable, Matière Organique, Gravier et Végétation émergente ; SaMOVé : Sable, Matière Organique et Végétation émergente ; SaGv : Sable et Gravier).

Dans la Mangengenge, pendant la saison pluvieuse, quatre familles n'ont été présentes que dans un seul substrat. Il s'agit des : Tabaniidae dans le substrat VaMOGvVé ; Dolichopodidae, Lumbriculidae et Lumbricidae dans le substrat SaMOGvVé.

En dehors des familles des Hydrophilidae, Aphelocheiridae et Gomphidae répertoriées dans trois substrats (SaMOGvVé, VaMOGvVé et SaMOVé) ; les autres n'ont été présentes que dans deux substrats (SaMOGvVé et SaMOVé).

### III.2.3.3.2 Saison sèche

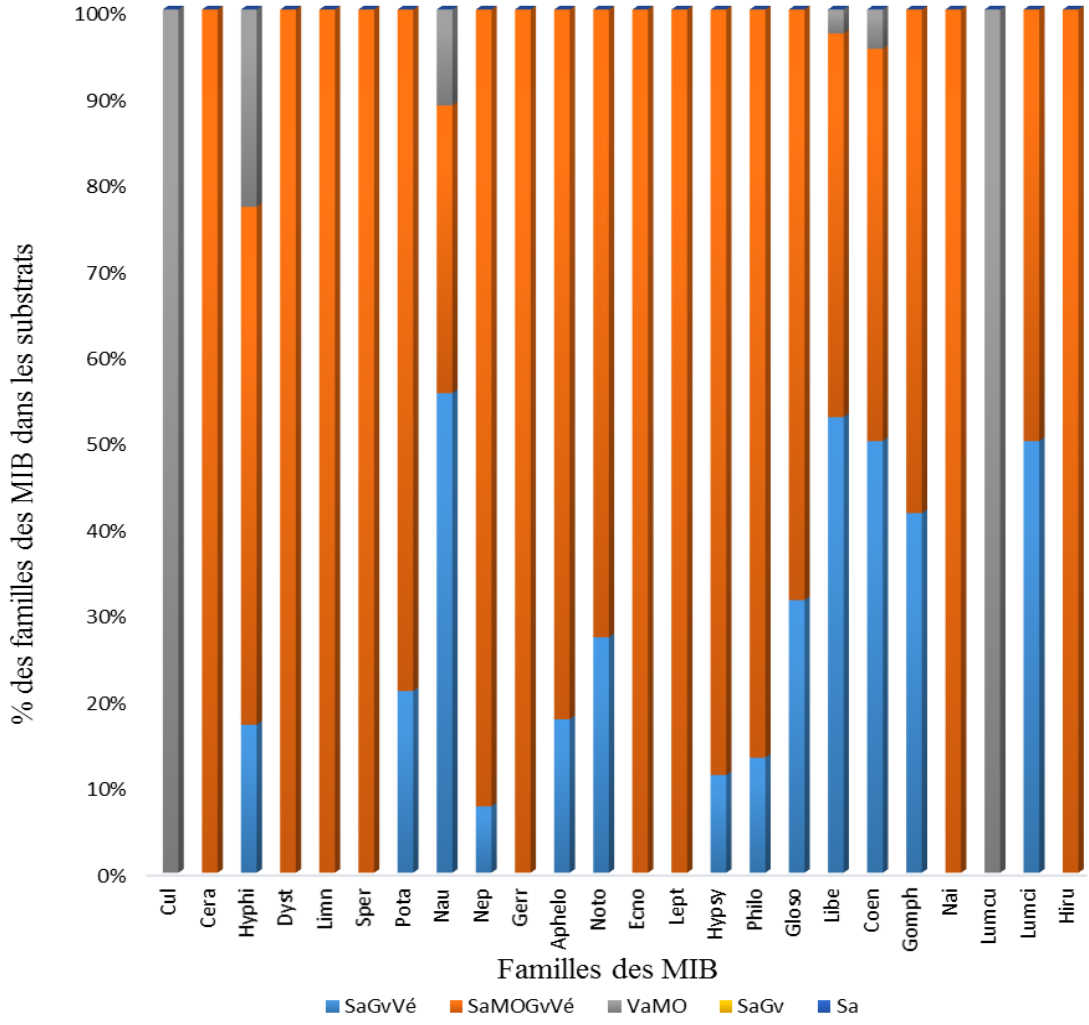



**Figure III.30.** Répartition écologique des MIB dans les substrats des eaux de la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015 (SaMOGvVé : Sable, Matière Organique, Gravier et Végétation émergente ; SaMOVé : Sable, Matière Organique et Végétation émergente ; SaGv : Sable et Gravier).

En saison sèche, quelques familles des MIB n'ont colonisé qu'un seul substrat. Il s'agit des : Culicidae et Lumbricidae dans le substrat VaMO ; Ceratopogonidae, Dysticidae, Limnebidae, Spercheidae, Gerridae, Ecnomidae, Leptoceridae, Naididae et Hirudidae dans le substrat SaMOVé. Outre les familles des Hydrophilidae, Naucoridae, Libellulidae et Coenagrionidae qui ont été répertoriées dans trois substrats (SaGvVé, SaMOGv et VaMO) ; les autres n'ont été présentes que dans deux substrats (SaGvVé et SaMOGvVé).

### III.2.4 Analyses en Composantes Principales

Cette analyse consiste à rechercher des structures sous jacentes à un (grand) tableau de données empiriques croisant variables et individus (chaque variable est mesurée sur chaque individu). Ces structures sont les plus souvent occultées par la complexité et la taille du tableau (Frontier et *al*., 2007).

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée pour établir une corrélation entre les facteurs abiotiques et biotiques étudiés dans les trois hydrosystèmes pendant les deux saisons d'étude.

Frontier et *al*. (2007) recommandent de prendre comme variables aléatoire le logarithme du nombre d'individus dénombrés augmenté de 1 afin d'éviter des effectifs nuls.

Les valeurs propres, les pourcentages de variances et les coefficients de corrélations entre les facteurs biotiques et abiotiques des trois rivières pendant les deux saisons ; sont repris en annexes (de l'annexe 5 à 22).

### III.2.4.1 Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques

#### III.2.4.1.1 Rivière Gombe

##### III.2.4.1.1.1 En saison pluvieuse

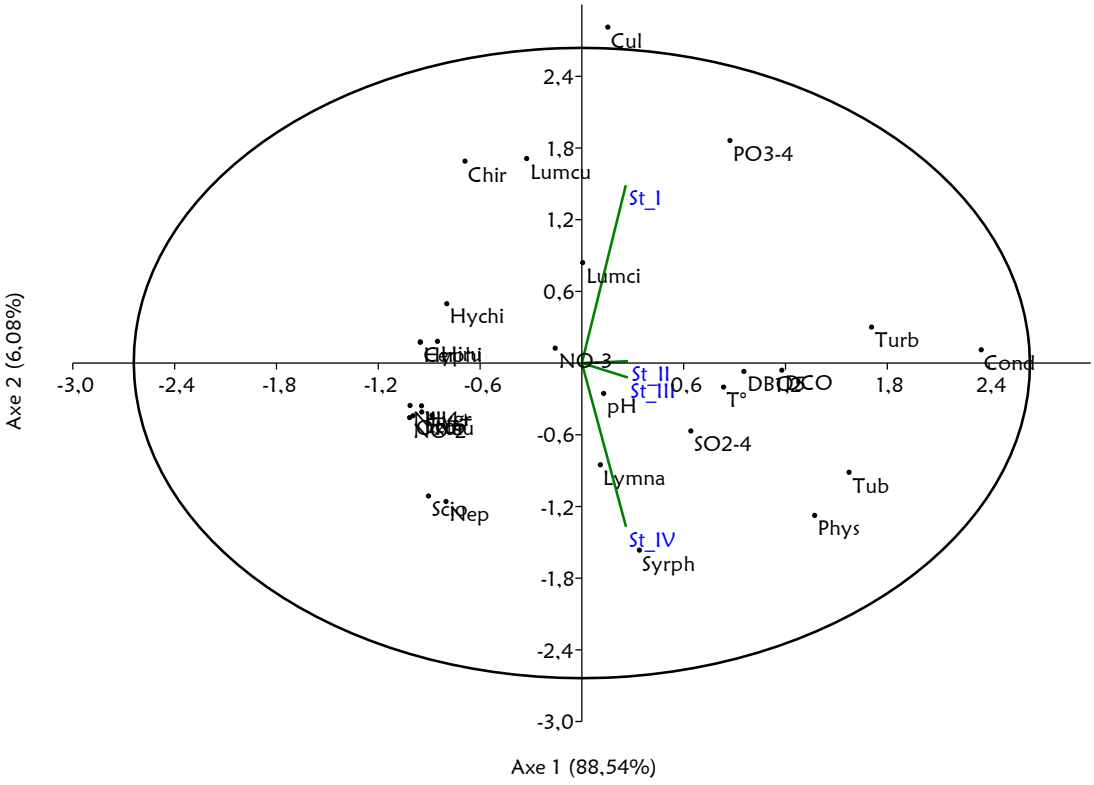



**Figure III.31.** Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

La figure III.31 ci-dessus renseigne que 2 axes principaux (axe 1 et axe 2) ou Composantes Principales ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 94,62% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (88,54%) et l'axe 2, une variance résiduelle (6,08%).

En rapport avec l'axe 1, toutes les stations d'étude de la Gombe sont corrélées positivement au pH (r=3,24), à la température (r=1,56), à la  (r=1,80), à la DCO (r=2,22), à la turbidité (r=3,20) et à la conductivité (r=4,43). Une accentuation de cette corrélation a été observée entre les stations St II et St III par rapport à la température, à la $DBO_5$, à la DCO, à la turbidité et à la conductivité.

Les familles des Tubificidae et des Physidae ont affiché une corrélation positive très prononcée avec la température, la $DBO_5$, la DCO, la turbidité et la conductivité ; et dans une moindre mesure avec les sulfates.

D'une manière générale, une corrélation positive a été observée entre les familles des Tubificidae, Physidae, Syrphidae, Lymnaeidae et Culicidae ; et paramètres physico-chimiques suivants : le pH, les sulfates, les phosphates, la $DBO_5$, la DCO, la température, la turbidité et la conductivité.

En outre, une corrélation négative a été remarquée entre toutes les stations de la Gombe et l'oxygène dissous. Les familles des Tubificidae, des Physidae, des Lymnaeidae et Syrphidae ont été également corrélées négativement à l'oxygène dissous à l'ammonium, aux nitrates et aux nitrites.

Une corrélation positive a été observée entre les familles des Hirudidae, des Hydrochidae, des Hydrophilidae, des Hygrobiidae, des Chironomidae, des Naucoridae, des Nepidae et des Sciomyzidae ; avec l'oxygène dissous, l'ammonium, les nitrites et les nitrates.

Il s'est observé une corrélation négative entre les familles des Tubificidae, des Physidae et l'oxygène dissous.

En ce qui a trait à l'axe 2, la station St I est corrélée très négativement à la station St IV par rapport au rapprochement qui pourrait exister entre les MIB et les paramètres physico-chimiques.

L'axe 2 est corrélé positivement aux familles des Culicidae (r=1,39), Chironomidae (r=0,83), Lumbriculidae (r=0,84). Cette composante principale est dans un rapport positif avec les phosphates (r=0,92).

### III.2.4.1.1.2 En saison sèche

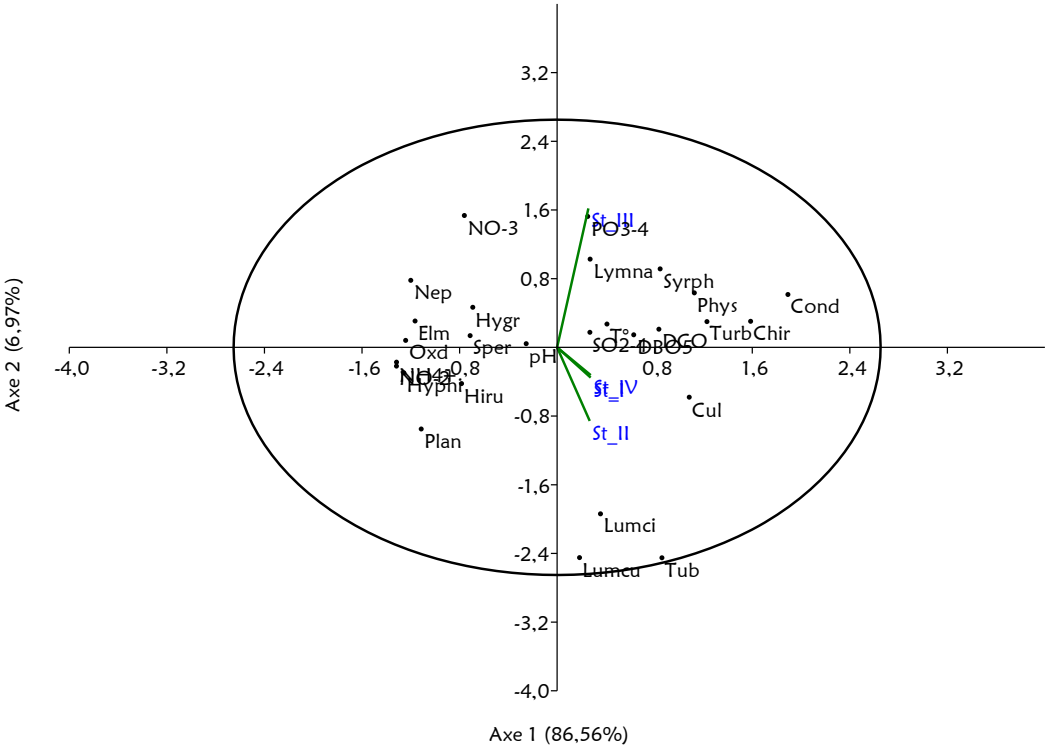



**Figure III.32.** Corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

Il ressort de la figure 38 que deux axes principaux (axe 1 et axe 2) ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 93,54% de la dispersion des variables ; l'axe 1 ayant présenté 86,56% de la variance totale et l'axe 2 ; 6,98% de celle-ci.

L'Analyse en Composantes Principales des facteurs écologiques dans la Gombe en saison sèche a révélé une corrélation positive entre l'axe 1 et toutes les stations de la Gombe, avec une accentuation remarquable entre cet axe avec les stations St I et St II.

En rapport avec les facteurs abiotiques, l'axe 1 est fortement corrélé avec la température (r=0,76), les phosphates (r=0,47), les sulfates (r=0,5), la conductivité (r=3,52), la turbidité (r=2,29), la $DBO_5$ (r=1,17) et la DCO (r=1,56).

Cet axe est corrélé très négativement aux paramètres physico-chimiques suivants : pH (r=-0,47), oxygène dissous (r=-2,31), ammonium (r=-2,45), nitrates (r=- 1,42) et nitrites (r=-2,45).

Pour les MIB, l'axe 1 est fortement corrélé aux familles des Chironomidae (r=2,95), Physidae (r=2,09), Culicidae (r=2,02) et Syrphidae (r=1,57) ; mais faiblement aux familles des Lymnaeidae (r=0,50), Tubificidae (r=1,6) et Lumbricidae (r=0,66).

Une corrélation très négative a été observée entre cette composante principale et les familles des Elmidae (r=-2,17), Spercheidae (r=-1,33), Hydrophilidae (r=-2,34), Hygrobiidae (r=-1,29) et Planariidae (r=-2,07).

Par rapport à l'axe 2, seule la station St III y est corrélée positivement ; les trois autres (St I, St II et St IV) s'y rapprochant négativement.

En ce qui concerne les paramètres chimiques, cet axe est corrélé positivement aux phosphates (r=0,81) et au nitrate (r=0,81).

Et en rapport avec les MIB, cet axe est très négativement corrélé aux familles des Lumbricidae (r=-1,02) et Lumbriculidae (r=-1,29).

### III.2.4.1.2 Rivière Kinkusa

#### III.2.4.1.2.1 Saison pluvieuse

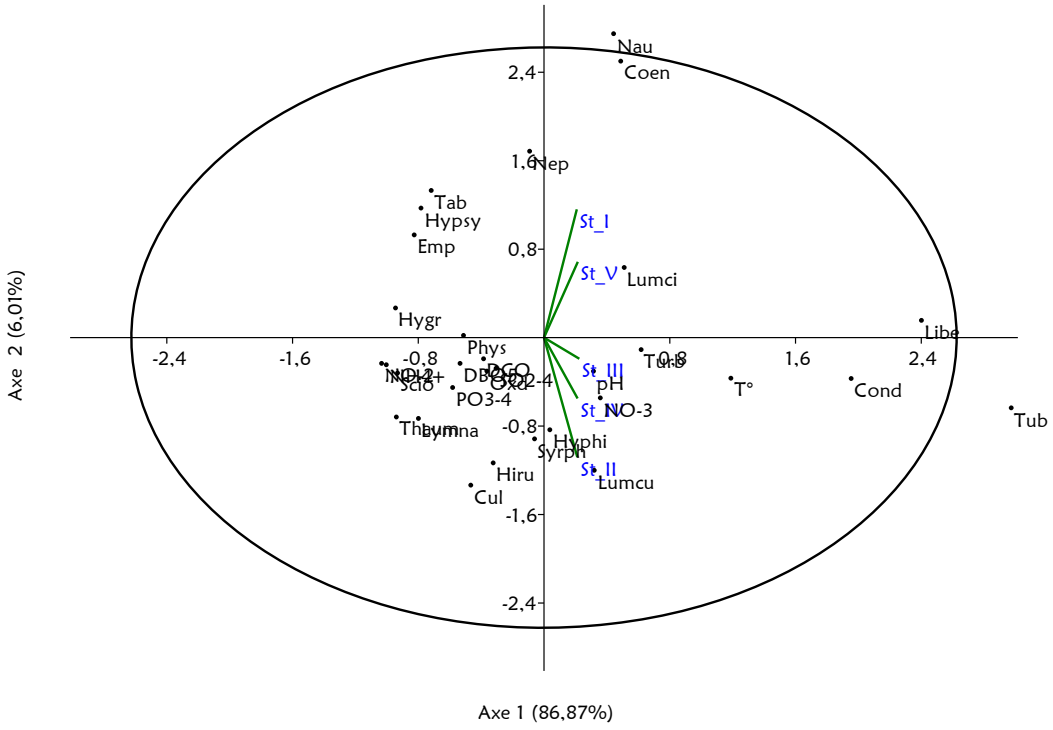



**Figure III.33.** Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

Il se dégage de la figure III.33 que seules les deux premières composantes principales (axe 1 et axe 2) ont été prises en considération puisqu'elles expliquent la dispersion totale des variables à 92,88%, l'axe 1 ayant exprimé 86,87% de la variance et l'axe 2 ; 6,01%.

L'Analyse en Composantes Principales des facteurs écologiques dans la Kinkusa pendant la saison pluvieuse, a révélé une corrélation positive entre toutes les 5 stations de cet hydrosystème et l'axe1.

L'axe 1 est fortement corrélé aux paramètres physico-chimiques suivants : la turbidité (r=1, 29), la conductivité (r=4,07), la température (r=2,48), le pH (r=0,66), le nitrate (r=0,75).

Cette composante principale est corrélée très négativement à l'oxygène dissous (r=-0,76), à l'ammonium (r=-2,09), aux nitrites (r=-2,15), aux phosphates (r=-1,21), aux sulfates (r=-0,64), à la $DBO_5$ (r=-1,11) et à la DCO (r=-0,80).

En ce qui concerne les MIB, l'axe 1 a affiché une corrélation positive très accentuée avec les familles des Libellulidae (r=55,00) et des Tubificidae (r=6,19).

Une corrélation positive moins accentuée a été observée entre cette composante et les familles suivantes : Lumbricidae (r=1,06), Lumbriculidae (r=0,67), Naucoridae (r=0,92), Coenagrionidae (r=1,02) et Hydrophilidae (r=0,08).

En ce qui a trait au même axe, celui-ci est corrélé très négativement aux familles des Physidae (r=-1,07), des Hygrobiidae (r=-1,97), des Sciomyzidae (r=-1,94).

Une corrélation négative moins prononcée a été observée entre l'axe 1 et les familles des Tabaniidae (r=-1,5), des Hydropsychidae (r=-1,66), des Empididae (r=-1,72), des Lymnaeidae (r=-1,67), des Thaumaleidae (r=-1,96), des Culicidae (r=-0, 97), des Hirudidae (r=-0,67).

L'Analyse en Composantes Principales a révélé que l'axe 2 est corrélé positivement aux stations St I et St V de la Kinkusa ; mais négativement aux stations St II, St III et St IV du même hydrosystème.

En sus, la figure 39 a démontré que l'axe 2 est corrélé négativement à tous les paramètres abiotiques étudiés.

Quant à son rapport avec les MIB, l'axe 2 est corrélé très positivement aux familles des Nepidae (r=0,92), des Naucoridae (r=1,51), des Coenagrionidae (r=1,37) ; mais corrélé très négativement aux familles des Hydrophilidae (r=-0,46) et des Syrphidae (r=-0,50)

### III.2.4.1.2.2 Saison sèche

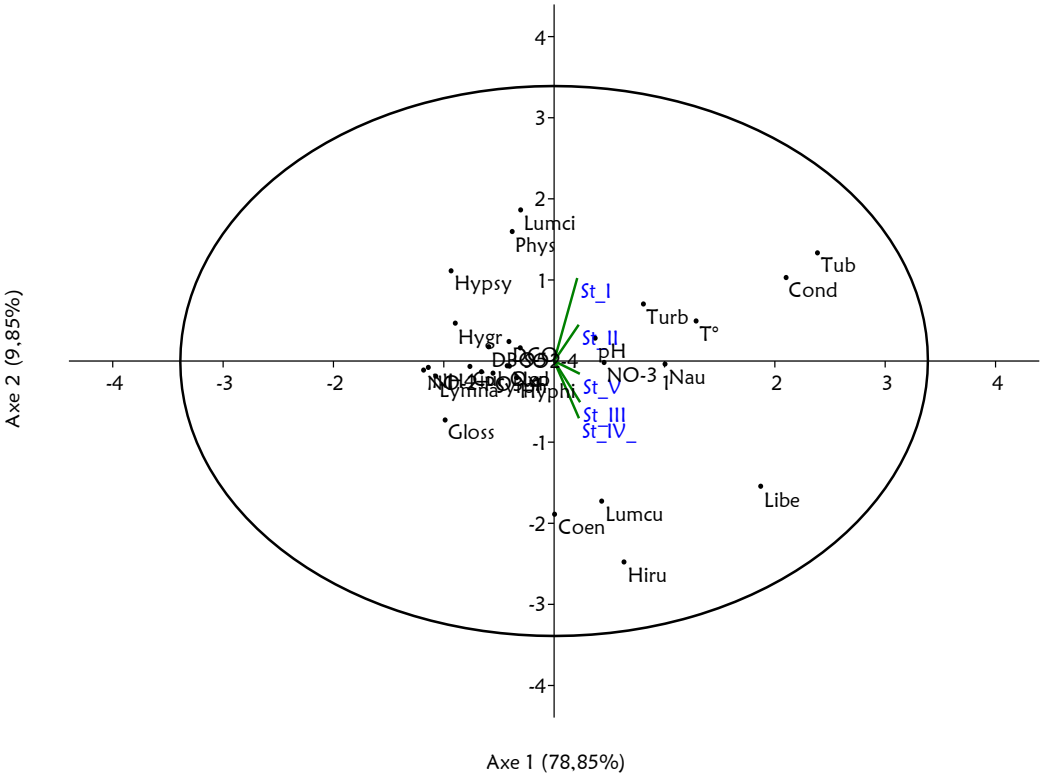



**Figure III.34.** Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales à partir de la matrice MIB-Facteurs abiotiques dans la rivière Kinkusa, a montré que seuls les axes 1 et 2 sont pris en compte, étant donné qu'ils fournissent 88,7% des informations réparties dans les proportions suivantes : 78,85% pour l'axe 1 et 9,85% pour l'axe 2.

La composante 1 est corrélée positivement à toutes les 5 stations de la rivière Kinkusa pendant la saison sèche, avec une accentuation à la station St V.

L'étude de l'affinité qui pourrait exister entre les paramètres abiotiques et biotiques a révélé que l'axe 1 est fortement corrélée aux nitrates (r=0,90), à la température (r=2,85), au pH (r=0,74) et à la turbidité (r=1,61) mais il est corrélé très négativement à l'oxygène dissous (r=-0,84), à l'ammonium (r=-2,26), aux nitrites (r=-2,35), aux phosphates (r=-1,31), aux sulfates (r=-0,61), à la (r=-1,18) et à la DCO (r=-0,81).

En ce qui concerne le rapport entre l'axe 1 et les MIB, l'Analyse en Composantes Principales a démontré que l'axe 1 est fortement corrélé à la famille des Naucoridae (r=1,00), et dans une moindre mesure aux familles des Libellulidae (r=3,72), des Lumbriculidae (r=0,86), des Hirudidae (r=1,26), des Tubificidae (r=4,74).

Une corrélation négative a été observée entre l'axe 1 et les familles des Culicidae (r=-1,52), des Hydrophilidae (r=-0,67), des Hygrobiidae (r=-1,78), des Lymnaeidae (r=-2,13), des Nepidae (r=-0,80), des Syrphidae (r=-1,10), des Glossiphonidae (r=-1,96) ; et dans une moindre mesure avec les familles des Lumbricidae (r=-0,60), des Physidae (r=-0,75) et des Hydropsychidae (r=-1,85).

Quant à l'axe 2, les stations St I et St II y sont corrélées positivement tandisque les stations St III, St IV et St V y sont rattachées négativement.

Le rapport entre l'axe 2 et les MIB a révélé que cette composante est fortement corrélée aux familles des Lumbricidae (r=1,31) et des Physidae (r=1,12), mais faiblement corrélée aux familles des Hydropsychidae (r=0,78) et des Hygrobiidae (r=0,33).

Une corrélation très négative a été observée entre l'axe 2 et la famille des Coenagrionidae (r=-1,33) ; et d'une manière moins prononcée entre cette composante principale et les familles des Hirudidae (r=-1,74) et des Lumbriculidae (r=-1,21).

## III.2.4.1.3 Rivière Mangengenge

### III.2.4.1.3.1 Saison pluvieuse

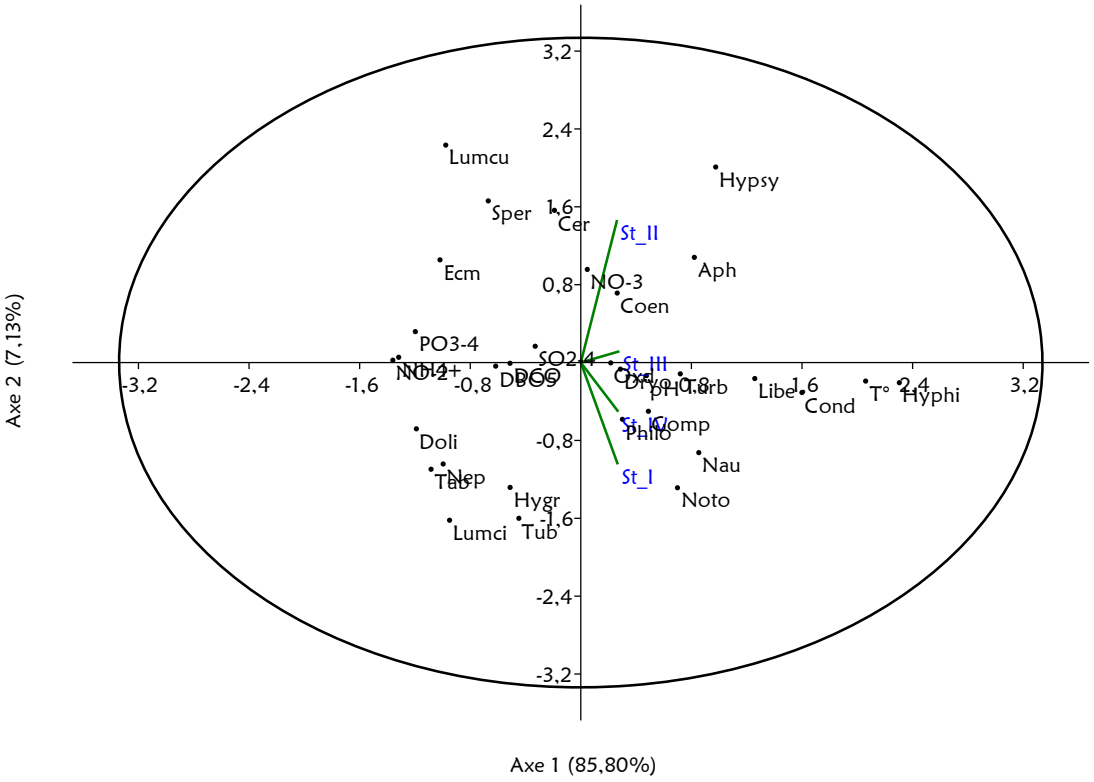



**Figure III.35.** Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

La figure III.35 renseigne que les 2 premières composantes principales (axe 1 et 2) ont été retenues puisqu'elles sont responsables de 92,93 % de la variance totale ; l'axe 1 ayant expliqué 85,80 % de la dispersion des variables et l'axe 2 ; 7,13%.

L'axe 1 est corrélé positivement aux 4 stations de la Mangengenge ; une grande affinité ayant été observée entre cette composante principale et la station St III.

En rapport avec les paramètres physico-chimiques, l'axe 1 est fortement corrélé à l'oxygène dissous (r=0,40), à la turbidité (r=1,33), à la conductivité (r=2,96), à la température (r=3,82) et au pH (r=0,88).

Par contre, une corrélation très négative a été observée entre l'axe 1 et les paramètres suivants : la $DBO_5$ (-1,14), la DCO (r=-0,95), l'ammonium (r=-2,44), les nitrites (r=-2,52), les sulfates (r=-0,61) et les phosphates (r=-2,22).

En ce qui concerne l'affinité de l'axe 1 aux MIB ; cette composante principale est fortement corrélée aux familles des Dryopidae (r=0,53), des Libellulidae (r=2,33), des Hydrophilidae (r=4,27), des Gomphidae (r=0,91), des Philopotamidae (r=0,56), des Naucoridae (r=1,58), des Notonectidae (r=1,3), des Coenagrionidae (0,49), des Aphelocheiridae (r=1,52) et des Hydropsychidae (r=1,81).

