



**UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR ENVIRONNEMENT**

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique**

ANNÉE UNIVERSITAIRE :

2019-2020

N° D'ORDRE :

.....025.....

CANDIDAT

Nom : KRESSOU

Prénoms : ARMAND

THÈSE

**Pour l'obtention du grade de Docteur de
l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ**

Mention : Écologie, Biodiversité et Évolution

Spécialité : Hydrobiologie

**Diversité, structure des communautés de
macroinvertébrés aquatiques et état
d'intégrité écologique des milieux aquatiques
de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-
Bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire)**

JURY

- Président** : M. KOUADIO Yatty Justin, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé; Daloa.
- Directeur** : M. BONY Kotchi Yves, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé; Daloa.
- Rapporteurs** : M. OUATTARA Allassane, Professeur Titulaire,
Université Nangui Abrogoua; Abidjan.
- Examineurs** : M. ASSEMIAN N'guessan Emmanuel, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé; Daloa.
Mme. ABOUA Benié Rose Danielle, Maître de Conférences,
Université Félix Houphouët Boigny; Abidjan.

Soutenue publiquement le :

28 /11/2020

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.	i
DÉDICACE.....	vii
AVANT-PROPOS.	viii
REMERCIEMENTS.	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES.....	xv
LISTE DES ANNEXES.....	xxi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS.....	6
1.1. Présentation du milieu d'étude.....	7
1.1.1. Situation géographique et caractéristiques générales.	7
1.1.2. Géologie et géomorphologie.....	8
1.1.3. Climat.....	9
1.1.4. Végétation et sols.....	10
1.1.5. Hydrographie.	11
1.1.6. Activités anthropiques environnants.....	11
1.2. Concept d'intégrité écologique.	12
1.3. Macroinvertébrés aquatiques.....	13
1.3.1. Définition.	13
1.3.2. Composition spécifique.	13
1.3.3. Biologie et écologie.	16
1.3.3.1. Cycles biologiques.....	16
1.3.3.2. Habitat et écologie.....	17
1.3.4. Groupes fonctionnels trophiques des macroinvertébrés aquatiques.	18
1.3.5. Macroinvertébrés aquatiques et bioindication.	19
1.3.5.1. Indices biotiques d'évaluation de la qualité écologique des eaux.	19
1.3.5.1.1. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN).	20
1.3.5.1.2. Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéen (IMMY).	20
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	22
2.1. MATÉRIEL.....	23
2.1.1. Matériel biologique.....	23
2.1.2. Appareils de mesure des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques. ...	23

2.1.3. Matériel de collecte et d'observation des macroinvertébrés.....	23
2.2. MÉTHODES.....	24
2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage.....	24
2.2.2. Description des stations d'échantillonnage.....	27
2.2.2.1. Stations situées au Nord de la Réserve.....	27
2.2.2.1.1. Station Bandama Nabédjakaha (BN).....	27
2.2.2.1.2. Station Bandama Tortiya A (BTA).....	28
2.2.2.1.3. Station Bandama Tortiya B (BTB).....	29
2.2.2.2. Stations situées au Centre de la Réserve.....	30
2.2.2.2.1. Station Bandama Sinaïm A (BSA).....	30
2.2.2.2.2. Station Bandama Sinaïm B (BSB).....	30
2.2.2.2.3. Station Mare Sinaïm (MS).....	31
2.2.2.2.4. Station Mare Vodougue Sinaïm (MVS).....	32
2.2.2.3. Stations situées au Sud de la Réserve.....	33
2.2.2.3.1. Station Nambyon Yayakaha A (NYA).....	33
2.2.2.3.2. Station Nambyon Yayakaha B (NYB).....	33
2.2.2.3.3. Station Bandama Yayakaha A (BYA).....	34
2.2.2.3.4. Station Bandama Yayakaha B (BYB).....	35
2.2.2.3.5. Station Bandama Badasso (BB).....	35
2.2.3. Collecte des données abiotiques et biotiques.....	36
2.2.3.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	36
2.2.3.2. Mesure des paramètres hydromorphologiques de l'eau.....	36
2.2.3.3. Échantillonnage des macroinvertébrés aquatiques.....	37
2.2.3.4. Tri et identification des macroinvertébrés récoltés.....	39
2.2.4. Analyse de la composition et de la structure des communautés.....	39
2.2.4.1. Richesse spécifique.....	39
2.2.4.2. Fréquence d'occurrence (<i>F</i>).....	40
2.2.4.3. Similarités spécifiques entre les stations.....	40
2.2.4.4. Abondances relatives.....	40
2.2.4.5. Analyse de la diversité des communautés de macroinvertébrés.....	41
2.2.4.5.1. Indice de diversité de Shannon (<i>H'</i>).....	41
2.2.4.5.2. Indice d'équitabilité de Piélu (<i>E</i>).....	42
2.2.5. Structuration trophique des communautés de macroinvertébrés.....	42
2.2.6. Évaluation de la qualité écologique de l'eau.....	42

2.2.6.1. Indices de diversité des communautés.	43
2.2.6.1.1. Indice Chironomidae.....	43
2.2.6.1.2. Indice ET et pourcentage en ET.....	43
2.2.6.1.3. Indice de tolérance à la pollution (ET/C).....	44
2.2.6.2. Indice Biosédimentaire (IBS).	44
2.2.6.3. Corrélation entre les indices	47
2.2.7. Traitements statistiques.....	47
2.2.7.1. Analyses univariées.....	47
2.2.7.1.1. Test de Student.....	48
2.2.7.2. Analyses multivariées.....	48
2.2.7.2.1. Cartes auto-organisatrices de Kohonen (SOM).	48
2.2.7.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP).	50
2.2.7.2.3. Classification Hiérarchique Ascendante (CHA).	51
2.2.7.2.4. Analyse Factorielle Discriminante (AFD).	51
2.2.7.2.5. Analyse canonique de Redondance (RDA).....	52
2.2.7.2.6. Méthode « Indval ».	52
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	54
3.1. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDROMORPHOLOGIQUES DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA.	55
3.1.1. Résultats.....	55
3.1.1.1. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.	55
3.1.1.1.1. Température.	55
3.1.1.1.2. pH.....	57
3.1.1.1.2. Oxygène dissous.....	58
3.1.1.1.3. Conductivité.	60
3.1.1.1.4. Turbidité.....	62
3.1.1.1.5. Largeur du lit mouillé.....	63
3.1.1.1.6. Vitesse du courant.	65
3.1.1.1.7. Profondeur.....	67
3.1.1.2. Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.....	69
3.1.1.2.1. Température.	69

3.1.1.2.2. pH.....	70
3.1.1.2.3. Oxygène dissous.....	70
3.1.1.2.4. Conductivité.....	71
3.1.1.2.5. Turbidité.....	72
3.1.1.2.6. Largeur du lit mouillé.....	73
3.1.1.2.7. Vitesse du courant.....	74
3.1.1.2.8. Profondeur.....	75
3.1.1.3. Typologie des stations en fonction des paramètres physico-chimiques et phydromorphologiques des eaux.	76
3.1.2. Discussion.....	81
3.2. COMPOSITION ET STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS DE MACROINVERTE- TÉBRÉS DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA.....	85
3.2.1. Résultats.....	85
3.2.1.1. Analyse qualitative des communautés des macroinvertébrés.....	85
3.2.1.1.1. Composition spécifique globale et caractéristiques générales.....	85
3.2.1.1.2. Répartition spatiale de la richesse spécifique.....	96
3.2.1.1.3. Composition spécifique des ordres d’Insectes et de Gastéropodes.....	96
3.2.1.1.3.1. Composition spécifique des ordres d’Insectes.....	96
3.2.1.1.3.2. Composition spécifique des ordres de Gastéropodes.	97
3.2.1.2. Occurrences et structure trophique des macroinvertébrés aquatiques.....	98
3.2.1.2.1. Occurrences des espèces de macroinvertébrés aquatiques.....	98
3.2.1.2.2. Structure trophique des macroinvertébrés aquatiques.....	101
3.2.1.3. Variations spatiales et saisonnières de la richesse spécifique.	102
3.2.1.3.1. Variations spatiale de la richesse spécifique.	102
3.2.1.3.2. Variations saisonnières de la richesse spécifique.....	104
3.2.1.4. Similarités spécifiques entre les stations.	105
3.2.1.5. Déterminisme de la richesse spécifique.....	106
3.2.1.5.1. Profil de distribution des macroinvertébrés aquatiques.	106
3.2.1.5.2. Facteurs déterminant la diversité des macroinvertébrés.	114
3.2.1.6. Analyse quantitative des communautés de macroinvertébrés.....	117
3.2.1.6.1. Variations spatiales et saisonnières des abondances.	117
3.2.1.6.1.1. Variations spatiales des abondances.....	117
3.2.1.6.1.1.1. Analyse globale des classes de macroinvertébrés.	117

3.2.1.6.1.1.2. Variations spatiales des abondances relatives des principaux ordres...	117
3.2.1.6.1.1.3. Variations spatiales des abondances relatives des principales familles	119
3.2.1.6.1.1.4. Variations spatiales des abondances relatives des principales espèces.	120
3.2.1.6.1.2. Variations saisonnières des abondances.	121
3.2.1.6.1.2.1. Variations saisonnières de l'ensemble des communautés.	121
3.2.1.6.1.2.2. Variations saisonnières des abondances relatives des principales espèces.	122
3.2.1.7. Analyse de la diversité des communautés de macroinvertébrés.....	123
3.2.1.7.1. Variations spatiales des indices de Shannon et d'équitabilité.....	123
3.2.1.7.1.1. Variations spatiales de l'indice de Shannon.	123
3.2.1.7.1.2. Variations spatiales de l'indice d'équitabilité.....	125
3.2.1.7.2. Variations saisonnières des indices de Shannon et d'équitabilité.	126
3.2.1.7.2.1. Variations saisonnières de l'indice de Shannon.	126
3.2.1.7.2.2. Variations saisonnières de l'indice d'équitabilité.....	127
3.2.1.8. Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	128
3.2.1.8.1. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques de l'eau et la distribution des principales espèces.....	128
3.2.1.9. Espèces indicatrices des différents types d'habitats.	129
3.2.2. Discussion.	131
3.3. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA.	138
3.3.1. Résultats.	138
3.3.1.1. Analyse de la qualité des eaux à partir des indices de diversité.....	138
3.3.1.1.1. Indice Chironomidae.	138
3.3.1.1.2. Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET).....	138
3.3.1.1.3. Pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET)..	139
3.3.1.1.4. Indice de tolérance à la pollution (ET/C).	140
3.3.1.2. Analyse de la qualité des eaux à partir de l'indice biosédimentaire (IBS).....	141
3.3.1.3. Corrélation entre les indices étudiés.	141
3.3.2. Discussion.	142
CONCLUSION.	146
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	150
ANNEXES.	I

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THÈSE..... VII

DÉDICACE

À toute ma famille, pour qui je suis un exemple et qui m'a exhorté au travail bien fait et inculqué les bonnes valeurs sociales et morales.

À mon père KRESSOU ALBERT, qui a très tôt compris la nécessité pour nous de faire des études, afin de nous insérer socialement.

À mes neveux et nièces, à qui, je l'espère, ce travail servira d'exemple.

AVANT-PROPOS

Ce travail a été effectué dans le cadre de la collaboration entre l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) de Côte d'Ivoire et l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG). Il fait partie des programmes de recherche du projet dénommé "Inventaire hydrobiologique de l'écosystème du fleuve Bandama situé dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire). Ce projet s'inscrit dans l'accord-cadre de coopération signé le 07 septembre 2017 entre l'UJLoG et l'OIPR, portant sur la mise en œuvre de projets de recherche dans les parcs nationaux et Réserves naturelles de Côte d'Ivoire. Il fait suite aux travaux déjà réalisés sous autorisation N° 074/MINSEDD/OIPR/DARH/oa, qui ont mis en exergue l'enjeu de la conservation du fleuve Bandama et les atouts particuliers que représente ses méandres pour la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il nous est agréable de remercier toutes les personnes qui ont contribué à son aboutissement à divers niveaux. Qu'elles trouvent ici l'expression de notre grande reconnaissance.

Au Professeur TIDOU Abiba Sanogo, Épouse KONÉ, Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous exprimons notre vive reconnaissance pour ses encouragements à la recherche scientifique et pour avoir autorisé notre inscription en thèse de Doctorat Unique ;

Au Professeur KONÉ Tidiani, Professeur Titulaire, Vice-Président chargé de la Pédagogie de la Vie Universitaire de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour sa convivialité et ses encouragements au travail bien fait ;

Au Docteur KOUASSI Lazare, Professeur Titulaire, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) de l'Environnement à UJLoG, pour son soutien inestimable à l'avancement de la recherche ;

Au Docteur KOFFI Béné Jean Claude, Professeur Titulaire, Directeur du laboratoire de Biodiversité et Écologie Tropicale, pour avoir accepté notre admission au sein du laboratoire ;

Au Professeur KOUADIO Yatty Justin, Professeur Titulaire de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, nous exprimons notre vive reconnaissance pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse ;

Au Professeur OUATTARA Allassane, Professeur Titulaire de l'Université Nangui Abrogoua, nous disons sincèrement merci, pour votre participation à ce jury ;

Au Docteur ASSEMIEN N'guessan Emmanuel, Maître de conférences de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous vous sommes reconnaissant d'avoir accepté d'être membre du jury de cette thèse ;

Au Docteur ABOUA Benié Rose Danielle, Maître de conférences de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, pour avoir accepté d'être membre du jury de cette thèse ;

Au Docteur BONY Kotchi Yves, Maître de Conférences, pour nous avoir fait confiance et accepté d'être notre Directeur de thèse, pour nous avoir permis de faire nos premiers pas dans la recherche à ses côtés. Nous tenons aussi à lui témoigner notre infinie gratitude pour son soutien, ainsi que ses sages conseils prodigués en vue du bon déroulement de cette thèse ;

Au Docteur feu KONAN Koffi Félix, Maître de Conférences, pour nous avoir accepté au sein de l'Équipe de Recherche sur les Milieux Humides, au laboratoire de Biodiversité et Écologie Tropicale. Reposez en paix Professeur ;

Nos remerciements vont également à l'endroit des Docteurs GROGA Noël, Maître de Conférences et BOUSSOU Koffi Charles, Maître de Conférences, tous deux Enseignants-Chercheurs à l'UJLoG de Daloa, pour les conseils et les encouragements qu'ils nous ont prodigués durant ces quatre années de travaux de recherche ;