L'axe 1 est corrélé négativement aux familles des MIB suivantes : Ecnomidae (r=-1,89), Lumbriculidae (r=-1,81), Spercheidae (r=-1,24), Dolichopodidae (r=-2,20), Nepidae (r=-1,84), Hygrobiidae (r=-0,95), Lumbricidae (r=-1,76) et Tubificidae (r=-0,83).

En ce qui a trait au rapport entre l'axe 2 et les MIB, celui-ci est corrélé très positivement aux familles des Ceratopogonidae (r=0,84) et des Coenagrionidae (r=0,38) ; et dans une certaine mesure, aux familles des Hydropsychidae (r=1,81), des Spercheidae (r=0,89) et des Ecnomidae (r=0,56). L'axe 2 est corrélé très négativement aux familles des Tubificidae (r=-0,85) et des Hygrobiidae (r=-0,69) ; dans une certaine mesure aux familles des Philopotamidae (r=-0,31), des Gomphidae (r=-0,27), des Notonectidae (r=-0,69), des Naucoridae (r=-0,49), des Lumbricidae (r=-0,86), des Tabaniidae (r=-0,36), des Nepidae (r=-0,56), des Dolichopodidae (r=-0,36) ; et dans une très moindre mesure aux familles des Libellulidae (r=-0,09) et des Hydrophilidae (r=-0,11).

### III.2.4.1.3.2 Saison sèche

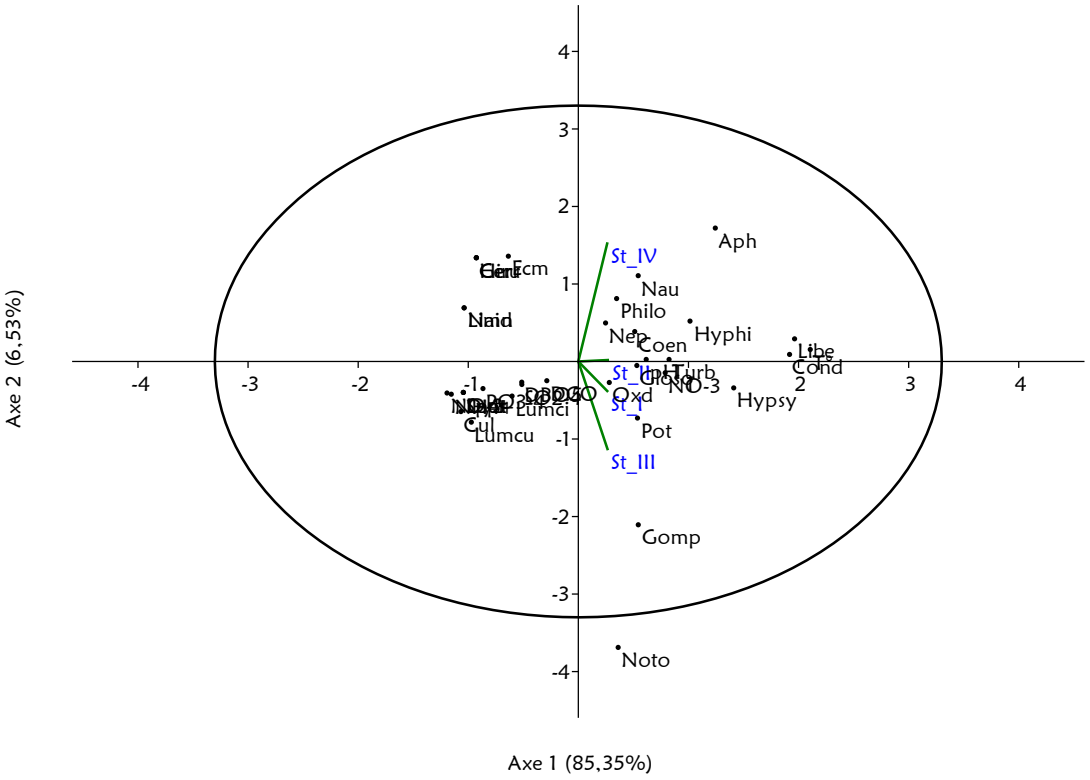



**Figure III.36.** Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales des données relatives aux MIB et aux paramètres physico-chimiques dans la Mangengenge en saison sèche, a révélé la contribution des 2 premiers axes à la variance totale (91,86%) : 85,34% pour l'axe 1 et 6,52% pour l'axe 2.

Il se dégage de la figure III.36 que toutes les stations d'étude de la Mangengenge sont corrélées positivement à l'axe 1, avec une accentuation très remarquable entre ce dernier et la station St II.

L'analyse de la corrélétaion entre l'axe 1 et les paramètres physico-chimiques a démontré que cet axe factoriel est fortement corrélé à la turbidité (r=1,52), à la tempérarture (r=3,89), à la conductivité (r=3,54), aux nitrates (r=1,46) et à l'oxygène dissous (r=0,52).

En outre, cette analyse a révélé une corrélation négative entre l'axe 1 et les paramètres physico-chimiques suivants : l'ammonium (r=-2,13), les nitrites (r=-2,20), les phosphates (r=-1,60), les sulfates (r=-0,95), la $DBO_5$ (r=-0,95) et la DCO (r=-0,53).

En ce qui concerne les rapports entre l'axe 1 et les MIB, l'analyse a établi une corrélation très positive entre cette composante principale et les familles des MIB ci-après : Glossosomatidae (r=0,98), Coenagrionidae (r=0,95), Libellulidae (r=3,63), Hydropsychidae (r=2,61), Potamanthidae (r=0,99), Hydrophilidae (r=1,87), Nepidae (r=0,46), Philopotamidae (r=0,64), Naucoridae (r=1,00) et Gomphidae (r=1,01).

Dans une moindre mesure, l'analyse a révélé une corrélation positive entre l'axe 1 et la famille des Notonectidae (r=0,67).

En outre, l'analyse a révélé une corrélation très négative entre l'axe 1 et les familles des MIB suivantes : Lumbricidae (r=-1,11), Culicidae (r=-1,97), Dysticidae (r=-1,93), Leptoceridae (r=-1,93), Lumbriculidae (r=-1,8), Naididae (r=-1,92), Limnebidae (r=-1,92), Gerridae (r=-1,71), Hiirudidae (r=-1,71) et Ecnomidae (r=-1,17).

Par rapport à l'axe 2, la station St IV y est corrélée positivement ; les stations St I et St III y sont négativement. Une corrélation presque nulle a été constatée entre cet axe et la station St II.

En ce qui a trait aux liens entre l'axe 2 et les paramètres physico-chimiques, les coefficients de corrélation négatifs sont d'une très faible importance pour être pris en compte.

## III.2.4.2 Corrélations entre macroinvertébrés benthiques et les substrats

### III.2.4.2.1 Rivière Gombe

#### III.2.4.2.1.1 En saison pluvieuse

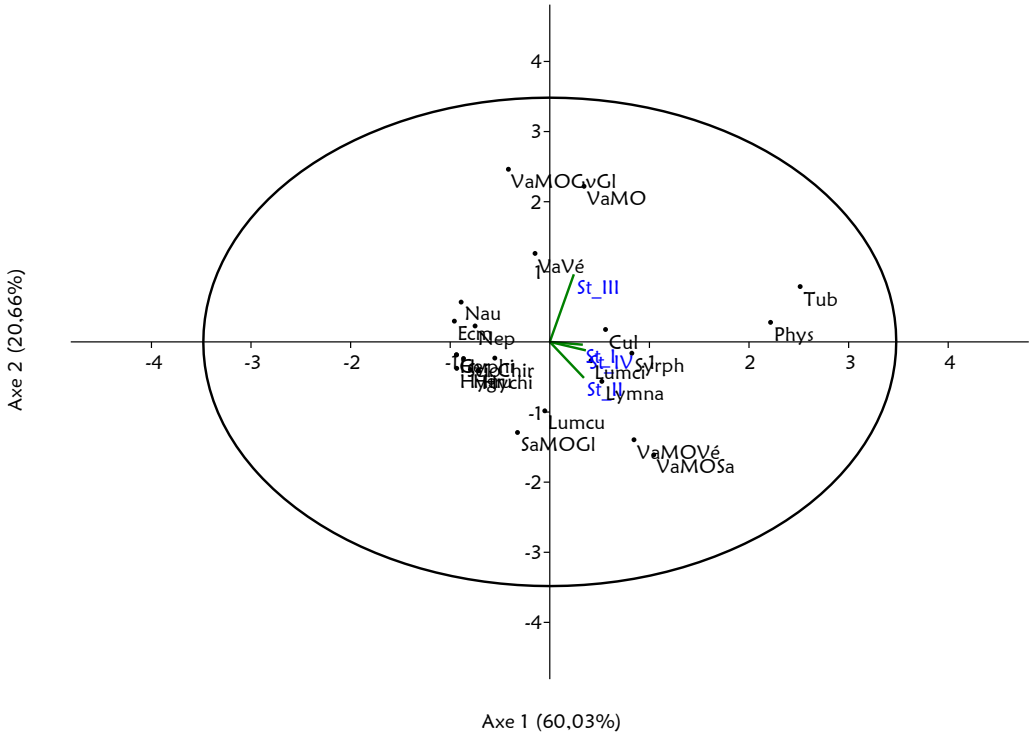



**Figure III.37.** Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015.

Les 2 premiers axes ont été pris en compte parcequ'ils sont responsables de 80,68% de la variance totale : 60,03% pour l'axe 1 et 20,65% pour l'axe 2.

Il se dégage de la figure III.37 que l'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Gombe ; avec une affinité très accentuée entre cette composante principale et les stations St I et St IV.

L'axe 1 est corrélé positivement aux substrats suivants : VaMOVé (r=1,31), VaMOSa (r=1,62) et VaMO (r=0,53).

L'axe 1 est faiblement corrélé aux substrats ci-après : VaMOGvGl (r=-0,64), VaVé (r=-0,23), SaMOGl (r=-0,50).

L'axe 1 est fortement corrélé aux familles des MIB suivantes : Culicidae (r=0,87), Syrphidae (r=1,28), Lumbricidae (r=0,64), Physidae (r=3,43), Lymnaeidae (r=0,81) et Tubificidae (r=3,89). Il est corrélé très négativement aux familles des MIB ci-après : Nepidae (r=-1,16), Ecnomidae (r=-1,49), Naucoridae (r=-1,38), Chironomidae (r=-0,86), Hirudidae (r=-1,24), Hydrochidae (r=-1,45) et Sciomyzidae (r=-1,34).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement à la station St III et négativement à la station St II ; les stations St I et St IV l'étant très faiblement.

Dans son rapport avec les substrats, l'axe 2 est corrélé très positivement à VaVé (r=1,17), VaMO (r=2,02) et VaMOGvGl (r=2,24). Il est corrélé très négativement à SaMOGl (r=-1,17).

Quant aux affinités entre l'axe 2 et les MIB, celui-ci est corrélé, dans une très moindre mesure, positivement aux familles des Naucoridae (r=0,52), des Ecnomidae (r=0,27), des Nepidae ; et négativemnet aux familles des Chironomidae (r=-0,21), des Ceratopogonidae (r=-0,17), des Hirudidae (r=-0,36), des Hydrochidae (r=-0,37), des Hydrophilidae (r=-0,17), des Hygrobiidae (r=-0,34) et des Sciomyzidae (r=-0,21). Mais l'axe 2 est corrélé très négativement à la famille des Lumbriculidae (r=-0,89).

**III.2.4.2.1.2 Saison sèche**

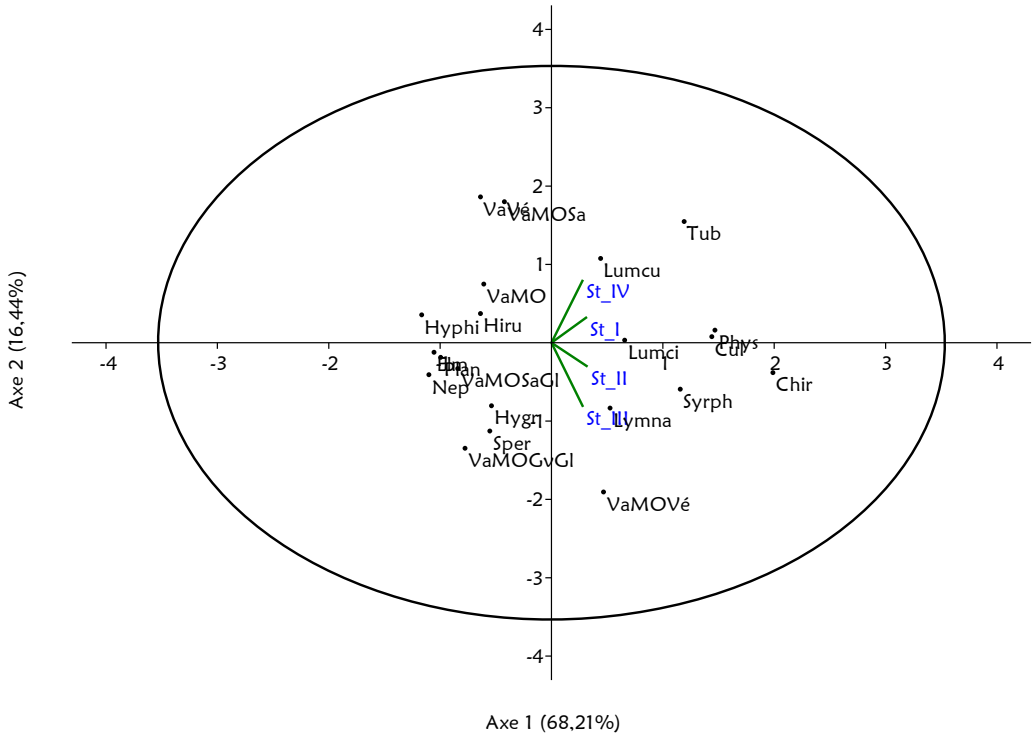



**Figure III.38.** Corrélations entre les MIB et les les substrats dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

Selon la figure III.38, les axes 1 et 2 ont suffi pour représenter l'essentiel du rapport entre les MIB et les substrats, la première composante principale ayant expliqué 68,21% de la dispersion des variables et la deuxième 16,44%.

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations de la Gombe.

Il est corrélé positivement au substrat VaMOVé (r=0,77) ; négativement à VaMOGvGl (r=-1,28), VaVé (r=-1,05), VaMOSa (r=-0,70) ; et très négativement à VaMOSaGl (r=-1,39) et VaMO (r=-1,00).

En ce qui a trait aux familles des MIB, l'axe 1 est corrélé positivement aux Tubificidae (r=1,97), Lumbriculidae (r=0,73), Lymnaeidae (r=0,87) ; et très positivement aux Lumbricidae (r=1,09), Culicidae (r=2,38), Physidae (r=2,42), Chironomidae (r=3,28) et Syrphidae (r=1,91).

L'axe 1 est corrélé négativement aux familles des Hygrobiidae (r=-0,89) et Spercheidae (r=-0,92) ; et très négativement à celles des Elmidae (r=-1,74), des Planariidae (r=-1,64), des Nepidae (r=-1,82), des Hydrophilidae (r=-1,93) et des Hirudidae (r=-1,05).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St I et St II, mais négativement aux stations St II et St III.

Et par rapport aux substrats, l'axe 2 est corrélé positivement à VaMOSa (r=1,46), VaVé (r=1,51) et VaMO (r=0,61).

Il est corrélé négativement au substrat VaMOGvGl (r=-1,09) et dans une moindre mesure, à VaMOSaGl (r=-0,27).

L'axe 2 est corrélé positivement aux familles des Lumbriculidae (r=0,87) et des Tubificidae (r=1,26) ; mais il y'a un rapport très faible entre cet axe factoriel et les familles des Hydrophilidae (r=0,29), Hirudidae (r=0,30), Physidae (r=0,13) et Culicidae (r=0,06).

L'axe 2 est corrélé négativement aux familles des Hygrobiidae (r=-0,65), des Spercheidae (r=-0,91) et des Lymnaeidae (r=-0,68) ; mais il est dans un rapport très faible avec les familles des Elmidae (r=-0,10), des Planariidae (r=-0,15), des Nepidae (r=-0,33), des Chironomidae (r=-0,31) et des Syrphidae (r=-0,48).

### III.2.4.2.2 Rivière Kinkusa

### III.2.4.2.2.1 En saison pluvieuse

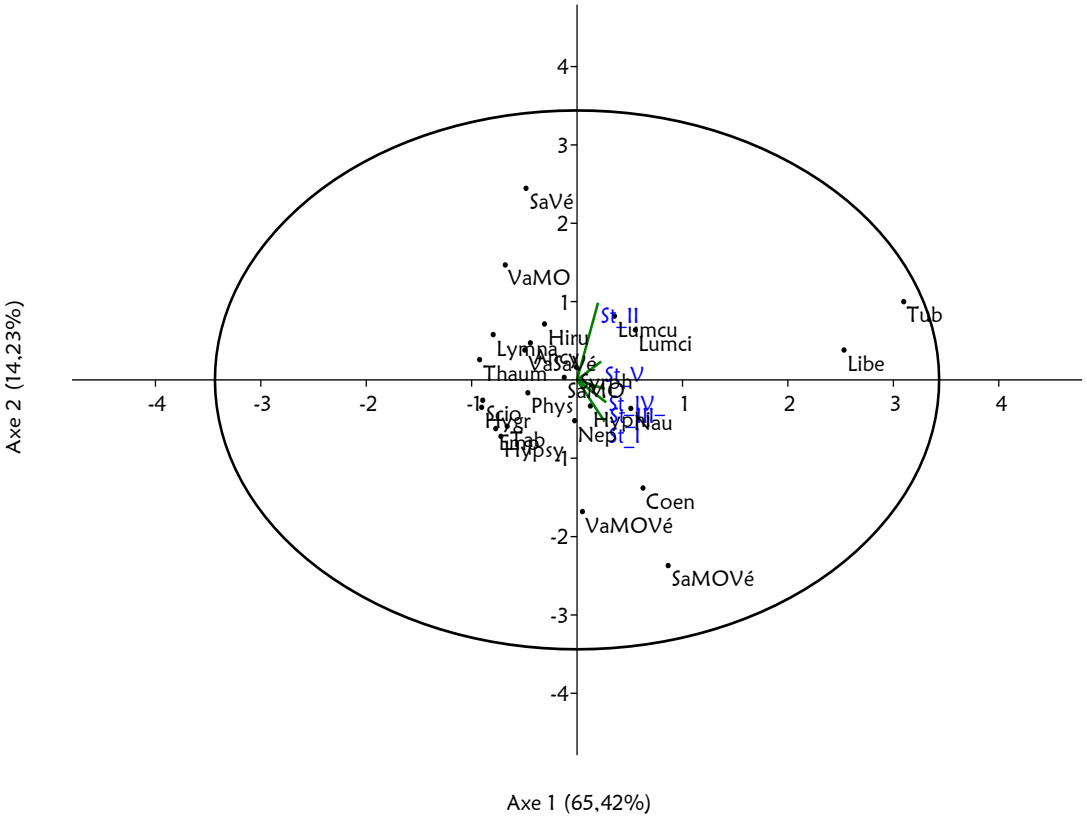



**Figure III.39.** Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

La figure III.39 renseigne que les axes 1 et 2 sont responsables de 79,65% de la variance totale, en fournissant 65,42% des informations relatives à la constitution de la structure pour l'axe 1 et 14,23% pour l'axe 2.

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Kinkusa.

Il est aussi corrélé positivement au substrat SaMOVé (r=1,56) et dans une très moindre mesure, à VaMOVé (r=0,09).

L'axe 1 est corrélé négativement aux substrats VaMO (r=-1,23) et SaVé (r=-0,88) ; mais très négativement aux substrats VaSaVé (r=-0,90) et SaMO (r=-0,22).

Par rapport aux familles des MIB, l'axe 1 est corrélé positivement aux Lumbriculidae (r=0,64), Hydrophilidae (r=0,23) et Coenagrionidae (r=1,13) ; mais très positivement à celles des Libellulidae (r=4,58), des Tubificidae (r=5,60), des Lumbricidae (r=0,10) et des Naucoridae (r=0,92).

Il est corrélé négativement aux familles des Hirudidae (r=-0,56), des Hydropsychidae (r=-1,31), des Tabaniidae (r=-1,2), des Empididae (r=-1,4) ; mais très négativement à celles des Culicidae (r=-0,80), des Thaumaleidae (r=-1,67), des Lymnaeidae (r=-1,44), des Physidae (r=-0,84), des Hygrobiidae (r=-1,64) et des Sciomyzidae (r=-1,62). Il est dans corrélation très négligeable avec les familles des Népidae (r=-0,042) et des Syrphidae (r=-0,013).

L'axe 2 est corrélé positivement aux stations d'étude St II et St V, mais négativement aux stations St IV, St III et St I.

Et par rapport aux substrats, l'axe 2 est corrélé positivement à SaVé (r=2,06), VaMO (r=1,24), VaSaVé (r=0,32) et, dans une très moindre mesure, à SaMO (r=0,027).

Il est corrélé négativement au subtrat SaMOVé (r=-2,00), mais très négativement à VaMOVé (r=-1,42).

En ce qui concerne les MIB, les familles suivantes ont contribué positivement à la formation de l'axe 2. Il s'agit des : Tubificidae (r=0,84), Lumbriculidae (r=0,69), Hirudidae (r=0,60), Lumbricidae (r=0,54), Lymnaeidae (r=0,49), Culicidae (r=0,40), Libellulidae (r=0,32) et Thaumaleidae (r=0,22).

Les familles ci-après ont contribué négativement à la formation de cet axe : Coenagrionidae (r=-1,16), Hydropsychidae (r=-0,61), Empididae (r=-0,52), Tabaniidae (r=-0,50), Nepidae (r=-0,44), Naucoridae (r=-0,31), Hygrobiidae (r=-0,29), Hydrophilidae (r=-0,28), Sciomyzidae (r=-0,22).

### III.2.4.2.2.2 En saison sèche

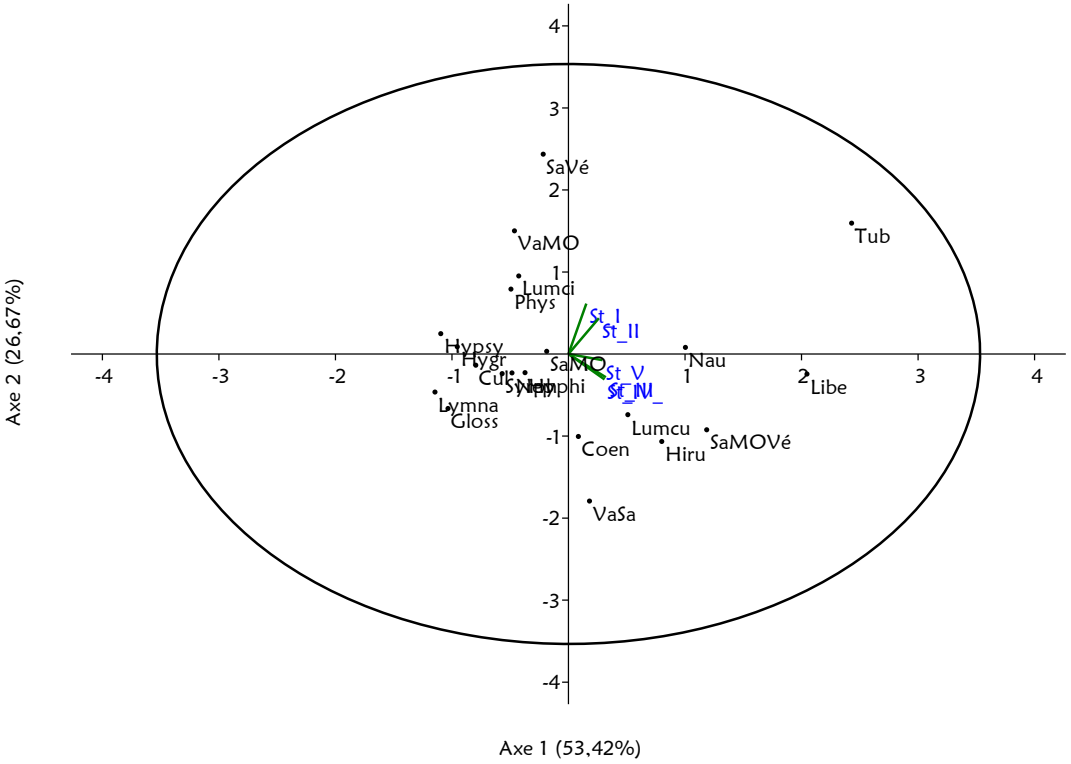



**Figure III.40.** Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

La figure III.40 renseigne que les axes 1 et 2 ont été retenus puisqu'ils ont contribué à 80,09% de l'inertie totale, la composante principale 1 ayant participé à 53,42% et la composante 2 à 26,67%.

Le substrat SaMOVé (r=1,94) a contribué fortement à la formation de l'axe 1 ; le substrat VaSa (r=0,29) y ayant participé dans une moindre mesure.

Toujours en rapport avec l'axe 1, les substrats suivants y sont corrélés négativement : VaMO (r=-0,76), SaVé (r=-0,35) et SaMO (r=-0,31).

En ce qui a trait aux MIB, les familles des Tubificidae (r=3,97) et des Libellulidae (r=3,35) ont fortement contribué positivement à la formation de l'axe 1. Elles sont suivies par celles des Naucoridae (r=1,64), Hirudidae (r=1,31) et Lumbriculidae (r=0,83).

Les familles ci-après ont participé négativement à la formation de l'axe 1 : Lymnaeidae (r=-1,87), Hydropsychidae (r=-1,79), Glossiphonidae (r=-1,69), Hygrobiidae (r=-1,56), Culicidae (r=-1,30), Syrphidae (r=-0,93), Physidae (r=-0,81), Nepidae (r=-0,79), Lumbricidae (r=-0,70) et Hydrophilidae (r=-0,61).

En ce qui concerne les substrats, l'axe 2 est fortement corrélé à SaVé (r=2,81). La contribution positive du substrat VaMO (r=1,73) dans la formation de cet axe, a été aussi observée.

Par contre, le substrat VaSa (r=-2,07) à participé très négativement dans la formation de l'axe 2, SaMOVé (r=-1,07) y ayant contribué dans une moindre mesure.

L'axe 2 est fortement corrélé aux Tubificidae (r=1,18) et aux Lumbriculidae (r=1,10). Ces familles sont suivies dans cette corrélation positive par celles des Physidae (r=0,91) et Hydropsychidae (r=0,29).

Les familles des MIB ci-après ont contribué négativement à la formation de l'axe 2 : Hirudidae (r=-1,23), Coenagrionidae (r=-1,16), Lumbriculidae (r=-0,85), Glossiphonidae (r=-0,77), Lymnaeidae (r=-0,53), Libellulidae (r=-0,28), Syrphidae (r=-0,28), Nepidae (r=-0,27) et Hydrophilidae (r=-0,26).

### III.2.4.2.3 Rivière Mangengenge

#### III.2.4.2.3.1 En saison pluvieuse

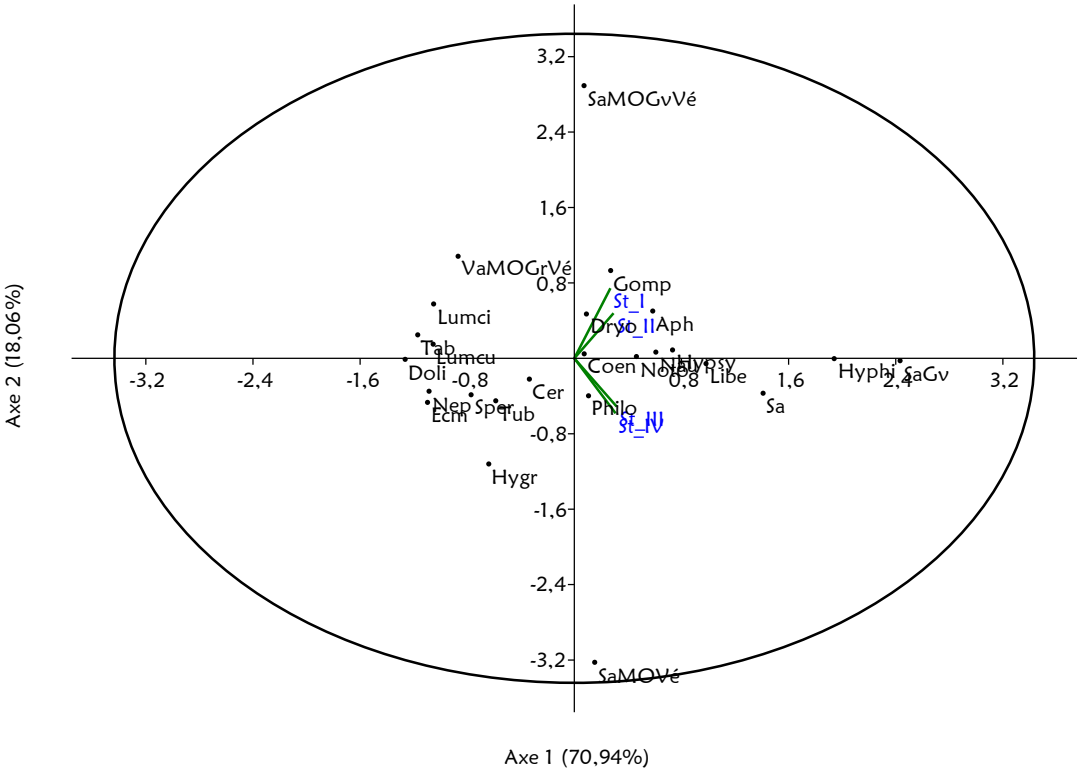



**Figure III.41.** Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales qui a permis d'explorer les liens entre les MIB et les substrats dans la Mangengenge en saison pluvieuse, a révélé que l'axe 1 a retenu 70,94% de l'inertie totale et l'axe 2 ; 18,06% ; ce qui a conduit à une variance totale de 89%.

En outre, cette analyse a montré que, par rapport à l'axe 1, toutes les stations d'étude de la Mangengenge y sont corrélées positivement.

L'axe 1 est corrélé positivement aux substrats Sa (r=2,37) et SaMOVé (r=0,26). La contribution positive du substrat SaGv (r=4,10) dans la formation de cette composante principale, a été très remarquable.

Le substrat VaMOGv (r=-1,46) a contribué négativement à la formation de l'axe 1.

Les familles ci-après y ont aussi participé positivement : Libellulidae (r=1,66), Hydropsychidae (r=1,24), Naucoridae (r=1,03), Aphelocheiridae (r=0,99), Notonectidae (r=0,78) et Gomphidae (r=0,46).

Les familles des MIB suivantes sont corrélées négativement à l'axe 1 : Dolichopodidae (r=-2,13), Ecnomidae (r=-1,85), Nepidae (r=-1,83), Lumbriculidae (r=-1,78), Lumbricidae (r=-1,77), Hygrobiidae (r=-1,077) et Ceratopogonidae (r=-0,57).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St I et St II ; mais négativement aux stations St III et St IV. Cet axe est aussi corrélé positivement aux substrats SaMOGvVé (r=2,46) et VaMOGvVé (r=0,92) ; mais négativement aux substrats Sa (r=-0,31) et SaMOVé (r=-2,74).

Les familles des MIB suivantes ont contribué positivement à la formation de l'axe factoriel 2 : Gomphidae (r=0,79), Lumbricidae (r=0,49), Aphelocheiridae (r=0,43) et Dryopidae (r=0,40). Et les familles suivantes y ont contribué négativement : Hygrobiidae (r=-,095), Ecnomidae (r=-0,40) et Nepidae (r=-0,30).

### III.2.4.2.3.2 Saison sèche

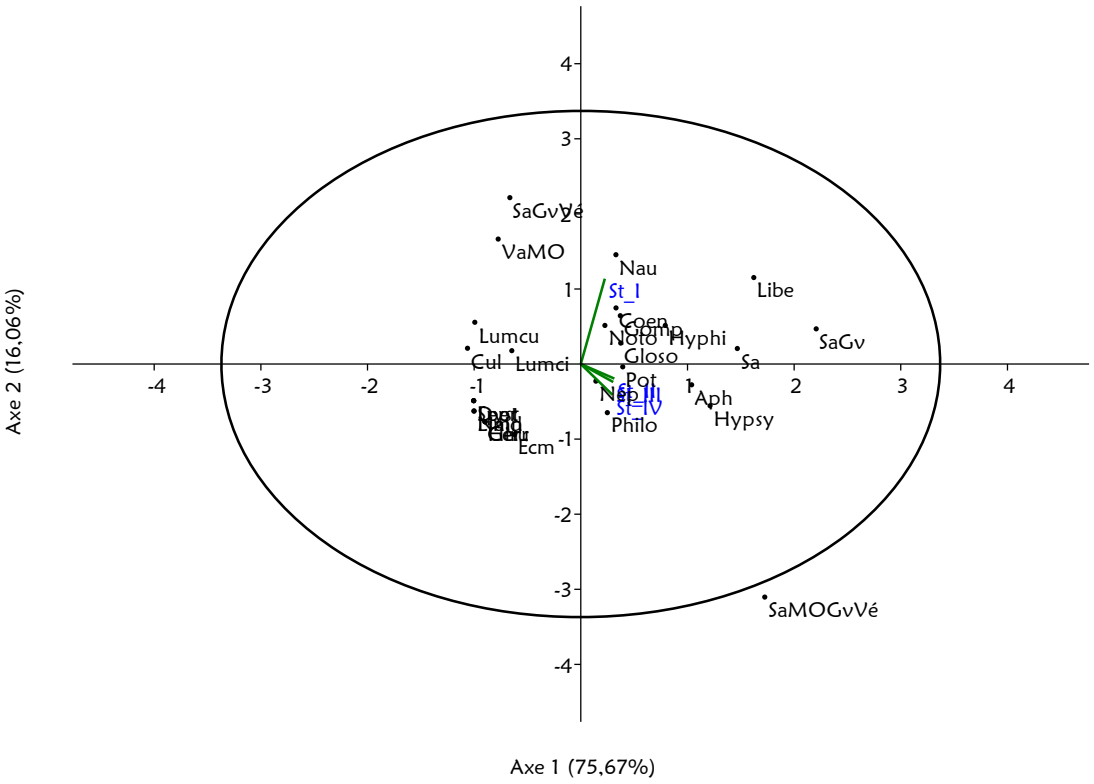



**Figure III.42.** Corrélations entre les MIB et les substrats dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

Il ressort de la figure III.42 que 91,73% de la variance totale est expliqué par les axes 1 (75,67%) et 2 (18,06%).

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Mangengenge.

Les substrats SaGv (r=3,84) et SaMOGvVé (r=3,00) ont fortement contribué positivement à la formation de l'axe 1. Le substrat Sa (r=2,55) a aussi apporté une contribution positive dans la constitution de cette composante principale.

Par contre, les substrats VaMO (r=-1,35) et SaGvVé (r=-1,16) ont contribué négativement à la formation de cet axe.

Par rapport aux MIB, l'axe 1 est corrélé positivement aux familles suivantes : Libellulidae (r=2,82), Hydropsychidae (r=2,11), Aphelocheiridae (r=1,81), Hydrophilidae (r=1,38), Glossosomatidae (r=0,65), Gomphidae (r=0,64) et Coenagrionidae (r=0,57).

Par contre, l'axe 1 est corrélé négativement aux familles des MIB suivantes : Culicidae (r=-1,85), Dryopidae (r=-1,75), Leptoceridae (r=-1,73), Limnebidae (r=-1,74=), Lumbriculidae (r=-1,73), Gerridae (r=-1,56), Hirudidae (r=-1,56), Ceratopogonidae (r=-1,56), Lumbricidae (r=-1,13) et Ecnomidae (r=-1,08).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St III et St IV. L'axe 2 est corrélé positivement aux substrats SaGvVé (r=1,78), VaMO (r=1,33) et SaGv (r=0,38) ; mais corrélé négativement au substrat SaMOGvVé (r=-2,49).

Les familles des MIB qui ont contribué positivement à la formation de l'axe 2 sont : Libellulidae (r=0,92), Coenagrionidae (r=0,60), Gomphidae (r=0,52), Lumbriculidae (r=0,45), Hydrophilidae (r=0,41), Glossosomatidae (r=0,22) et Culicidae (r=0,17).

Et celles qui ont contribué négativement à la formation de cet axe, sont les suivantes : Ecnomidae (r=-0,75), Ceratopogonidae (r=-0,62), Limnebidae (r=-0,50), Hydropsychidae (r=-0,45), Dysticidae (r=-0,39), Leptoceridae (r=-0,39) et Aphelocheiridae (r-0,22).

## III.2.4.3 Corrélations entre les macroinvertébrés benthiques et la végétation

### III.2.4.3.1 Rivière Gombe

#### III.2.4.3.1.1 En saison pluvieuse

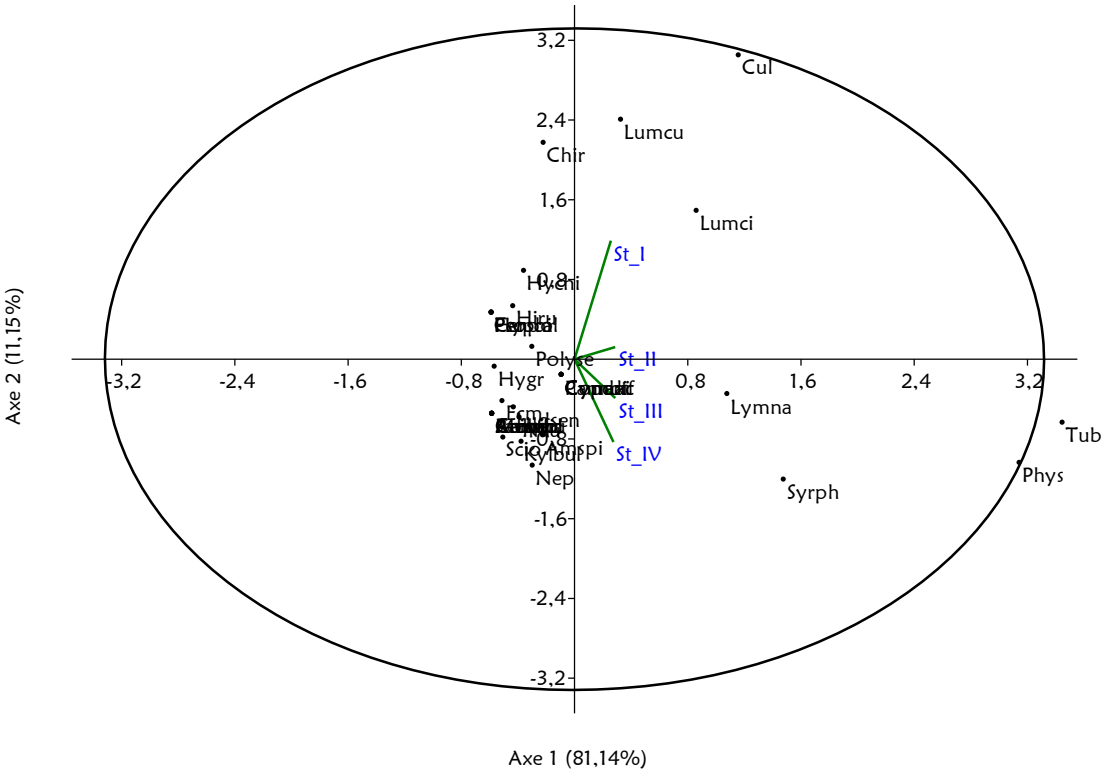



**Figure III.43.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

La figure III.43 renseigne que l'analyse de l'intensité des affinités entre les familles de MIB et la végétation dans la Gombe en saison pluvieuse, a retenu les 2 premiers axes puisqu'ils sont responsables de 94,43% de l'inertie totale ; avec respectivement 81,43% pour l'axe 1 et 11,00% pour l'axe 2.

L'axe factoriel 1 est corrélé positivement à toutes les stations de la Gombe.

Par rapport aux essences végétales, l'axe 1 n'est corrélé positivement à aucune espèce végétale ; mais les espèces suivantes ont contribué négativement à sa formation *:* *Pennisetum polystachion* (r=-1,06), *Psophocarpus scandens* (r=-1,06), *Amaranthus hybridus* (r=-1,06), *Amaranthus viridis* (r=-1,06), *Canna indica* (r=-1,06), *Colocasia esculenta* (r=-1,O6), *Musa sapientum* (r=-1,06), *Pennisetum purpureum* (r=-1,06), *Saccharum officinarum*(r=-1,06), *Ludwigia senegalensis* (r=-0,78), *Kyllinga bulbosa* (r=0,68), *Polygonum senegalense* (r=-0,55) et *Amaranthus spinosus* (r=-0,41).

Les familles des MIB suivantes ont contribué positivement à la formation de l'axe 1 : Tubificidae (r=2,66), Physidae (r=5,56), Syrphidae (r=2,66), Culicidae (r=2,09), Lymnaeidae (r=1,94), Lumbricidae (r=1,55) et Lumbriculidae (r=0,59).

Les familles des Ceratopogonidae (r=-1,06), Hydrophilidae (r=-1,06), Hygrobiidae (r=-1,03), Ecnomidae (r=-0,93), Sciomyzidae (r=-0,91), Hirudidae (r=-0,79), Naucoridae (r=-0,71), Hydrochidae (r=-0,65), Nepidae (r=-0,54) et Chironomidae (r=-0,40) ; ont contribué négativement à la formation de l'axe 1.

En rapport avec l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St I et St II ; mais négativement aux stations St III et St IV.

En ce qui concerne la corrélation entre l'axe 2 et les espèces végétales, celui-ci n'est dans un rapport positif qu'avec *Pennisetum polystachion* (r=0,31) et *Psophocarpus scandens* (r=-0,31) mais négativement avec *Kyllinga bulbosa* ( r=-0,55), *Amaranthus spinosus* (r=-0,50), *Amaranthus hybridus* (r=-0,36), *Amaranthus viridis* (r=-0,36), *Canna indica* (r=-0,36), *Colocasia esculenta* (r=-0,36), *Musa sapientum* (r=-0,36), *Pennisetum purpureum* (r=-0,36), *Saccharum officinarum* (r=-0,36) et *Ludwigia senegalensis* (r=-0,32).

Quant à la corrélation entre l'axe 2 et les MIB, les familles suivantes ont contribué positivement à sa formation : Culicidae (r=2,03), Lumbriculidae (r=1,60), Chironomidae (r=1,44), Lumbricidae (r=0,99), Hydrochidae (r=0,59), Hirudidae (r=0,36), Ceratopogonidae (r=0,31) et Hydrophilidae (r=0,31).

Les familles qui ont contribué négativement à la formation de l'axe 2 sont : Syrphidae (r=-0,8), Nepidae (r=-0,70), Physidae (r=-0,69), Sciomyzidae (r=-0,52), Tubificidae (r=-0,28), Naucoridae (r=-0,38), Ecnomidae (r=-0,28) et Lymnaeidae (r=-0,23).

### III.2.4.3.1.2 En saison sèche

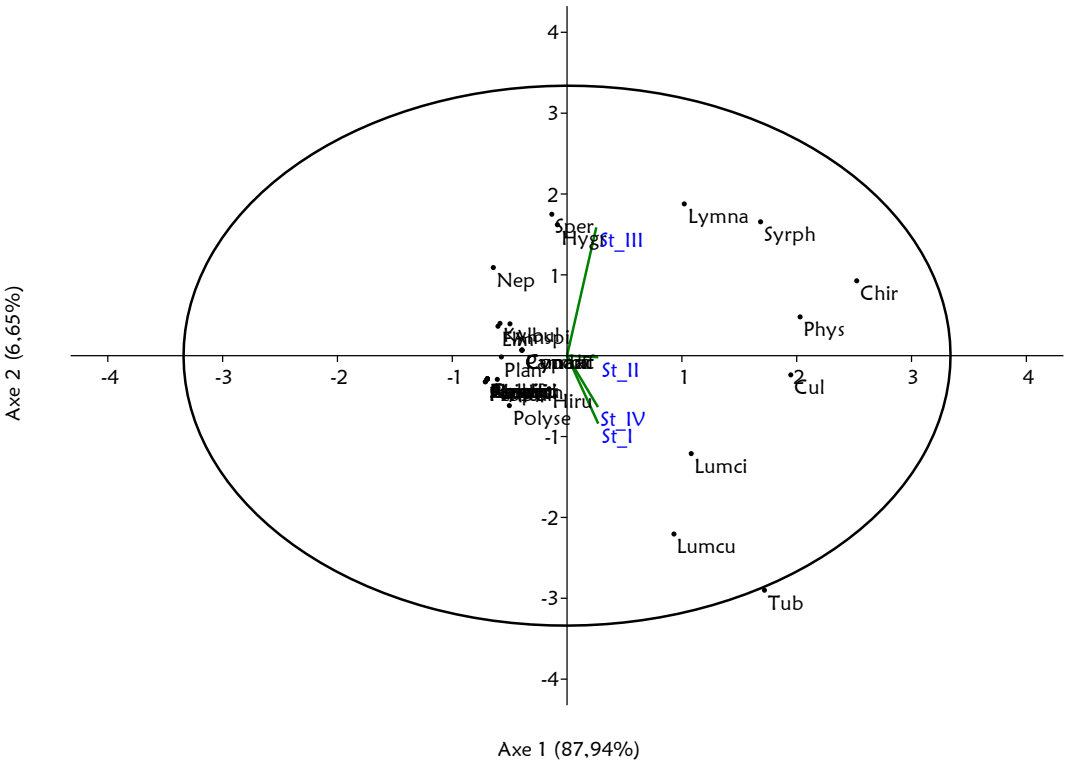



**Figure III.44.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

Selon la figure III.44, l'inertie totale vaut 94,82%. Celle-ci est repartie de la manière suivante : 87,94% pour l'axe 1 et 6,88% pour l'axe 2.

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Gombe.

Toutes les espèces végétales ont contribué négativement à la formation de l'axe 1 : *Psophocarpus scandens* (r=-1,34), *Pennisetum polystachion* (r=-1,30), *Amaranthus hybridus* (r=-1,30), *Amaranthus viridis* (r=-1,30), *Canna indica* (r=-1,30), *Colocasia esculenta* (r=-1,30), *Musa sapientum* (r=-1,30), *Pennisetum purpureum* (r=-1,30), *Saccharum officinarum* (r=-1,30), *Ludwigia senegalensis* (r=-1,14), *Kyllinga bulbosa* (r=-1,10), *Polygonum senegalense* (r=-0,94), *Amaranthus spinosus* (r=-0,93), *Commelina diffusa* (r=-0,74), *Cynodon dactylon* (r=-0,74), *Cyperus articulatus* (r=-0,17) et *Panicum maximum (r=-0,74).*

L'axe 1 est fortement corrélé aux familles des MIB suivantes : Chironomidae (r=4,73), Physidae (r=3,81), Culicidae (r=3,65), Tubificidae (r=3,22) et Syrphidae (r=3,16).

Les familles des MIB ci-après ont aussi contribué positivement à la formation de cette composante : Lumbricidae (r=2,03), Lymnaeidae (r=1,91) et Lumbriculidae (r=1,75).

Les familles des MIB qui ont contribué négativement à la formation de l'axe 1 sont : Hydrophilidae (r=-1,30), Nepidae (r=-1,20), Elmidae (r=-1,13), Hirudidae (r=-0,30) et Spercheidae (r=-0,25).

En ce qui a trait à l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement à la station St III ; et négativement aux stations St I et St IV ; sa corrélation avec la station St II étant presque nulle.

Les espèces végétales qui ont contribué positivement à la formation de l'axe 2 sont : *Amaranthus spinosus* (r=-0,21) et *Kyllinga bulbosa* (r=0,21). Et celles qui y a attribué négativement est *Polygonum senegalensis* (r=-0,32).

En ce qui concerne l'intensité des liaisons entre l'axe 2 et les MIB, les familles suivantes ont contribué positivement à la formation de cette composante principale : Lymnaeidae (r=1,00), Spercheidae (r=0,92), Syrphidae (r=0,87), Hygrobiidae (r=0,85), Nepidae (r=0,57), Chironomidae (r=0,49), Physidae (r=0,25) et Elmidae (r=0,19).

Les familles des MIB ci-après ont contribué négativement à la formation de l'axe 2 : Tubificidae (r=-1,52), Lumbriculidae (r=-1,16), Lumbricidae (r=-0,64) et Hirudidae (r=-0,22).

### III.2.4.3.2 Rivière Kinkusa

#### III.2.4.3.2.1 En saison pluvieuse

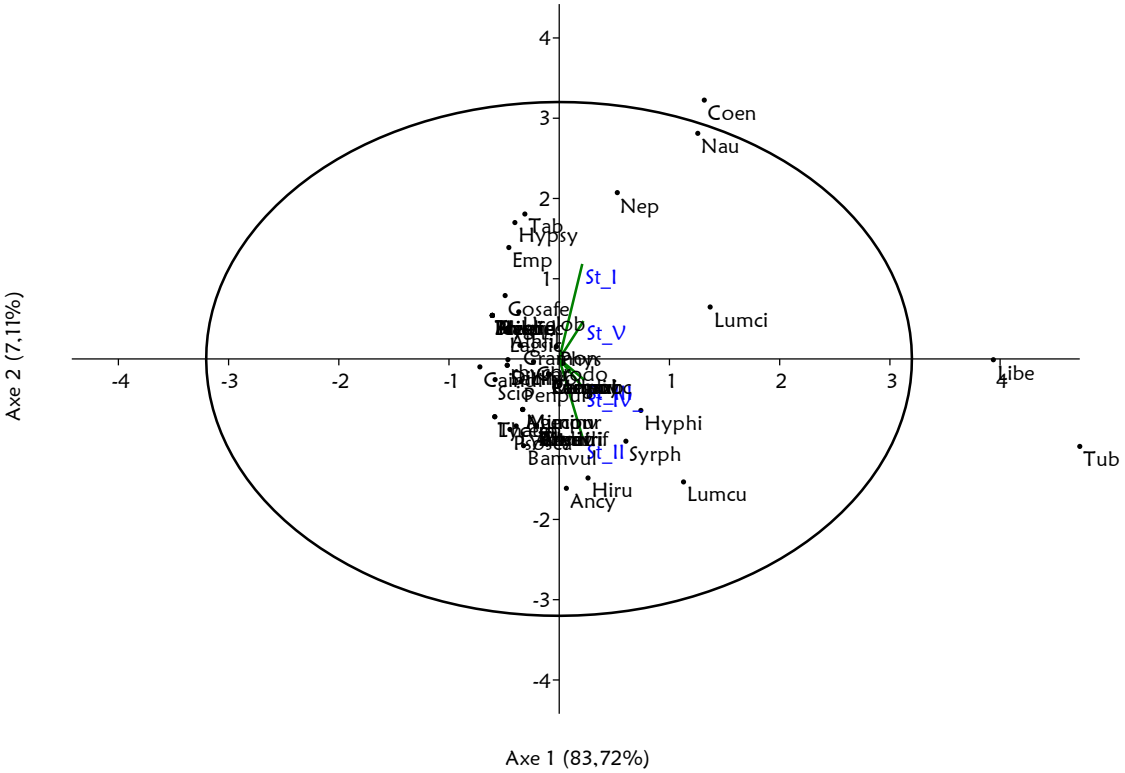



**Figure III.45.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales de la matrice familles des MIB-Espèces végétales a retenu l'axe 1 qui a fourni 83,72% d'informations et l'axe 2 qui n'en a donné que 7,11% ; les 2 composantes principales ayant contribué à 90,82% de l'inertie totale.

L'axe 1 n'est corrélé positivement à aucune espèce végétale ; et se retrouve en opposition avec les essences végétales inventoriées dans la Kinkusa.

Par rapport aux MIB, les familles suivantes sont fortement corrélées à l'axe 1 : Tubificidae (r=9,7) et Libellulidae (r=8,06). D'autres familles ont contribué positivement à la formation de cet axe. Il s'agit des : Lumbricidae (r=2,80), Coenagrionidae (r=2,70), Naucoridae (r=2,57), Lumbriculidae (r=2,3), Hydrophilidae (r=1,52), Syrphidae (r=1,24) et Hirudidae (r=0,53).

Les familles des MIB qui ont contribué négativement à la formation de l'axe 1 sont les suivantes : Hygrobiidae (r=-1,24), Thaumaleidae (r=-1,20), Sciomyzidae (r=-1,19), Empididae (r=-0,94), Hydropsychidae (r=-0,82), Lymnaeidae (r=-0,80) et Tabaniidae (r=-0,64).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St I et St V ; et négativement aux stations St III, St IV et St St II.

L'axe 2 est corrélé positivement aux espèces végétales suivantes : *Costus afer* (r=0,47), *Urena lobata* (r=0,35), *Blechnum specant* (r=0,32), *Haumania liebrechtsina* (r=0,32), *Pteridium aquilinum* (r=0,32), *Alchornea cordifolia* (r=0,32), *Tristemma leicalyx* (r=0,32), *Triufetta cordifolia* (r=0,32), *Athryrium filix* (r=0,23) et *Lagenaria siceraria* (r=0,20).

Il est corrélé négativement aux espèces végétales ci-après : *Psophorcarpus scandens* (r=-0,52), *Altternanthera sessilis* (r= -0,50), *Commelina diffusa* (r=-0,50), *Phyllanthus niruri* (r=-0,50), *Tithonia diversifolia* (r=-0,50), *Widelia tribolata* (r=-0,50), *Bambusa vulgaris* (r=-0,65), *Ageratum conyzoides* (r=-0,38), *Mimosa invisa* (r=-0,38), *Mucuna puriens* (r=-0,38), *Lycodiella cernua* (r=-0,43) et *Pennisetum purpureum* (r=-0,17).

L'axe 2 est corrélé positivement aux familles des MIB suivantes : Coenagrionidae (r=1,92), Naucoridae (r=1,68), Tabaniidae (r=1,08), Hydropsychidae (r=1,01), Empididae (r=0,83), Nepidae (r=1,24), Lumbricidae (r=0,39), Hygrobiidae (r=0,32).

Il est corrélé négativement aux familles ci-après : Culicidae (r=-0,96), Lumbriculidae (r=-0,91), Hirudidae (r=-0,89), Tubificidae (r=-0,65), Syrphidae (r=-0,61), Thaumaleidae (r=-0,43), Hydrophilidae (r=-0,38), Lymnaeidae (r=-0,50) et Scyomizidae (r=-0,15).

### III.2.4.3.2.2 En saison sèche

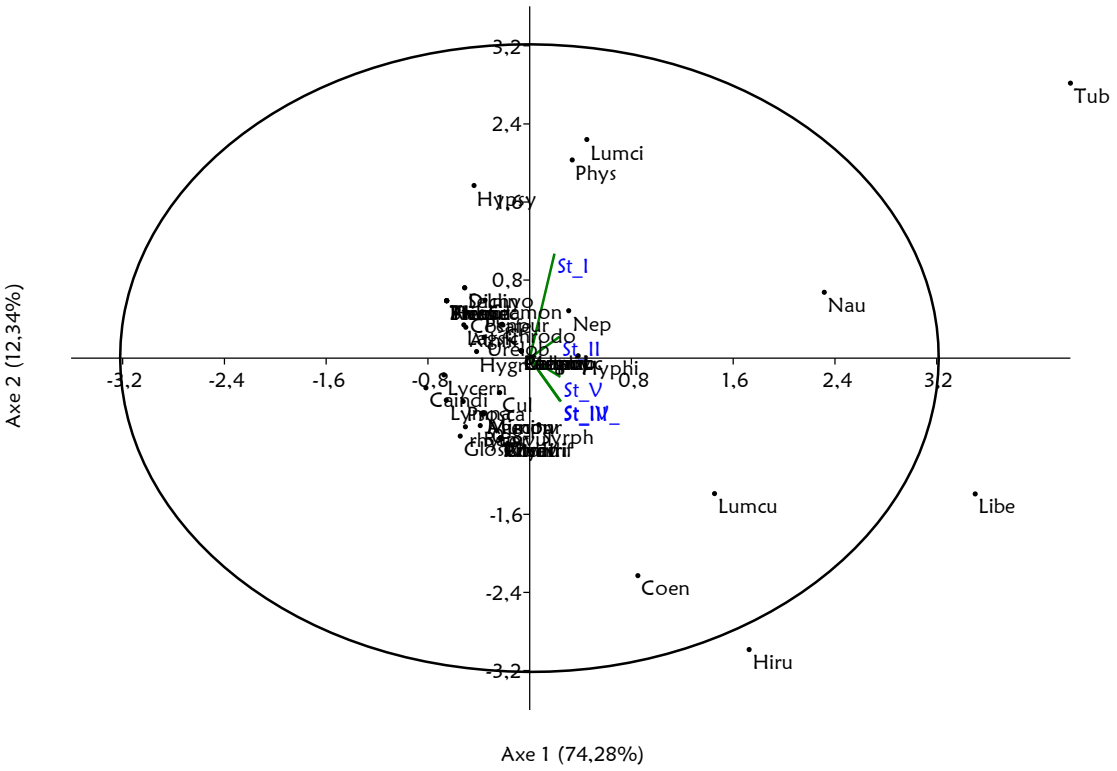



**Figure III.46.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales de la matrice familles des MIB-Espèces végétales a retenu l'axe 1 qui est responsable de 74,28% d'informations, et l'axe 2 porteur de 12,34% de celles-ci ; les 2 axes ayant retenu 86,62% de l'inertie totale.

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Kinkusa.

Par rapport à la Kinkusa, toutes les essences végétales inventoriées n'ont eu aucune corrélation positive avec l'axe 1 ; au contraire elles ont contribué négativement à sa formation.

Les familles des MIBqui ont apporté une contribution très positive à la formation de l'axe 1 sont : Tubificidae (r=8,19), Libellulidae (r=6,75), Naucoridae (r=4,46) et Hirudidae (r=3,33). Celles qui y ont aussi contribué positivement sont : Lumbriculidae (r=2,80), Coenagrionidae (r=1,64), Lumbricidae (r=0,87), Physidae (r=0,64), Hydriphilidae (r=0,73) et Nepidae (r=0,59). Par contre, les familles des MIB suivantes ont contribué négativement à la formation de l'axe 1 : Lymnaeidae (r=-1,26), Glossophonidae (r=-1,05), Hydropsychidae (r=-0,84), Hygrobiidae (r=-0,80) et Culicidae (r=-0,45).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement aux stations St I et St II ; et négativement aux stations St V et St IV.

Par rapport aux espèces végétales, les essences suivantes ont contribué positivement à la formation de l'axe 2 : *Dicranopteris linearis* (r=0,57), *Selaginella myosurus* (r=0,57*), Alchonea cordifolia* (r=0,46), *Blechnum specant* (r=0,46), *Crassocephalum montuosum* (r=0,47), *Haumania liebrechtsina* (r=0,46), *Pteridium aquilinum* (r=0,46), *Tristemma leiocalyx* (r=0,46), *Triufetta cordifolia* (r=0,46), *Costus afer* (r=0,36), *Chromoleana odorata* (r=0,27*), Lagenaria siceraria* (r=0,27) et *Urena lobata* (r=0,17).

Celles qui ont contribué négativement à la formation de l'axe 2 sont : *Altternanthera sessis* (r=-0,64), *Commelina diffusa* (r=-0,64), *Phyllanthus niruri* (r=-0,64), *Tithonia diversifolia* (r=-0,64), *Wedelia trilobata* (r=-0,64), *Bambusa vulgarus* (r=-0,54), *Rhynchospora corymbosa* (r=-0,55), *Ageratum conyzoides* (r=-0,4), *Mimosa invisa* (r=-0,45), *Mucuna puriens* (r=-0,45), *Psophocarpus scandens* (r=-0, 35) et *Canna indica* (r=-0,24).