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements au Docteur ALLOUKO Jean-Renaud, Maître Assistant, Enseignant-Chercheur, à l'UJLoG de Daloa, pour avoir pu bénéficier de votre expérience, de vos qualités scientifiques et de vos conseils judicieux qui ont été décisifs dans l'aboutissement de cette thèse ;

À tout le personnel de l'OIPR, notamment le Colonel TONDOSSAMA Adama, Directeur Général de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR), pour avoir autorisé la réalisation de ce travail au sein de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama ;

Au Capitaine N'DRIN N'drin Éhié Épouse BRÉGA, Chef Secteur (CS) OIPR de Katiola, au Lieutenant KAHOU Camille Irené, Chef d'équipe, ainsi qu'à toute l'équipe de l'OIPR du secteur Haut-Bandama de Katiola, pour nous avoir accueilli au sein de leur service et pour le soutien qu'ils nous ont apporté lors de la réalisation de cette thèse ;

Nous tenons également à remercier le Docteur KOUASSIN'gouan Cyrille, Chef du Programme Pêche et Aquaculture Continentales du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) et son équipe de la station piscicole du CNRA à Bouaké. Nous vous sommes infiniment reconnaissant pour votre contribution au bon déroulement des travaux de terrain de cette thèse, en acceptant de mettre à notre disposition les appareils de mesure des paramètres physiques et chimiques de l'eau ;

Notre reconnaissance va également à l'endroit du Professeur KOUAMELAN Essetchi Paul, Professeur Titulaire, Directeur de l'UFR Biosciences de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, au Docteur BERTÉ Siaka, Maître de Conférences, Enseignant-Chercheur à l'UFR-Biosciences de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, et à toute l'équipe d'échantillonnage d'hydrobiologie pour leurs conseils. Merci de nous avoir servi de modèle dans la vie ;

Grand merci à nos guides et leurs collaborateurs, au Centre de la Réserve (sous-préfecture de Bouandougou), à Messieurs LADJI Kamagaté (Dit le Concentré), LASSINÉ Camara, ABOULAYE Kamagaté et Monsieur OUPO Lassiné gardien de la base OIPR de Sinaïm. Au Nord (Sous-préfecture de Tortiya), à feu Messieurs SILOUÉ Yaramissa et SORO Nawa, pour leur bon accueil et leur effort personnel consenti durant toute la durée de l'étude de terrain de cette thèse ;

Nous tenons également à remercier Monsieur NOHORÉ Gbodiallo Guikou, Professeur de CAFOP à la retraite, pour ses sages conseils. Papa, veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude ;

À tous nos amis étudiants inscrits en thèse de Doctorat à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, plus particulièrement Messieurs KAMAGATÉ El Hadj Issouf, N'DO Bi Boly Valarie, KOUADIO Atta Léonard, ACHUÉ Ogou Stéphane, ZAMBLÉ Bi Tha Thirolien, DRAMANE Koffi Bakari et N'GUESSAN Konan Serge Alain et au Docteur DJÉNÉ Kouakou Roland, pour leurs points de vue et leur amabilité qui nous ont été fort utiles. Nous leurs témoignons notre reconnaissance infinie ;

Nous exprimons nos chaleureux remerciements à mon père KRESSOU Albert, à ma mère YAO Yaa Véronique, ainsi qu'à tous mes frères et sœurs, Docteur KRESSOU Train Thibaud, pharmacien, Monsieur KRESSOU Kouadio Marc, enseignant des Sciences de la Vie et de la Terre au Lycée Moderne d'Oumé, Monsieur KRESSOU Serge, pasteur à l'église des Assemblées de Dieu, Monsieur KRESSOU Ange, élève, Monsieur KRESSOU Marcel, informaticien, Madame SAN Affia Claudine, institutrice et Monsieur TRAORÉ Adama machiniste à la Filtisac, pour leur soutien durant mes années d'études. Nous vous remercions et nous vous sommes infiniment reconnaissants. Dieu vous bénisse pour avoir compris l'importance de ce travail ;

À ma belle-famille, la famille ZÉGBI, sous la responsabilité de la quelle j'ai laissé Mademoiselle BOGA Aude Mariette, ma fiancée, qui malgré la séparation géographique a su tout donner pour me soutenir dans cette épreuve. Merci de nous avoir supportés ;

Grand merci à Mademoiselle DIARRASSOUBA Valérie, opératrice économique à Daloa, pour son soutien inestimable pendant les instants pénibles de la réalisation de ce travail. Miss, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude, Dieu le tout puissant vous le rende au centuple ;

Merci à Madame KIPRÉ Ouguimré Hortense Jusèl et à Madame BLEI Valentine respectivement technicienne de laboratoire à l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG de Daloa) et secrétaire à la Clinique Antilope de Daloa (Tazibouo) pour leur soutien lors de la réalisation de cette thèse ;

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse et qui ont été omises dans la liste citée plus haut, trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Et, il nous est bien évidemment impossible de ne pas rendre **HONNEUR** et **GLOIRE** à **DIEU**, pour tous ses bienfaits. **AMEN !**

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACP	: Analyse en Composante Principale
AFD	: Analyse Factorielle Discriminante
BB	: Station Bandama Badasso
BN	: Station Bandama Nabédjakaha
BSA	: Station Bandama Sinaïm A
BSB	: Station Bandama Sinaïm B
BTA	: Station Bandama Tortiya A
BTB	: Station Bandama Tortiya B
BYA	: Station Bandama Yayakaha A
BYB	: Station Bandama Yayakaha B
CAFOP	: Centre d’Aptitude et de Formation Professionnelle
CHA	: Analyse de Classification Hiérarchique Ascendante
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique (Côte d’Ivoire)
MDDEF	: Ministère du Développement Durable De l’Environnement de la Faune et des Parcs
MS	: Mare Sinaïm
MVS	: Mare Vodougue Sinaïm
NTU	: Unité Néphéломétrique de Turbidité
NYA	: Station Nambyon Yayakaha A
NYB	: Station Nambyon Yayakaha B
OIPR	: Office Ivoirien des Parcs et Réserves (Côte d’Ivoire)
ppm	: parties pour million (Unité de mesure de la turbidité)
RDA	: Analyse Canonique de Redondance
RFFHB	: Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Côte d’Ivoire)
SODEFOR	: Société de Développement des Forêts (Côte d’Ivoire)
SODEXAM	: Société de développement et d’exploitation aéroportuaire, aéronautique et météorologique (Côte d’Ivoire)
SOM	: Carte Auto organisatrice de Kohonen
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d’Ivoire)
UFHB	: Université Félix Houphouët Boigny d’Abidjan Cocody (Côte d’Ivoire)
UFR	: Unité de Formation et de Recherche
UNESCO	: Organisation des Nation-Unis pour la Science et la Culture

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Variables impliquées et algorithmes entrant dans la formulation de l'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY).	21
Tableau II : Classes de valeurs de l'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY) et appréciation de la qualité écologique de l'eau.	21
Tableau III : Codes des différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	26
Tableau IV : Scores de sensibilité des espèces indicatrices de l'Indice Biosédimentaire (IBS).....	45
Tableau V : Classes de qualité de l'Indice Biosédimentaire (IBS).....	47
Tableau VI : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	79
Tableau VII : Composition et occurrences des espèces de macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	87
Tableau VIII : Répartition spatiale de la richesse spécifique des macroinvertébrés capturés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	96
Tableau IX : Proportions (en %) des catégories d'espèces définies sur la base de l'occurrence aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	99
Tableau X : Proportions (en %) des espèces constants observés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019... ..	99
Tableau XI : Résultats du test de similarité de Jaccard exprimés en pourcentage des espèces communs aux stations prises deux à deux dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	106
Tableau XII : Différentes tailles de carte de Kohonen et les erreurs de quantification et topographique correspondantes.....	107
Tableau XIII : Répartition du nombre de familles de macroinvertébrés aquatiques appartenant aux quatre groupes trophiques en fonction des groupes définis par la SOM entre janvier 2018 et février 2019.	113
Tableau XIV : Proportions des familles appartenant aux huit classes de macroinvertébrés aquatiques en fonction des groupes définis par la SOM entre janvier 2018 et février 2019.	113

Tableau XV : Résultats de la classification obtenue par l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) et le test "leave-one-out" de validation croisée.	115
Tableau XVI : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'AFD sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	116
Tableau XVII : Abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	118
Tableau XVIII : Abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	120
Tableau XIX : Abondances relatives des principales espèces de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	121
Tableau XX : Indice Chironomidae et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	138
Tableau XXI : Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	139
Tableau XXII : Proucentage en Éphéméroptères-Trichoptères et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	140
Tableau XXIII : Indice de tolérance à la pollution et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	140
Tableau XXIV : Indice Biosédimentaire et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	141
Tableau XXV : Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les indices étudiés pour évaluer la qualité écologique des eaux aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	142

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la Réserve de Flore et de Faune du Haut-Bandama.....	8
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la région du Hambol réalisé à partir des moyennes des données climatiques de la SODEXAM de 2007 à 2018.	9
Figure 3 : Matériel de collecte des données des paramètres physico-chimiques et des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.	24
Figure 4 : Localisation des différentes stations d'échantillonnage définies dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	26
Figure 5 : Vue partielle de la station Bandama Nabédjakaha (BN), définie sur le fleuve Bandama à l'extérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	28
Figure 6 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya A (BTA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	29
Figure 7 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya B (BTB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	29
Figure 8 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm A (BSA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	30
Figure 9 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm B (BSB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	31
Figure 10 : Vue partielle de la station Mare Sinaïm (MS), définie sur une mare à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.	32
Figure 11 : Vue partielle de la station Mare Vodougue Sinaïm (MVS), définie sur une mare à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama	32
Figure 12 : Vue partielle de la station Nambyon Yayakaha A (NYA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	33
Figure 13 : Vue partielle de la station Nambyon Yayakaha B (NYB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	34
Figure 14 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha A (BYA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	34
Figure 15 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha B (BYB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	35
Figure 16 : Vue partielle de la station Bandama Badasso (BB), définie sur le fleuve Bandama à l'extérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama	36

Figure 17 : Échantillonnage des macroinvertébrés pélagiques à l'aide d'un filet troubleau dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	38
Figure 18 : Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques à l'aide de la benne Van Veen dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019. .	38
Figure 19 : Schéma simplifié de la carte auto organisatrice de Kohonen.	49
Figure 20 : Variations spatiales de la température dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	56
Figure 21 : Variations spatiales de la température dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	56
Figure 22 : Variations spatiales du pH dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	57
Figure 23 : Variations spatiales du pH dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	58
Figure 24 : Variations spatiales de la teneur en oxygène dissous dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	59
Figure 25 : Variations spatiales de la teneur en oxygène dissous dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	59
Figure 26 : Variations spatiales de la conductivité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	61
Figure 27 : Variations spatiales de la conductivité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	61
Figure 28 : Variations spatiales de la turbidité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	62
Figure 29 : Variations spatiales de la turbidité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	63
Figure 30 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillé dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	64

Figure 31 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillé dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	65
Figure 32 : Variations spatiales de la vitesse du courant dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	66
Figure 33 : Variations spatiales de la vitesse du courant dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	67
Figure 34 : Variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	68
Figure 35 : Variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	68
Figure 36 : Variations saisonnières de la température dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	69
Figure 37 : Variations saisonnières du pH dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	70
Figure 38 : Variations saisonnières de l'oxygène dissous dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	71
Figure 39 : Variations saisonnières de la conductivité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	72
Figure 40 : Variations saisonnières de la turbidité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	73
Figure 41 : Variations saisonnières de la largeur du lit mouillé dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	74
Figure 42 : Variations saisonnières de la vitesse du courant dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	75
Figure 43 : Variations saisonnières de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	76

Figure 44 : Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des stations à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	78
Figure 45 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des variables physico- chimiques et hydromorphologiques mesurées aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	78
Figure 46 : Boîtes à moustache indiquant la différence des variations des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques entre les groupes définis par l'ACH entre janvier 2018 et février 2019.	80
Figure 47 : Contribution des différentes classes dans la diversité spécifique des macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	86
Figure 48 : Composition spécifique des ordres d'Insectes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	97
Figure 49 : Composition spécifique des ordres de Gastéropodes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	97
Figure 50 : Proportions en nombre d'espèces des quatre groupes trophiques de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve de Flore et de Faune du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	101
Figure 51 : Répartition spatiale des quatre groupes trophiques de macroinvertébrés aquatiques capturés aux différentes stations d'échantillonnage dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	102
Figure 52 : Variations spatiales de la richesse spécifique dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	103
Figure 53 : Variations spatiales de la richesse spécifique dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019....	104
Figure 54 : Variations saisonnières de la richesse spécifique dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	105

Figure 55 : Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la SOM sur la base des familles de macroinvertébrés dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	108
Figure 56 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence des familles de macroinvertébrés récoltées dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	108
Figure 57 : Patron de distribution de chaque famille de macroinvertébrés sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des familles de macroinvertébrés récoltées dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	110
Figure 58 : Distribution des familles de macroinvertébrés récoltés dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019 dans chaque groupe défini par la SOM.	112
Figure 59 : Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur les groupes (I à III) établis par la SOM et les variables physico-chimiques et hydromorphologiques relevés aux différentes stations dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.....	114
Figure 60 : Cercle de corrélation des variables environnementales discriminants les groupes dans le plan F1 x F2 de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD).....	116
Figure 61 : Contribution quantitative des classes de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	117
Figure 62 : Variations saisonnières des abondances de macroinvertébrés collectés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	122
Figure 63 : Variations saisonnières des abondances relatives des principales espèces de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	123
Figure 64 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	124
Figure 65 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	124
Figure 66 : Variations spatiales de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	125

Figure 67 : Variations spatiales de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	126
Figure 68 : Variations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	127
Figure 69 : Variations saisonnières de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	128
Figure 70 : Analyse de Redondance (RDA) des principales espèces de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve Haut-Bandama et des variables environnementales relevés aux différentes stations entre janvier 2018 et février 2019.	129
Figure 71 : Typologie abiotique des groupes de stations et les espèces indicatrices associées avec les valeurs indicatrices entre parenthèses.	131

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte de la situation géographique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	II
Annexe 2 : Fiche de terrain de collecte des données mésologiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	III
Annexe 3 : Résultats du test de Shapiro-Wilk effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.	IV
Annexe 4 : Photographies de quelques Insectes et Mollusques d'eaux douces.	V

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire, pays situé en Afrique de l'Ouest, a pris conscience des menaces qui pèsent sur ses ressources biologiques. Par conséquent, elle s'est dotée d'un réseau d'aires protégées, regroupant huit parcs nationaux et six réserves naturelles (Anonyme 1, 1999). Ces aires protégées, bien que ne couvrant que 6,5 % du territoire national (soit 2,1 millions d'hectares), renferment l'essentiel de la diversité biologique nationale (OIPR, 2015). La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFFHB), situé dans le Centre-nord de la Côte d'Ivoire, fait partie de ce vaste réseau d'aires protégées (OIPR, 2015). La préservation de la qualité écologique des eaux de cet espace géographique protégé est un enjeu majeur pour la gestion durable de l'environnement mais également, pour celle de sa biodiversité, en raison des pressions anthropiques fortes et croissantes qui s'y exercent (Lévêque *et al.*, 1983). En effet, les exigences du développement dans cette partie du pays axé autour du fleuve Bandama, ont engendré des activités qui constituent de plus en plus des menaces pour les milieux aquatiques, particulièrement pour ceux de la Réserve du Haut-Bandama. Il s'agit entre autres, des rejets industriels et de l'orpaillage clandestin. Le réseau hydrographique de la Réserve est constitué de plusieurs systèmes d'eaux superficielles dont le fleuve Bandama, la rivière Bou (son principal affluent), la rivière Nambyon et quelques mares temporaires. La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est traversée du Nord au Sud par le fleuve Bandama sur 160 km, soit 15 % de sa longueur totale, en formant de nombreux méandres (Lauginie, 2007).