### III.2.4.3.3. Rivière Mangengenge

#### III.2.4.3.3.1. En saison pluvieuse

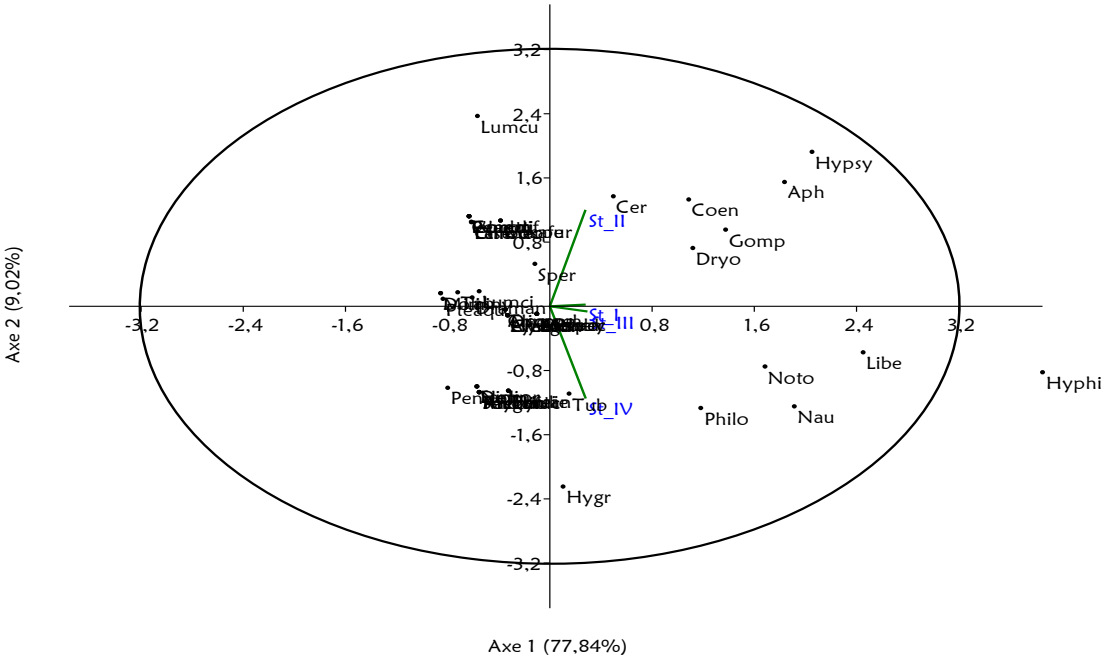



**Figure III.47.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales issue de la matrice des familles des MIB-Espèces végétales, a révélé que les axes 1 et 2 ont porté respectivement 77,84% et 9,02% d'informations contenues dans 86,86% d'inertie totale. L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Mangengenge ; mais négativement à toutes les espèces végétales relatives à la Mangengenge.

Les familles des MIB qui ont fortement contribué de manière positive à la formation de l'axe 1 sont : Hydrophilidae (r=6,80) et Libellulidae (r=4,33).

Les familles des MIB qui sont aussi corrélées positivement à l'axe factoriel 1 sont les suivantes : Hydropsychidae (r=3,62), Naucoridae (r=3,38), Aphelocheiridae (r=3,24), Notonectidae (r=2,97), Gomphidae (r=2,43), Philopotamidae (r=2,08), Dryopidae (r=1,97), Coenagrionidae (r=1,92), Ceratopogonidae (r=0,88), Tubificidae (r=0,26) et Hygrobiidae (r=0,18).

Les familles des MIB ayant contribué négativement à la formation de l'axe 1 sont : Dolichopodidae (r=-1,51), Tabaniidae (r=-1,27), Ecnomidae (r=-1,08), Nepidae (r=1,01), Lumbriculidae (r=-1,00), Lumbricidae (r=-0,98) et Spercheiridae (r=-0,21).

En ce qui concerne l'axe 2, celui-ci est corrélé positivement à la station St II ; et négativement aux stations St IV et St III ; son affinité à la station St I étant presque nulle.

Les espèces végétales qui sont corrélées positivement à la formation de l'axe 2 sont : *Commelina diffusa* (r=0,67), *Leptoderris congolensis* (r=0,67), *Pentaclethra ectvelfdaena* (r=0,67), *Wedelia trilobata* (r=0,67), *Costusafer* (r=0,64), *Marantochloa purpurea* (r=0,64), *Chromoleana odorata* (r=0,63) et *Lasimorpha senegalensis* (r=0,63).

Quant à la corrélation entre l'axe 2 et les MIB, les familles suivantes ont contribué positivement à la formation de cette composante principale : Lumbriculidae (r=1,43), Hydropsychidae (r=1,16), Aphelocheiridae (r=0,93), Ceratopogonidae (r=0,82), Coenagriodae (r=0,80), Ecnomidae (r=0,63), Gomphidae (r=0,57), Dryopidae (r=0,44) et Spercheidae (r=0,32).

Les familles des MIB corrélées négativement à l'axe 2 sont : Hygrobiidae (r=-1,35), Philopotamidae (r=0,76), Naucoridae (r=-0,75), Tubificidae (r=-0,65), Nepidae (r=-0,60), Hydrophilidae (r=-0,49) et Notonectidae (r=-0,45).

### III.2.4.3.3.2 En saison sèche

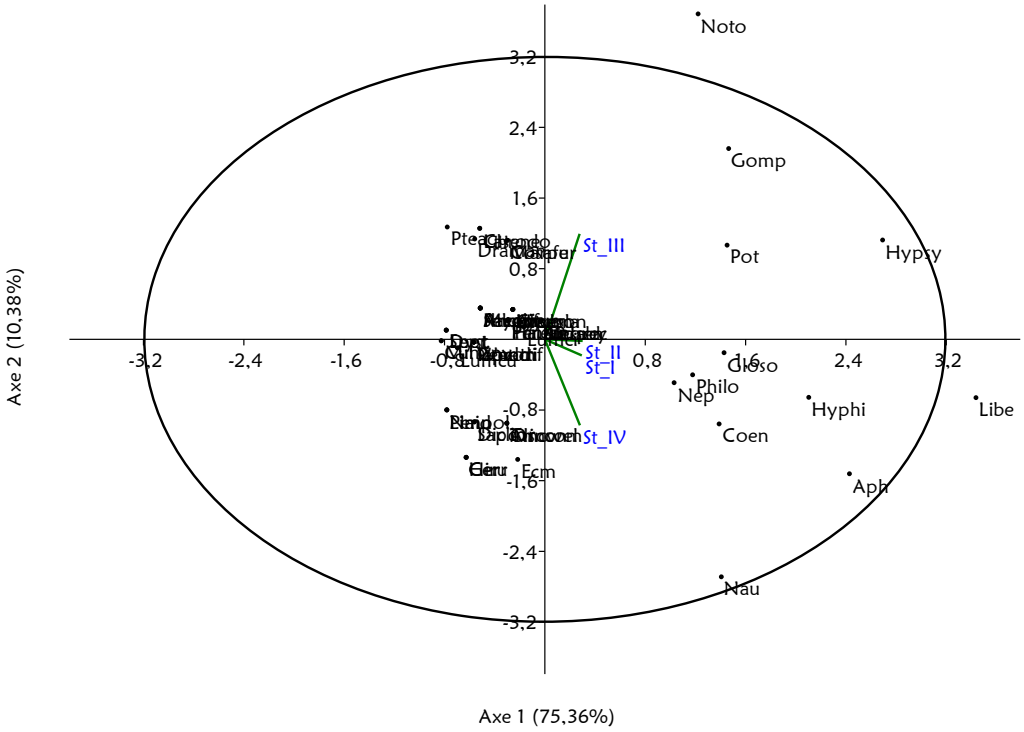



**Figure III.48.** Corrélations entre les MIB et la végétation dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

L'Analyse en Composantes Principales issue de la matrice combinant les familles des MIB et les espèces végétales dans la Mangengenge en saison sèche a révélé que les axes 1 et 2 ont porté respectivement 75,36% et 10,38% des informations relatives à la corrélation entre ces facteurs biotiques. La variance totale est de 85,74%.

L'axe 1 est corrélé positivement à toutes les stations d'étude de la Mangengenge ; mais négativement à toutes les espèces végétales.

Les familles des MIB qui ont contribué très positivement à la formation de l'axe 1 sont : Libellulidae (r=5,97), Hydropsychidae (r=4,67), Aphelocheiridae (r=4,22) et Hydrophilidae (r=3,65). Les familles qui y ont aussi contribué positivement sont les suivantes : Gomphidae (r=2,54), Potamidae (r=2,52), Glossosomatidae (r=2,48), Naucoridae (r=2,44), Coenagrionidae (r=2,41), Notonectidae (r=2,12), Philopotamidae (r=2,04) et Nepidae (r=1,75).

Les familles des MIB ci-dessous ont contribué négativement à la formation de la composante 1 : Leptoceridae (r=-1,43), Dysticidae (-1,36), Lumbriculidae (r=-1,36), Naididae (r=-1,36), Limnebidae (-1,36), Lumbriculidae (r=-1,21), Ceratopogonidae (r=-1,09), Gerridae (r=-1,09), Hirudidae (r=-1,09), Ecnomidae (r=-0,38) et Lumbricidae (r=-0,29).

En ce qui a trait à l'axe 2, la figure 54 renseigne que la station St III y est corrélée positivement tandisque les stations St IV et St II y sont négativement ; la station St II se retrouvant dans une corrélation presque nulle par rapport à cette composante principale.

L'analyse des affinités entre l'axe 2 et la végétation a révélé que les espèces suivantes sont corrélées positivement à cet axe factoriel : *Pteridium aquilinum* (r=0,82), *Chromolaena odorata* (r=0,81), *Lasimorpha senegalensis* (r=0,81), *Draceana manii* –r=0,73), *Costus afer* (r= 0,72), *Marantochloa purpurea* (r=0,72), *Anchomanes difformis* (r=0,23), *Megastachya mucronata* (r=0,23), *Paspalum oribuculare* (r=0,23), *Thyncospora corymbosa* (r=0,23), *Selaginella myosirus* (r=0,23), , *Alternantera sessilis* (r=0,22), *Crassocephalum montuosum* (r=0,22), *Hydrolea glabra* (r=0,22), *Lycodiella cernua* (r=0,22), *Haumania liabrechtsiana* (r= n14), *Tristemma leiscalyx* (r=0,14), *Pentracletra ectveldeana* (r=0,14). Cette analyse a aussi dégagé les espèces qui ont contribué négativement à la formation de l'axe 2. Il s'agit de : *Alstonia congensis* (r=0,61), *Oncoba welwitschii* (r=-0,61), *Tristemma incompletum* (r=-0,61), *Dicranopteris linearis* (r=-0,60), *Sapium cornutum* (r=-0,60), *Pennisetum polystachion* (r=-0,51).

L'Analyse en Composantes Principales a démontré la corrélation entre l'axe 1 et les MIB. Les familles qui ont contribué positivement à la formation de cette composante principale sont : Notonectidae (r=2,37), Gomphidae (r=1,39), Potamanthidae (r=0,69). Et celles qui ont contribué négativement à la formation de cet axe sont les suivantes ; Naucoridae (r=-1,73), Aphelocheiridae(r=-0,86), Gerridae (r=-0,86), Hirudidae (r=0,86), Coenagrionidae (r=-0,62), Limnebidae (r=-0,51), Naididae (r=-0,51), Hydrophilidae (r=-0,42), Libellulidae (r=-0,43), Nepidae (r=-0,32) et Philopotamidae (r=-0,26).

# INTERPRETATION

## 1. Rivière Gombe

### 1.1 Saison pluvieuse

Des valeurs élevées de la turbidité aux stations St I et St III (197UNT et 150UNT) (figure III.7) sont expliquées par la présence dans ce récepteur :

- des ordures ménagères provenant d'une décharge publique qui sont charriées par le ruissellement des eaux de pluies ;
- des eaux usées de deux grands collecteurs provenant du camp Lufungula et d'une centaine d'émissaires d'égout issue des habitations riveraines et de deux autres grands collecteurs venant des quartiers de la Gombe.

La minéralisation de la matière organique par les microorganismes et la présence des sels contenus dans des détergents et du savon émanant des eaux usées a induit des valeurs élevées de la conductivité (540µs/cm) (Figure III.3) et de la température (28,5°C) (Figure III.1) et des valeurs faibles de l'oxygène dissous (0,06mg/l) (figure III.9).

L'abondance brute des Tubificidae dans les 4 stations de la Gombe (Tableau III.16) s'expliquerait par :

- la nature vaseuse du substrat (VaMOVé et VaSaMO) (figure III.25) renfermant des matières organiques nécessaires à leur alimentation ;
- la faible quantité d'oxygène dissous contenu dans la vase se trouvant en milieu anoxique.

Les valeurs élevées des nitrates (8,09mg/l et 10,02mg/l) observées aux stations St II et St III (figure III.13) pourraient s'expliquer par une forte activité mécanique (fouissage) des Tubificidae tendant à ramener de l'oxygène dissous (via l'eau interticielle) nécessaire aux microorganismes pour la nitration justifiant aussi les valeurs de la $DBO_5$ (32,6mg/l et 37,3mg/l) et de DCO (48,9mg/l et 56,2mg/l) enregistrées dans ces 2 stations (figure III.21). Le rejet d'eaux usées par les 2 grands collecteurs des quartiers de la Gombe pourrait aussi augmenter la valeur des nitrates.

La concentration élevée des phosphates aux stations St I et St III se justifierait par le lessivage de la partie superficielle de la roche et surtout par le rejet excessif des eaux usées contenant les détergents, les fécès humaines et les urines qui sont minéralisées par les microorganismes.

La faible concentration des phosphates aux stations St II et St IV (figure III.17) s'expliquerait par la consommation de ces nutriments par les algues et autres végétaux aquatiques.

La concentration élevée des sulfates dans les 4 stations de la Gombe (figure III.14) est essentiellement due au rejet excessif des eaux usées renfermant des détergents et à la minéralisation du soufre contenu dans la matière organique sous-forme de protéines.

Le pH légèrement basique observé dans la Gombe (figure III.5) s'expliquerait par la nature de la roche gréseuse sur laquelle coule cette rivière et la présence des sels minéraux qui induisent une élévation de la conductivité.

## 1.2 Saison sèche

Les différentes valeurs de la turbidité dans la Gombe pendant la saison sèche sont essentiellement dues au rejet des effluents domestiques. Comparativement à la saison pluvieuse, les stations St I et St III ont enregistré de faibles valeurs de turbidité (112UNT et 102UNT) (figure III.8). Cette baisse se justifierait par l'absence de pluies dont les eaux de ruissellement charrient des ordures ménagères de toute nature provenant de la décharge publique du camp Lufungula et de 2 grands collecteurs des quartiers de la Gombe.

Toute fois, la valeur très élevée de la turbidité (151UNT) enregistrée à la station St IV serait dû à l'accumulation des ordures ménagères et des matières organiques en amont du pont SOCIMAT.

Compte tenu de l'interdépendance de ces paramètres, cette valeur a induit une activité intense de minéralisation à cette station (conductivité : 488µS/cm), une augmentation de la température (27,2°C) et une baisse de l'oxygène dissous (0,06mg/l).

L'abondance brute élevée des Chironomidae récoltés dans la Gombe, en saison sèche, est liée à la nature vaseuse du substrat qui renferme la matière organique et la végétation émergente (VaMOVé).

La faible quantité d'oxygène dissous (0,13mg/l) a influencé la prolifération des Chironomidae à la station St II (815 individus inventoriés) (tableau III.18) et une viabilité du substrat par bioturbation en faveur des microorganismes décomposeurs de la matière organique.

La concentration élevée des nitrates (10,02mg/l) à la station St III se justifierait par une intense activité des microorganismes favorisée par l'oxygène dissous contenu dans l'eau interticielle. Les conditions favorables rencontrées dans le substrat (VaMOVé) ont permis l'oxydation des nitrites en nitrates par les microorganismes.

La valeur élevée des phosphates (9,94mg/l) enregistrée à la station St I (figure III.20) s'expliquerait essentiellement par les eaux vannes et les eaux ménagères déversées par les nombreux égouts inventoriée dans cette section de la rivière ; lesquelles eaux contiennent des matières fécales humaines et des détergents. La dégradation de matières organiques pourrait aussi justifier la valeur enregistrée des phosphates.

L'abondance brute des Tubificidae s'expliquerait par la présence du substrat vaseux qu'ils colonisent ensemble avec Chironomidae.

A l'instar des Chironomidae, les Tubificidae occupent des milieux anoxiques.

Les valeurs élevées des sulfates dans les 4 stations expliqueraient par des rejets excessifs des eaux usées renfermant des matières organiques et de détergents.

La concentration importante de la $DBO_5$ et de la DCO d'amont en aval (figure III.24) justifie le besoin en oxygène des macroinvertébrés et des microorganismes pour transformer la matière organique.

Etant donné que la rivière Gombe coule sur une roche gréseuse, le pH légèrement basique s'expliquerait par la conductivité élevée aux stations St II et St IV (figures III.4 et III.6).

L'abondance brute des Physidae récoltées aux stations St II et St IV (191 et 143 individus) (tableau III.16) se justifierait par l'abondance de la matière organique qui leur sert d'aliment, et par une concentration importante de calcium et de dioxyde de carbone ($CO_2$) nécessaire à la synthèse de leurs coquilles.

## 2. Rivière Kinkusa

### 2.1 Saison pluvieuse

La turbidité élevée (19,89UNT) (figure III.7) à la station St V s'explique par sa situation dans une zone d'éboulement et l'occupation de son bassin versant par une quinzaine de porcheries qui déversent les effluents directement dans la rivière. Cette activité conduit à la minéralisation des cette matière organique (Conductivité : 111µS/cm) (figure III.3), à l'augmentation de la température (28,9°C) (figure III.1) et à une baisse de l'oxygène dissous (1,39ùg/l) (figure III.9).

La quantité des nitrates (9,50mg/l) (figure III.13) se justifierait par l'apport des effluents de porcheries contenant des excréments et des urines des animaux. Ces matières organiques sont décomposées par des microorganismes grâce à la bioturbation des Tubificidae qui ramènent de l'oxygène dissous dans les sédiments par l'intermédiaire de l'eau interticielle.

Les faibles quantités des phosphates dans les 4 stations proviendraient du lessivage superficiel de la roche et des excréments de porcs.

La faible concentration des sulfates (2mg/l dans chacune des stations) pourrait provenir de l'oxydation du soufre contenu dans la matière organique.

La concentration de la $DBO_5$ et de la DCO, explique la faible charge organique des eaux de la Kinkusa pendant la saison pluvieuse.

L'abondance brute des Libellulidae est considérable dans toutes les stations. Ceci pourrait être lié à la faible conductivité des eaux et la présence des hélophytes et des hydrophytes dans le lit de cette rivière.

Le pH légèrement acide observé dans les eaux de la Kinkusa s'expliquerait par la nature sablonneuse du substrat sur lequel coule cet hydrosystème.

## 2.2 Saison sèche

La plus grande valeur de la turbidité a été enregistrée à la station St I (18,4UNT). Contrairement à la saison pluvieuse qui a enregistré une turbidité élevée à la station St V, la valeur élevée en saison sèche s'explique par le fait que la station St I reçoit les effluents d'un collecteur provenant du quartier Ngomba-Kinkusa. La réduction longitudinale des valeurs de la turbidité dans la Kinkusa, se justifierait par une activité auto-épuratrice exercée par les microorganismes sur les matières en suspension (figure III.8). Cette situation est confirmée par la baisse de la conductivité (figure III.4) et de la température le long du chenal. Mais l'oxygène dissous a montré une tendance haussière à partir de la station St II (figure III.10). Ceci pourrait s'expliquer par l'activité autoépuration des microorganismes.

L'abondance brute croissante des Libellulidae, d'amont en aval, confirmerait l'amélioration des paramètres physico-chimiques pour ces MIB qui ne sont pas polluo-résistants.

Cette activité microbienne d'autoépuration confirme la concentration élevée des nitrates à la station St V (figure III.13).

Les valeurs enregistrées des phosphates (figure III.18) et des sulfates (figure III.19) seraient aussi consécutives à l'autoépuration des eaux de la Kinkusa en saison sèche.

A la station St II, les Tubificidae (abondance brute : 608 individus) (tableau III.22) doivent avoir favorisé l'activité d'autoépuration par les microorganismes, grâce à la bioturbation.

A partir de la station St II, la $DBO_5$ et la DCO ont affiché des valeurs faibles.

Le pH légèrement acide observé dans la Kinkusa s'explique par la nature sablonneuse du substrat et par la décomposition des débris végétaux qui libèrent les acides humiques.

## 3. Mangengenge

### 3.1 Saison pluvieuse

Les faibles valeurs de turbidités observées d'amont en aval, sont les résultats de l'excellente qualité de la bande riveraine qui retient des sédiments ramenés par les eaux de ruissellement et qui stabilise les berges contre l'érosion.

Les faibles valeurs de conductivité s'explique par la vitesse d'écoulement qui ne permet pas la stagnation de la nécromasse afin qu'elle soit transformée par les MIB et minéralisée par les microorganismes.

La canopée de la ripisylve a induit des températures fraîches d'amont en aval de la Mangengenge.

Les valeurs élevées de l'oxygène dissous sont résultats des faibles valeurs de turbidité, de conductivité et de température et aussi de la photosynthèse faite par les végétaux aquatiques. Le gradient dans la concentration d'oxygène dissous de la station St I à la station St II (figure III.9) a permis une activité à abouti à une concentration en nitrates de 5,98mg/l (figure III.13) de la station St II à la station St IV, une évolution décroissant de la concentration des nitrates, a été observée.

Cela pourrait être à la dénitrification et à la concentration de ce nutriment par les végétaux aquatiques.

Les faibles valeurs des phosphates enregistrées indiquent que ce paramètre provient essentiellement du lessivage de la roche et de la décomposition de la nécromasse d'origine végétale.

La valeur élevée de la concentration d'oxygène dissous (4,04mg/l) (figure III.9) à la station St III justifie la présence des MIB polluo-sensibles (Hydrophilidae, hydropsychidae, Philopotamidae). La biodisponibilité de l'oxygène dissous pour les MIB polluo-sensibles et l'abondance d'un flux de polluants, ont réduit sensiblement la $DBO_5$ et la DCO dans la Mangengenge.

Le pH acide observé dans cet hydrosystème est inhérent à la nature sablonneuse du substrat sur lequel coule cette rivière et à un apport en acides humiques de la matière organique végétale.

## 3.2 Saison sèche

Les faibles valeurs de turbidité enregistrées en saison sèche sont liées à l'excellente capacité de la bande riveraine à exercer ses fonctions écologiques.

Les concentrations enregistrées longitudinalement sont révélatrices d'une faible quantité de matières en suspension.

Les températures fraîches observées en saison sèche sont liée à la ripisylve qui porte son ombrage sur le lit de la rivière et à une faible insolation inhérente à cette saison.

La concentration en oxygène dissous enregistrée d'amont en aval, est le fait des basses températures et de la photosynthèse qui se déroule dans les végétaux aquatiques.

Les valeurs des nitrates enregistrées de la source à l'embouchure, ont révélé l'oxydation de l'azote organique en nitrates. Mais la baisse des valeurs de nitrates entre les stations St I et St II (figure III.14) pourrait expliquer une activité de dénitrification ou une consommation de ce nutriment par les végétaux aquatiques.

L'évolution longitudinale des valeurs des phosphates, indique l'origine naturelle de ce paramètre (lessivage superficiel de la roche et décomposition des feuilles et branches mortes qui tombent dans le lit de la rivière).

Comme en saison pluvieuse, le pH acide observé dans la Mangengenge en saison sèche est lié à la nature sablonneuse du substrat et à la libération des acides humiques issus de la décomposition de la matière organique végétale.

# DISCUSSION

## 1. Paramètres abiotiques

La physico-chimie des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge a varié en fonction de l'utilisation de leurs bassins versants et des saisons.

## 1.1 Rivière Gombe

Les activités humaines exercées sur le bassin versant de la Gombe ont induit une turbidité importante dont les valeurs moyennes en saison pluvieuse et en saison sèche ont été respectivement de 140 UNT et de 127 UNT. Les eaux de ruissellement des pluies drainant des matières organiques de toute nature, le rejet des ordures ménagères de toute sorte dans ce récepteur considéré comme un dépotoir par la population environnante ; le rejet des eaux usées (eaux vannes et eaux menagères) provenant des habitations qui longent cette rivière justifient le caractère trouble des eaux pendant les deux saisons. En effet, une centaine des conduites d'effluents domestiques a été inventoriée à la station St I et par deux gros canaux en beton conduisant des eaux usées provenant des quartiers de la commune de la Gombe à la station St II.

Les valeurs moyennes élevées de la conductivité constatées en saison pluvieuse (437,5 µS/cm) et en saison sèche (439 µS/cm) sont les résultats d'une activité de minéralisation de la matière organique par les microorganismes et des rejets excessifs des eaux usées renfermant des sels minéraux contenus dans des savons et détergents. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température moyenne des eaux de la Gombe (27,8°C en saison pluvieuse et 26,18°C en saison sèche). Cette augmentation de la température moyenne des eaux de cet hydrosystème est aussi due aux échanges thermiques eau-atmosphère. L'augmentation de la température a provoqué une baisse sensible de l'oxygène dissous dont les valeurs moyennes 0,1mg/l en saison pluvieuse et 0,24 mg/l en saison sèche.

Le besoin en oxygène dissous des MIB pour la dissociation de la matière organique en particules fines d'une part ; de bactéries pour la minéralisation de ces particules d'autre part, expliquent les faibles quantités de ce facteur abiotique dans les eaux de la Gombe (Tachet *et al.,* 2010). Ce qui a provoqué une inflation de la Demande Biologique en Oxygène (soit 34,78mg/l en saison pluvieuse et 40,48mg/l en saison sèche) et de la Demande Chimique en Oxygène (soit 52,35mg/l pour la saison pluvieuse et 59,98mg/l pour la saison sèche).

Selon AFNOR (2009), la concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière et elle dépend de nombreux facteurs tels que : la température de l'eau, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. L'oxygène dissous est également lié à la turbidité. Cette dernière perturbe l'activité photosynthétique de la végétation aquatique, en réduisant la pénétration des rayonnements solaires dans l'hydrosystème, ce qui entraîne un faible apport en oxygène dissous par la végétation (Blum *et al.*, 2014).

La valeur moyenne de pH observée en saison pluvieuse est légèrement basique (soit 7,15). Elle s'explique par l'apport des produits de lessivage des murs (chaux, ciment, rouille), les ruissellements des eaux des pluies ramenant les particules des sols, des effluents domestiques contenant des sulfates se trouvant dans les détergents, ce qui explique également le taux élevé de ces sels (soit une moyenne de 19,75mg/l).

En saison sèche les valeurs de pH enregistrées dans la rivière Gombe sont légèrement acide (valeur moyenne 6,86), ce qui pourrait être justifié par la teneur importante en dioxyde de carbone (valeur moyenne 634mg/l) qui pourrait induire une acidification des eaux de cet hydrosystème en cette période.

La présence des sulfates dans la Gombe est liée aux rejets des eaux usées contenant des eaux vannes (renfermant des excréments), des eaux menagères (renfermant des détergents) et des matières organiques d'origine diverses.

Selon Seytre (2010), la décomposition de la matière organique peut se faire selon deux processus :

- aérobie qui conduit à la reformation directe des sulfates $SO_4^{2-}$ ;
- anaérobie qui passe par le stade sulfures $S^{2-}$ (forme de stockage dans les sédiments réduits).

Les deux processus sont supperposés et se complètent par des échanges des composés souffrés. En anaérobiose, le cycle du soufre est entièrement bactérien. Les sulfures $S^{2-}$ proviennent de la réduction des sulfates $SO_4^{2-}$ par les bactéries sulfato-réductrices, de la réduction du soufre élémentaire par les bactéries sulfo-réductrices, de la réduction du thiosulfate par les bactéries thiosulfatoréductrices et de la décomposition bactérienne des protéines souffrées.

Lorsque les sulfates sont assimilés par les organismes, ils sont réduits et convertis en composés souffrés organiques dont certains acides aminés essentiels.

La coloration noire des sédiments observée dans la Gombe de la source à l'exutoire, est liée à l'activité des bactéries sulfato-réductrices qui transforment les sulfates en sulfures, qui, associés aux ions ferreux forment les sulfures de fer (Baudin *et al.*, 2007).

Le pH moyen enregistré dans la Gombe s'explique principalement par la nature de la roche gréseuse sur laquelle coule cette rivière, par un apport en matières organiques et en minéraux charriés par le ruissellement des eaux de pluies. Guerold (1992), établit une relation exponentielle entre le pH et la conductivité.

La décomposition de la matière organique par les micro-organismes a abouti à l'ammonification ($NH_4^+$) de celle-ci (valeur moyenne 0,06mg/l en saison pluvieuse et 0,07 mg/l en saison sèche). Les valeurs issues de la nitrosation sont identiques en saison pluvieuse et en saison sèche (valeur moyenne des nitrites 0,04 mg/l). Dans la Gombe, la teneur en ammonium est plus élevée que celle des nitrites aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Ceci résulte d'un processus de décomposition incomplète de la matière organique (Sondergaad *et al.,* 2003). La valeur élevée de l'ammonium en saison sèche par rapport à celle pluvieuse pourrait s'expliquer par la diminution de la température accompagnée d'une augmentation de la quantité d'oxygène dissous, favorisant ainsi l'ammonification par les bactéries.

La quasi-totalité de $NH_4^+$ a été utilisée par des bactéries nitrifiantes pour produire leur énergie métabolique en transformant l'ammonium en nitrites et l'oxydation de ces derniers en nitrates (Baudin *et al.,* 2007 ; Ramade, 2009).

Les valeurs des phosphates enregistrées dans la Gombe sont très importantes pour les deux saisons (valeur moyenne 5,28mg/l en saison pluvieuse et 6,035 mg/l en saison sèche). Celles-ci s'expliquent par les effluents domestiques rejetés directement dans la rivière comme signalé par Hébert et Légaré (2000).

## 1.2 Rivière Kinkusa

Les valeurs moyennes de la turbidité observées dans la rivière Kinkusa sont respectivement de 11,56 UNT en saison pluvieuse et de 12,99 UNT en saison sèche. Ces valeurs sont plus faibles que celles enregistrées dans la Gombe et se justifient par la vitesse d'écoulement des eaux qui réduit l'effet d'anthropisation de son bassin versant (présence de porcheries, maisons d'habitation à moins de 10m du lit de la rivière). Pendant la saison pluvieuse, celles-ci pourraient s'expliquer par de nombreuses particules des sols entraînées par les eaux de ruissellement et qui gagnent le lit des rivières. Ces particules se trouvent généralement sous forme de grains isolés. La floculation et l'agrégation de certaines de ces particules ne se produisent globalement que lorsque la vitesse du courant devient faible (Lakhdari, 2011).

La vitesse d'écoulement de l'eau dans la Kinkusa (valeur moyenne 83,8 cm/s en saison pluvieuse et 98,4 cm/s en saison sèche) empêche la stagnation des matières organiques et leur décomposition par les micro-organismes ; ce qui perturbe le processus de minéralisation et induit de faibles valeurs de conductivité (97,30 µs/cm en saison pluvieuse et 76,02 µs/cm en saison sèche).

Les températures moyennes enregistrées dans la Kinkusa sont de 27,52°C en saison pluvieuse et de 24,8°C en saison sèche, et compte tenu de la faible profondeur du lit (moins d'un mètre) au fond duquel on aperçoit le substrat, la pénétration des rayons solaires est totale dans la plus grande majorité des stations étudiées.

La présence de la végétation aquatique dans cette rivière et la vitesse d'écoulement de ses eaux expliquent la quantité d'oxygène dissous dans la Kinkusa (valeur moyenne 1,75mg/l en saison pluvieuse et 1,72mg/l en saison sèche). Cette situation induit une faible Demande Biologique en Oxygène (valeur moyenne 1,14mg/l en saison pluvieuse et 1,19 mg/l en saison sèche) et Demande Chimique en Oxygène (valeur moyenne (1,69 mg/l en saison pluvieuse et 1,79 mg/l en saison sèche).

Les valeurs moyennes du pH enregistrées pendant les deux saisons sont légèrement acide (6,64 en saison pluvieuse et 6,75 en saison sèche). Elles s'expliquent par la nature du substrat géologique à texture sablonneuse que traverse cette rivière ; et par la décomposition de la matière organique qui libère les acides humiques tendant à acidifier les eaux.

Les écarts enregistrés entre les valeurs des paramètres abiotiques dans la Kinkusa pendant la saison pluvieuse et pendant la saison sèche pourraient être expliqués par la qualité moyenne de la bande riveraine en saison pluvieuse et la qualité faible de celle-ci en saison sèche.

### 1.3 Rivière Mangengenge

Les valeurs moyennes de la turbidité enregistrées dans la rivière Mangengenge sont les plus faibles de tous les trois hydrosystèmes étudiés (6,32 UNT en saison pluvieuse et 6,31 UNT en saison sèche). Elles se justifient par la vitesse d'écoulement importante des eaux qui empêchent la stagnation de la nécromasse dans le lit de la rivière; ce qui perturbe le processus de la minéralisation et qui induit des valeurs faibles de conductivité dont la moyenne est de 16 µs/cm en saison pluvieuse et 20,2 µs/cm en saison sèche.

La température prélevée dans la Mangengenge est faible (valeur moyenne : 25,18°C en saison pluvieuse et 24,35°C en saison sèche). Elle est contrôlée par l'environnement forestier au sein duquel coule cette rivière et la non anthropisation de son bassin versant. La ripisylve joue un rôle important dans la régulation de la température moyenne des eaux de cet hydrosystème , par la densité de la canopée qui réduit l'influence des rayonnements solaires et par la réduction de la vitesse du courant d'air qui limite les échanges thermiques entre la rivière et le milieu ambiant (Borry *et al.,* 2009 ; Favriou, 2010).

La quantité d'oxygène dissous enregistrée dans la Mangengenge est plus importante que celle prélevée dans la Gombe et dans la Kinkusa. Les valeurs moyennes ont varié de 3,54mg/l en saison pluvieuse à 3,33 mg/l en saison sèche. La présence importante de la végétation dans cette rivière, la vitesse importante d'écoulement de ses eaux, la faible activité de la décomposition des matières organiques et la présence des remous et des cascades provoqués par les mouvements de l'eau, justifient le renouvellement permanent de l'oxygène dans cet hydrosystème (Dajoz, 1975 ; Rodier, 2009).

La valeur moyenne du pH enregistrée dans la Mangengenge est acide (soit 4,8 en saison pluvieuse et 4,98 en saison sèche). Elle résulte du substratum géologique à texture sablonneuse sur lequel coule cet hydrosystème. La décomposition de la matière organique d'origine végétale sur ses berges libérant les acides humiques justifie aussi les valeurs du pH prélevées dans la Mangengenge. La présence de *Pteridium aquilinum (*fougère) dans la bande riveraine et des *Dicranopteris linearis, Hydrolea schiemach et Blechinum specant* dans le lit de la rivière justifient l'acidité de ce substrat (Ducerf, 2008).

La capacité de la bande riveraine de la Mangengenge est excellente et permet à celle-ci de remplir ses fonctions écologiques. La présence d'un écosystème forestier au sein duquel coule cette rivière justifie les valeurs des paramètres abiotiques y recueillis.

## 2. Paramètres biotiques

### 2.1 Structure des peuplements des MIB

Dans la rivière Gombe, en saison pluvieuse, la fréquence relative des Tubificidae (51,14%) et des Physidae (28,68%) s'explique par la turbidité, la température, la conductivité et le pH ainsi que les substrats VaMOVé et VaMOSa qui leurs sont favorables. Ces organismes demandent moins d'oxygène dissous telqu'expliqué par l'Analyse en Composantes Principales (figure III.43). Ceci est confirmé par Genin *et al.,* (1997) qui lient le potentiel biologique d'une communauté des macroinvetébrés à la qualité de l'habitat physique dans lequel celle-ci se développe. L'abondance brute des Physidae et des Lymnaeidae dans la

Gombe s'explique par des quantités considérables de dioxyde de carbone et des ions calcium qui interviennent dans la synthèse de leurs coquilles. Les sels dissouts, spécialement le carbonate de calcium, est un facteur limitant dans la distribution de ces gastéropodes (Baker, 1911 ; Boycott, 1936 ; Clampitt, 1970 ; Hunter, 1990). L'abondance brute des Gastéropodes dans cette rivière est aussi justifiée par la présence des végétations aquatiques qui sont une source de nourriture pour ces MIB.

La turbidité élévée (valeurs moyennes : 140 UNT en saison pluvieuse et 127 UNT en saison sèche) constatée dans cette rivière explique la présence des familles des MIB moins éxigeantes en oxygène dissous. Ce qui est corroboré par l'Analyse en Composantes Principales qui établit une corrélation négative entre la turbidité et l'oxygène dissous d'une part, et entre l'oxygène dissous et ce groupe des MIB d'autre part.

Les Tubificidae sont très bien représentés dans des eaux riches en dioxyde de carbone surtout dans les stations de sources (Smith, 2001). L'abondance brute obsrvée dans la Gombe pourrait s'expliquer par la dérive des eaux. Les Tubificidae sont considérés comme des indicateurs de la pollution organique, telque l'atteste l'affinité positive observée entre cette famille des MIB et la  (valeurs moyennes : 34,78mg/l en saison pluvieuse et 40,48mg/l en saison sèche).

Les faibles fréquences relatives enregistrées chez les Hydrochidae (0,2%) Hydrophilidae (0,07%) et Hygrobiidae (0,07%) se justifient par leur tolérance moyenne à la pollution (MDDEFP, 2013 ; Kamb *et al.*, 2015).

L'affinité observée entre les phosphates et les familles des Tubificidae et Physidae s'explique par la décomposition de la matière organique qui libère les phosphates, sous l'effet des bactéries et par la végétation aquatique qui les utilise comme nutriment. Cette végétation pouvant servir de premier maillon de la chaîne trophique pour ces MIB.

Smith (2001) a observé qu'une faible concentration en ions calcium peut être un facteur limitant dans la distribution des Hirudidae. La faible abondance brute des Hirudidae observée dans la Gombe pourrait s'expliquer par le fait que les familles des Physidae et des Lymnaeidae pourraient partager la même niche écologique que la famille des Hirudidae, du point de vu de cette ressource ($Ca^{2+}$). Cette faible abondance brute pourrait être aussi liée au fait qu'ils parasitent certains vetébrés (poissons, oiseaux, ect.) qui, par leur mobilité les transportent d'un point à un autre ; ou constituent des proies spécifiques pour certains MIB (klemm and Hiltunnen, 1992).

En saison sèche, une fréquence relative élévée des Chironomidae (36,23%) a été observée. Celle-ci est suivie par celles des Culicidae (14,47%), des Tubificidae (12,59%) et des Physidae (11,06%). Cette abondance relative est justifiée par les conditions du milieu qui leurs sont favorables (turbidité, conductivité et température élevées, faible quantité d'oxygène dissous ; $DBO_5$ et DCO considérables) étant donné que les individus appartenant à ces familles peuvent vivre en anorexie pour dissocier la matière organique en particule fine.

Ces fréquences relatives sont justifiées aussi par la qualité du substrat VaMOVé qui leur sert de microhabitat et qui renferment des nutriments indispensables à leur métabolisme (Figure III.26). Ceci est corroboré par l'Analyse en Composantes Principales qui établit une affinité positive entre ces familles de MIB et ce substrat. La coloration sombre du substrat observé dans la Gombe explique l'activité abondante des bactéries sulfato-réductrices qui réduisent les sulfates en sulfures. La très forte affinité des ions sulfures aboutit à la formation de sulfures de fer, ce qui montre que le substrat VaMOVé riche en matière organique, colonisée par ces bactéries, ait la coloration sombre (Baudin *et al.,* 2007). Cette coloration pourrait servir de camouflage à certaines familles des MIB contre les éventuels prédateurs.

L'abondance relative des Lumbricidae (8,7%) et Lumbriculidae (3,9%), en saison sèche dans la Gombe pourrait s'expliquer par l'abondance de la matière organique dont ils tirent les phosphates indispensables à leur métabolisme. Ceci est justifié par le groupe trophique auxquels ils appartiennent (détritivores) et par l'Analyse en Composantes Principales qui a établie une corrélation positive entre ces trois facteurs écologiques.

La fréquence relative des Physidae et des Lymnaeidae est justifiée par des quantités considérables de $CO_2$ et de calcium nécessaires (annexe $4_b$) à la synthèse de leurs coquilles.

Tachet *et al.*,(2010) expliquent la présence, dans un cours d'eau des Tubificidae, Lumbriculidae et Lumbricidae par l'abondance des matières organiques fortement décomposées. Les bacteries ingérées en même temps constituent probablement une part importante de leur régime alimentaire.

Dans la rivière Kinkusa, le pourcentage de participation des Tubificidae à la constitution des peuplements des MIB est le plus élévé (58,95% en saison pluvieuse et 53,08% en saison sèche). Il est suivi par les Libellulidae (26,37% en saison pluvieuse et 21,87% en saison sèche).

Les conditions optimales de l'environnement (conductivité, température, turbidité et la teneur en nitrates) expliquent ces fréquences relatives. En sus, la corrélation positive entre ces deux familles et les nitrates explique l'affinité entre celles-ci et la matière organique, source de leurs nutriments. Ces familles ubiquistes ont principalement colonisé le substrat VaMO.

Benoît-Chabot (2014), affirme que la présence des matières organiques ainsi que la qualité et la diversité du fond des cours d'eaux sont des habitats de prédilection pour les vers.

Smith (2001), confirme la préference de substrat constitué de la vase et de la matière organique pour les Tubificidae. Ceci s'explique par une abondance d'algues filamenteuses qui leur servent d'aliments.

La température, selon Smith (2001), n'est pas toujours un facteur limitant, mais elle détermine souvent l'abondance relative des oligochètes.

L'abondance brute élevée observée dans la Kinkusa pendant les deux saisons, s'explique par les eaux usées provenant des fermes et des maisons d'habitation environnantes, augmentant ainsi la conductivité et la turbidité de cet hydrosystème.

La corrélation positive observée entre les Tubificidae et les nitrates pourrait expliquer l'abondance d'algues qui constituent leur nourriture.

La concentration en oxygène dissous, relativement faible, explique l'abondance brute très considérable des Tubificidae dans la Kinkusa, du fait que les individus appartenant à cette famille affichent une aérotaxie négative ; c'est pour cela qu'ils migrent activement des stations à forte concentration en oxygène dissous vers celles à faible concentration (Aston, 1968 ; Brinkhurst, 1970 et 1964).

L'abondance brute des Libellulidae en saison pluvieuse tout comme en saison sèche se traduit par des conditions favorables du milieu. La conductivité, la température, la turbidité, le pH et les nitrates de cet hydrosystème font que les individus de cette famille y prospèrent. Ces paramètres abiotiques pourraient etre à l'origine de l'éclosion des individus d'autres familles qui pourraient servir des proies à ces Odonates.

Dans la rivière Mangengenge, la fréquence relative des Hydrophilidae (30,32% en saison pluvieuse et 8,08% en saison sèche), Libellulidae (10,41% en saison pluvieuse et 24,9% en saison sèche) et Hydropsychidae (10,2% en saison de pluies et 12,24% en saison sèche) ; revèle les conditions favorables de leur environnement : faible température, bonne teneur en oxygène dissous, pH acide, faibles teneurs en $DBO_5$ et DCO; et nutriments.

La présence des Philopotamidae (3,7% en saison pluvieuse et 3,46% en saison sèche) prouve à suffisance que les propriétés physico-chimiques leur sont favorables.

La faible abondance brute des Naididae (soit un individu en saison sèche) observée dans la Mangengenge montre que cet environnement aquatique n'est pas stressé. Smith (2001), Klemm et Hiltunen (1992) ont fait remarquer que les individus appartenant à cette famille prospèrent favorablement dans une rivière lorsque l'environnement connait un stress.

L'observation en saison sèche des Potamanthidae (fréquence relative 4,39%), des Philopotamidae (fréquence relative 3,46%) et des Glossosomatidae (fréquence relative 4,39%) indique de nouveau les bonnes propriétés physico-chimiques de l'eau de la rivière Mangengenge.

Il est généralement prouvé que les eaux douces contenant des quantités importantes des matières organiques dissoutes ont une diversité taxonomique élevée et une abondance brute faible par rapport aux eaux riches en calcium (Smith, 2001).

L'absence des Mollusques dans la rivière Mangengenge s'explique par un pH acide et par une faible concentration en calcium qui ne permet pas la synthèse de leur coquille.

L'abondance brute considérable des Libellulidae observée pendant les deux saisons est liée aux conditions du milieu qui leurs sont favorables : conductivité, température et turbidité faibles.

La corrélation positive entre la famille des Libellulidae et les nitrates traduit un lien entre cette famille des MIB et la végétation qui utilise les nitrates comme nutriments.

La présence de la végétation dans les substrats SaMOGvVé et SaMOVé pendant la saison pluvieuse ; et SaGvVé et SaMOGvVé explique l'abondance des individus de cette famille dans ces habitats (Kamb *et al.*, 2015 ; Tachet *et al.*, 2010).

La forte abondance des Hydrophilidae pourrait être justifiée par le fait qu'ils sont végétariens et que les berges de cette rivière sont tapissées par une végétation aquatique (Depuy, 2001). Ceci est conforté par la corrélation positive qui existe entre cette famille des MIB et les nitrates qui servent de nutriments à celle-ci.

Les substrats SaMOGvVé et SaMOVé en saison pluvieuse ; et SaGvVé et SaMOGvVé en saison sèche ont offert un habitat favorable à l'explosion des individus appartenant à cette famille (Kamb *et al.*, 2015).

La présence des Tricoptères (Philopotamidae en saison pluvieuse ; Philopotamidae et Glossosomatidae en saison sèche), des Coléoptères (Hydrophilidae en saison pluvieuse et en saison sèche) et des Ephéméroptèes (Potamanthidae en saison sèche) témoigne d'une bonne oxygénation des eaux de cette rivière (AFNOR, 2004). Les faibles températures observées dans cet hydrosystème ont induit une augmentation du dioxygène (Mason, 2002).

## 2.2 Evaluation de la qualité biologique et écologique des hydrosystèmes.

Les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver obtenues dans les rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge en saison pluvieuse sont respectivement de 1,82 ; 1,88 et 3,24. Ces valeurs comprises entre 0,5 et 4,5 indiquent que les rivières Gombe et Kinkusa sont faiblement diversifiées tandis que la Mangengenge l'est fortement (Evrard, 1996).

Les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Piélou calculées pour les mêmes rivières pendant la saison pluvieuse se présentent de la manière suivante : 0,56 dans la Gombe, 0,52 dans Kinkusa et 0,83 dans la Mangengenge. Les faibles indices d'équitabilité observés dans la Gombe et dans la Kinkusa justifient la dominance de quelques taxons (Tubificidae, Physidae, Libellulidae). La Mangengenge par contre présente une équitabilité proche de 1 justifiant un équilibre entre les taxons (Moisan *et al.*, 2011).

En saison sèche, les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver obtenues dans les rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge sont respectivement de 2,5 ; 1,91 et 3,39. Ces valeurs sont comprises entre 0,5 et 4,5 et indiquent que les rivières Gombe et Kinkusa présentent une diversité taxonomique faible tandis que la Mangengenge enregistre une forte diversité taxonomique (Evrard, 1996).

Les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Piélou calculées pour les mêmes rivières pendant la saison sèche sont les suivantes : 0,71 dans la Gombe, 0,58 dans Kinkusa et 0,86 dans la Mangengenge. Les faibles valeurs indiciaires observées dans la Gombe et dans la Kinkusa se justifient par la dominance de quelques taxons (Tubificidae, Physidae, Libellulidae, Chironomidae). La Mangengenge par contre présente une équitabilité proche de 1, justifiant un équilibre entre les taxons (Moisan *et al.*, 2011).

Le calcul de l'indice de similarité de Jaccard sur base des taxons prélevés dans les trois hydrosystèmes pendant les deux saisons d'étude ont révélés les valeurs de rapprochement suivantes :

- en saison pluvieuse la Gombe et la Kinkusa se ressemblent à 56% ; La Gombe et la Mangengenge à 32% ; la Kinkusa et la Mangengenge à 42% ;

- en saison sèche, la similitude entre la Gombe et la Kinkusa est de 55% ; entre la Gombe et la Mangengenge 21% ; entre la Kinkusa et la Mangengenge 34%.

La différence des similitudes entre ces rivières s'explique par le degré d'occupation de leur bassin versant.

La valeur moyenne de l'indice d'Hilsenhoff obtenu dans la Gombe en saison pluvieuse (FBI=7,92) comme en saison sèche (FBI=8,01) indique que cet hydrosystème est caractérisé par une pollution organique grave. Cette pollution est expliquée par une très faible capacité de la bande riveraine à remplir ses fonctions écologiques (IQBR : 20,83 en saison pluvieuse et 21,53 en saison sèche).

Dans la rivière Kinkusa, l'indice d'Hilsenhoff obtenu (FBI = 7,78 en saison pluvieuse et 7,21 en saison sèche) révèle que cet hydrosystème est marqué par une pollution organique grave. Ceci est justifié par la faible capacité de la bande riveraine à remplir ses fonctions écologiques (IQBR = 46,28 en saison pluvieuse et 40,74 en saison sèche).

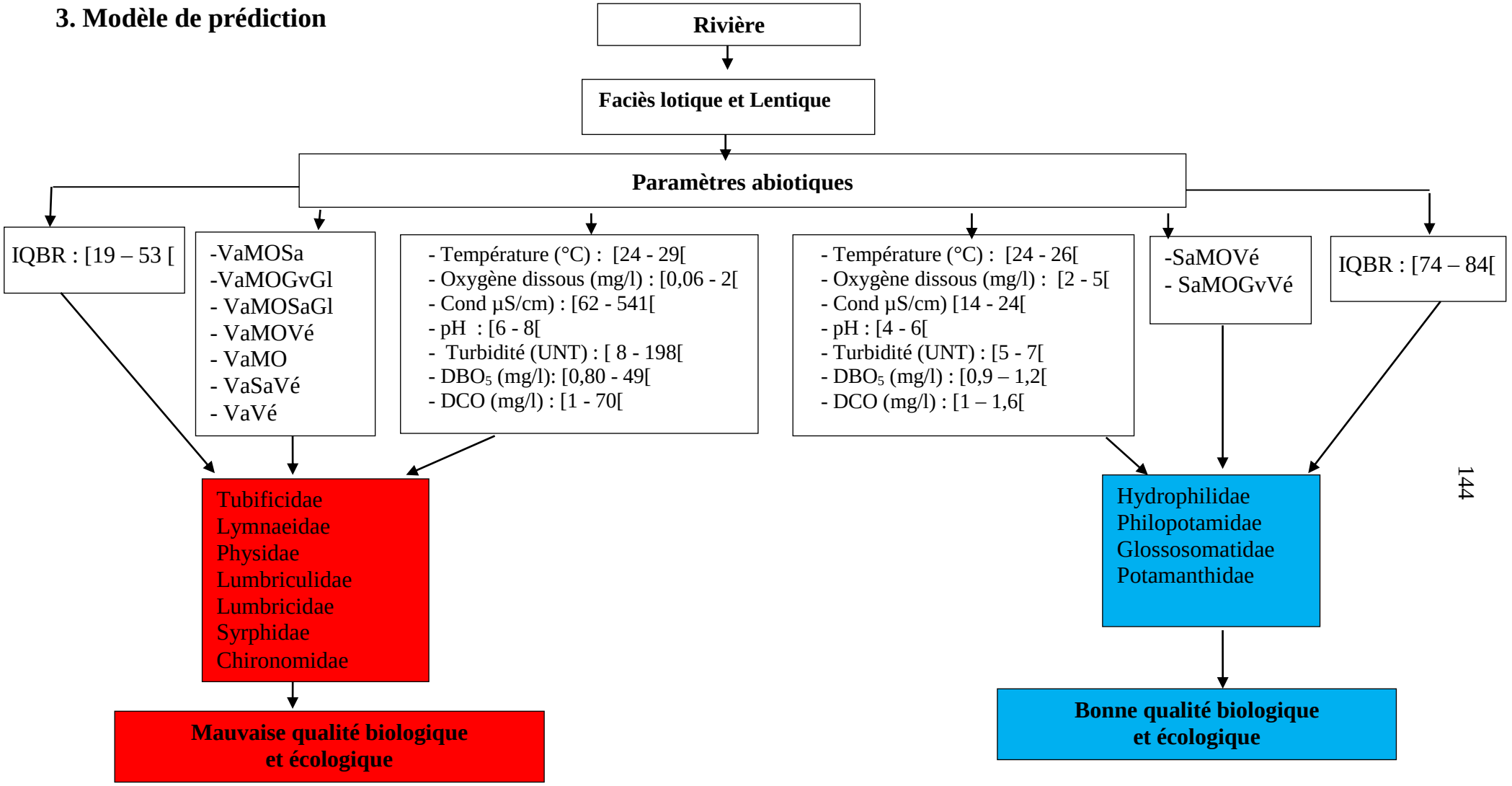
Dans la Mangengenge, les valeurs indiciaires d'Hilsenhoff (FBI = 4,16 en saison pluvieuse et 4,17 en saison sèche) révèlent que les eaux de cette rivière sont caractérisées par une légère pollution organique possible. Cette légère pollution s'explique par la chute des feuilles et branches mortes provenant de la ripisylve et qui subissent une décomposition. Les valeurs identiques obtenues pour la qualité de la bande riveraine en saison pluvieuse comme en saison sèche (IQBR = 80,58) sont révélatrices de l'excellente capacité de la bande riveraine à remplir ses fonctions écologiques.

En ce qui concerne le rapport MIB-végétation, aucune corrélation positive n'a été observée entre les essences végétales et les MIB dans les trois hydrosystèmes. Cette absence de corrélétion positive dégagée par l'Analyse en Composantes Principales pourrait s'expliquer par le fait que les macrophytes qui sont les habitats privilégiés des MIB sont très hétérogènes et non perrennes (Beauger, 2008).

En considérant la rivière comme un continuum, les taxons prélevés longitudinalement dans les trois hydrosystèmes ont amené au calcul de l'IBGN. Les valeurs indiciaires obtenu ont révélées que les eaux des rivières Gombe et Kinkusa en saison sèche comme en saison pluvieuse sont d'une mauvaise qualité biologique (taxon indicateur : Mollusque). Le calcul de l'IBGN à partir des taxons prélevés dans la Mangengenge, en saison pluvieuse tout comme en saison sèche a révélé que les eaux de cette rivière sont d'une bonne qualité biologique (taxon indicateur : Philopotamanthidae).

Les hydrosystèmes étudiés dans la ville de Kinshasa ainsi que ceux étudiés dans d'autres grandes villes africaines, subissent des pressions anthropiques par le rejet des effluents de diverses natures. Ce constat a également été fait par Gire (2001) et Davis et al., (2011) au Burkina Faso. Ces rejets polluent ces écosystèmes aquatiques et présentent des effets néfastes pour la vie des communautés des macroinvertébrés benthiques (Alhou, 2007 ; Davis *et al*., 2011 ; Kamb *et al.*, 2015).

## 3. Modèle de prédiction




144

Modèle prédictible de la qualité biologique et écologique des eaux des rivières peu profondes de la ville de Kinshasa

Le présent modèle de prédiction repose sur les preferenda écologiques observés lors des prélèvements des différentes données relatives aux paramètres abiotiques et biotiques.

Les intervalles de tolérance ont été établis à partir de la combinaison des valeurs des paramètres abiotiques prélevés dans toutes les stations de 3 hydrosystèmes pendant les 2 saisons d'étude.

Les bornes inférieures et supérieures des intervalles ont été obtenues à partir de la plus petite et de la grande valeur du paramètre considéré dans toutes les stations.

Les facteurs abiotiques mis en exergue, sont susceptibles d'affecter les peuplements des MIB. La combinaison de ces paramètres conditionne la qualité biologique des individus qui doivent coloniser l'hydrosystème.

La survie des MIB dans les différents substrats est liée à un équilibre entre leur balance énergétique résultant d'une part des apports trophiques (matières organiques) d'autre part, des dépenses physiologiques. La richesse taxonomique observée dans les rivières Mangengenge, Gombe et Kinkusa, est liée à la porosité qu'offrent les substrats qui leurs servent d'habitat.

La bonne ou la mauvaise qualité de la bande riveraine a un incident sur la qualité de l'eau et du substrat de fond de la rivière. La retention des sédiments, des nutriments et des contaminants ; la stabilisation des berges et la protection contre l'érosion des sols, la régularisation de la température de l'eau ; sont les qualités d'une bande qui exercent ses fonctions écologiques.

Les conditions favorables de l'habitat ont permis de justifier la présence des MIB polluosensibles dans la Mangengenge. Les substrats SaMOVé et SaMOGvVé ont facilité la circulation de l'eau interstitielle ramenant de l'oxygène, assurant la température optimale et l'apport en nutriments nécessaires pour permettre le maintien des MIB dans ces habitats.

Par contre, les facteurs abiotiques observés dans les substrats suivants : VaMOSa, VaMOGvGl, VaMOSaGl, VaMOVé, VaMO, VaSaVé et VaVé ; ont permis le maintien des MIB polluorésistants dans ces habitats. L'omniprésence de la vase dans ces substrats a reduit la circulation de l'eau interstitielle et de l'oxygène dans ces milieux compact de vie. La présence des MIB fouisseurs (Chironomidae, Tubificidae, Lumbriculidae, Lumbricidae) a permis une bioturbation de ces substrats qui favorisant ainsi l'existence d'autres MIB dans ces milieux hypoxiques. Le creusement des galeries et des terriers a aussi influencé le maintien d'autres individus.

# CONCLUSION

Le diagnostic de l'état écologique d'un hydrosystème se fonde principalement sur des éléments de qualité chimique et biologique.

Une étude combinant des outils chimiques et biologiques dans les moyen, court et long termes, peut permettre un monitoring efficace et efficient d'un hydrosystème.

Il existe plusieurs méthodes de mesures de la qualité biologique des eaux d'une rivière, faisant appel par exemple aux poissons, aux macrophytes, aux diatomées etc... Leur principe est sensiblement le même : l'étude de la variété des taxons présents, de leur assemblage et de la présence ou de l'absence des groupes polluo-sensibles dans ces taxons. C'est ce qui donne une indication sur la qualité des eaux.

La pérénnisation d'un hydrosytème est fondée sur une bonne connaissance des interactions existant entre les éléments constitutifs des compartiments biocénotiques et biotypiques.

L'étude de la structure des peuplements des MIB ainsi que la qualité biologique et écologique des eaux des hydrosystèmes de la ville de Kinshasa étant lacunaire, la connaissance des facteurs abiotiques structurant les assemblages des MIB dans la Gombe, la Kinkusa et la Mangengenge, peut servir de point de départ pour la surveillance de ces rivières.

Les différentes campagnes effectuées dans ces 3 hydrosystèmes entre 2013 et 2015 ont permis de dégager une différence qualitative entre ces rivières, et ce du point de vue biologique et écologique.

Les spécimens prélevés dans la Gombe et la Kinkusa, appartiennent majoritaireement aux taxons polluo-résistants : Tubificidae, Lymnaeidae, Physidae, Lumbriculidae, Lumbricidae, Syrphidae et Chironomidae, tandis que ceux prélevés dans la Mangengenge ont compris dans leur ensemble plusieurs taxons polluo-sensibles : Hydrophilidae, Philopotamidae, Glossosomatidae et Potamanthidae.

La pollution organique observée dans la Gombe et la Kinkusa est essentiellement due à l'anthropisation de leur bassin versant, alors que celle constatée dans la Mangengenge est provoquée par la décomposition des feuilles et branches mortes issues de la ripisylve.

La qualité des individus récoltés dans ces trois rivières s'explique aussi par les caractéristiques de leur environnement, par la nature de la végétation aquatique qui colonise leur lit et par la qualité du substrat du fond servant d'habitat aux MIB. La qualité de la bande

riveraine a influencé substantiellement les paramètres physico-chimiques de cse hydrosystèmes.

L'absence de données relatives à la physico-chimie et aux assemblages des MIB dans la ville de Kinshasa ne permet pas de monitorer les rivières drainant cette mégapole. Ainsi, un prélèvement saisonier des valeurs des différents paramètres constitue une banque de données pouvant servir de point de départ pour un suivi régulier de la santé des rivières.

L'absence d'un système de collecte des eaux usées transitant par une seule et même canalisation couplée à l'incivisme écologique et à l'explosion démographique font que les hydrosystèmes de la ville de Kinshasa servent de dépotoirs recevant des ordures de toute nature. Une éducation mésologique basée sur la révalorisation des ordures ménagères au profit de la population peut être un début de solution pour la préservation des rivières de la ville de Kinshasa qui subissent une forte pression anthropique ; en attendant la mise en place d'un réseau urbain d'assainissement.