Ces écosystèmes d'eaux douces jouent un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité dulçaquicole, le fonctionnement des organismes et dans les cycles de la matière organique (Lévêque, 1997 ; Weis *et al.*, 2000 ; Sherman & Anderson, 2002). En effet, pour Loreau & Hector (2001), Tilman & Wardle (2001), Tilman *et al.* (2002), Van Ruijven & Berendse (2005) et Tilman (2005), les interactions entre les espèces dans un milieu aquatique favorisent l'augmentation de la productivité de la ressource halieutique, la fixation du carbone, la diminution des pertes de nutriments par lixiviation et la stabilité de cet écosystème. Cependant, la stabilité, la qualité et la quantité des services écosystémiques d'un milieu aquatique sont fortement influencées par la géologie, la végétation, la physiographie de la vallée où ils se trouvent et plus encore par les activités humaines (Schlosser, 1991). Ces activités modifient la nature des sols et les voies hydrologiques, affectant inévitablement leur intégrité écologique. Ainsi, la construction de grands barrages à usage hydroélectrique et de nombreux autres petits barrages à usages divers sur le Bandama, entraîne la baisse du débit de ce fleuve (Lévêque *et al.*, 1983 ; Traoré, 1996). C'est le cas du barrage à usage hydroagricole situé à une centaine de kilomètres au Nord de la Réserve, dans le complexe sucrier de Ferkéssédougou 2

qui, en saison sèche, perturbe le débit du Bandama à l'intérieur de la Réserve. De plus, l'impact sur les milieux aquatiques de cette Réserve est lié au rejet dans les eaux de la rivière Bou, des déchets de l'extraction minière réalisée en amont de la Réserve par les chercheurs de diamant et d'or (Bouché, 1996). Ces déchets comblent progressivement le lit de cette rivière jusqu'à son confluent avec le fleuve Bandama dans la Réserve, d'où la forte turbidité de ces milieux. À cela s'ajoute, au niveau de la Réserve du Haut-Bandama, l'activité d'orpaillage clandestine exercée dans le lit principal du fleuve par les exploitants clandestins (Dabalem & Paul, 2014). Cette activité conduit au rejet dans le fleuve Bandama de divers produits chimiques (mercure, soufre et acides) utilisés pour le lavage de l'or, mais également à l'obstruction du lit principal de ce fleuve par une importante quantité de terre issue du lessivage de l'or. En outre, le développement des cultures de rentes dans le bassin versant à l'extérieur et à l'intérieur de la Réserve entraîne un accroissement des apports en fertilisants et en pesticides dans les milieux aquatiques de la Réserve. Cette situation provoque l'accentuation de l'envahissement de ces milieux par les végétaux aquatiques et les algues, induisant leur enrichissement en matières en suspension (Halle & Bruzon, 2006).

Vu l'importance des milieux aquatiques de la Réserve, il est apparu nécessaire d'assurer leur conservation et leur gestion durable par le suivi de leur qualités. L'évaluation et le suivi de la qualité des eaux sont réalisés généralement à partir de la méthode physico-chimique. Cette méthode est réalisée à partir d'une série de mesures de paramètres physiques et chimiques que l'on compare par la suite à des normes ou critères de qualité éprouvés. Cette approche, bien qu'utile souffre d'un certain nombre d'insuffisances (Karr *et al.*, 1986 ; Ohio EPA, 1987). En effet, l'évaluation de la qualité de l'eau basée sur la mesure de la concentration de polluants ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé d'un écosystème. Cette méthode analytique bien qu'onéreuse, ne renseigne pas suffisamment sur la qualité de l'écosystème et n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection. Elle renseigne encore moins sur les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents polluants sur les organismes vivants. Ainsi, l'évaluation et la surveillance de la qualité des eaux se basent sur l'utilisation d'indices biotiques mis en place à partir des organismes aquatiques vivants tels que les poissons, les diatomées, les algues et les macroinvertébrés aquatiques (Edia, 2008 ; Camara, 2013). Parmi ces organismes, les macroinvertébrés aquatiques sont de loin les plus utilisés comme bio-indicateurs pour l'évaluation de la qualité des eaux (Clarke *et al.*, 2002).

Les macroinvertébrés aquatiques sont de bons indicateurs biologiques en raison de leur cycle de vie relativement long, leur sédentarité, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de leur habitat (Moisan & Pelletier, 2008). Enfin, leurs structures reflètent particulièrement bien l'état et l'intégrité écologique des milieux aquatiques, car ils réagissent très vite aux changements survenant dans leur environnement. En effet, les macroinvertébrés intègrent les effets cumulatifs et synergiques des perturbations physiques, biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques. Ils permettent aussi d'évaluer les répercussions réelles de la pollution et de l'altération des habitats aquatiques. L'intégrité écologique d'un milieu aquatique est dégradé lorsque les communautés d'organismes qui y vivent ne sont pas équilibrées et bien intégrées (Karr *et al.*, 1986). De ce fait, les macroinvertébrés aquatiques deviennent les juges de l'état écologique et de l'intégrité des écosystèmes aquatiques (Roche *et al.*, 2005).

Toutefois, l'utilisation de ces communautés biologiques dans le cadre de l'évaluation de la qualité écologique des milieux aquatiques nécessite la connaissance de leur diversité et leur structure (Allan & Johnson, 1997) ainsi que la structure trophique et la tolérance des espèces à la pollution (Reese, 2002 ; Merritt *et al.*, 2008). Le fleuve Bandama a fait l'objet de plusieurs études dont celle d'Aboua (2012) qui a porté sur le développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama. Par ailleurs, cette aire protégée a bénéficiée d'une étude portant sur la dynamique d'occupation des sols à partir d'images satellitaires (Kpan, 2015). Une étude partielle sur la macrofaune aquatique du fleuve Bandama dans la Réserve a également été réalisée en 2017 dans le cadre des activités du projet Droits de Propriété et Développement du Diamant Artisanal II (DPDDA II). Cette étude d'impacte environnementale a porté sur le diagnostic écologique et socio-économique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut Bandama menacée par les activités humaines. Malgré la persistance des activités anthropiques qui pèsent sur les milieux aquatiques de la Réserve, aucune étude dynamique sur la macrofaune benthique de cette Réserve n'a été réalisée pour évaluer l'état d'intégrité écologique de ces milieux aquatiques. Au regard de cette situation, une étude d'évaluation et de suivi de la qualité écologique des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama par l'utilisation des indicateurs biologiques comme les macroinvertébrés aquatiques s'avère donc nécessaire.

L'objectif général que vise la présente étude est d'évaluer l'état d'intégrité écologique des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

De façon spécifique, il s'agira d'abord *(i)* de caractériser l'environnement abiotique des milieux aquatiques de la Réserve, *(ii)* de déterminer la composition et la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques de la Réserve, *(iii)* et enfin d'évaluer la qualité écologique des milieux aquatiques de la Réserve.

Hormis l'introduction et la conclusion, le contenu de ce manuscrit est articulé autour de trois chapitres. Le premier chapitre fait référence aux généralités sur la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama et sur les macroinvertébrés aquatiques. Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés dans la collecte et le traitement des données. Enfin, le dernier chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Ce mémoire s'achève par une conclusion.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

1.1. Présentation du milieu d'étude

1.1.1. Situation géographique et caractéristiques générales

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFFHB) a été créée par décret N° 73-133 du 21/03/73. Elle est située entre les 8°10'25,3'' et 8°38'25,01'' de latitude Nord et les 5°12'14,1'' et 5°37'55,3'' de longitude Ouest (Figure 1). La RFFHB s'étend sur une superficie de 123000 hectares. Elle est issue des forêts classées du Haut-Bandama, du Bandama blanc et des forêts claires préalablement non classées qui couvrent respectivement une superficie de 56300, 24000 et 42700 hectares (Lauginie, 2007). La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est située entre deux régions administratives et sept sous-préfectures. Ce sont dans la région du Hambol, les sous-préfectures de Katiola et de Fronan au Sud, à l'Est la sous-préfecture de Niakaramandougou, au Nord celles de Tortiya et de Boron. Dans la région du Béré, à l'Ouest les sous-préfectures de Marandala et de Bouandougou (OIPR, 2015).

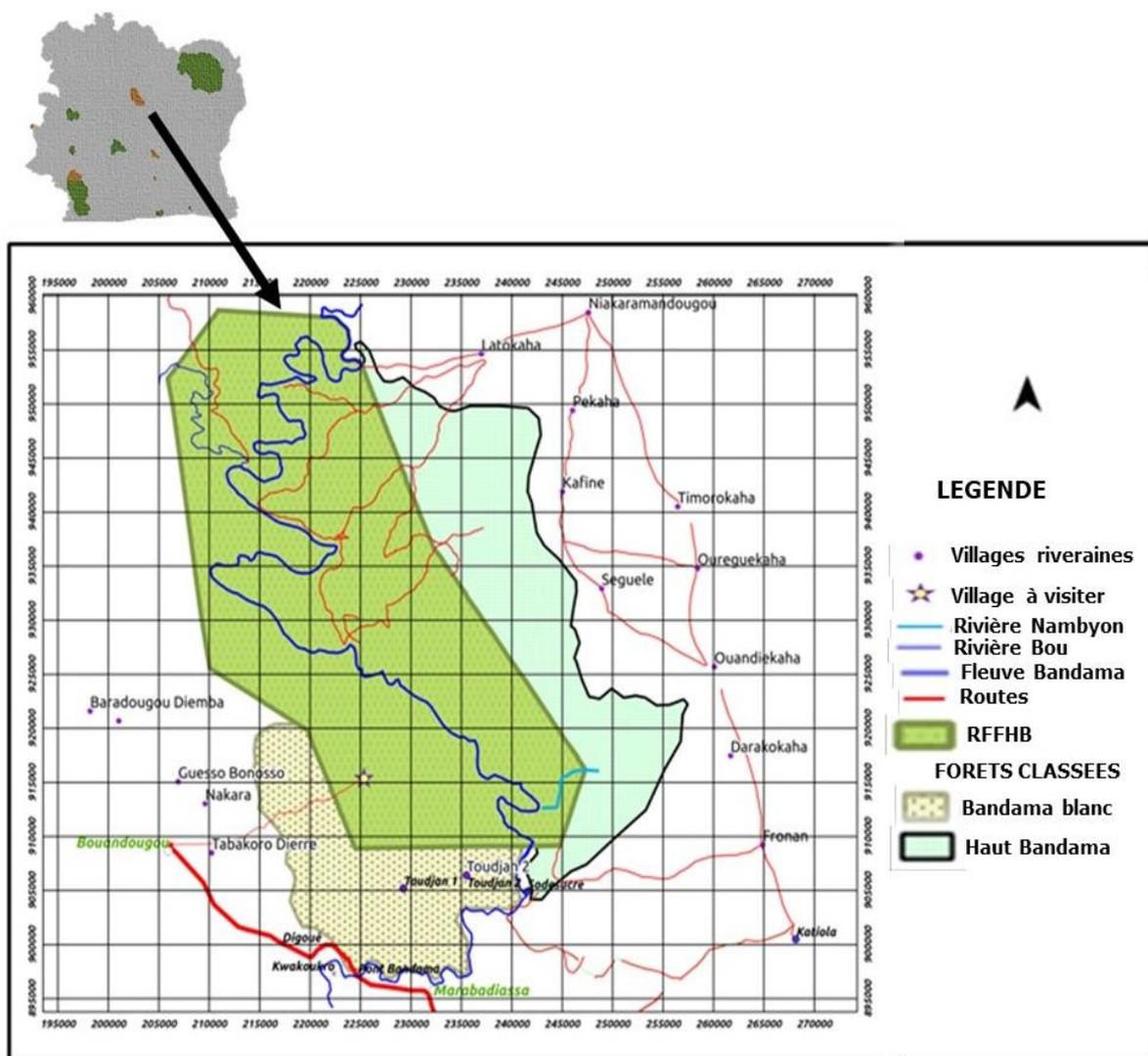


Figure 1 : Situation géographique de la Réserve de Flore et de Faune du Haut-Bandama (RFFHB)

1.1.2. Géologie et géomorphologie

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama se situe sur le socle précambrien qui couvre 97,7 % du territoire ivoirien et est constituée en majorité de granites, de roches métamorphiques et de roches basiques. Il est presque toujours recouvert de latérites ou d'alluvions dans les lits majeurs des cours d'eau (Halle & Bruzon, 2006). Dans la Réserve du Haut-Bandama, le paysage relativement monotone est celui d'un glaciais caractéristique de la région des plateaux du Nord du pays. Ces plateaux mollement ondulés se répartissent en vastes étages d'une altitude inférieure à 300 mètres. Seul dans le Sud-est de la Réserve se trouvent quelques collines rocheuses, émergeant de ses formations tabulaires, pour s'élever jusqu'à 450 mètres d'altitude (Rocherie, 1960). Les formations géologiques dans la Réserve du Haut-

Bandama se succèdent selon une orientation Sud/Sud-ouest et Nord/Nord-est, avec au Nord-ouest et au Sud-ouest des bandes de roches métamorphiques rigides et déprimés (schistes et flyschs), où le Bandama forme de nombreux méandres et au Centre-nord, un socle granitique aux formes moins rigides, où se dressent plusieurs inselbergs (Avenard, 1971).