La République Démocratique du Congo dispose des textes de loi relatifs à la gestion des lacs et des cours d'eau (Ord. 127-6 du 15 Juin 1913 ; Ord du 1 Juillet 1914 ; Décret du 6 mai 1952 ; Ord. 52-443 du 21 Décembre 1952 ; Loi n°15/026 du 31 Décembre 2015 relative à l'eau).

Malheureusement, la majorité de ces textes est non seulement obsolètes au regard de l'explosion démographique que connait la RDC, mais aussi inadéquate compte tenu du réchauffement climatique que subit la planète terre.

Il est du devoir du gouvernement congolais de financer les recherches pour dégager des données lui permettant de faire un état de lieu de la santé des rivières et des lacs faisant partie de son bassin hydrographique. L'absence d'indices biologiques adaptés aux eaux de la ville de Kinshasa et des autres provinces de la RDC, rend difficile l'évaluation de la santé de nos rivières.

En sus, le gouvernement et le parlement doivent élaborer des propositions et des projets de lois adaptés aux réalités climatiques actuelles. La mise sur pied par le gouvernement d'un corps de police chargé du maintien de la discipline dans la gestion de l'environnement, pourrait être salutaire pour ces écosystèmes aquatiques.

La mise sur pied par le gouvernement des réseaux d'assainissement des eaux et des stations d'épuration de celles-ci pourrait réduire la pollution des rivières par les eaux usées et des eaux pluviales.

Une éducation mésologique et une intégration des populations riveraines dans la gestion des lacs et des cours d'eau par un contrat, pourrait responsabiliser ces citoyens dans la pérennisation de ces hydrosystèmes.

Un inventaire qualitatif des MIB des rivières de la ville de Kinshasa permettrait une mise en circulation d'un guide des MIB des rivières pour cette région de la RDC. D'où la nécessité d'approfondir des recherches ultérieures dans ce domaine encore ignoré.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence Française de NORmalisation (AFNOR), 2004. Essai des eaux. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Norme homologuée. T 90 – 350, 9 p.

Agence Française de NORmalisation (AFNOR), 2009. Qualité de l'eau-Prélevement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes. PT 90-333. 15p.

Alhou B., 2007. Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger. Dissertation présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences. Presses Universitaires de Namur, 230 p.

Alhou B., Issiaka Y.A., Awaiss A, Micha J.-C., 2014. Premier inventaire des macro-invertébrés du fleuve Niger à Niamey comme bioindicateurs de la pollution urbaine et industrielle. Hydroécol. Appl.

Alhou B., J.-C. Micha and B Goddeeis, 2008. Diversity of Chironomidae, in relation to pollution of the river Niger at Niamey, Niger. Internationan Journal of Natural and Applied Sciences, 4(3):256-265. www.tapasinstitute.org/journals/ijotafs

Aston R.J., 1968. The effect of temperature on the life cycle, growth and fecundity of Branchiura sowerbyi (Oligochaeta : Tubificidae). J. Zool. London 154 : 29-40.

Baker F.C., 1911. Lymnaeidae of North and Middle America. Spec.Publ.Chika. Acad.Sci.3 :1-539.

Barry R., et Plamonton A.P., 2009. Hydrologie forestière et aménagement du bassin hydrographique ; in Manuel de foresterie. Nouvelle édition entièrement revue et augmentée. Ed. Multimondes Quebec, pp 319-357.

Baudin F., Tribovillard N., et Trichet J., 2008. Géologie de la matière organique. Vuibert, Paris.263p.

Beauger A., 2007. Bio-évaluation de la qualité de l'eau : établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié basé sur la collecte des macroinvertébrés benthiques sur les seuils des rivières à charge de fond graveleuse. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal. Auvergne-France, 563 p.

Benoît-Chabot V., 2014. Les facteurs de sélection des bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : Elaboration d'un outil d'aide à la décision. Mémoire de maitrise, Université Sherbrooke, 118p.

Boycott, A.E., 1936. The habitats of fresh-water Mollusca in Britain. F.Anim.Ecol.5 :116-186.

Brinkhurst R.O., 1964. Studies on the North American aquatic Oligochaeta, 1 : Naididae and Opistocystidae. Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia 116 :195-230.

Brinkhurst R.O., 1970. Distribution and abondance of tubificid (Oligochaeta) species in Toronto Harbour, Lake Ontario. J. Fish. Res. Bd. Can. 27 :1961-1969.

Brusle J., et Quignard J.P., 2004. Les poissons et leur environnement écophysiologie et comportements adaptatifs. éd. TEC et DOC. Londres– Paris – New York, 1522 p.

Bultot F., 1954. Saisons et périodes sèches et pluvieuses au Congo belge et au Rwanda-Urundi. Publ. INEAC, Com. N° 9 du Bureau climat.Coll. In 4°, Bruxelles.

Campbell N., et Reece J., 2007. Biologie. 7ème édition. Pearson Education, Quebec, 1334p

Clampitt P.T., 1970. Comparative ecology of the snails *Physa gyrina* and *Physa integra* (Basomatophora : Physidae). Malacologia 10 :113-151.

Compere P., 1970. Carte des sols et de la végétation du Congo, Rwanda et Burundi 25-B. Bas-Congo, notice explicative de la carte de la végétation. Pub. INEAC, 35p.

Corporation du bassin Jacques Cartier (CBJC), 2010. Convention, restauration et mise en valeur de la rivière à Mette. N° de référence : 2009-102, 10p.

Cummins K.W., 1975. Macroinvertebrates, in: B.A. Whitton éd. <<River ecology>>, Blackwell, London, 193 p.

Dajoz R., 1975. Précis d'écologie : Ecologie fondamentale et appliquée, troisième édition, Bordas, Paris, 549p.

Davis A.M., Thorburn P.J., Lewis S.E., Bainbridge Z.T., Attard S.J., Milla R., Brodie J.E., 2011. Environnemental impacts of irrigated sugarcaneproduction: Herbicide run-off dynamics fromfarms and associated drainage systems. *Agric.Ecosyst. Environ*, doi : 10.1016.

De Maximy R., et Van Caillies X., 1974. Géologie et hydrographie de Kinshasa, in Atlas de Kinshasa, planche 7 ; Institut Géographhique National, 1978.

De Maximy R., et Van Caillies X.,1974. Géologie et hydrographie de Kinshasa, in Atlas de Kinshasa, planche 8 ; Institut Géographhique National, 1978.

De saint Moulin L., 2005. Atlas de l'organisation administrative de la République démocratique du Congo, Ed. Centre d'Etudes Pour l'Action Sociale (CEPAS), Kinshasa, 235p.

Dejoux C., Deelstra H., et Wilkinson R.C., 1982. Pollution. in « Ecologie et utilisation des eaux continentales africaines », Ed . : Symoens J.J, Burgis, M et Gaudet J.J. PNUE, Sér. Tech. N° 1 : 164-177.

Depiereux E., Feytmans E., et Micha J.-C., 1983. Utilisation de l'analyse en composante principales et du cluster analysis pour la description d'échantillons d'invertébrés benthiques en eau douce. Oikos, 40, 81-94.

Depuy F., 2001. Clés d'identification illustrées des coléoptères des rivières de Guyane Française. Clé de détermination à la famille. Clé de détermination génétique. In Qualité des eaux des rivières de Guyane. Rapport de synthèse. IRD, 111-129.

Descy J.-P., and MICHA J.-C., 1988 - Use of biological indices of water quality. Statistical Journal of the United Nations ECE, 5, 249-261.

Ducerf G., 2008. L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices (alimentaires et médicinales).Guide de diagnostic des sols. Vol 2. Promonature, 350p.

Durand J.R., et Leveque C.**,** 1981.Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelo-soudanienne (Tome II). Paris, France: ORSTOM, 483 p.

Evrard M., 1996. Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix (Belgique), 204 p.

Evrard M., 2001. Macroinvetébrés inféodés aux eaux douces belges, Invertébrés dulcicoles (unités d'écologie des eaux douces), FUNDP, 19 p.

Evrard M., et Micha J.-C., 1995 - "Relation entre la diversité du substrat et la diversité faunistique dans un bief belge de la rivière Meuse". AnnlsLimnol, 31, 2, 93-103.

Fangstrom I., et Willen E., 1987. Clustering and canonical correspondance analysis of phytoplankton and environnemental variables in Sweedish lakes. Vegetatio, 71: 87-95.

Fariou P., 2010. Etude des macro-invertébrés benthiques de la rivière Nam Khan, élaboration d'un protocole d'échantillonnage et inventaire préliminaire pour la mise en place d'un suivi. Laos. Rapport de stage. Université François-Rabelais. Tours

Flouriot J., De Maximy R., Pain M., Mbuyi K., Van Caillie X., 1975. Atlas de Kinshasa. BEAU, IGZ, TPAT, Bruxelles, 1-30.

Floury M., Usseglio-Polatera P., Ferreol M., Delattre C. & Souchon Y., 2013. Global climate change in large European rivers: long-term effects on macroinvertebrate communities and potential local confounding factors. *Glo. Vol 15*

Foto M., Zebaze T., Nyamsi T., Njiné T., 2010. Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses BiologiquesEuropean Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.43 No.1, pp.96-106

Foto M.S., Zebaze T.S.H., Nyamsi TNL, Ajeagah GA, Njiné T., 2011. Évolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun). European Journal of ScientificResearch 55(2): 291-300.

Fournier J., Bonnot-Courtois C., Paris R., Voldoire O., Le Vot M., 2012. Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 99p.

Frontier S., Davoult D., Gentilhomme V., Lagadeuc Y., 2007. Statistique pour les sciences de la vie et de l'environnement. Dunod, Paris, 384p.

Genin B.C., Chauvin S., Menard, 1997. Cours d'eau et indices biologiques- pollutions-Méthodes, IBGN. ENESAD-CNERTA (éd), ISBN 2-11-090285-x, 202 p.

Gire, 2001. État des lieux des ressources en eau duBurkina Faso et de leur cadre gestion. Versionfinale, Mai 2001. Direction Générale desRessources en Eau. Ouagadougou, Burkina Faso. 250p.

Goaziou Y., 2004. Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basées sur les macroinvertébrés bethiques- Rapport de Statge, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq n° ENV/2004/0158, Collection n°QE/146, 37 p. et 2 ann.

Golama A.S.K., et Lohaka D., 1999. Nécessité d'une reglementation de l'évcuation des déchets par les cours d'eau et d'une normalisation de la qualité des eaux naturelles dans la région de Kinshsas. in Actes du 1èr colloque sur la problématique des déchets à Kinshsasa 'Congo), Kinshasa, August 12-15, 1998, pp 229-236.

Guerold F., 1992. Acidification des cours d'eau : Impact sur les peuplements des macroinvertébrés benthiques : application au massif vosgien. Thèse, Université de Metz. France.237p.

Habari M.J-P., 2009. Etude floristique, phytogéographie et phytosociologie de la végétation de Kinshasa et des basins moyens des rivières N'djili et N'sele en République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, UNIKIN, 267 pages + annexes.

Hammer Ø, Harper DAT., Ryan P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9p.

Hébert S., et Légaré S., 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de

l'Environnement, envirodoq n°ENV-2001-0141, rapport n°QE-1123, 24p. et 3 annexes.

Hunter R.D., 1990. Effects of low pH and calcium concentration on the pulmonate snail *Planorbella trivolvis :* Elaboratory study. Can. J.Zool. 68 :1578-1583.

Judd W., 1999. Plant systematic. A phylogenetic Approch. Sinaner associates, inc.-Publishers, Massachusetts, USA, 464p.

Kabamba S.B., 1981. Etude de la pollution des eaux des rivières qui traversent la ville de Kinshasa, Mémoire, inédit, Fac. Sciences, Unikin, 49 p.

Kalanda K.,1981. La vegetation dup arc de la N'sele (Zaire):Bull. Jard. Bot. Nat. Belg., 51 (3-4): pp 347-357.

Kamb T.J.C., Dudu A., Micha J-C, Pwema V.K, 2016. Analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge à Kinshasa. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 16 N° 2, pp 260-271. http://www.ijias.issr-journals.org.

Kamb T.J.C., Ifuta N.S., Mbaya N.A, Pwema V.K,. 2015. Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge, Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(2): 970-985. http://www.ajol.info/index.php/ijbcs

Kapoor V., and White J., 1992. Conservation biology a training manual for biological diversity and genetic resources c.s.c., U.K, pp. 71- 85.ction satellitaire à haute resolution, in Revue Belge de Géographie (Belgo.) 339-456.

Kayembe K.M., De Maeyer, Wolf E., 2009. Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection

Klemm D.J., and Hiltunen J.K., 1992. The freshwater Annelida (Polychaeta, naidid and tubifid Oligocheata, and Hirudinea) of the Great Lakes region : an averview. In : Proceedings 1991 Midwest Pollution control biologists meetings-environnemental indicators : measurement and assesment endpoints, pp. 35-48, edited by T.P. Simon and W.S. Davis. USEPA, Chicago, IL.

Lafont M., Juget J. & Rofes G., 1991. Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des oligochètes. *Revue dessciences de l'eau* 4: 253-268.

Lakhdari B., 2011. Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la step de Ain El Houtz. Mémoire de Master en Science, Université Abou Belkaid – Tlemcen, 106 p.

Lancaster J., 1999. Small-scale movements of lotic macroinvertebrates with variations in flow. Freshwater Biology, 41, 605-619.

Lebacq L., et Dechoromps R., 1967. Contribution à un inventaire de forêt du nord-Kasaï. Tervuren, 482p.

Leigh C., Burford M.A., Roberts D.T., Udy J.W., 2010. Predicting the vulnerability of reservoirs to poor water quality and cyanobacterial blooms. Water Research 44: 4487-4496.

Lejoly J., Lisowski S., et Ndjele M., 1988. Catalogue des plantes Vasculaires de la sous-région de Kisangani et de la Tshopo, haut-Zaïre, 3ème édition novembre 1988, Trav. Lab. Syst. et Phyt. ULB, Bruxelles, 122p.

Lelo N.F**.,** 2008. Kinshasa, ville et environnement. *Ed. L'Harmattan*. 282 p.

Lelo N.F., 2011. Kinshasa. Planification et aménagement. L'harmatan, Paris, 381p.

Lévêque C., et Paugy D., 2006. Les poissons des eaux continentales africaines (Diversité, écologie, utilisation par l'homme), IRD, Paris, 564p.

Lomond T.M., & Colbo M.H., 2000. Variations in lake-outlet Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera communities amongst regions of eastern Newfoundland, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 78: 1536-1543.

Macan T., 1959. A guide to fresh water invertebrate animals, éd. M.A, PHD, Paris, 249 p.

Magilu M., 2007. Etude Ethnobotanique chez les populations penole de la périphérie de la réserve forestière de l'INERA de KIYAKA, Mémoire DEA, Fac-Sc, Dépt de Biologie-UNIKIS, 152p.

Mansiangi P., Palata J.-C., et Kiyombo K., 1997. Incidence des déchets sur la qualité de l'eau et les biocénoses aquatiques des cours d'eaux à Kinshasa : cas de la rivière Kemi. Mededelingen, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen. August 12-15,

Masens D., 1997. Etude phytosociologique de la region de Kikwit Bandundu, RDC, Thèse de Doctorat Bot. Syst. et Phyt. Fac-Sc. ULB, Bruxelles, 307p.

Mason C.F., 2002. Biology of Freshwater Pollution 4th edition. Pearson. Harlow.387p.

Mbadu Z.V., 2002. Le bassin versant de la rivière Lukunga, impact de son utilisation sur son environnement, mémoire inédit de DESS, ERAIFT, 138 p.

Micha J.-C, et Noiset J.-L., 1982. Evaluation biologique de la polution des ruisseaux et rivières par les invertébrés aquatiques. Probio, 51.142 p.

Micha J.-C., 1978. La pollution des eaux de surface en Wallonie. Inter. Environnement Wallonie. Dossiers Env., Bruxelles, 1, 33p. et le Franc pêcheur, 94, 19-20.

Micha J.-C., 1982. Les bases scientifiques d'une politique de contrôle de la pollution des eaux de surface. Trib.Cebedeau, 465-466, 35, 341-356.

Micha J.-C., Didier J., P. Kestemont., 1999. Indice d'Intégrité Piscicole (IBIP) pour évaluer la qualité écologique des écosystèmes lotiques, 33. In Van Coillie et alii- Compte rendu du 25 ème Colloque Annuel de Toxicologie Aqutique, 18-21 octobre 1998, Québec, Québec/ Proceedingsof the 25 th annuals Aquatic toxicity Workshop : October 18-21, Québec City, Québec. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques n0 2260/Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science n02260, 134p.

Micha J.-C., R. KAISER et E. de MOFFARTS, 1977. Pollution and the production of Invertebrates and fish in a canalized river. Biological monitoring of inland fisheries. éd. J.-S. Alabaster, FAO, Rome, 226 p.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2013*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 2e édition : 88 p. (incluant 6 ann.).

Moisan J., 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-58416-2 (version imprimée), 82 p. (incluant 1 ann.).

Moisan J., et Pelletier L., 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement**,** ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86 p.

Moisan J., et Pelletier L., 2011. Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Quebec- cours d'eau peu profonds à substrat meuble. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 39 p. ISBN : 978-2-550-61166 -0 (version PDF).

Mondy C.P., Villeneuve B., Archaimbault V. & Usseglio-Polatera P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18 : 452-467.

Morineau A., et Aluja-Banet T., 1998. L'analyse en composantes principales. CISIA, Paris.

Nyakabwa M., 2004. La diversité végétale, grandes ligues de classification actuelle, communication, Fac-Sc., UNIKIS, 14p.

ONU, 2015. Objectifs du millénaire pour le développement, Nations Unies, new York.75p.

Pain M., 1975. Activités diffuses et organisation de la ville de Kinshasa, Lubumbashi, Premier Congrès Géographique du Zaire.

Pain M., 1975. Un exemple d'cosystème urbain : Kinshasa-Lubumbashie, 3è Symposium Internationald'Ecologie Tropicale.

Pain M., 1979. Kinshasa : ecologie et organisation urbaine. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. Inst. Géogr. Daniel fauchier, pp 3-53.

Pain M., 1984. Kinshasa : La ville et la cité. Coll. Mém. N° 105 ORSTOM, Paris, 267 p.

Palmer M., 1993. Putting in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis, Ecology, 74 (8): 2215-2230.

Pauwels L., 2003. Spermatophytes et Pteridophytes des environs de Kinshasa, Ed. Luc. Pawel, Bruxelles, 170p.

Piscart C., Moreteau, J.C. et Beisel J-N., 2005. Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France) Hydrobiologia, 551, 227-236.

Ramade F., 2005. Eléménts d'écologie. Ecologie appliquée, 6è éd. Dunod, Paris, 864p.

Ramade F., 2009. Eléménts d'écologie. Ecologie fondamentale, 4è éd. Dunod, Paris, 689p.

Ricquier G., 1949. Urbanisation de Léopoldville. Livre II; in L'urbanisme au Congo Belge

Rodier J., 2009. L'Analyse de l'eau. 9 è éd. ; Dunod, Paris. 1526 p.

Saint-Jacques N., et Richard Y., 1998. Développement d'un indice de la qualité de la bande riveraine : application à la rivière chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique, p 6.1 à 6.41 ; dans le ministère de l'environnement et de la faune (éd), direction des écosystèmes aquatiques, Québec, envirodop n° EN980022.

Sanogo S., et Kabre T.J-A., 2014. Dynamique de structuration spatio-temporelle des populations de familles de macroinvertébrés dans un continuum lac de barrage-

effluent-fleuve issu de périmètre irrigué. Bassin de la Volta (Burkina Faso). Journ. Of Applied Biosciences 78: 6630-6645.

Sarkar S. K., Bhattacharya A., Giri S., Battacharya B ., Sarkar D., Nayak D.C., and Chattopadhaya A.K., 2005. Spatiotemporal variation in benthic polychaetes (Annelida) and relationships with environnemental variables in a tropical estuary. Wetlands ecology and management, 13, 55-67.

Seytre S., 2010. Catalogue de modèle de qualité des cours d'eau. Revue des principaux outils de modelisation de la qualité des cours d'eau. CET, Lyon, 190 p.

Shomba K., Mukoka N., Olela N., Kaminar T.M., et Mbalanda W., 2015. Monographie de la ville de Kinshasa, ICREDES, 103P.

Smith D.G., 2001. Pennak's freshwater invertebrates of the United States, John & Sons, Inc, New York, 638p.

Solimini A.G., Gulia P., Monfrinotti & Carchini G., 2000. Performance of different biotic indices and sampling methods in assessing water quality in the lowland stretch of the Tiber River. *Hydrobiologia* 422/423 : 197-208.

Sondeggard M, Jeppensen E., 2003. Rôle of sediment and internal loadng of phosphorus in shalow lakes. Hydrobiologia, 506-509, 135-145.

Sørensen T.A., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Biologiske Skrifter, 5:1–34.

Statzner B., Doledec S., and Hugueny B., 2004. Biological trait composition of European stream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filter types. Ecography, 27: 470-488.

Sys C., Van wambeke A., Frankart J., 1961. Cartographie des sols au Congo. Ses principes, ses méthodes. Publ. INEAC, Sér. Scient.n° 66, Bruxelles, 349 P;

Tachet H, Richoux P, Bournaud M et Usseglio-Polatera P, 2006. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS 2e Editions, Paris.

Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera, P., 2010. Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. Paris, CNRS, Ed. 607 p.

Tailfer Y., 1989. La forêt dense d'Afrique centrale. Identification pratique des principaux arbres, approche Bot. et Système, CTA Tome I 456p.

Ter Braak C.J.F**.,** 1987. The analysis of vegetation-environnement relationship by canonical correspondence analysis. Vegetatio, 69: 69-77.

Ter Braak C.J.F., 1988. Canoco: a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (dendrended) (canonical) correlation analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). Wageningen. 95 p.

Ter Braak C.J.F., et Smilauer P., 1998. CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows (version 4). Centre for Biometry, ageningen, Pays Bas, 351 p.

Terashima H., Ichikawa M., et Sawada M., 1989. Wild plant utilisation of the balese and the Eqe of the ituriforest. The Republic of Zaire-African study Monograph Suppl. 8:1-78.

Touzin D., 2008. Utilisation des Macroinvetébrés benthiques pour évaluuer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec, Mémoire inédit. Université de Québec, 39 p.

Tumwesigye G., Yusul, S.K., and Makanga B., 2000. Structure and composition of benthic macroinvertebrates of a tropical forest stream, River Nyamweru, western Uganda. African Journal of Ecology, 38, 72-77.

Usseglio-Polatera P., Bournaud M., Richoux P., & Tachet H., 2000. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? *Hydrobiologia* 422/423 : 153-162.

Usseglio-Polatera, P., Beisel, J.N., 2002**.** Système Expert d'analyse et d'aide à l'interprétation de données recueillies avec le protocole IBGN. Livret-Guide version 1.0, Etude Inter-Bassin. 81p + annexes**.**

VandenBossche J.P., & Usseglio-PolateraP., 2005. Characterization, ecological status and type-specific reference conditions of surface water bodies in Wallonia (Belgium) using biocenotic metrics based on benthic invertebrate communities. *Hydrobiologia* 551 : 253-271.

Venot J.P., et Cecchi P., 2011. Valeurs d'usage ou performances technologiques : comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne. Cahiers Agriculture 20(1-2): 112-117.

Verniers G, et Micha J.-C., 1982. Le rôle de l'hydrobiologiste dans l'évaluation de l'impact des activités humaines sur les milieux aquatiques. Trib. Cebedeau, 460, 35, 117-131.

# TEXTES JURIDIQUES EN COURS EN RD CONGO

Décret du 6 Mai 1952 sur les concessions l'administration des eaux des lacs et des cours d'eau (B.O., 1952).

Ordonnace 127-6. Réglément sur les constructions dans les quartiers Européens des circonscriptions européennes (B.A.C., 1913).

Ordonnance 52-443. Mesures propres à protéger les sources, nappes aquifères souterraines, lacs et cours d'eau, à empecher la pollution et les gaspillages de l'eau et à controler l'exercice des droits d'usage et des droits d'occupation concédés (B.A., 1953).

Ordonnance du 1èr Juillet 1914. Pollution et contamination des sources, lacs, cours d'eau et parties des cours d'eau (B.A.C., 1914).

Loi n°15/026 du 31 Décembre 2015 relative à l'eau.

# ANNEXES

**Annexe 1** Coordonnées géographiques de stations, caractéristiques hydrologiques, environnement et végétation de stations d'étude

| Rivières | Stations | Coordonnées géographiques | | | Largeur du lit (m) | | Profondeur de l'eau (cm) | | Vitesse du Courant (cm/s) | | Environnement | Végétation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Altitudes (m) | Longitudes Est | Latitudes Sud | SP | SS | SP | SS | SP | SS | | |
| Gombe | St I | 281 | 015°17'03,9'' | 04°18'58,8'' | 6 | 5,1 | 40,2 | 51,1 | 19 | 21 | Urbain | Sauvage |
| | St II | 279 | 015°17'20,2'' | 04°19'05,1'' | 5 | 4,1 | 38,5 | 44,1 | 15 | 28,3 | Urbain | Sauvage |
| | St III | 276 | 015°17'03,7'' | 04°19'07,4'' | 6,6 | 4,5 | 22,5 | 25,2 | 59 | 85 | Urbain | Sauvage |
| | St IV | 273 | 015°16'38,6'' | 04°19'11,0'' | 6,45 | 5,9 | 35,6 | 37,6 | 25 | 41,6 | Urbain | Sauvage et anthropisée |
| Kinkusa | St I | 341 | 015°14'23,5'' | 04°24'12,2'' | 3,65 | 2,9 | 6 | 8,2 | 83 | 100 | Urbano-rural | Sauvage et anthropisée |
| | St II | 341 | 015°14'17,4'' | 04°24'11,3'' | 3,1 | 2,6 | 7,8 | 9,8 | 93 | 100 | Urbano-rural | Sauvage et anthropisée |
| | St III | 330 | 015°14'01,6'' | 04°23'58,4'' | 3,8 | 3 | 8,75 | 9,2 | 83 | 100 | Urbano-rural | Sauvage et anthropisée |
| | St IV | 327 | 015°13'48,7'' | 04°23'42,8'' | 4,5 | 3,05 | 8,3 | 10,1 | 89 | 92 | Urbain | Sauvage et anthropisée |
| | St V | 324 | 015°13'40,8'' | 04°23',24'' | 6,3 | 4,6 | 7,1 | 4 | 71 | 100 | Urabano-rural | Sauvage et anthropisée |
| Mangengenge | St I | 297 | 015°32'32,2'' | 04°07'39,9'' | 2,75 | 2,25 | 7,5 | 11 | 73 | 81,8 | Forestier | Sauvage |
| | St II | 291 | 015°32'24,1'' | 04°07'38,3'' | 2,3 | 1,9 | 16 | 25 | 83 | 112 | Forestier | Sauvage |
| | St III | 286 | 015°32'21,4'' | 04°07'40,7'' | 2,3 | 2 | 41 | 45 | 91 | 115 | Forestier | Sauvage |
| | St IV | 272 | 015°32'17,6'' | 04°07'45,9'' | 2,3 | 1,6 | 25 | 26 | 66 | 110 | Forestier | Sauvage |

**Légende :**
**SP** : Saison pluvieuse
**SS** : Saison sèche

**Annexe 2** Détermination de la Cote de l'I.B.G.N

| Classe de variété | | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Taxons indicateurs | St | > | 49 | 44 | 40 | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 | 16 | 12 | 9 | 6 | 3 |
| | Gi | 50 | 45 | 41 | 37 | 33 | 29 | 25 | 21 | 17 | 13 | 10 | 7 | 4 | 1 |
| *Chlorperlidae*<br>*Perlidae*<br>*Perlodidae*<br>*Taeniopterygidae* | 9 | 20 | 20 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| *Capniidae*<br>*Brachycentridae*<br>*Odontoceridae*<br>*Philopotamidae* | 8 | 20 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| *Leuctridae*<br>*Glossosomatidae*<br>*Beracidae*<br>*Goeridae*<br>*Leptophlebiidae* | 7 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
| *Nemouridae*<br>*Lepidostomatidae*<br>*Sericostomatidae*<br>*Ephemeridae* | 6 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
| *Hydrophilidae*<br>*Heptagenidae*<br>*Heptageniidae*<br>*Polymitarcidae*<br>*Potamanthidae* | 5 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
| *Leptoceridae*<br>*Polycentropodidae*<br>*Psychomydae*<br>*Rhyacophilidae* | 4 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
| *Limnephilidae (1)*<br>*Ephemerelidae (1)*<br>*Hydropsychidae*<br>*Aphelocheiridae* | 3 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| *Baetidae* (1)<br>*Caenidae* (1)<br>*Gammaridae* (1)<br>*Mollusques* | 2 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| *Chironomidae* (1)<br>*Asellidae* (1)<br>*Achetes*<br>*Oligochètes* | 1 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

Source : AFNOR (2004)