1.1.3. Climat

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est soumise à un climat tropical sub-humide, parfois qualifié de sub-soudanien de transition (Guillaumet & Adjanohoun, 1971 ; Lauginie, 2007 ; OIPR, 2015). La Réserve du Haut-Bandama est soumise à deux saisons climatiques : une saison sèche, qui s'étend de novembre à février accentuée par l'harmattan entre janvier et février et une saison pluvieuse, couvrant la période de mars à octobre, avec des grandes précipitations en septembre (Figure 2). La pluviométrie moyenne annuelle dans la Réserve du Haut-Bandama est d'environ 1230 millimètres. Les autres caractéristiques du climat sont des amplitudes thermiques quotidiennes et annuelles relativement importantes de l'ordre de 26,6 °C, un taux d'humidité variant de entre 35 et 79 % et un débit moyen annuel de 700 m³/s (Fabio *et al.*, 2002).

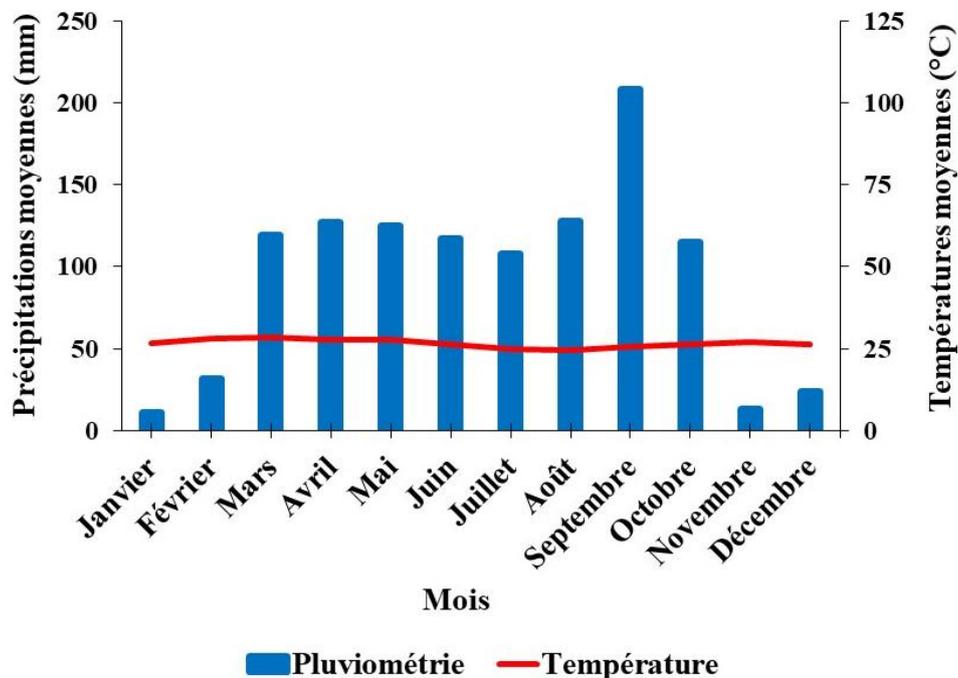


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la région du Hambol réalisé à partir des moyennes des données climatiques de la SODEXAM de 2007 à 2018.

1.1.4. Végétation et sols

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama appartient dans son ensemble au secteur sub-soudanais, encore dénommé soudano-guinéen. Elle se distingue en plus des savanes et des forêts claires caractéristiques de l'ensemble du domaine soudanais, par la présence d'îlots parfois importants de forêts denses sèches surtout dans la partie Sud de la Réserve (Poilecot, 1996). Les formations savaniques de la Réserve comportent un tapis herbacé très dense avec une strate supérieure formée par les Poaceae (*Panicum phragmitoides*) associée aux grandes Andropogoneae, comme : *Androgon gayanus*, *A. schirensis*, *Schizachyrium sanguineum* et *Laudetia simplex*. Les formations denses dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama sont représentées par les îlots forestiers et les forêts galeries du Bandama, du Bou et de leurs affluents. Les groupements particuliers de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama sont constitués de formations aquatiques et saxicoles. Les formations aquatiques sont représentées par des mares temporaires ou permanentes qui apparaissent dans les dépressions au sein des savanes. Quant aux formations saxicoles, elles occupent les affleurements et les petits dômes granitiques (inselbergs) localisés dans la partie centrale de la Réserve (Avenard, 1971).

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est pour sa grande part composée de sols ferralitiques moyennement désaturés. Les bas-fonds et les plaines alluviales sont composés de sols hydromorphes ou des sols peu évolués d'apport hydromorphes (Avenard, 1971). Selon la zonation et le substrat géologique de la Réserve, on distingue quatre types de sols ferralitiques moyennement désaturés. Au Nord-ouest de la Réserve, se trouve les sols ferralitiques du groupe remanié modal, à facies induré, issus de granites, ayant une texture sablo-argileuse en surface et argileuse en profondeur. Au Centre de la Réserve et sur la rive gauche du Bandama, se trouve sur du granite une juxtaposition de sols ferralitiques du groupe remanié modal et de sols du groupe typique dépourvus d'éléments grossiers. Au Centre de la Réserve et sur la rive droite du Bandama, se distingue des sols ferralitiques du groupe remanié, appauvri, avec des horizons supérieurs sableux à sablo-argileux. Enfin, au Centre-ouest et à l'Est de la Réserve, se trouve des sols ferralitiques du groupe remanié, sous-groupe induré marquées par la formation de carapaces et de cuirasses sur les quelques sommets du Sud-est (Perraud, 1971). Les sols hydromorphes sont des sols minéraux des bas-fonds et des plaines alluviales, qui témoignent d'une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau, soit à la suite d'un engorgement temporaire, soit de la remontée d'une nappe phréatique (Perraud, 1971).

1.1.5. Hydrographie

Le principal cours d'eau dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est le fleuve Bandama qui prend sa source dans le Nord de la Côte d'Ivoire à 480 mètres d'altitude entre les villes de Korhogo et de Boundiali. Le fleuve Bandama se jette au sud du pays dans l'océan Atlantique à Grand-Lahou. Les principaux affluents du fleuve Bandama sont la Marahoué en rive droite et le N'Zi en rive gauche (Camus, 1972 ; Lévêque *et al.*, 1983 ; Traoré, 1996). En raison de son orientation Nord-sud, le fleuve Bandama recouvre des zones différentes sur le plan climatique et biogéographique. À l'intérieur de la Réserve, plusieurs affluents comme la rivière Bou en rive droite et la rivière Nambyon en rive gauche se joignent à lui. Le bassin versant du Bandama couvre 37500 km², dont 3,5 % correspondent à l'emprise de la Réserve (Bouché, 1996). Le bassin supérieur du fleuve Bandama est lié au régime tropical de transition, avec une crue unique d'août à octobre et un tarissement rapide en novembre, conduisant à une longue période de basses eaux entre janvier et mai (Traoré, 1996). En saison sèche, le débit du fleuve est perturbé par l'existence d'un barrage situé à une centaine de kilomètres au Nord de la Réserve dans le complexe sucrier de Férékessedougou 2 (Kouassi, 1979).

1.1.6. Activités anthropiques environnantes

Plusieurs populations se sont installées aux alentours immédiats de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Principalement à l'Ouest dans la sous-préfecture de Bouandougou, on les rencontre au sein des villages de Mogogbrèkaha, Siréfiékaha, Sirikikaha, Kolokaha et Kamoro. Au Nord, dans la sous-préfecture de Tortiya, elles se retrouvent au sein des villages de Fougakaha et de Zanakaha. Au Sud-est, dans les sous-préfectures de Fronan et de Niakaramadougou. Ces habitants peuplent les villages de Tanakaha et Lewienkaha. Les ethnies dominantes autour de la Réserve sont les peuples Tagbana, Guimini, Sénoufo et Koryaka, surtout dans la zone Ouest (sous-préfecture de Bouandougou) (Coulibaly, 1980). L'ensemble de ces peuples traditionnellement cultivateurs et chasseurs appartiennent au grand groupe ethnique Sénoufo. Les cultures végétales rencontrées autour et dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama peuvent être classées en deux catégories que sont les cultures vivrières et industrielles. Les cultures vivrières dominantes dans la zone sont les tubercules (taros, ignames et manioc) ; les céréales (mils, sorghos, maïs et riz) et la banane plantain (Anonyme 2, 1982). Comme cultures industrielles on peut noter le coton, le tabac, l'anacarde, la canne à sucre et récemment la banane douce. La culture de la canne à sucre s'est développée dans le bassin du Bandama, autour du complexe sucrier de Férékessedougou 2, situé à une centaine de

kilomètres au Nord de la Réserve (Anonyme 2, 1982). L'ensemble de ces cultures sont fortement dépendantes de l'utilisation de produits phytosanitaires et de divers types d'engrais chimiques qui pourraient être transportés par l'eau de ruissellement dans les milieux aquatiques (Anonyme 2, 1982 ; Kangbéni *et al.*, 2012). Autour de la Réserve du Haut-Bandama s'est aussi développé l'élevage traditionnel massif de bovins à la faveur de l'installation des « Peuls » dans cette région du pays (Coulibaly, 1980). Ces animaux sont régulièrement conduit dans la Réserve pour paître et s'abreuver. Cette situation provoque la dégradation des berges. Par ailleurs, les pesticides sont couramment utilisés pour la pêche clandestine, aussi bien dans le fleuve Bandana, dans les rivières que dans les lacs (Roumeguere, 1986 ; Dien, 2018). Pour finir, l'orpaillage clandestin est l'activité la plus exercée autour et à l'intérieur de la Réserve du Haut-Bandama (OIPR, 2015). Cette activité pratiquée par les exploitants clandestins dans le lit principal du fleuve et les autres milieux aquatiques conduit au rejet de divers produits chimiques (mercure, soufre et acides) utilisés pour le lavage de l'or (Dabalem & Paul, 2014). En outre, l'orpaillage clandestin pourrait être l'une des causes de la forte turbidité des milieux aquatiques autour et à l'intérieur de la Réserve (Coulibaly, 1980).

1.2. Concept d'intégrité écologique

L'intégrité écologique d'un milieu aquatique est définie par ses composantes biotiques, mais également par les conditions et les processus qui génèrent et qui maintiennent ces composantes (Angermeier *et al.*, 1994). Ce concept est représenté selon trois grandes catégories indissociables dans les milieux que sont l'intégrité chimique, physique et biologique. L'intégrité physique est l'ensemble des composantes physiques qui réfèrent majoritairement à l'hydrologie et à la géomorphologie (régime des sédiments), mais également la qualité d'un habitat qui supporte une communauté biologique équilibrée, en offrant un milieu aux aspects structurels diversifiés et qui ne limite pas les déplacements des organismes (Norris & Thoms, 1999). L'intégrité chimique représente une composition chimique de l'eau et les sédiments qui ne pourraient être nuisibles au biote aquatique (Novotny *et al.*, 2005). L'intégrité écologique désigne la qualité générale d'un milieu aquatique. Elle est utilisée au même sens que la santé du milieu (Karr, 1991). La dégradation des milieux aquatiques est due à l'action unique ou conjuguée de stress chimiques ou physiques qui s'y opèrent et qui produisent une séquence typique de changements des conditions et des processus biologiques avec l'augmentation des pressions qui perdurent dans le temps (Karr *et al.*, 1986 ; Davies & Jackson, 2006 ; Carvalho *et al.*, 2007). Ces milieux perdent ainsi leur intégrité écologique au fur et à mesure de l'altération des conditions physiques, chimiques et biologiques (Karr, 1996 ; Davies & Jackson, 2006). La

notion d'intégrité écologique réfère aussi à la capacité d'un écosystème à soutenir et à maintenir une communauté d'organismes en équilibre, bien intégrée, capable de s'adapter au changement et ayant pour une écorégion donnée, une composition spécifique, une diversité et une organisation fonctionnelle (Karr *et al.*, 1986).

La dégradation de l'intégrité écologique des milieux aquatiques ne cesse d'augmenter puisque nos sociétés sous-estiment les produits et les services qu'ils nous confèrent. L'altération de l'intégrité écologique des milieux humides provoque la contamination et la diminution des ressources en eau, voir l'extinction d'espèces (Karr, 1996). Ainsi, le maintien de l'intégrité écologique des milieux aquatiques constitue un enjeu important pour l'humanité car, les milieux humides renferment une richesse vitale à l'ensemble des organismes présents sur terre. De plus, ils jouent un rôle central dans le maintien de la biodiversité dont les sociétés humaines bénéficient des biens et des services (Davies & Jackson, 2006 ; Carvalho *et al.*, 2007). La conservation de l'intégrité écologique des milieux aquatiques est d'autant plus importante dans les pays en voie de développement où le lien entre l'humain et l'environnement est encore plus étroit, dans le sens où ces milieux constituent parfois l'unique source d'approvisionnement en eau potable pour les populations locales et l'endroit où elles puisent la majorité de leurs apports protéiniques (Davies & Jackson, 2006).

1.3. Macroinvertébrés aquatiques

1.3.1. Définition

Les macroinvertébrés aquatiques sont des organismes dépourvus de colonne vertébrale, visibles à l'œil nu et mesurant plus de 0,5 mm. Ils habitent soit au fond (macroinvertébrés benthiques ou benthos), soit sur les berges (macroinvertébrés pélagiques et de surface) des milieux aquatiques (Touzin, 2008). Ils regroupent principalement les Insectes, les Crustacés, les Mollusques, les Annélides (Vers) et les Acariens. Parmi les macroinvertébrés, les Insectes constituent le groupe spécifique le plus diversifié. Ces derniers représentent près de 95 % des macroinvertébrés (Lee *et al.*, 2006).

1.3.2. Composition spécifique

Les macroinvertébrés aquatiques sont constitués des cinq groupes que sont les Insectes, les Mollusques, les Vers Annélides, les Crustacés et les Acariens.

Les Insectes sont des invertébrés appartenant à l'embranchement des Arthropodes (animaux aux pattes articulées), leur corps comprend une tête, un thorax et un abdomen.

La tête porte une paire d'antennes, des yeux (yeux composés et ocelles chez les larves et adultes d'hémimétaboles et chez les adultes d'holométaboles) ou simplement des stemmates chez les larves d'holométaboles ainsi que trois paires de pièces buccales. Le thorax est composé de trois segments portant trois paires de pattes (hexapodes) et deux paires d'ailes. L'abdomen comprend en général 11 segments ne portant pas d'appendices articulés sauf chez certaines larves d'hémimétaboles qui possèdent des crèques sur le onzième segment abdominal, ainsi que chez les adultes dont les huitièmes et neuvièmes segments abdominaux portent des appendices génitaux.

Chez les larves d'holométaboles, de fausses pattes (pseudopodes, pygopodes) ou des bourrelets locomoteurs peuvent se mettre en place au niveau du thorax comme au niveau de l'abdomen, mais ne correspondent pas aux appendices (Tachet *et al.*, 2003).

Les Mollusques aquatiques sont des organismes qui se distinguent par la présence d'une coquille calcaire constituée d'une seule pièce chez les Gastéropodes et de deux pièces articulées chez les Lamellibranches appelés également Pélécy-podes ou Bivalves (Lévêque, 1980).

Les Gastéropodes sont des Mollusques qui étaient primitivement pourvus d'une symétrie bilatérale qui s'est profondément altérée dans les espèces actuelles. La coquille des Gastéropodes sert de protection au corps de l'animal. Leur corps mou, non segmenté, dépourvu d'appendices articulés, se divise en trois grandes régions (tête, pied et masse viscérale). La tête porte une paire de tentacules contractiles à la base desquelles se trouvent les yeux. La bouche comprend généralement une mâchoire chitineuse sur la face dorsale et une radula (sorte de langue râpeuse) sur la face ventrale. Le pied est un organe musculueux, souvent bien développé, qui sert à la locomotion (reptation, fouissement). La masse viscérale enveloppée dans une membrane, le manteau, qui sécrète la coquille. Cette masse viscérale comprend les principaux organes. Par ailleurs, les Gastéropodes sont pourvus d'une cavité palléale formée par un repli du manteau, dans laquelle débouchent l'an-us et l'orifice urinaire. Cette cavité palléale abrite une branchie chez les Prosobran-ches (Lévêque, 1980). Les Pulmonés n'ont pas de branchies mais possèdent une cavité pulmonaire à plafond très vascularisé. Contrairement aux Gastéropodes terrestres, leurs yeux sont placés à la base des tentacules. Les Bivalves appelés autrefois lamellibranches sont des Mollusques comprimés latéralement ayant conservé leur symétrie bilatérale (Lévêque, 1980). Ils sont dépourvus de tête individualisée, de pharynx, de radula et de glandes salivaires. Le corps des Bivalves est protégé par une coquille composée de deux valves indépendantes mais articulées entre elles dorsalement et dans le plan médian au niveau de la charnière par un ligament. La bouche des Bivales est entourée de quatre palpes ciliés qui s'ouvrent directement dans l'œsophage. Ces Mollusques possèdent quatre palpes

labiaux et un byssus qui permet la fixation sur les substrats durs. Le pied musculeux est comprimé en forme de languette et sert surtout à l'animal pour s'enfouir dans le sédiment. Deux replis du manteau délimitent une cavité palléale à l'intérieur de laquelle sont situées les branchies. Les sexes sont généralement séparés avec souvent un hermaphrodisme successif (Martin & Davis, 2001).

Les Annélides regroupent l'ensemble des vers annelés. Ils sont métamérisés, c'est-à-dire que leur corps est constitué d'une succession de segments. Ces segments peuvent être identiques, on parle alors de métamérie homonome ou différents (métamérie hétéronome). Trois segments ne sont pas considérés comme des métamères car, ils ne possèdent pas de sacs coelomiques : il s'agit du premier appelé prostomium, du second (peristomium) et du dernier (pygidium). Le prostomium porte les organes sensoriels. Le péristomium porte la bouche, le pygidium et l'anus. Les seuls Annélides à ne pas être segmentés sont les échiuriens et les sipunculien (Touzin, 2008). Chaque métamère est composé de deux sacs coelomiques remplis de liquide. Ces cavités jouent le rôle de squelette hydrostatique, protégeant les organes internes des chocs. Elles servent également au transport des hormones, ainsi que des gamètes chez certaines espèces. Certains Annélides ont la particularité de posséder un clitellum, qui est un renflement de certains métamères (ou anneaux) de l'animal sécrétant un cocon muqueux dans lequel sont déposés les œufs. Ce mucus sert de protection hydrique et de réserve nutritive aux embryons (Touzin, 2008). L'embranchement des Annélides se subdivise en trois classes : Polychètes, Oligochètes et Achètes.

Les Crustacés sont des invertébrés Arthropodes, le plus souvent aquatique, ayant deux paires d'antennes, des yeux composés, un tégument chitineux plus ou moins imprégné de calcaire, une respiration branchiale, des anneaux (libres ou soudés) portant chacun une paire d'appendices dans la plupart des espèces (Martin & Davis, 2001). Leur corps, généralement recouvert d'une solide carapace, est essentiellement constitué d'éléments répétitifs, les métamères de 19 segments répartis en trois régions ou tagmes : la tête ou céphalon (5 segments), le thorax ou péréion (8 segments) et l'abdomen ou pléon (6 segments). Parmi les Arthropodes, les Crustacés se caractérisent selon Martin & Davis (2001) par :

- Au moins cinq paires de pattes ;
- Des appendices biramés (la rame externe ou exopodite peut disparaître) ;
- Deux paires d'antennes ;
- Une céphalon à 5 métamères.

Les Acariens sont les organismes aquatiques qui possèdent quatre paires de pattes articulées à l'exception de la larve qui n'en possède que trois paires. Ils mesurent entre 0,1 et 0,6 millimètres. En raison de la fusion des différentes régions du corps, la morphologie des Acariens est unique. Les seules traces visibles de la segmentation d'origine sont les appendices, les pièces buccales et les pattes. Les pièces buccales, chélicères et pédipalpe, subissent souvent des modifications en fonction de l'alimentation correspondante (Peyrusse & Bertrand, 2001).

1.3.3. Biologie et écologie

1.3.3.1. Cycles biologiques

Le cycle biologique des macroinvertébrés est très variable selon le groupe considéré. La reproduction chez les Insectes est bisexuelle ou parthénogénétique (reproduction à partir d'un ovule non fécondé) (Zahradnik & Chvala, 1991). Certains partenaires sexuels peuvent se retrouver à l'aide de leurs yeux (Libellules, Éphéméroptères) ou d'un organe auditif (certains Diptères). Chez d'autres groupes comme les Lépidoptères, les deux sexes s'attirent à l'aide de phéromones (substances odorantes) sécrétées par la femelle. Les Insectes subissent un ensemble de modifications (métamorphose) du stade larvaire (issu du développement de l'œuf) au stade imaginal (Dierl & Ring, 1992). Certains insectes comme les Aptérygotes (sans ailes) ne subissent pas de véritables métamorphoses car leurs larves ne se distinguent guère des imagos : ce sont des amétaboles. En revanche, chez les Ptérygotes (insectes ailés), Zahradnik & Chvala (1991) distinguent deux types de développement : les métamorphoses incomplètes (insectes hémimétaboles) et les métamorphoses complètes (insectes holométaboles). Les hémimétaboles encore appelés exoptérygotes présentent un mode de développement plus primitif et progressif ; les larves ressemblent fortement aux adultes. L'âge adulte et par conséquent la maturité sexuelle sont acquis après la dernière mue (ecdysis) larvaire. Les holométaboles (endoptérygotes) diffèrent des précédents par leur aspect vermiforme, l'absence d'ébauches alaires et par le stade nymphal qui s'intercale entre les stades larvaire et imaginal. Les larves de ce groupe d'insectes se distinguent nettement des adultes. Le cycle vital (durée de vie) des insectes varie de quelques semaines, par exemple les Diptères Simuliidae à des années, par exemple les Plécoptères Perlidae. Sur l'ensemble des 27 ordres d'insectes décrits, seuls 12 possèdent des représentants ayant au moins une phase de leur développement adaptée à la vie aquatique (Elouard, 1981).

Les Gastéropodes aquatiques sont généralement à sexe séparés (mais certaines espèces sont hermaphrodites). Le cycle de vie est souvent annuel. La ponte des œufs a lieu durant la saison

des pluies ou la saison sèche. Les Bivalves vivent souvent plusieurs années, ils sont soit gonochoriques, soit hermaphrodites, selon les familles concernées (Mouthon & Kuiper, 1987).

La reproduction chez les Annélides est sexuée et asexuée. Ils sont généralement hermaphrodites. Lors de l'accouplement, le sperme est transféré d'un individu à l'autre et stocké dans le réceptacle séminal où il est entreposé. La fertilisation des œufs a lieu après accouplement. La durée de vie des Annélides est variable. Des espèces peuvent vivre de quelques semaines à plusieurs mois, rarement plusieurs années en aquariums (Tim, 1982).

En ce qui concerne les Crustacés, leur développement s'effectue par une série de mues et de métamorphoses déclenchées et contrôlées par des hormones (Klaus, 2001). Il débute avec une larve nageuse caractéristique, la larve *nauplius*, qui évolue au sein du plancton (chez certaines espèces toutefois, les premières étapes du développement se déroulent dans l'œuf). Les Crustacés peuvent vivre selon l'espèce de plusieurs mois à plusieurs années (Klaus, 2001).

Les Acariens sont des animaux sexués ayant un cycle de vie constitué de quatre étapes : l'œuf, le stade larvaire, le stade nymphal et l'adulte. Les œufs éclosent en larves à six pattes, qui muent plusieurs fois avant de passer au stade nymphal. Sous forme de nymphes, les Acariens muent une à trois fois de plus avant de se transformer en adultes à huit pattes. Leur durée de vie est variable. La croissance de l'œuf à l'adulte peut durer plusieurs semaines. Cependant, en conditions optimales, le développement peut se réduire à quelques jours. À l'état adulte, les Acariens peuvent vivre plusieurs mois (Peyrusse & Bertrand, 2001).

1.3.3.2. Habitat et écologie

On distingue deux (2) grands groupes de macroinvertébrés en fonction du compartiment occupé dans le milieu aquatique (Zahradnik & Chvala, 1991 ; Klaus, 2001). Il s'agit des macroinvertébrés benthiques et des macroinvertébrés pélagiques ou de surface.

Parmi les macroinvertébrés benthiques, on distingue :

- **les macroinvertébrés épibenthiques** qui vivent à l'interface entre l'eau et le sédiment tels que les larves d'insectes, les isopodes et les mollusques ;
- **les macroinvertébrés suprabenthiques** qui vivent au contact du sédiment mais qui peuvent aussi devenir pélagiques en se déplaçant dans l'eau (larves de Diptères et crustacés Amphipodes) ;
- **les macroinvertébrés endobenthiques** qui sont des organismes fouisseurs tels que les Oligochètes , les Nématodes et les larves de Chironomes (Cheruvilil *et al.*, 2002).

Certains macroinvertébrés accomplissent la totalité de leur cycle de vie dans le milieu aquatique alors que d'autres n'y séjournent que durant une phase larvaire (l'exemple des Diptères). Ces

macroinvertébrés peuvent également se distinguer par leurs exigences écologiques vis-à-vis du mesohabitat. Ainsi, certains Diptères seront présents dans les sédiments, d'autres en bordure sur divers supports minéraux et végétaux (cailloux, blocs, racines, macrophytes) (Tim, 1982 ; Mouthon & Kuiper, 1987). Généralement, les Insectes n'effectuent pas tout leur cycle de vie dans un seul type d'habitat. Les lieux où ils grandissent, se reproduisent et trouvent leur nourriture sont le plus souvent différents. En effet, selon Elouard (1981), la majorité des Insectes possèdent des phases préimaginales (larvaire et nymphale) exclusivement aquatiques. C'est le cas des Trichoptères, Odonates, Éphéméroptères, Plécoptères et de la majorité des Nématocères. Certains Insectes de la famille des Sisyridae possèdent des larves aquatiques et des nymphes arboricoles. Par contre, certains Coléoptères sont aquatiques aux stades larvaire et imaginal. D'autres Insectes ne sont pas franchement aquatiques mais plutôt subaquatiques ou simplement hydrophiles. C'est le cas de nombreux Diptères, des Brachycères, des Entomobryomorpha, des Hétéroptères de la famille des Veliidae et de celle des Hygrometridae.

1.3.4. Groupes fonctionnels trophiques des macroinvertébrés aquatiques

Les macroinvertébrés aquatiques ont un régime alimentaire très varié : bactéries, détritus, algues, micro-benthos et macro-benthos. Selon Tachet *et al.* (1987), on peut les classer en quatre (4) principaux groupes fonctionnels trophiques.

Les filtreurs sont des organismes ayant la particularité de pouvoir récolter des éléments organiques ou vivants (plancton) grâce à des dispositifs morphologiques ou comportementaux. Ils filtrent de fines particules en suspension dans l'eau. Ils sont composés des Bivalves, Ostracodes, Diptères. Par exemple, les Bivalves filtrent l'eau à l'aide du battement de nombreux cils des branchies pour retenir les particules (Lévêque, 1980 ; Mouthon, 1982) ;

Les prédateurs regroupent des Nématodes, Oligochètes, Odonates, Hémiptères, Trichoptères. Ils se nourrissent de zooplancton (Cladocères, Copépodes) ou d'autres macroinvertébrés. Ils peuvent être des broyeurs carnivores qui s'attaquent à des proies vivantes (Plécoptères, Perlidae). D'autres sont des suceurs qui injectent à l'aide de pièces buccales en stylet des enzymes digestives dans la proie. Ils aspirent ainsi les tissus liquéfiés ; c'est le cas d'*Atherix ibis* (Diptères). L'aliment des suceurs peut être d'origine végétale (contenu cellulaire d'algues filamenteuses) pour certains Hydroptilidae (Trichoptères) et Haliplidae (Coléoptères) ou animale pour certains Diptères (Tabanidae). Chez de nombreux prédateurs, on observe une spécialisation. Cette spécialisation peut être anatomique comme chez les Odonates dont le labium se transforme en organe préhenseur. Elle peut également être d'ordre comportemental ;

c'est le cas des larves de Trichoptères qui développent un « filet à plancton » permettant de collecter les organismes planctoniques.