**(1)Taxons représentés par au moins 10 individus. Les autres par au moins 3 individus.**

**Annexe 3a** Résultats des paramètres physico-chimiques prélevés dans les stations étudiées en saison pluivieuse

| Rivières | Stations | Paramètres physiques | | | | | Paramètres chimiques (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | T°(°C) | conductivité (µS/m) | pH | Turbidité(NTU) | alcalinité (mg/l) | O2 dissous | CO2 | Mg2+ | Ca2+ | Fe total | SiO2 | $NH_{4+}$ | $NH_{3+}$ | NO-3 | NO-2 | PO3-4 | Cl- | SO2-4 | DBO5 | DCO |
| Gombe | I | 28.5 | 540 | 7.29 | 197 | 153 | 0.06 | 776 | 0.35 | 2.56 | 0.22 | 17.4 | 0.067 | 0.069 | 2.2 | 0.036 | 8.89 | 483.45 | 15 | 38.5 | 57.78 |
| | II | 27.3 | 397 | 7.14 | 112 | 106 | 0.08 | 611 | 0.16 | 2.27 | 1.24 | 7.4 | 0.064 | 0.071 | 8.091 | 0.004 | 3.48 | 107.58 | 22 | 32.6 | 48.9 |
| | III | 28.2 | 420 | 7.20 | 150 | 139 | 0.07 | 616 | 0.28 | 2.32 | 1.31 | 9.8 | 0.061 | 0.073 | 10.02 | 0.022 | 5.14 | 96.22 | 18 | 37.3 | 56.2 |
| | IV | 27.2 | 393 | 6.97 | 102 | 103 | 0.19 | 342 | 0.06 | 1.78 | 1.22 | 10.2 | 0.058 | 0.071 | 0.50 | 0.190 | 3.62 | 88.26 | 24 | 30.7 | 46.5 |
| **Moyennes** | | **27.8** | **437.5** | **7.15** | **140.3** | **125.3** | **0.1** | **586.3** | **0.21** | **2.23** | **1.00** | **11.20** | **0.06** | **0.07** | **5.20** | **0.06** | **5.28** | **193.88** | **19.75** | **34.78** | **52.35** |
| Kinkusa | I | 27.5 | 93 | 6.73 | 10.82 | 47 | 1.83 | 72 | 0.74 | 0.52 | 0.057 | 3.87 | 0.068 | 0.048 | 4.71 | 0.001 | 0.64 | 5.71 | 2 | 1.14 | 1.76 |
| | II | 28.8 | 105 | 6.75 | 11.23 | 50 | 1.61 | 114 | 0.77 | 0.73 | 0.01 | 6.73 | 0.08 | 0.084 | 8.20 | 0.001 | 1.13 | 7.99 | 2 | 1.25 | 1.76 |
| | III | 25.8 | 62 | 6.35 | 8.47 | 37 | 1.98 | 58 | 0.66 | 0.37 | 0.005 | 4.39 | 0.04 | 0.043 | 7.54 | 0.0005 | 1.09 | 5.26 | 2 | 0.81 | 1.22 |
| | IV | 26.6 | 88 | 6.58 | 9.41 | 47 | 1.93 | 62 | 0.73 | 0.48 | 0.004 | 4.13 | 0.03 | 0.048 | 6.59 | 0.0042 | 1.02 | 5.02 | 2 | 1.13 | 1.65 |
| | V | 28.9 | 111 | 6.79 | 17.89 | 80 | 1.39 | 124 | 1.20 | 1.04 | 0.005 | 3.78 | 0.02 | 0.032 | 9.50 | 0.0013 | 1.03 | 4.12 | 2 | 1.39 | 2.076 |
| **Moyennes** | | **27.52** | **97.30** | **6.64** | **11.56** | **52.20** | **1.75** | **86.00** | **0.82** | **0.63** | **0.016** | **4.59** | **0.05** | **0.051** | **7.31** | **0.0016** | **0.98** | **5.62** | **2** | **1.14** | **1.69** |
| Mangengenge | I | 25.4 | 19 | 5.13 | 6.65 | 38 | 2.98 | 83 | 0.37 | 0.49 | 0.002 | 3.15 | 0.074 | 0.11 | 3.7 | 0.014 | 0.11 | 1.347 | 2 | 1.09 | 1.38 |
| | II | 25.3 | 16 | 4.81 | 6.47 | 36 | 3.37 | 71 | 0.31 | 0.47 | 0.016 | 2.45 | 0.073 | 0.083 | 5.98 | 0.009 | 0.341 | 1.011 | 2 | 1.05 | 1.36 |
| | III | 24.9 | 14 | 4.58 | 5.98 | 31 | 4.04 | 63 | 0.27 | 0.42 | 0.013 | 2.87 | 0.06 | 0.10 | 3.12 | 0.014 | 0.25 | 1.38 | 2 | 1.03 | 1.15 |
| | IV | 25.1 | 15 | 4.67 | 6.18 | 32 | 3.77 | 67 | 0.31 | 0.42 | 0.051 | 2.75 | 0.011 | 0.12 | 0.79 | 0.009 | 0.06 | 1.391 | 1 | 1.04 | 1.19 |
| **Moyennes** | | **25.18** | **16** | **4.80** | **6.32** | **34.25** | **3.54** | **71** | **0.32** | **0.45** | **0.021** | **2.81** | **0.055** | **0.103** | **3.40** | **0.012** | **0.190** | **1.282** | **1.75** | **1.05** | **1.27** |

**Annexe 3b** Résultats des paramètres physico-chimiques prélevés dans les stations étudiées en saison sèche

| Rivières | Stations | Paramètres physiques | | | | | Paramètres chimiques (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | T°(°C) | conductivité (µS/m) | pH | Turbidité(NTU) | alcalinité (mg/l) | 02 dissous | CO2 | Mg2+ | Ca2+ | Fe total | SiO2 | $NH_{4+}$ | $NH_{3+}$ | NO-3 | NO-2 | PO3-4 | Cl- | SO2-4 | DBO5 | DCO |
| Gombe | I | 25.6 | 425 | 6.97 | 112 | 123 | 0.26 | 528 | 0.39 | 2.78 | 1.27 | 19.3 | 0.07 | 0.08 | 2.6 | 0.012 | 9.94 | 543.6 | 18 | 37.3 | 55.9 |
| | II | 26.7 | 448 | 7.05 | 144 | 150 | 0.13 | 732 | 0.46 | 3.18 | 1.58 | 14.6 | 0.06 | 0.07 | 0.3 | 0.06 | 5.44 | 103.4 | 20 | 43.5 | 65.3 |
| | III | 25.2 | 393 | 6.29 | 102 | 103 | 0.51 | 498 | 0.33 | 1.16 | 1.31 | 9.8 | 0.07 | 0.08 | 10.02 | 0.022 | 5.14 | 96.22 | 18 | 32.5 | 48.8 |
| | IV | 27.2 | 488 | 7.14 | 151 | 443 | 0.06 | 776 | 0.65 | 3.32 | 1.22 | 10.2 | 0.08 | 0.09 | 0.50 | 0.19 | 3.62 | 88.26 | 24 | 48.6 | 69.9 |
| **Moyennes** | | **26.18** | **439** | **6.86** | **127** | **205** | **0.24** | **634** | **0.46** | **2.61** | **1.35** | **13.48** | **0.07** | **0.08** | **3.36** | **0.07** | **6.035** | **207.87** | **20** | **40.48** | **59.98** |
| Kinkusa | I | 25.8 | 108.1 | 6.94 | 18.4 | 83 | 1.46 | 118 | 1.74 | 1.07 | 0.059 | 3.99 | 0.07 | 0.05 | 4.86 | 0.001 | 0.67 | 5.87 | 2 | 1.43 | 2.14 |
| | II | 25.1 | 74.9 | 6.90 | 12.73 | 57 | 1.67 | 105 | 1.22 | 0.75 | 0.01 | 6.94 | 0.09 | 0.087 | 8.45 | 0.001 | 1.16 | 8.24 | 3 | 1.29 | 1.93 |
| | III | 24.2 | 62 | 6.51 | 11.16 | 45 | 1.89 | 72 | 1.19 | 0.62 | 0.007 | 4.78 | 0.06 | 0.061 | 7.83 | 0.0007 | 1.12 | 5.68 | 2 | 0.84 | 1.26 |
| | IV | 24.5 | 67.1 | 6.62 | 11.27 | 48 | 1.82 | 74 | 1.31 | 0.65 | 0.006 | 4.27 | 0.05 | 0.054 | 7.00 | 0.0006 | 1.01 | 5.08 | 2 | 1.18 | 1.77 |
| | V | 24.6 | 68 | 6.79 | 11.39 | 51 | 1.76 | 82 | 1.33 | 0.73 | 0.006 | 3.78 | 0.03 | 0.042 | 11.04 | 0.0018 | 1.07 | 4.15 | 2 | 1.20 | 1.84 |
| **Moyennes** | | **24.8** | **76.02** | **6.75** | **12.99** | **56.8** | **1.72** | **90.2** | **1.36** | **0.76** | **0.018** | **4.75** | **0.06** | **0.059** | **7.84** | **0.001** | **1.01** | **5.80** | **2.2** | **1.19** | **1.79** |
| Mangengenge | I | 24.1 | 19 | 4.77 | 5.98 | 30 | 3.35 | 65 | 0.39 | 0.55 | 0.003 | 2.87 | 0.09 | 0.12 | 6.53 | 0.014 | 0.48 | 1.322 | 1 | 1.00 | 1.58 |
| | II | 24.8 | 23.8 | 5.25 | 6.87 | 35 | 3.16 | 72 | 0.43 | 0.53 | 0.018 | 2.41 | 0.08 | 0.09 | 5.61 | 0.010 | 0.37 | 1.054 | 1 | 1.02 | 1.45 |
| | III | 24 | 19 | 4.65 | 5.94 | 30 | 3.57 | 63 | 0.38 | 0.56 | 0.002 | 2.78 | 0.07 | 0.10 | 6.22 | 0.011 | 0.41 | 1.231 | 1 | 0.96 | 1.45 |
| | IV | 24.5 | 19 | 5.23 | 6.46 | 32 | 3.22 | 66 | 0.41 | 0.54 | 0.018 | 2.75 | 0.06 | 0.09 | 6.01 | 0.013 | 0.43 | 1.21 | 1 | 1.01 | 1.50 |
| **Moyennes** | | **24.35** | **20.2** | **4.98** | **6.31** | **32** | **3.33** | **66.5** | **0.40** | **0.55** | **0.010** | **2.70** | **0.08** | **0.10** | **6.09** | **0.012** | **0.42** | **1.204** | **1** | **1.00** | **1.50** |

**Annexe 4** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,54162 | 88,54 |
| 2 | 0,243539 | 6,0885 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **1,571** | -0,099143 |
| Cond | **4,4293** | 0,054993 |
| pH | **0,24131** | -0,12532 |
| Turb | **3,2127** | 0,14848 |
| Oxd | **-1,872** | **-0,2175** |
| NH4+ | **-1,9055** | -0,17521 |
| NO-3 | **-0,29569** | 0,061726 |
| NO-2 | **-1,9108** | **-0,22511** |
| PO3-4 | **1,6422** | **0,91933** |
| SO2-4 | **1,2085** | **-0,28045** |
| $DBO_5$ | **1,7971** | -0,034521 |
| DCO | **2,218** | -0,029337 |
| Cer | **-1,7926** | 0,086784 |
| Chir | **-1,2964** | **0,83427** |
| Cul | **0,28754** | **1,3875** |
| Ecm | **-1,7757** | **-0,20214** |
| Hiru | **-1,6018** | 0,0897 |
| Hychi | **-1,4984** | **0,24545** |
| Hyphi | **-1,7926** | 0,086784 |
| Hygr | **-1,7786** | -0,17656 |
| Lumci | 0,0090026 | **0,41489** |
| Lumcu | **-0,61243** | **0,84472** |
| Lymna | **0,20483** | **-0,42015** |
| Nau | **-1,6623** | **-0,2154** |
| Nep | **-1,5078** | **-0,57174** |
| Phys | **2,5819** | **-0,62919** |
| Scio | **-1,7015** | **-0,54908** |
| Syrph | **0,63772** | **-0,7728** |
| Tub | **2,963** | **-0,451** |

Contribution moyenne des variables : $> 1/\sqrt{p}$ =0,1856953

**Annexe 5** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,4625 | 86,563 |
| 2 | 0,279048 | 6,9762 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **0,76013** | 0,14337 |
| Cond | **3,5214** | **0,32541** |
| pH | **-0,47251** | 0,022739 |
| Turb | **2,2857** | 0,15847 |
| Oxd | **-2,3116** | 0,042814 |
| NH4+ | **-2,4508** | -0,091085 |
| NO-3 | **-1,4156** | **0,81124** |
| NO-2 | **-2,4515** | -0,11518 |
| PO3-4 | **0,4668** | **0,80533** |
| SO2-4 | **0,49939** | 0,092622 |
| $DBO_5$ | **1,1681** | 0,077233 |
| DCO | **1,5521** | 0,11173 |
| Chir | **2,952** | 0,16057 |
| Cul | **2,0154** | **-0,30636** |
| Elm | **-2,1677** | 0,16207 |
| Hiru | **-1,4581** | **-0,22257** |
| Hyphi | **-2,3392** | -0,1568 |
| Hygr | **-1,2871** | **0,24657** |
| Lumci | **0,66091** | **-1,0241** |
| Lumcu | **0,34129** | **-1,2935** |
| Lymna | **0,50284** | **0,54279** |
| Nep | **-2,2337** | **0,41251** |
| Phys | **2,0932** | **0,33542** |
| Plan | **-2,0738** | **-0,50224** |
| Sper | **-1,328** | 0,07234 |
| Syrph | **1,5714** | **0,48295** |
| Tub | **1,5987** | **-1,2943** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,1924501

**Annexe 6** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Axes principaux** | **Valeurs propres** | **% variance** |
|---|---|---|
| 1 | 4,34349 | 86,87 |
| 2 | 0,300794 | 6,0159 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **2,4774** | **-0,20107** |
| Cond | **4,0724** | **-0,20275** |
| pH | **0,65599** | -0,16651 |
| Turb | **1,2878** | -0,059509 |
| Oxd | **-0,75774** | -0,16596 |
| NH4+ | **-2,0917** | -0,13444 |
| NO-3 | **0,74613** | **-0,29895** |
| NO-2 | **-2,1543** | -0,1276 |
| PO3-4 | **-1,2126** | **-0,24742** |
| SO2-4 | **-0,63592** | -0,1524 |
| $DBO_5$ | **-1,114** | -0,12774 |
| DCO | **-0,80177** | -0,10485 |
| Cul | **-0,97164** | **-0,73182** |
| Coen | **1,0169** | **1,3714** |
| Emp | **-1,7219** | **0,50955** |
| Hiru | -0,67425 | **-0,62128** |
| Hyphi | 0,077027 | **-0,45702** |
| Hypsy | **-1,6311** | **0,64265** |
| Hygr | **-1,9693** | 0,14709 |
| Libe | **5,0035** | 0,085713 |
| Lumci | **1,063** | **0,34799** |
| Lumcu | **0,66559** | **-0,65824** |
| Lymna | **-1,6656** | **-0,40085** |
| Nau | **0,92207** | **1,5076** |
| Nep | **-0,19111** | **0,92464** |
| Phys | **-1,068** | 0,010983 |
| Scio | **-1,942** | -0,17527 |
| Syrph | -0,12545 | **-0,50223** |
| Tab | **-1,496** | **0,73017** |
| Thaum | **-1,9582** | **-0,39351** |
| Tub | **6,1949** | **-0,34837** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,1796053

**Annexe 7** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,94255 | 78,851 |
| 2 | 0,492713 | 9,8543 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **2,5542** | **0,34683** |
| Cond | **4,174** | **0,72288** |
| pH | **0,73816** | **0,19836** |
| Turb | **1,6059** | **0,49392** |
| Oxd | **-0,84475** | -0,041245 |
| NH4+ | **-2,2639** | -0,055016 |
| NO-3 | **0,89852** | -0,012379 |
| NO-2 | **-2,3496** | -0,077756 |
| PO3-4 | **-1,3084** | -0,092292 |
| SO2-4 | **-0,60925** | 0,11465 |
| $DBO_5$ | **-1,1767** | 0,12329 |
| DCO | **-0,81361** | 0,16937 |
| Coen | 0,0080591 | **-1,3258** |
| Cul | **-1,5159** | -0,046429 |
| Gloss | **-1,9621** | **-0,50995** |
| Hiru | **1,2566** | **-1,7388** |
| Hyphi | **-0,67183** | -0,14419 |
| Hypsy | **-1,8538** | **0,78071** |
| Hygr | **-1,7788** | **0,32804** |
| Libe | **3,717** | **-1,0832** |
| Lumci | **-0,60342** | **1,3083** |
| Lumcu | **0,85522** | **-1,2123** |
| Lymna | **-2,1313** | -0,13049 |
| Nau | **1,9952** | -0,025828 |
| Nep | **-0,80289** | -0,043946 |
| Phys | **-0,75417** | **1,121** |
| Syrph | **-1,1001** | -0,10444 |
| Tub | **4,7377** | **0,93675** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,18898224

**Annexe 8** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,43215 | 85,804 |
| 2 | 0,285241 | 7,131 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **3,817** | -0,1014 |
| Cond | **2,9631** | -0,1644 |
| pH | **0,87947** | -0,071631 |
| Turb | **1,3331** | -0,061654 |
| Oxd | **0,40095** | -0,0014169 |
| NH4+ | **-2,4407** | 0,029146 |
| NO-3 | 0,086932 | **0,51138** |
| NO-2 | **-2,5187** | 0,013292 |
| PO3-4 | **-2,2181** | 0,16988 |
| SO2-4 | **-0,61188** | 0,089813 |
| $DBO_5$ | **-1,1409** | -0,019357 |
| DCO | **-0,949** | -0,0038499 |
| Aph | **1,5208** | **0,57761** |
| Cer | **-0,35361** | **0,83571** |
| Coen | **0,48795** | **0,38179** |
| Doli | **-2,2043** | **-0,36336** |
| Dryo | **0,53021** | -0,036013 |
| Ecm | **-1,8875** | **0,5638** |
| Gomp | **0,9055** | **-0,2673** |
| Hyphi | **4,2677** | -0,11008 |
| Hypsy | **1,8072** | **1,0732** |
| Hygr | **-0,9476** | **-0,68508** |
| Libe | **2,3313** | -0,087444 |
| Lumci | **-1,7593** | **-0,86488** |
| Lumcu | **-1,8106** | **1,1935** |
| Nau | **1,5806** | **-0,49403** |
| Nep | **-1,8445** | **-0,55646** |
| Noto | **1,2952** | **-0,68691** |
| Philo | **0,55772** | **-0,31144** |
| Sper | **-1,2404** | **0,8874** |
| Tab | **-2,0074** | **-0,58528** |
| Tub | **-0,83005** | **-0,85448** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,1767767

**Annexe 9** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les paramètres physico-chimique sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,41383 | 85,346 |
| 2 | 0,261158 | 6,529 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| T° | **3,891** | 0,079262 |
| Cond | **3,5439** | 0,046548 |
| pH | **1,1384** | 0,013785 |
| Turb | **1,5228** | 0,013425 |
| Oxd | **0,5187** | -0,13843 |
| NH4+ | **-2,132** | **-0,21556** |
| NO-3 | **1,4575** | -0,074345 |
| NO-2 | **-2,2043** | **-0,20774** |
| PO3-4 | **-1,6002** | **-0,17847** |
| SO2-4 | **-0,94811** | -0,15154 |
| $DBO_5$ | **-0,95041** | -0,13595 |
| DCO | **-0,52902** | -0,12673 |
| Aph | **2,298** | **0,87967** |
| Cer | **-1,7114** | **0,68402** |
| Coen | **0,9464** | **0,19725** |
| Cul | **-1,971** | **-0,33009** |
| Dyst | **-1,9298** | **-0,20406** |
| Ecm | **-1,1744** | **0,69434** |
| Gerr | **-1,7114** | **0,68402** |
| Gloso | **0,98157** | -0,026535 |
| Gomp | **1,0055** | **-1,0766** |
| Hiru | **-1,7114** | **0,68402** |
| Hyphi | **1,8737** | **0,26645** |
| Hypsy | **2,6073** | **-0,17392** |
| Lept | **-1,9298** | **-0,20406** |
| Libe | **3,6288** | 0,14935 |
| Limn | **-1,9171** | **0,35386** |
| Lumci | **-1,1128** | **-0,22797** |
| Lumcu | **-1,7968** | **-0,40001** |
| Naid | **-1,9171** | **0,35386** |
| Nau | **1,0044** | **0,56555** |
| Nep | **0,45675** | **0,25413** |
| Noto | **0,66838** | **-1,8853** |
| Philo | **0,64182** | **0,41487** |
| Pot | **0,99221** | **-0,37311** |
| Sper | **-1,9298** | **-0,20406** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,166666

**Annexe 10** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison de pluies de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 2,40118 | 60,03 |
| 2 | 0,826205 | 20,655 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| VaMO | **0,53307** | **2,0171** |
| VaMOSa | **1,618** | **-1,4636** |
| VaMOVé | **1,3095** | **-1,2683** |
| VaMOGvGl | **-0,64426** | **2,238** |
| VaVé | **-0,22977** | **1,1474** |
| SaMOGl | **-0,50302** | **-1,1737** |
| Cer | **-1,4525** | -0,16723 |
| Chir | **-0,85596** | **-0,20988** |
| Cul | **0,86665** | 0,16133 |
| Ecm | **-1,485** | **0,26931** |
| Hiru | **-1,2356** | **-0,35793** |
| Hychi | **-1,1113** | **-0,36682** |
| Hyphi | **-1,4525** | -0,16723 |
| Hygr | **-1,4481** | **-0,34274** |
| Lumci | **0,64059** | **-0,24348** |
| Lumcu | -0,078449 | **-0,89352** |
| Lymna | **0,80915** | **-0,5117** |
| Nau | **-1,3798** | **0,51578** |
| Nep | **-1,163** | 0,20661 |
| Phys | **3,4338** | **0,25386** |
| Scio | **-1,3429** | **-0,21474** |
| Syrph | **1,2766** | -0,14633 |
| Tub | **3,8948** | **0,71783** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,20851441

**Annexe 11** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 2,72856 | 68,214 |
| 2 | 0,657857 | 16,446 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| VaMO | **-1,0046** | **0,60766** |
| VaMOSa | **-0,6987** | **1,4602** |
| VaMOVé | **0,77188** | **-1,5452** |
| VaMOGvGl | **-1,2822** | **-1,0924** |
| VaVé | **-1,0529** | **1,5102** |
| VaMOSaGl | **-1,3908** | **-0,26786** |
| Chir | **3,2845** | **-0,3096** |
| Cul | **2,3779** | 0,062945 |
| Elm | **-1,7426** | -0,098292 |
| Hiru | **-1,0539** | **0,30243** |
| Hyphi | **-1,9252** | **0,28919** |
| Hygr | **-0,89004** | **-0,65248** |
| Lumci | **1,0856** | 0,026803 |
| Lumcu | **0,7286** | **0,87327** |
| Lymna | **0,8685** | **-0,67614** |
| Nep | **-1,8186** | **-0,33089** |
| Phys | **2,4239** | 0,13061 |
| Plan | **-1,6436** | -0,15081 |
| Sper | **-0,915** | **-0,91392** |
| Syrph | **1,91** | **-0,48096** |
| Tub | **1,9671** | **1,2552** |

Contribution moyenne des variables $> {}^{1}/_{\sqrt{p}}$ =0,21821789

**Annexe 12** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| **Axes principaux** | **Valeurs propres** | **% variance** |
|---|---|---|
| 1 | 3,27109 | 65,422 |
| 2 | 0,711872 | 14,237 |

| | **Axe 1** | **Axe 2** |
|---|---|---|
| VaMO | **-1,2325** | **1,2389** |
| VaMOVé | 0,091425 | **-1,4185** |
| VaSaVé | **-0,89701** | **0,32221** |
| SaVé | **-0,87606** | **2,0643** |
| SaMO | **-0,22039** | 0,026656 |
| SaMOVé | **1,5626** | **-2,0001** |
| Ancy | **-0,8019** | **0,39948** |
| Coen | **1,1303** | **-1,1642** |
| Emp | **-1,3958** | **-0,52371** |
| Hiru | **-0,55931** | **0,60293** |
| Hyphi | **0,22804** | **-0,28028** |
| Hypsy | **-1,3071** | **-0,60773** |
| Hygr | **-1,6373** | **-0,2949** |
| Libe | **4,5803** | **0,32235** |
| Lumci | **0,99916** | **0,53844** |
| Lumcu | **0,64161** | **0,6873** |
| Lymna | **-1,4395** | **0,48843** |
| Nau | **0,92187** | **-0,30678** |
| Nep | -0,04173 | **-0,43855** |
| Phys | **-0,84478** | -0,13847 |
| Scio | **-1,6193** | **-0,21893** |
| Syrph | -0,013354 | 0,13798 |
| Tab | **-1,2** | **-0,49817** |
| Thaum | **-1,6732** | **0,21837** |
| Tub | **5,604** | **0,84306** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,2

**Annexe 13** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 2,67117 | 53,423 |
| 2 | 1,33378 | 26,676 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| VaMO | **-0,75754** | **1,7347** |
| VaSa | **0,29481** | **-2,0694** |
| SaVé | **-0,35468** | **2,8138** |
| SaMO | **-0,30565** | 0,038227 |
| SaMOVé | **1,9392** | **-1,0663** |
| Coen | 0,13859 | **-1,1607** |
| Cul | **-1,3003** | -0,1573 |
| Gloss | **-1,6905** | **-0,76711** |
| Hiru | **1,3087** | **-1,2312** |
| Hyphi | **-0,60972** | **-0,2618** |
| Hypsy | **-1,7915** | **0,28686** |
| Hygr | **-1,5596** | 0,1022 |
| Libe | **3,3455** | **-0,2812** |
| Lumci | **-0,69808** | **1,0993** |
| Lumcu | **0,83223** | **-0,85386** |
| Lymna | **-1,873** | **-0,53493** |
| Nau | **1,6402** | 0,093782 |
| Nep | **-0,79228** | **-0,2662** |
| Phys | **-0,80714** | **0,9141** |
| Syrph | **-0,9307** | **-0,27584** |
| Tub | **3,9715** | **1,8429** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,21821789

**Annexe 14** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 2,83784 | 70,946 |
| 2 | 0,722415 | 18,06 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| VaMOGrVé | **-1,4625** | **0,92006** |
| Sa | **2,3745** | **-0,31421** |
| SaMOVé | **0,25601** | **-2,7403** |
| SaMOGvVé | 0,12181 | **2,4585** |
| SaGv | **4,097** | -0,021189 |
| Aph | **0,98631** | **0,42655** |
| Cer | **-0,56597** | -0,18724 |
| Coen | 0,12406 | 0,040913 |
| Doli | **-2,1285** | -0,0089618 |
| Dryo | 0,15166 | **0,39988** |
| Ecm | **-1,847** | **-0,39679** |
| Gomp | **0,45699** | **0,79176** |
| Hyphi | **3,2687** | -0,0028361 |
| Hypsy | **1,2351** | 0,075655 |
| Hygr | **-1,077** | **-0,95195** |
| Libe | **1,6564** | -0,047448 |
| Lumci | **-1,7705** | **0,49038** |
| Lumcu | **-1,7759** | 0,1281 |
| Nau | **1,0251** | 0,056065 |
| Nep | **-1,8277** | **-0,29676** |
| Noto | **0,78115** | 0,016256 |
| Philo | 0,1787 | **-0,33774** |
| Sper | **-1,299** | **-0,32805** |
| Tab | **-1,9701** | **0,212** |
| Tub | **-0,98927** | **-0,38262** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,2

**Annexe 15** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et les substrats sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,02687 | 75,672 |
| 2 | 0,642525 | 16,063 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| VaMO | **-1,3476** | **1,3344** |
| Sa | **2,5527** | 0,16573 |
| SaMOGvVé | **3,0004** | **-2,4877** |
| SaGv | **3,8398** | **0,37552** |
| SaGvVé | **-1,1578** | **1,7765** |
| Aph | **1,8071** | **-0,22176** |
| Cer | **-1,5622** | **-0,61607** |
| Coen | **0,57439** | **0,5994** |
| Cul | **-1,848** | **0,16869** |
| Dyst | **-1,7477** | **-0,39145** |
| Ecm | **-1,0809** | **-0,75265** |
| Gerr | **-1,5622** | **-0,61607** |
| Gloso | **0,65083** | **0,22407** |
| Gomp | **0,64376** | **0,51596** |
| Hiru | **-1,5622** | **-0,61607** |
| Hyphi | **1,378** | **0,41225** |
| Hypsy | **2,1083** | **-0,44527** |
| Lept | **-1,7477** | **-0,39145** |
| Libe | **2,8211** | **0,92321** |
| Limn | **-1,7428** | **-0,50137** |
| Lumci | **-1,1253** | 0,1426 |
| Lumcu | **-1,729** | **0,44594** |
| Naid | **-1,7428** | **-0,50137** |
| Nau | **0,57278** | **1,1673** |
| Nep | **0,24502** | -0,18272 |
| Noto | **0,39314** | **0,41235** |
| Philo | **0,43289** | **-0,51914** |
| Pot | **0,68381** | -0,029505 |
| Sper | **-1,7477** | **-0,39145** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,18569534

**Annexe 16** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Gombe en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,25724 | 81,431 |
| 2 | 0,440258 | 11,006 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Amhyd | **-1,057** | **-0,35989** |
| Amspi | **-0,40755** | **-0,50315** |
| Amvir | **-1,057** | **-0,35989** |
| Caindi | **-1,057** | **-0,35989** |
| Colescu | **-1,057** | **-0,35989** |
| Comdif | **-0,17115** | -0,10046 |
| Cyndac | **-0,17115** | -0,10046 |
| Cypart | **-0,17115** | -0,10046 |
| Kylbul | **-0,68272** | **-0,54608** |
| Ludsen | **-0,78181** | **-0,31696** |
| Musapi | **-1,057** | **-0,35989** |
| Pamaxi | -0,17115 | -0,10046 |
| Penpol | **-1,0642** | **0,31351** |
| Penpur | **-1,057** | **-0,35989** |
| Polyse | **-0,54541** | 0,08572 |
| Psosca | **-1,0642** | **0,31351** |
| Sacoff | **-1,057** | **-0,35989** |
| Cer | **-1,0642** | **0,31351** |
| Chir | **-0,40055** | **1,444** |
| Cul | **2,0873** | **2,0262** |
| Ecm | **-0,92634** | **-0,27535** |
| Hiru | **-0,78903** | **0,35644** |
| Hychi | **-0,65075** | **0,59199** |
| Hyphi | **-1,0642** | **0,31351** |
| Hygr | **-1,0254** | -0,046241 |
| Lumci | **1,5506** | **0,99112** |
| Lumcu | **0,58593** | **1,5979** |
| Lymna | **1,942** | **-0,22835** |
| Nau | **-0,70741** | **-0,38427** |
| Nep | **-0,54021** | **-0,70444** |
| Phys | **5,6685** | **-0,68672** |
| Scio | **-0,91447** | **-0,51825** |
| Syrph | **2,6609** | **-0,79762** |
| Tub | **6,2167** | **-0,41882** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,17149859