Les détritivores sont des organismes qui se nourrissent de détritus, de cadavres et de matières organiques dissoutes. Ils comprennent des Nématodes, Oligochètes, Éphéméroptères, Trichoptères, Diptères Chironomidae;

Les herbivores se nourrissent principalement de macrophytes et d'algues. Ils regroupent des Éphéméroptères, Coléoptères, Diptères Chironomidae, Gastéropodes. L'exemple des Gastéropodes qui consomment les végétaux aquatiques grâce à leur radula (langue chitineuse).

1.3.5. Macroinvertébrés aquatiques et bioindication

La structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les cours d'eau, en donnant des informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat (Woodcock & Huryn, 2007). On peut les utiliser pour identifier plusieurs types de pollution telles que la pollution organique, la pollution aux métaux lourds (Cuivre, Plomb et Zinc), de même que pour détecter une acidification du milieu (Moisan & Pelletier, 2014). Il est déjà bien connu que les Plécoptères, les Trichoptères et les Éphéméroptères sont les groupes les plus sensibles aux polluants. Ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée à une température assez basse. Au contraire, les Tubificidae, les Chironomidae, les Syrphidae, les Bivalves et les Amphipodes sont les groupes les plus tolérants. Ces derniers, peuvent vivre dans une eau peu oxygénée avec une bonne quantité de polluants à une température plus élevée. Une abondance de ces espèces et une absence des espèces sensibles traduit que l'eau est de mauvaise qualité. Selon Tachet *et al.*, (2003), les macroinvertébrés n'interviennent pas directement dans les processus d'autoépuration qui incombent essentiellement aux micro-organismes, notamment les bactéries. Cependant, leur sensibilité différentielle aux diverses formes de pollution permet leur utilisation comme témoins de celles-ci. Legendre & Legendre (1998) indiquent que toute pollution entraîne une réduction de la diversité biologique (nombre d'espèces, de genres et/ou de familles) à travers l'élimination des espèces les plus polluo-sensibles. De ce concept est née une multitude d'indices biotiques visant à évaluer la qualité des milieux aquatiques à partir des macroinvertébrés.

1.3.5.1. Indices biotiques d'évaluation de la qualité écologique des eaux

Les Indices Biologiques (IB) sont des méthodes standards utilisées en écologie appliquée pour évaluer la qualité biologique des systèmes d'eau (Caquet, 2012). Ainsi, les macroinvertébrés sont au cœur de plusieurs méthodes normalisées et reconnues dans le monde.

Le premier indice biotique a été élaboré en France par Verneaux & Tuffery (1967). Cet indice a par la suite été modifié pour donner l'Indice de Qualité Biologique Globale (IQBG), puis l'Indice Biologique Global (IBG) en 1982. Aujourd'hui, il est plus connu sous le vocable IBGN (l'Indice Biologique Global Normalisé) (Leclercq, 2001 ; DCE, 2006). L'Indice Biosédimentaire (IBS) a été élaboré pour évaluer les perturbations de type mécanique générées par les particules sédimentaires fines (sable, limons, argiles) dans les cours d'eaux drainant des terrains à dominante ultrabasique observée sur les terrains d'exploitation miniers (Mary & Hytec, 2007). L'Australie s'est pour sa part dotée en 1992, d'une stratégie nationale pour la gestion de la qualité écologique de l'eau (Chessman, 1995) et depuis lors, les macroinvertébrés sont couramment utilisés pour l'évaluation environnementale et la surveillance des rivières du pays (Metzeling *et al.*, 2003). En Afrique plusieurs indices d'évaluation de la qualité écologique des eaux ont été élaborés dont l'indice SASS (South Africa Scoring System) en Afrique du sud et l'indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéen (IMMY) au Cameroun (Ywoung, 2004).

1.3.5.1.1. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) complète l'ancien indice biotique, mis au point et proposé par Verneaux & Tuffery (1967) et normalisé en 1985. L'IBGN a été mis au point en 1992. Il s'agit toujours d'une méthode d'évaluation de la qualité générale d'un cours d'eau à partir de la présence ou non de certains macroinvertébrés benthiques capturés au moyen d'un engin (troubleau ou suber) de taille définie ($1/20 \text{ m}^2$), au maillage de 500 microns et dans des conditions d'échantillonnage telles que tous les habitats d'un cours d'eau soient prospectés au mieux (nature du support, vitesse du courant, etc.). L'IBGN est basée sur l'appartenance des macroinvertébrés à des unités spécifiques susceptibles d'être identifiées par des non spécialistes de la faune aquatique. Le plus souvent l'unité spécifique retenue est la famille, mais l'on peut s'arrêter à l'embranchement ou à la classe pour les macroinvertébrés pour lesquels une détermination plus fine s'avérerait difficile ou peu fiable (Melhaoui, 2009).

1.3.5.1.2. Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéen (IMMY)

L'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéen (IMMY) a été élaboré à la suite des travaux réalisés dans quelques cours d'eau du bassin du Mfoundi dans la région du Centre-sud forestier du Cameroun (Nangmo, 2004). Cet indice basé sur la physico-chimie des eaux et les communautés de macroinvertébrés benthiques, a permis d'évaluer l'intégrité écologique du cours moyen des cours d'eaux Nga et du Mefou, en aval du barrage de Mfoundi (Nyamsi

Tchatcho, 2004 ; Kiampi Choffo, 2004 ; Ywoung, 2004). Cet indice multimétrique prend en compte les analyses spatiotemporelles de la richesse spécifique, du nombre d'espèces EPT (Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères), du pourcentage d'espèces (EPT), du pourcentage de Chironomidae, de l'indice d'équitabilité et de l'indice biotique Hilsenhoff. La pertinence de cet indice est d'avantage affirmée par la convergence de son diagnostic avec ceux des indicateurs usuels de la qualité écologique de l'eau (Ywoung, 2004). Les variables simples ont permis de dégager une valeur dite de référence qui entre dans le calcul de l'IMMY comme indiqué dans le tableau I. La valeur de référence étant le 95 ème centile pour les variables dont la valeur diminue avec l'accroissement des perturbations et le 5 ème centile pour les variables dont la valeur augmente avec l'accroissement des perturbations (MDDEFP, 2012).

Tableau I : Variables impliquées et algorithmes entrant dans la formulation de l'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY).

Variable (x)	Valeur de référence	Formules
Nombre total d'espèces	N0	$(X \div N0) \times 100$
Nombre d'espèces EPT	EPT0	$(X \div EPT0) \times 100$
% EPT	% EPT0	$(X \div \% EPT0) \times 100$
% de chironomides	% Chir0	$[(100 - X) \div (100 - \% Chir0)] \times 100$
Pielou	J0	$[(1 - J0) \div (1 - X)] \times 100$
FBIv	FBIv0	$[(10 - X) \div (10 - FBIv0)] \times 100$
IMMY	Moyenne arithmétique des 6 formules	

X = valeur de la variable ou de l'indice dans la station étudiée.

La moyenne arithmétique des résultats issus des six formules donne la valeur de l'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY) pour une station donnée. Cette valeur est interprétée à l'aide de l'échelle de santé présentée dans le tableau II.

Tableau II : Classes de valeurs de l'Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Yaoundéens (IMMY) et appréciation de la qualité écologique de l'eau.

Valeurs de l'IMMY	[0 - 27,1[[27,2 - 54,3[[54,4 - 81,5[[81,6 - 100[
Appréciations	Très mauvaise	Mauvaise	Précaire	Bonne

CHAPITRE II : **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

2.1. MATÉRIEL

2.1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé pour cette étude est constitué des communautés de macroinvertébrés aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.

2.1.2. Appareils de mesure des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques

Au cours de cette étude, l'appareillage suivant a été utilisé pour la mesure des différents paramètres :

- un conductimètre portatif à affichage digital de model *HACH SensION + EC 5*, a permis de mesurer la conductivité (Figure 3a) ;
- un turbidimètre portatif à affichage digital de model *OAKTon turbidimeter T-100* a été utilisé pour la mesure de la turbidité (Figure 3b) ;
- cinq flotteurs, un chronomètre et une corde graduée, ont servi à la détermination de la vitesse du courant de l'eau ;
- un pH-mètre portatif à affichage digital de model *HANNA instruments HI 8010*, a été utilisé pour la détermination du pH et de la température de l'eau (Figure 3c) ;
- un oxymètre portatif à affichage digital de model *HANNA HI 9146*, a servi à la mesure du taux d'oxygène dissous (Figure 3d) ;
- un Global Positioning Systems (GPS) de model *GARMIN Oregon 70*, a permis de déterminer les coordonnées géographiques des différentes stations d'échantillonnage ;
- un décimètre de model *KAIDA Professional* de 5 m de long, a servi à mesurer la profondeur de l'eau à chaque station d'échantillonnage.

2.1.3. Matériel de collecte et d'observation des macroinvertébrés

L'échantillonnage des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama a été effectué à l'aide d'un filet troubleau et d'une benne Van Veen. Le filet troubleau emmanché a une ouverture de forme carrée surmontée d'un filet de 250 µm de vide de maille et de 50 cm de profondeur (Figure 3e). La benne Van Veen en acier inoxydable est constituée de deux mâchoires tenues par une corde de 10 m de long (Figure 3f).

Une cuvette plastique et un tamis de 500 µm de vide de maille ont permis de réaliser le pré-tri manuel et le lavage des échantillons prélevés.

Des boîtes en plastique étiquetées d'une capacité d'un litre contenant de l'alcool éthylique à 70 % (éthanol 70 %) ont été utilisées pour la conservation des échantillons.

Une boîte de pétri en verre à fond quadrillé, une pince entomologique et une loupe binoculaire de marque *LEICA EZA* (au grossissement 40 x (Figure 3g)) ont été utilisées pour l'observation et le tri des échantillons récoltés.

Des piluliers en verre contenant de l'alcool éthylique à 70 % (éthanol à 70 %) ont servi pour la conservation des spécimens recueils.

Un appareil photo-numérique de marque *SONY* (de 20,1 mégapixels) a permis de réaliser les prises de vue des stations d'échantillonnage et des espèces identifiés.

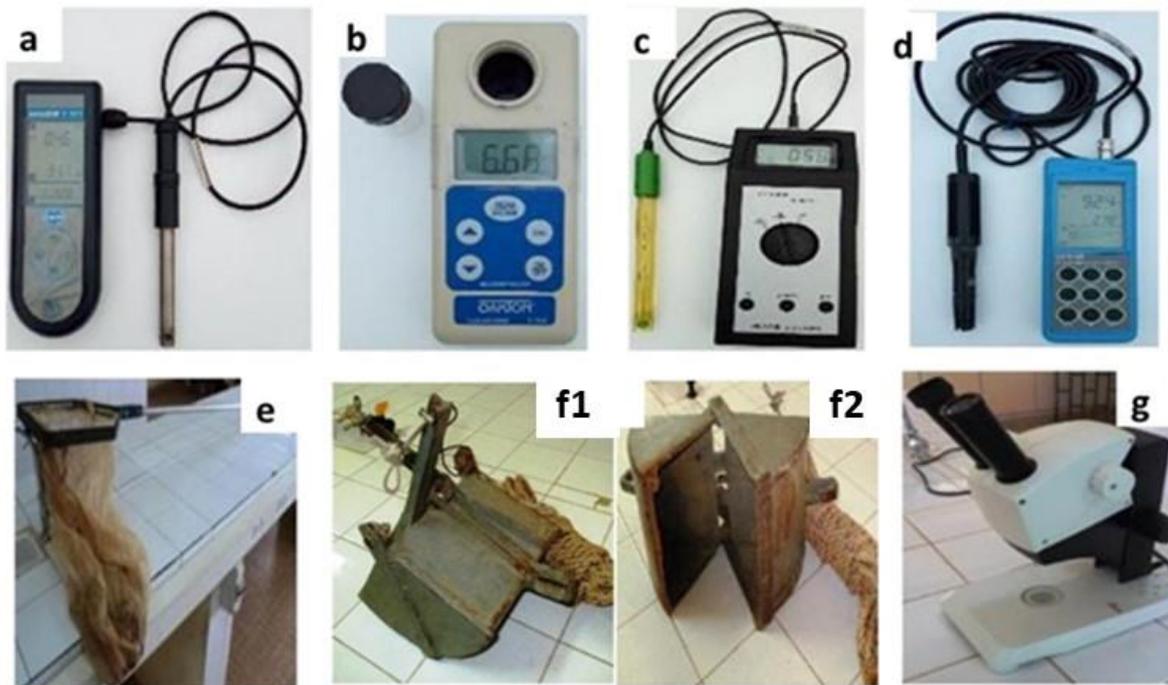


Figure 3 : Matériel de collecte des données des paramètres physico-chimiques et des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

a = Conductimètre *HACH SensION + EC 5*; **b** = Turbidimètre *OAKTON T-100*; **c** = pH-mètre *HANNA*; **d** = Oxymètre *HANNA*; **e** = Filet troubleau; **f1** = Benne Van Veen (en position fermée) ; **f2** = Benne Van Veen (en position ouverte) ; **g** = Loupe binoculaire *LEICA EZA*.

2.2. MÉTHODES

2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage

Cette étude a débuté par une prospection sur une période de trois mois (entre septembre et novembre 2017) dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama et ses environs en partant du Nord (au pont Bandama de Nabédjakaha) vers le Sud (au village de Badasso) (figure 4). À cet effet, différents milieux écologiques dans la Réserve du Haut-Bandama ont été

prospectés, afin de procéder au choix des stations et points d'échantillonnage. Les facteurs qui ont été pris en compte pour la sélection de l'ensemble des stations d'échantillonnage ont été :

- le gradient longitudinal (cours supérieur-cours inférieur) du fleuve Bandama ;
- la zonation longitudinale (Nord-sud) de la Réserve ;
- le sens d'écoulement de l'eau ;
- et l'accessibilité du site à toute période.

En revanche, les points d'échantillonnage sur chaque station ont été sélectionnés en fonction de leur stabilité et leur habileté à héberger les macroinvertébrés (berges, débris végétaux, parties submergées des plantes...) (Bellemare *et al.*, 2013). Un code a été attribué à chaque station, les caractéristiques mésologiques et les différents supports (habitats) qui les composent (pierres, sable, végétation aquatique, etc..) ont été notés.

Au total 12 stations comportant chacune trois points d'échantillonnage ont été retenues dans la zone d'étude. Dix de ces stations (BTA, BTB, BSA, BSB, MS, MVS, BYA, BYB, NYA et NYB) sont situées à l'intérieur de la Réserve. Quant aux deux autres stations (BN et BB), elles sont situées à l'extérieur de la Réserve (Figure 4). Suivant le gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la Réserve, huit (8) stations sont localisées dans le fleuve Bandama dont : trois (3) stations (BN, BTA et BTB) dans le cours supérieur, deux (2) stations (BSA et BSB) dans le cours moyen et trois (3) stations (BYA, BYB et BB) dans le cours inférieur (Figure 4). Dans le Centre de la Réserve, deux mares (stations MS et MVS) ont été retenues. Par ailleurs, dans le Sud de la Réserve, deux (2) stations ont également été retenues dans la rivière Nambyon, respectivement au cours supérieur (station NYA) et au cours inférieur (station NYB) (Figure 4). Le tableau III présente les codes des différentes stations d'échantillonnage prospectées dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.

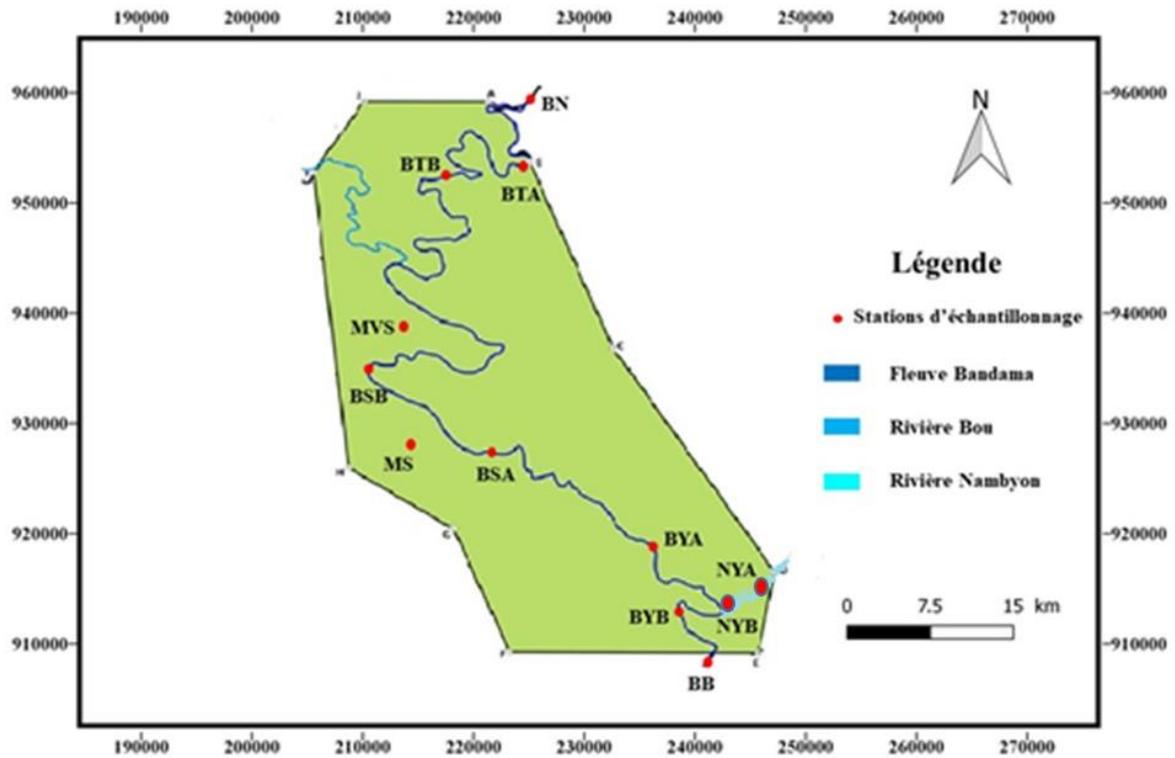


Figure 4 : Localisation des différentes stations d'échantillonnage définies dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFFHB) entre janvier 2018 et février 2019.

Tableau III : Codes des différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFFHB) entre janvier 2018 et février 2019.

Zonation longitudinale de la Réserve	Gradient Longitudinal du fleuve Bandama	Types de milieux prospectés	Dénomination des stations	Codes des stations
Nord de la Réserve	Cours supérieur du fleuve Bandama	Fleuve Bandama	Bandama Nabéjakaha	BN
		Fleuve Bandama	Bandama Tortiya A	BTA
		Fleuve Bandama	Bandama Tortiya B	BTB
Centre de la Réserve	Cours moyen du fleuve Bandama	Fleuve Bandama	Bandama Sinaïm A	BSA
		Fleuve Bandama	Bandama Sinaïm B	BSB

BTA, BTB, BSA, BSB, BYA, BYB, MS, MVS, NYA et NYB = stations situées à l'intérieur de la Réserve; BN et BB = stations situées à l'extérieur de la Réserve.

Tableau III : (Suite et suite)

Zonation longitudinale de la Réserve	Gradient Longitudinal du fleuve Bandama	Types de milieux prospectés	Dénomination des stations	Codes des stations
Centre de la Réserve		Mare	Mare Sinaïm	MS
		Mare	Mare Vodougue Sinaïm	MVS
Sud de la Réserve	Cours inférieur du fleuve Bandama	Rivière Nambyon	Nambyon Yayakaha A	NYA
		Rivière Nambyon	Nambyon Yayakaha B	NYB
		Fleuve Bandama	Bandama Yayakaha A	BYA
		Fleuve Bandama	Bandama Yayakaha B	BYB
		Fleuve Bandama	Bandama Badasso	BB

BTA, BTB, BSA, BSB, BYA, BYB, MS, MVS, NYA et NYB = stations situées à l'intérieur de la Réserve; BN et BB = stations situées à l'extérieur de la Réserve.

2.2.2. Description des stations d'échantillonnage

2.2.2.1. Stations situées au Nord de la Réserve

2.2.2.1.1. Station Bandama Nabédjakaha (BN)

La station Bandama Nabédjakaha (BN) présentée à la figure 5, est située dans le cours supérieur du fleuve Bandama, à l'extérieur de la Réserve du Haut-Bandama, au niveau du pont Bandama, sur l'axe Niakaramadougou-Tortiya. La station BN est située à proximité d'une sortie d'usine et d'habitations, à 08° 36'12.4''N, 005° 34'21.8''W et 1054 mètres d'altitude. À cette station, l'eau est trouble avec un courant faible. Une végétation ripicole borde les rives droite et gauche. On observe également des végétaux en pleine eau sur un amas de roche. La rive droite est à proximité du village. La station Bandama Nabédjakaha (BN) dans sa partie supérieure est une zone de pêche. Quant à sa partie inférieure, sa rive droite est une zone d'activités domestiques. Le substrat de cette station est constitué de vase, roches, sable et de débris végétaux. La pente à cette station est de 10 %.



Figure 5 : Vue partielle de la station Bandama Nabédjakaha (BN), définie sur le fleuve Bandama à l'extérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.1.2. Station Bandama Tortiya A (BTA)

La station Bandama Tortiya A (BTA), est située dans le cours supérieur du fleuve Bandama dans la Réserve du Haut-Bandama (Figure 6). Les coordonnées géographiques de BTA sont : 08°16'14.0'' N, 005°21'10.1'' W et 889 mètres d'altitude. Cette station à une pente de 60 %. On observe sur les rives droite et gauche, la présence d'une végétation ripicole. La station est située à proximité d'un ancien site d'orpaillage et d'une plantation d'anacarde en rive gauche. BTA présente des signes d'activité de pêche anarchique. L'eau est claire, avec un fond visible et le substrat est composé de vase, de sable, de blocs de roches et de débris végétaux (feuilles, branches...). À cette station, le courant est faible et on observe en pleine eau, une abondante présence d'algue (boom d'algue) de couleur verdâtre.



Figure 6 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya A (BTA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.1.3. Station Bandama Tortiya B (BTB)

La station Bandama Tortiya B (BTB), est située dans le cours supérieur du fleuve Bandama dans la Réserve du Haut-Bandama (Figure 7). Les coordonnées géographiques de BTB sont : 08°36'12.4'' N, 005°34'21.7'' W et 894 mètres d'altitude. Une végétation ripicole borde les rives droite et gauche de cette station. Tout comme la station BTA, BTB est située à proximité d'un ancien site d'orpillage et d'une plantation d'anacarde en rive gauche. L'eau y est légèrement trouble, avec un fond visible. Le substrat à cette station est constitué de blocs de roche et de débris végétaux (feuilles, branches...). Le courant de l'eau est fort et la pente à cette station est de 65 %.



Figure 7 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya B (BTB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.2. Stations situées au Centre de la Réserve

2.2.2.2.1. Station Bandama Sinaïm A (BSA)

La station Bandama Sinaïm A (BSA) est située dans le cours moyen du fleuve Bandama, dans la Réserve du Haut-Bandama (Figure 8). Les coordonnées géographiques de BSA sont : 08°27'30.9'' N, 005°36'23.2'' W et 927 mètres d'altitude. La pente à cette station est de 30 %. Aux rives droite et gauche s'observe la présence de végétation ripicole. À la station BSA, le lit principal du Bandama est obstrué par le transport, le dépôt et l'accumulation de la terre issue du lavage de l'or dans le lit du fleuve et du lessivage de sols nus du bassin versant. On observe également des signes d'activités d'orpaillage traditionnel sur la rive droite. L'eau à un aspect clair, avec un fond visible et le substrat est constituée de graviers, de roches et de débris végétaux (feuilles, branches et troncs).



Figure 8 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm A (BSA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.2.2. Station Bandama Sinaïm B (BSB)

La station Bandama Sinaïm B (BSB), se situe dans le cours moyen du fleuve Bandama dans la Réserve du Haut-Bandama (Figure 9). Les coordonnées géographiques de BSB sont : 08°26'36.2'' N, 005°37'57.7'' W et 899 mètres d'altitude. Cette station est marquée par une pente de 25 %. On observe sur les rives droite et gauche la présence de végétation ripicole. BSB présente des signes d'activités de pêche anarchique par la présence de pirogues et de filets de pêche usés sur la rive droite. L'eau est claire avec un fond visible. Le substrat est composé de vase, de sable et de débris végétaux (feuilles, branches...). À cette station, le courant est faible

et une importante présence d'algue (boom d'algue) de couleur rougeâtre se remarque en pleine eau.



Figure 9 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm B (BSB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.2.3. Station Mare Sinaïm (MS)

La station Mare Sinaïm (MS), de coordonnées géographiques 08°36'36.2'' N, 005°37'57.6'' W et 909 mètres d'altitude est localisée au Centre de la Réserve sur une mare (Figure 10). À ses rives droite et gauche on observe la présence d'une végétation de forêt claire. L'eau de cette mare est claire, avec un fond visible. Le substrat est composé de vase, de sable et de débris végétaux (feuilles, branches). La mare Sinaïm (MS) est recouverte à plus de 75 % par *Pistia stratiotes* (Araceae), et *Nymphaea lotus* (Nymphaeacées).



Figure 10 : Vue partielle de la station Mare Sinaïm (MS), définie sur une mare à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., septembre 2018).

2.2.2.2.4. Station Mare Vodougue Sinaïm (MVS)

La station Mare Vodougue Sinaïm (MVS), est située au Centre de la Réserve, sur une mare de coordonnées géographiques 08°28'32.7'' N, 005°37'18.9'' W et 1052 mètres d'altitude (Figure 11). On observe sur les rives droite et gauche la présence d'une végétation de forêt claire. MVS présente des signes d'activités d'orpaillage. Elle est recouverte de 5 à 25 % par les macrophytes *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae), *Pistia stratiotes* (Araceae) et *Nymphaea lotus* (Nymphaeacées). L'eau a un aspect clair, avec un fond visible. Le substrat est composé de vase, de sable, de gravier et de débris végétaux (feuilles, branches...).



Figure 11 : Vue partielle de la station Mare Vodougue Sinaïm (MVS), définie sur une mare à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., mars 2018).

2.2.2.3. Stations situées au Sud de la Réserve

2.2.2.3.1. Station Nambyon Yayakaha A (NYA)

La station Nambyon Yayakaha A (NYA), est située dans le cours supérieur de la rivière Nambyon, au Sud de la Réserve à $08^{\circ}16'59.2''$ N, $005^{\circ}22'07.8''$ W et 837 mètres d'altitude (Figure 12). Une végétation ripicole se remarque aux rives droite et gauche de cette station. La station NYA est située à proximité d'une exploitation agricole (anacardier et vivriers) en rive gauche. L'eau a un aspect clair, un fond visible et le substrat est constitué de sable, de blocs de roches et de débris végétaux (feuilles, branches, tronc...). À la station NYA, la pente est de 30 % et la canopée environnante est moyennement fermée de 25 à 50 %.



Figure 12 : Vue partielle de la station Nambyon Yayakaha A (NYA), définie sur la rivière Nambyon à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018)

2.2.2.3.2. Station Nambyon Yayakaha B (NYB)

La station Nambyon Yayakaha B (NYB), est située dans le cours inférieur de la rivière Nambyon, au Sud de la Réserve à $08^{\circ}16'54.3''$ N, $005^{\circ}22'10.10''$ W et 845 mètres d'altitude à l'embouchure avec le fleuve Bandama (Figure 13). Une végétation ripicole borde les rives droite et gauche de cette station. NYB est située à proximité de plantations d'anacardiers et de vivriers en rive gauche. L'eau a un aspect légèrement trouble, avec un fond visible. Le substrat à cette station est constitué de sable, de vase et de débris végétaux (feuilles, branches, tronc...). La pente à cette station est de 35 % et la canopée environnante est moyennement fermée de 50 à 75 %.