**Annexe 17** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Gombe en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,51796 | 87,949 |
| 2 | 0,275424 | 6,8856 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Amhyd | **-1,3027** | -0,1507 |
| Amspi | **-0,93305** | **0,20657** |
| Amvir | **-1,3027** | -0,1507 |
| Caindi | **-1,3027** | -0,1507 |
| Colescu | **-1,3027** | -0,1507 |
| Comdif | **-0,73659** | 0,036411 |
| Cyndac | **-0,73659** | 0,036411 |
| Cypart | **-0,73659** | 0,036411 |
| Kylbul | **-1,0964** | **0,20972** |
| Ludsen | **-1,1394** | -0,15385 |
| Musapi | **-1,3027** | -0,1507 |
| Pamaxi | **-0,73659** | 0,036411 |
| Penpol | **-1,3354** | -0,16932 |
| Penpur | **-1,3027** | -0,1507 |
| Polyse | **-0,94298** | **-0,32401** |
| Psosca | **-1,3354** | -0,16932 |
| Sacoff | **-1,3027** | -0,1507 |
| Chir | **4,7313** | **0,48615** |
| Cul | **3,6533** | -0,12441 |
| Elm | **-1,129** | **0,1911** |
| Hiru | **-0,29704** | **-0,2165** |
| Hyphi | **-1,3027** | -0,1507 |
| Hygr | -0,15838 | **0,85023** |
| Lumci | **2,0274** | **-0,6352** |
| Lumcu | **1,7454** | **-1,1576** |
| Lymna | **1,9143** | **0,98531** |
| Nep | **-1,2047** | **0,57209** |
| Phys | **3,8072** | **0,2519** |
| Plan | **-1,0734** | -0,0080052 |
| Sper | **-0,24957** | **0,91807** |
| Syrph | **3,1603** | **0,86918** |
| Tub | **3,2239** | **-1,5222** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,1767767

**Annexe 18** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Kinkusa en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 4,18641 | 83,728 |
| 2 | 0,355924 | 7,1185 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Agecon | **-0,67781** | **-0,37557** |
| Alcord | **-1,2414** | **0,32327** |
| Altses | **-0,42557** | **-0,49693** |
| Athfil | **-0,95881** | **0,22893** |
| Bamvul | **-0,66241** | **-0,6452** |
| Blespec | **-1,2414** | **0,32327** |
| Calmuc | **-0,19403** | -0,11471 |
| Caindi | **-1,473** | -0,058952 |
| Cenpub | **-0,19403** | -0,11471 |
| Chrodo | **-0,47666** | -0,020366 |
| Comdif | **-0,42557** | **-0,49693** |
| Cosafe | **-1,0046** | **0,47155** |
| Cramon | **-0,7289** | 0,10099 |
| Diclin | **-0,96574** | -0,047291 |
| Haulie | **-1,2414** | **0,32327** |
| Lagsic | **-0,98919** | **0,20192** |
| Ludaby | **-0,19403** | -0,11471 |
| Lycern | **-1,1973** | **-0,42951** |
| Megmuc | **-0,19403** | -0,11471 |
| Miminv | **-0,67781** | **-0,37557** |
| Munpur | **-0,67781** | **-0,37557** |
| Pamaxi | **-0,19403** | -0,11471 |
| Pasori | **-0,19403** | -0,11471 |
| Penpol | **-0,19403** | -0,11471 |
| Penpur | **-0,7135** | **-0,16864** |
| Phynir | **-0,42557** | **-0,49693** |
| Psosca | **-0,91464** | **-0,52385** |
| Pteaqu | **-1,2414** | **0,32327** |
| rhycor | **-0,9535** | -0,0050134 |
| Selmyo | **-0,96574** | -0,047291 |
| Titdiv | **-0,42557** | **-0,49693** |
| Trilei | **-1,2414** | **0,32327** |

| | | |
|---|---|---|
| Tricor | **-1,2414** | **0,32327** |
| Urelob | **-0,75236** | **0,35019** |
| Wedtri | **-0,42557** | **-0,49693** |
| Ancy | 0,13275 | **-0,96183** |
| Coen | **2,6932** | **1,9245** |
| Emp | **-0,93536** | **0,82854** |
| Hiru | **0,53459** | **-0,88511** |
| Hyphi | **1,5163** | **-0,38257** |
| Hypsy | **-0,82297** | **1,0141** |
| Hygr | **-1,2414** | **0,32327** |
| Libe | **8,0594** | -0,0058301 |
| Lumci | **2,8024** | **0,38611** |
| Lumcu | **2,3081** | **-0,9142** |
| Lymna | **-0,79916** | **-0,498** |
| Nau | **2,5722** | **1,6772** |
| Nep | **1,0781** | **1,2366** |
| Phys | -0,05044 | 0,091689 |
| Scio | **-1,1903** | **-0,15329** |
| Syrph | **1,2375** | **-0,61167** |
| Tab | **-0,63762** | **1,0774** |
| Thaum | **-1,1973** | **-0,42951** |
| Tub | **9,6644** | **-0,65006** |

Contribution moyenne des variables $> {}^{1}/_{\sqrt{p}}$ =0,13608276

**Annexe 19** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Kinkusa en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,71418 | 74,284 |
| 2 | 0,617015 | 12,34 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Agecon | **-0,70022** | **-0,44806** |
| Alcord | **-1,2579** | **0,46262** |
| Altses | **-0,44048** | **-0,64228** |
| Athfil | **-0,96749** | **0,24869** |
| Bamvul | **-0,74829** | **-0,54267** |
| Blespec | **-1,2579** | **0,46262** |
| Calmuc | -0,12677 | 0,058941 |
| Caindi | **-1,5716** | **-0,2386** |
| Cenpub | -0,12677 | 0,058941 |
| Chrodo | **-0,41717** | **0,27287** |
| Comdif | **-0,44048** | **-0,64228** |
| Cosafe | **-0,95007** | **0,36302** |
| Cramon | **-0,67691** | **0,46709** |
| Diclin | **-0,98473** | **0,56669** |
| Haulie | **-1,2579** | **0,46262** |
| Lagsic | **-0,99814** | **0,2684** |
| Ludaby | -0,12677 | 0,058941 |
| Lycern | **-1,2984** | -0,13453 |
| Megmuc | -0,12677 | 0,058941 |
| Miminv | **-0,70022** | **-0,44806** |
| Munpur | **-0,70022** | **-0,44806** |
| Pamaxi | -0,12677 | 0,058941 |
| Pasori | -0,12677 | 0,058941 |
| Penpol | -0,12677 | 0,058941 |
| Penpur | **-0,72498** | **0,37247** |
| Phynir | **-0,44048** | **-0,64228** |
| Psosca | **-1,008** | **-0,34846** |
| Pteaqu | **-1,2579** | **0,46262** |
| Rhycor | **-0,97338** | **-0,55212** |
| Selmyo | **-0,98473** | **0,56669** |
| Titdiv | **-0,44048** | **-0,64228** |

| | | |
|---|---|---|
| Trilei | **-1,2579** | **0,46262** |
| Tricor | **-1,2579** | **0,46262** |
| Urelob | **-0,69033** | **0,1688** |
| Wedtri | **-0,44048** | **-0,64228** |
| Coen | **1,639** | **-1,7499** |
| Cul | **-0,4538** | **-0,27742** |
| Gloss | **-1,0521** | **-0,62704** |
| Hiru | **3,3257** | **-2,3451** |
| Hyphi | **0,73494** | 0,01927 |
| Hypsy | **-0,84318** | **1,3896** |
| Hygr | **-0,80474** | 0,053559 |
| Libe | **6,7504** | **-1,092** |
| Lumci | **0,86577** | **1,7599** |
| Lumcu | **2,8014** | **-1,0896** |
| Lymna | **-1,2638** | **-0,3382** |
| Nau | **4,4639** | **0,53051** |
| Nep | **0,5914** | **0,38217** |
| Phys | **0,64458** | **1,595** |
| Syrph | 0,13856 | **-0,53523** |
| Tub | **8,1941** | **2,2134** |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,14002801

**Annexe 20** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la rivière Mangengenge en saison pluvieuse de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,11383 | 77,846 |
| 2 | 0,360932 | 9,0233 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Alcord | **-0,18119** | -0,056189 |
| Alscon | **-0,61646** | -0,023819 |
| Altses | **-0,5839** | -0,066779 |
| Ancdif | **-0,97619** | **-0,64252** |
| Blespec | **-0,18119** | -0,056189 |
| Chrodo | **-1,0844** | **0,6317** |
| Comdif | **-1,117** | **0,67466** |
| Cosafe | **-0,68172** | **0,64229** |
| Cramon | **-0,5839** | -0,066779 |
| Diclin | **-1,0087** | **-0,59956** |
| Draman | **-1,074** | 0,06655 |
| Haulie | **-0,57348** | **-0,63193** |
| Hydgla | **-0,5839** | -0,066779 |
| Lasene | **-1,0844** | **0,6317** |
| Lepcon | **-1,117** | **0,67466** |
| Ludaby | **-0,18119** | -0,056189 |
| Ludsen | **-0,18119** | -0,056189 |
| Lycern | **-0,5839** | -0,066779 |
| Marpur | **-0,68172** | **0,64229** |
| Megmuc | **-0,97619** | **-0,64252** |
| Miminv | **-1,5093** | 0,098921 |
| Oncwel | **-0,61646** | -0,023819 |
| Pasori | **-0,97619** | **-0,64252** |
| Penpol | **-1,4115** | **-0,61015** |
| Penect | **-1,117** | **0,67466** |
| Pteaqu | **-1,4767** | 0,055961 |
| Rhycor | **-0,97619** | **-0,64252** |
| Sapcor | **-1,0087** | **-0,59956** |
| Selmyo | **-0,97619** | **-0,64252** |
| Trincom | **-0,61646** | -0,023819 |
| Trilei | **-0,57348** | **-0,63193** |

| | | |
|---|---|---|
| Wedtri | **-1,117** | **0,67466** |
| Pentan | **-0,57348** | **-0,63193** |
| Aph | **3,2406** | **0,93079** |
| Cer | **0,87584** | **0,82397** |
| Coen | **1,9174** | **0,80009** |
| Doli | **-1,5093** | 0,098921 |
| Dryo | **1,9741** | **0,43656** |
| Ecm | **-1,0844** | **0,6317** |
| Gomp | **2,4265** | **0,5742** |
| Hyphi | **6,8049** | **-0,49364** |
| Hypsy | **3,6205** | **1,1567** |
| Hygr | **0,18168** | **-1,3493** |
| Libe | **4,3268** | **-0,3446** |
| Lumci | **-0,97693** | 0,11292 |
| Lumcu | **-1,0011** | **1,4252** |
| Nau | **3,3752** | **-0,7489** |
| Nep | **-1,0087** | **-0,59956** |
| Noto | **2,9709** | **-0,45035** |
| Philo | **2,0834** | **-0,76122** |
| Sper | **-0,2078** | **0,31809** |
| Tab | **-1,2737** | 0,10512 |
| Tub | **0,2645** | **-0,65371** |

Contribution moyenne des variables $> {}^{1}/_{\sqrt{p}}$ =0,13736056

**Annexe 21** Variance, valeurs propres et coefficients de corrélation entre les MIB et la végétation sur les 2 premiers axes de l'ACP dans la Mangengenge en saison sèche de 2013 à 2015

| Axes principaux | Valeurs propres | % variance |
|---|---|---|
| 1 | 3,01439 | 75,36 |
| 2 | 0,415382 | 10,385 |

| | Axe 1 | Axe 2 |
|---|---|---|
| Alcord | -0,063257 | 0,13137 |
| Alscon | **-0,52664** | **-0,61161** |
| Altses | **-0,44383** | **0,21867** |
| Ancdif | **-0,89391** | **0,22833** |
| Blespec | -0,063257 | 0,13137 |
| Chrodo | **-0,90149** | **0,81012** |
| Comdif | **-0,9843** | -0,020158 |
| Cosafe | **-0,52092** | **0,72282** |
| Cramon | **-0,44383** | **0,21867** |
| Diclin | **-0,97672** | **-0,60196** |
| Draman | **-0,971** | **0,73248** |
| Haulie | **-0,51334** | **0,14103** |
| Hydgla | **-0,44383** | **0,21867** |
| Lasene | **-0,90149** | **0,81012** |
| Lepcon | **-0,9843** | -0,020158 |
| Ludaby | -0,063257 | 0,13137 |
| Ludsen | -0,063257 | 0,13137 |
| Lycern | **-0,44383** | **0,21867** |
| Marpur | **-0,52092** | **0,72282** |
| Megmuc | **-0,89391** | **0,22833** |
| Miminv | **-1,4344** | -0,010502 |
| Oncwel | **-0,52664** | **-0,61161** |
| Pasori | **-0,89391** | **0,22833** |
| Penpol | **-1,3573** | **-0,51466** |
| Penect | **-0,9843** | -0,020158 |
| Pteaqu | **-1,3516** | **0,81978** |
| Rhycor | **-0,89391** | **0,22833** |
| Sapcor | **-0,97672** | **-0,60196** |
| Selmyo | **-0,89391** | **0,22833** |
| Trincom | **-0,52664** | **-0,61161** |
| Trilei | **-0,51334** | **0,14103** |

| | | |
|---|---|---|
| Wedtri | **-0,9843** | -0,020158 |
| Pentan | **-0,51334** | **0,14103** |
| Aph | **4,2155** | **-0,98058** |
| Cer | **-1,0896** | **-0,86064** |
| Coen | **2,411** | **-0,61685** |
| Cul | **-1,4344** | -0,010502 |
| Dyst | **-1,3649** | 0,067141 |
| Ecm | **-0,37622** | **-0,87594** |
| Gerr | **-1,0896** | **-0,86064** |
| Gloso | **2,4796** | -0,097413 |
| Gomp | **2,5434** | **1,3923** |
| Hiru | **-1,0896** | **-0,86064** |
| Hyphi | **3,6519** | **-0,42288** |
| Hypsy | **4,6743** | **0,72485** |
| Lept | **-1,3649** | 0,067141 |
| Libe | **5,9662** | **-0,42553** |
| Limn | **-1,3573** | **-0,51466** |
| Lumci | **-0,29072** | 0,089959 |
| Lumcu | **-1,2118** | -0,061568 |
| Naid | **-1,3573** | **-0,51466** |
| Nau | **2,4418** | **-1,7325** |
| Nep | **1,7884** | **-0,31594** |
| Noto | **2,12** | **2,3749** |
| Philo | **2,0449** | **-0,25845** |
| Pot | **2,5218** | **0,68745** |
| Sper | **-1,3649** | 0,067141 |

Contribution moyenne des variables $> 1/\sqrt{p}$ =0,13245324

# **Annexe 22** Productions scientifiques

## Annexe 23 Données climatiques de la ville de Kinshsasa (2005-2014)

### Annexe 23a Température (°C)

| Kinshasa Binza Lat. 04°22' S Long 15°15' E Alt. 445m Température (°C) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Années** | **Janv** | **Fev** | **Mars** | **Avr** | **Mai** | **Juin** | **Juil** | **Aout** | **Sept** | **Oct** | **Nov** | **Déc** | **Moyan** |
| 2005 | 25,3 | 26,1 | 26,3 | 26,1 | 24,6 | 22 | 22,2 | 23,1 | 24,6 | 24,6 | 24,7 | 24,7 | 24,53 |
| 2006 | 25,3 | 25,9 | 26,2 | 25,9 | 24,8 | 24,9 | 23 | 22,9 | 24,2 | 25 | 24,7 | 24,5 | 24,78 |
| 2007 | 25,3 | 25,4 | 25,8 | 25 | 25,4 | 22,7 | 22 | 22,4 | 23,7 | 24,3 | 24,2 | 24,3 | 24,21 |
| 2008 | 24,7 | 24,8 | 25,5 | 25,5 | 25,2 | 22,5 | 22 | 23,4 | 25 | 24,7 | 25 | 24,7 | 24,42 |
| 2009 | 24,6 | 25,9 | 25,9 | 25,5 | 25,5 | 23,7 | 22,4 | 22,9 | 25,3 | 25,9 | 25 | 25,3 | 24,83 |
| 2010 | 25,3 | 26,1 | 26,1 | 25,9 | 24,5 | 22,9 | 22,1 | 22,7 | 25,4 | 26,6 | 25,3 | 25,8 | 24,89 |
| 2011 | 24,8 | 25,6 | 26,2 | 26,1 | 25,5 | 23,4 | 22,4 | 23,3 | 24,2 | 25,4 | 24,9 | 24,8 | 24,72 |
| 2012 | 24,7 | 25 | 26 | 25,6 | 24,9 | 23,5 | 23 | 22,6 | 24,2 | 25,1 | 25 | 25,3 | 24,58 |
| 2013 | 25,3 | 26,1 | 26,1 | 25,9 | 24,5 | 22,9 | 22,1 | 22,7 | 25,4 | 25,2 | 25,5 | 26,1 | 24,82 |
| 2014 | 24,8 | 25,6 | 26,2 | 26,1 | 25,5 | 23,4 | 22,4 | 23,3 | 24,2 | 24,6 | 25,7 | 25,8 | 24,8 |
| Moy Men | 25,01 | 25,65 | 26,03 | 25,76 | 25,04 | 23,19 | 22,36 | 22,93 | 24,62 | 25,14 | 25 | 25,13 | 24,66 |

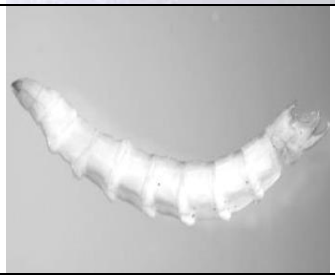
**Annexe 23b** Précipitations (mm)

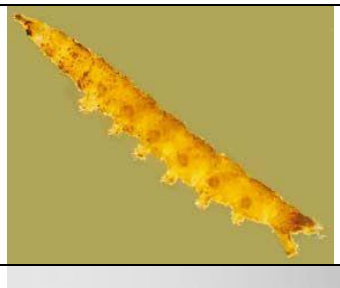
| Kinshasa Binza Lat. 04°22' S Long 15°15' E Alt. 445m Précipitation (mm) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Années** | **Janv** | **Fev** | **Mars** | **Avr** | **Mai** | **Juin** | **Juil** | **Aout** | **Sept** | **Oct** | **Nov** | **Déc** | **Moyan** |
| 2005 | 92,4 | 57,2 | 144 | 171 | 86 | 2,7 | 0 | 0 | 25,4 | 127 | 258 | 248 | 100,98 |
| 2006 | 111 | 137 | 239 | 261 | 107 | 3,2 | 0 | 10,6 | 19,1 | 353 | 334 | 284 | 154,91 |
| 2007 | 160 | 125 | 245 | 272 | 102 | 0 | 0 | 56,4 | 29,2 | 372 | 221 | 102 | 140,38 |
| 2008 | 102 | 208 | 164 | 140 | 151 | 0 | 0 | 1,6 | 15 | 256 | 375 | 171 | 131,97 |
| 2009 | 203 | 204 | 109 | 267 | 200 | 0 | 0 | 2,6 | 17,4 | 92,5 | 236 | 280 | 134,29 |
| 2010 | 98,1 | 72,4 | 260 | 251 | 45,3 | 0 | 0 | 0 | 15,8 | 103 | 225 | 233 | 108,63 |
| 2011 | 286 | 98 | 31,1 | 381 | 187 | 0 | 0 | 0 | 73,9 | 324 | 535 | 227 | 178,58 |
| 2012 | 264 | 130 | 243 | 270 | 110 | 0 | 0 | 15 | 22,5 | 360 | 250 | 234 | 158,21 |
| 2013 | 203 | 204 | 109 | 267 | 200 | 0 | 0 | 2,6 | 17,4 | 204 | 295 | 201 | 141,92 |
| 2014 | 98,1 | 72,4 | 260 | 251 | 45,3 | 0 | 0 | 0 | 15,7 | 175 | 255 | 257 | 119,13 |
| Moy Men | 161,8 | 130,8 | 180,4 | 253,1 | 123,4 | 0,59 | 0 | 8,88 | 25,14 | 236,7 | 298,4 | 223,7 | 136,9 |

**Annexe 24.** Modes opératoires et principes d’échantillonnage de l’eau et traitement au laboratoire

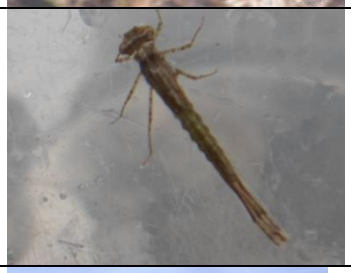
**Annexe 25.** Photographies des stations de prélevement et des MIB

| Classe | Ordre | Famille | Photo |
|---|---|---|---|
| Insectes | Coléoptère | Dryopidae |  |
| | | Dystiscidae |  |
| | | Elmidae |  |
| | | Hydrochidae |  |
| | | Hygrobiidae |  |
| | | Hydrophilidae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Limnebidae |  |
| | | Spercheidae |  |
| | Diptère | Ceratopogonidae |  |
| | | Chironomidae |  |
| | | Culicidae |  |
| | | Dolichopodidae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Empididae |  |
| | | Sciomyzidae |  |
| | | Syrphidae |  |
| | | Tabaniidae |  |
| | | Thaumaleidae |  |
| | Ephéméroptère | Potamanthidae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Hémiptère | Aphelocheiridae |  |
| | | Nepidae |  |
| | | Naucoridae |  |
| | | Gerridae |  |
| | | Notonectidae |  |
| | Odonate | Gomphidae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Libellulidae |  |
| | | Coenagrionidae |  |
| | Trichoptère | Ecnomidae |  |
| | | Glossosomatidae |  |
| | | Hydropsychidae |  |
| | | Leptoceridae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Philopotamidae |  |
| Gastéropodes | Basometophora | Lymnaeidae |  |
| | | Physidae |  |
| Clitellate | Achètes (Arhychobdellida) | Glossiphonidae |  |
| | | Hirudidae |  |
| | Oligochètes (Lumbriculida) | Lumbricidae |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Lumbriculidae |  |
| | | Tubificidae |  |
| | Tricladida | Planariidae |  |

**Annexe 26.** Cotes de tolérance adaptées selon l'identification à la famille

| Code | Phyllum | Classe | Ordre | Famille | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| Ameldae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Ameletidae | 0 |
| Baetidae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Baetidae | 4 |
| Bascidae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Baetiscidae | 3 |
| Canidae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Caenidae | 7 |
| Epheldae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Ephemerellidae | 1 |
| Ephedae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Ephemeridae | 4 |
| Heptdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Heptageniidae | 4 |
| Arthplea | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Arthropleidae | 5 |
| Isondae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Isonychiidae | 2 |
| Lephdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Leptophlebiidae | 2 |
| Metrdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Metretopodidae | 2 |
| Oligdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Oligoneuriidae | 2 |
| Potaman | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Potamanthidae | 4 |
| Siphdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Siphlonuridae | 7 |
| Tricdae | Arthropoda | Insecta | Ephemeroptera | Leptohyphidae (=Tricorythidae) | 4 |
| Apatidae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Apataniidae | 3 |
| Bracdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Brachycentridae | 1 |
| Dipsdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Dipseudopsidae | 5 |
| Glosdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Glossosomatidae | 0 |
| Goerdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Goeridae | 3 |
| Helidae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Helicopsychidae | 3 |
| Hysydae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Hydropsychidae | 4 |
| Hyptdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Hydroptilidae | 4 |
| Lepidae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Lepidostomatidae | 1 |
| Lecedae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Leptoceridae | 4 |
| Limndae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Limnephilidae | 4 |
| Neoylax | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Uenoidae | 3 |
| Moladae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Molannidae | 6 |
| Odondae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Odontoceridae | 0 |
| Phildae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Philopotamidae | 3 |
| Phrydae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Phryganeidae | 4 |
| Polydae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Polycentropodidae | 6 |
| Psymdae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Psychomyiidae | 2 |
| Rhyadae | Arthropoda | Insecta | Trichoptera | Rhyacophilidae | 0 |
| Capndae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Capniidae | 1 |
| Chlodae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Chloroperlidae | 1 |
| Leucdae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Leuctridae | 0 |

| Code | Phyllum | Classe | Ordre | Famille | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| Nemodae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Nemouridae | 2 |
| Peltodae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Peltoperlidae | 0 |
| Perldae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Perlidae | 1 |
| Pelodae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Perlodidae | 2 |
| Pterdae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Pteronarcyidae | 0 |
| Taendae | Arthropoda | Insecta | Plecoptera | Taeniopterygidae | 2 |
| Athedae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Athericidae | 2 |
| Blepdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Blephariceridae | 0 |
| Chaodae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Chaoboridae | 8 |
| Ceradae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Ceratopogonidae | 6 |
| Chirdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Chironomidae | 8 |
| Chirdaem | Arthropoda | Insecta | Diptera | Chironomidae (sans les chironomini) | 6 |
| Chiromi | Arthropoda | Insecta | Diptera | Chionomidae genre chironomini | 8 |
| Culidae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Culicidae | 8 |
| Dixidae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Dixidae | 1 |
| Dolidae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Dolichopodidae | 4 |
| Empidae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Empididae | 6 |
| Ephydae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Ephydridae | 6 |
| Muscdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Muscidae | 6 |
| Phordae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Phoridae | 4 |
| Nymidae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Nymphomyiidae | 4 |
| Psycdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Psychodidae | 10 |
| Sciodae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Sciomyzidae | 4 |
| Scatdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Scathophagidae | 6 |
| Simudae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Simuliidae | 6 |
| Syrpdae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Syrphidae | 10 |
| Tabadae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Tabanidae | 6 |
| Tipudae | Arthropoda | Insecta | Diptera | Tipulidae | 3 |
| Caradae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Carabidae | 4 |
| Chrydae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Chrysomelidae | 4 |
| Curcdae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Curculionidae | 5 |
| Dryodae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Dryopidae | 5 |
| Dytidae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Dytiscidae | 5 |
| Elmidae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Elmidae | 4 |
| Gyridae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Gyrinidae | 4 |
| Halidae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Haliplidae | 5 |
| Heteroc | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Heteroceridae | |

| Code | Phyllum | Classe | Ordre | Famille | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| Hydraen | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Hydraenidae | |
| Hydrdae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Hydrophilidae | 5 |
| Lampydae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Lampyridae | |
| Psepdae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Psephenidae | 4 |
| Scirtid | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Scirtidae | 5 |
| Stapdae | Arthropoda | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | |
| Aeshdae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Aeshnidae | 3 |
| Corddae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Cordulegastridae | 3 |
| Colidae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Corduliidae | 5 |
| Gompda | Arthropoda | Insecta | Odonata | Gomphidae | 4 |
| Libedae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Libellulidae | 9 |
| Macrdae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Macromiidae | 3 |
| Calodae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Calopterygidae | 5 |
| Coendae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Coenagrionidae | 9 |
| Lestdae | Arthropoda | Insecta | Odonata | Lestidae | 9 |
| Belodae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Belostomatidae | |
| Coridae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Corixidae | 5 |
| Gerrdae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Gerridae | |
| Herbiae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Hebridae | |
| Mesodae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Mesoveliidae | |
| Nepidae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Nepidae | |
| Notodae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Notonectidae | |
| Pleidae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Pleidae | |
| Salddae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Saldidae | |
| Velldae | Arthropoda | Insecta | Hemiptera | Veliidae | |
| Noctidae | Arthropoda | Insecta | Lepidoptera | Noctuidae | |
| Crabidae | Arthropoda | Insecta | Lepidoptera | Crambidae | 5 |
| | Arthropoda | Insecta | Neuroptera | Sisyridae | 5 |
| Corydae | Arthropoda | Insecta | Megaloptera | Corydalidae | 0 |
| Sialdae | Arthropoda | Insecta | Megaloptera | Sialidae | 4 |
| Crandae | Arthropoda | Crustacea* | Amphipoda | Crangonyctidae | 6 |
| Gammdae | Arthropoda | Crustacea* | Amphipoda | Gammaridae | 4 |
| Hausdae | Arthropoda | Crustacea* | Amphipoda | Haustauridae | |
| Hyaldae | Arthropoda | Crustacea* | Amphipoda | Hyalellidae | 8 |
| Talidae | Arthropoda | Crustacea* | Amphipoda | Talitridae | 8 |
| Cladoce | Arthropoda | Crustacea* | Cladocera | | 8 |
| Copepoda | Arthropoda | Crustacea* | Copepoda** | | 8 |
| Cambdae | Arthropoda | Crustacea* | Decapoda | Cambaridae | 6 |
| Aseldae | Arthropoda | Crustacea* | Isopoda | Asellidae | 8 |
| Ostracod | Arthropoda | Crustacea* | Ostracoda** | | 8 |

| Code | Phyllum | Classe | Ordre | Famille | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| Acari | Arthropoda | Arachnoidea | Acari | | 6 |
| Dreidae | Mollusca | Pelecypoda | Veneroida | Dreisseinidae | 8 |
| Sphadae | Mollusca | Pelecypoda | Veneroida | Sphaeriidae | 6 |
| Margdae | Mollusca | Pelecypoda | Unionoida | Margaritiferidae | |
| Uniodae | Mollusca | Pelecypoda | Unionoida | Unionidae | 6 |
| Ancydae | Mollusca | Gastropoda | Pulmonata** | Ancylidae | 6 |
| Lymndae | Mollusca | Gastropoda | Pulmonata** | Lymnaeidae | 6 |
| Physdae | Mollusca | Gastropoda | Pulmonata | Physidae | 8 |
| Plabdae | Mollusca | Gastropoda | Pulmonata** | Planorbidae | 6 |
| Bithdae | Mollusca | Gastropoda | Prosobranchia | Bithyniidae | 8 |
| Hybidae | Mollusca | Gastropoda | Prosobranchia | Hydrobiidae | 8 |
| Pleudae | Mollusca | Gastropoda | Prosobranchia | Pleuroceridae | 6 |
| Valvdae | Mollusca | Gastropoda | Prosobranchia | Valvatidae | 8 |
| Vividae | Mollusca | Gastropoda | Prosobranchia | Viviparidae | 6 |
| Hirunea | Annellida | Clitellata | Hirudinea | | 8 |
| Oligoch | Annellida | Clitellata | Oligochaeta | | 8 |
| Polycha | Annellida | Polychaeta | - | | 6 |
| Nematod | Nematoda | - | - | | 5 |
| Nemerte | Nemertea | - | - | | 6 |
| Platyhe | Platyhelminthes | - | - | | 6 |
| Hydrozo | Cnidaria | Hydrozoa | - | | 5 |
| Porifera | Porifera | - | | - | |
| Tardigr | Tardigrada | - | - | Tardigrada | |
| Bryozoa | Ectoprocta | | | | |

**Annexe 27**: Distribution écologique de MIB