Figure 13 : Vue partielle de la station Nambyon Yayakaha B (NYB), définie sur la rivière Nambyon à l'intérieur de la Réserve de Faune et de flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.3.3. Station Bandama Yayakaha A (BYA)

La station Bandama Yayakaha A (BYA), est située dans le cours inférieur du fleuve Bandama à $08^{\circ}16'14.0''$ N, $005^{\circ}21'10.1''$ W et 864 mètres d'altitude (Figure 14). BYA était une zone d'approvisionnement en eau pour la population villageoise de « Yayakaha » village de clandestins autrefois située à l'intérieur de la Réserve. L'eau à cette station est trouble et le courant est faible. Une végétation ripicole borde les rives gauche et droite de la station BYA. Le substrat est constitué de vase, de sable et de débris végétaux (feuilles, branches...). La pente à cette station est de 35 %, avec une canopée environnante faiblement fermée de 0 à 5 %.

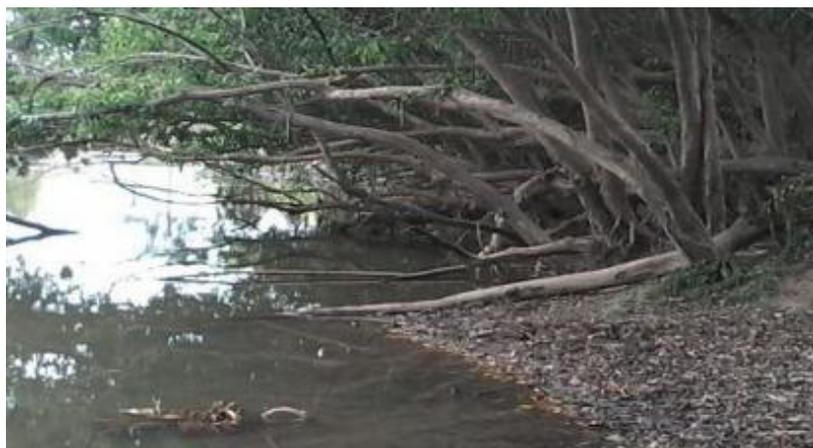


Figure 14 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha A (BYA), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.3.4. Station Bandama Yayakaha B (BYB)

La station Bandama Yayakaha B (BYB), est située dans le cours inférieur du fleuve Bandama à $08^{\circ}16'54.3''$ N, $005^{\circ}22'10,0''$ W et 857 mètres d'altitude (Figure 15). La station Bandama Yayakaha B, se trouve vers l'embouchure avec la rivière Nambion. L'eau à BYB est trouble avec un courant faible. Une végétation ripicole borde respectivement les rives gauche et droite de cette station. Le substrat est constitué de vase, de sable et de débris végétaux (feuilles, branches, troncs...). Un amas de roches se remarque en pleine eau. On trouve à la rive droite de cette station un important dépôt d'ordures ménagères. La pente à cette station est de 35 %.



Figure 15 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha B (BYB), définie sur le fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve de Faune et de flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.2.3.5. Station Bandama Badasso (BB)

La station Bandama Badasso (BB), est située dans le cours inférieur du fleuve Bandama à l'extérieur de la Réserve du Haut-Bandama sur l'axe Marabadjassa-Bouandougou (Figure 16). Les coordonnées géographiques de cette station sont : $08^{\circ}30'15.4''$ N, $005^{\circ}23'13,1''$ W et 904 mètres d'altitude. À la station BB, l'eau est trouble avec un courant faible. Une végétation ripicole borde les rives droite et gauche de cette station. Le substrat est constitué de vase, de roches, de sable et de débris végétaux. La pente à la station (BB) est de 30 %.



Figure 16 : Vue partielle de la station Bandama Badasso (BB), définie sur le fleuve Bandama à l'extérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

2.2.3. Collecte des données abiotiques et biotiques

Les échantillonnages ont été effectués pendant un cycle annuel dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama, entre janvier 2018 et février 2019. Au total huit (8) campagnes d'échantillonnage ont été réalisées à raison de quatre (4) campagnes par saison suivant la saison sèche et la saison pluvieuse qui prévalent dans la zone d'étude. Durant la saison sèche les campagnes ont été réalisées dans les mois de novembre 2018, décembre 2108, janvier 2019 et février 2019. Cependant, durant la saison pluvieuse les campagnes ont eu lieu pendant les mois de mars 2018, mai 2018, juillet 2018 et septembre 2018.

2.2.3.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

La mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau s'est faite *In-situ*, entre 06 heures et 09 heures du matin, à chaque station d'échantillonnage. La conductivité, le taux d'oxygène dissous, le pH et la température de l'eau ont été obtenus en plongeant les sondes dans l'eau, puis les valeurs stabilisées de ces paramètres sont lus sur l'écran d'affichage. La turbidité quant à elle a été mesurée sur un échantillon d'eau de 10 ml recueilli dans une cuvette spécifique du turbidimètre et placé dans la loge de l'appareil prévu à cet effet.

2.2.3.2. Mesure des paramètres hydromorphologiques de l'eau

La profondeur à chacune des stations d'échantillonnage est obtenue par la moyenne d'une série de trois (3) mesures de profondeurs élémentaires réalisées à chacun des points

d'échantillonnage. La vitesse du courant à chacune des stations situées dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon, a été estimée comme étant le temps moyen mis par un flotteur pour parcourir une distance de 5 mètres. Cette opération a été répétée trois fois (Gordon *et al.*, 1994 ; Soldner *et al.*, 2004).

La largeur du lit mouillée entre les deux berges à une station a été estimée visuellement par le même opérateur.

La coloration (claire, légèrement trouble et trouble) de l'eau est estimée visuellement par le même observateur selon les conditions météorologiques.

Le taux de couverture des végétaux a été également estimé visuellement par le même opérateur et classé dans 5 catégories : (1 à 5 %, 5 à 25 %, 25 à 50 %, 50 à 75 % et >75 %).

La mesure de la pente exprimée en pourcentage est dérivée des courbes hypsométriques (Camus, 1972). Quant à la canopée, elle a été obtenue par projection verticale de l'ombre portée par la végétation ligneuse en bordure de la station et décrite en 6 classes : (1 : 0 %, 2 : 0 à 5 %, 3 : 5 à 25 %, 4 : 25 à 50 %, 5 : 50 à 75 %, 6 : 75 à 100 %) (Gordon *et al.*, 1994 ; Arab *et al.*, 2004 ; Rios & Bailey, 2006). Pour toutes ces opérations, l'observateur doit être installé dos au soleil, de manière à ce que l'ombre de celui qui mesure bloque les reflets aveuglants du soleil sur l'eau.

2.2.3.3. Échantillonnage des macroinvertébrés aquatiques

L'étude des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama a été réalisée à un rythme saisonnier définis sur les 12 stations retenues en huit (8) campagnes d'échantillonnage. Ces stations ont été échantillonnées au filet troubleau et à la benne Van Veen.

L'échantillonnage au filet troubleau s'est fait en plaçant l'ouverture du filet à contre-courant et en le promenant légèrement sur le fond le long d'un transect de 2 mètres, correspondant à 1 m² (2 x 0,5 m²) de surface d'échantillonnage durant 2 minutes en passant par le maximum d'habitats possibles (Dickens & Graham, 2002 ; Moisan, 2010 ; Bellemare *et al.*, 2013) (Figure 17). La benne Van Veen a été utilisée pour récolter les sédiments vaseux (Figure 18). La benne préalablement armée est descendue jusqu'au fond de l'eau à un rythme lent et régulier. La corde a été maintenue le plus verticalement possible pour assurer la mise en place et la levée de la benne à un angle droit par rapport au fond. Dès que la benne entre en contact avec le fond, les mâchoires de celle-ci se referment emprisonnant ainsi le sédiment. A chaque station d'échantillonnage, trois (03) échantillons de sédiments ont été prélevés, ce qui correspond à une surface d'échantillonnage de 0,15 m² (3 x 0,05 m²).



Figure 17 : Échantillonnage des macroinvertébrés pélagiques à l'aide d'un filet troubleau dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).



Figure 18 : Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques à l'aide de la benne Van Veen dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Photo : Kressou A., janvier 2018).

Les échantillons issus de la benne et du filet troubleau ont été respectivement lavés sur un tamis de 500 μm de vide de maille pour éliminer les éléments grossiers (pierres, sables, boues, feuilles, bois...). Chaque échantillon ainsi réduit est conservé dans une boîte en plastique étiquetée, d'une capacité d'un litre, contenant de l'alcool éthylique à 70 % (éthanol 70 %) pour ensuite être transporté au laboratoire.

2.2.3.4. Tri et identification des macroinvertébrés récoltés

Au laboratoire, tous les échantillons obtenus ont été lavés et tamisés. En effet, dans un premier temps, les échantillons contenus dans chaque flacon ont été passés au tamis de 500 µm de vide de maille. Ce contenu a été soigneusement rincé en vue d'éliminer l'alcool utilisé sur le terrain pour fixer les organismes (Kouamé, 2014 ; Laine, 2003 ; Ysebaert *et al.*, 2003).

Le tri des échantillons a été réalisé dans une boîte de pétri en verre à fond quadrillé (pour s'assurer que tout le contenu a été analysé) sous la loupe binoculaire au grossissement 40 x. Ce tri a permis d'isoler les macroinvertébrés aquatiques. Les organismes ont été dénombrés et identifiés jusqu'au niveau spécifique le plus bas possible en utilisant les clés et ouvrages d'identification appropriées (Déjoux *et al.*, 1981 ; Durand & Levêque 1991 ; Mary, 2000 ; De Moor *et al.*, (2003) ; Barbe *et al.*, 2003 ; Tachet *et al.*, 1987 ; 2000 ; 2003 ; 2006 ; Brown, 2005 ; Forcellini *et al.*, 2011).

2.2.4. Analyse de la composition et de la structure des communautés

Pour les analyses qualitatives et quantitatives des communautés de macroinvertébrés aquatiques, divers indices ont été calculés à partir des données issues des campagnes saisonnières d'échantillonnage réalisées dans la Réserve du Haut-Bandama. Ces métriques permettent une étude plus fine de la composition, de la structure et de la dynamique spatio-temporelle des communautés de macroinvertébrés aquatiques (Resh & Mc Elravy, 2001 ; Clements & Newman, 2002 ; Hessé *et al.*, 2014).

Les analyses qualitatives ont porté sur la composition spécifique des macroinvertébrés de la Réserve du Haut-Bandama. La répartition spatiale et les pourcentages d'occurrences de ces espèces dans les différentes stations d'étude et les indices de similarité ont été aussi présentés. Les analyses quantitatives ont porté sur les différentes variations des abondances des espèces, la diversité des communautés (exprimée par l'indice de Shannon et l'équitabilité associée) et les corrélations entre les variables environnementales et la distribution des espèces.

2.2.4.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique (Rs) des communautés de macroinvertébrés aquatiques correspond au nombre total d'espèces de macroinvertébrés aquatiques récoltés sur les différentes stations d'étude dans la Réserve du Haut-Bandama. Elle permettra de déterminer le nombre total des diverses catégories spécifiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station

d'échantillonnage (Ramade, 2003). Cet indice synthétique constitue un bon indicateur de la capacité d'accueil d'une station (Koumba *et al.*, 2017).

2.2.4.2. Fréquence d'occurrence (F)

La fréquence d'occurrence des espèces dans les différents prélèvements effectués est le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre d'échantillons « p » où l'espèce « i » apparaît et le nombre total d'échantillons « p » de l'unité biocénotique considérée (Dajoz, 2000). Elle permet d'obtenir la constance d'une espèce dans un milieu donné (Paugy & Lévêque, 1999).

La fréquence d'occurrence « F » est calculée selon la formule suivante :

$$F = \frac{Fi}{Ft} \times 100 \quad (1)$$

Avec : F_i = nombre de relevés contenant l'espèce i et F_t = nombre total de relevés effectués.

Selon la classification de Dajoz (2000), la valeur de la fréquence permet de déterminer trois (3) catégories d'espèces :

- $F > 50\%$: espèces constantes ; espèces présentes dans plus de 50 % des échantillons ;
- $25\% \leq F \leq 50\%$: espèces accessoires ; espèces présentes dans 25 à 50 % des échantillons ;
- $F < 25\%$: espèces accidentelles ; espèces présentes dans moins de 25 % des échantillons.

2.2.4.3. Similarités spécifiques entre les stations

La similarité spécifique entre les stations d'échantillonnage a été mise en évidence par l'indice de similarité de Jaccard (J). Cet indice a été appliqué à toutes les espèces de macroinvertébrés (Hynes, 1957).

Elle se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$J = \frac{S_{a-b}}{S_a + S_b - S_{a-b}} \times 100 \quad (2)$$

Avec S_a : le nombre total d'espèces au site a , S_b : le nombre total d'espèces au site b et S_{a-b} : le nombre d'espèces communes à a et b . Il varie de 0 (quand il n'y a pas d'espèces communes) à la valeur 1 (lorsque les mêmes espèces existent dans les deux stations).

2.2.4.4. Abondances relatives

L'abondance brute est le nombre d'individus collectés dans une station d'échantillonnage. L'abondance relative représente le quotient du nombre d'individus de l'espèce (i) présent par rapport au nombre total d'individus (Ramade, 2003). L'abondance relative traduit l'importance

numérique d'une espèce dans une communauté. Elle est aussi bien variable dans l'espace que dans le temps et sa formule est la suivante :

$$P_i = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad (3)$$

P_i = abondance relative de l'espèce i ; n_i = nombre d'individus de l'espèce i ; N = nombre total d'individus.

L'abondance relative a permis de déterminer l'importance des différents ordres, familles et espèces de macroinvertébrés aux différentes stations d'échantillonnage de la Réserve du Haut-Bandama. Ainsi, les principaux ordres, les principales familles et espèces sont celles qui représentent au moins 5 % de l'effectif total de macroinvertébrés récoltés sur au moins une des 12 stations d'échantillonnage (Wasson *et al.*, 2002 ; Edia, 2008).

2.2.4.5. Analyse de la diversité des communautés de macroinvertébrés

2.2.4.5.1. Indice de diversité de Shannon (H')

L'indice de diversité de Shannon (H') est fondé sur le nombre d'espèces et la régularité de leur distribution de fréquence. Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité et l'équilibre des communautés d'un milieu (Ramade 2003). L'indice de Shannon convient bien à l'étude comparative des communautés (Shannon & Weaver, 1963), et prend en compte à la fois le nombre d'espèces présentes et le nombre d'individus de chaque groupe spécifique.

Il a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$H' = - \sum P_i \text{Log}_2 P_i \quad (4)$$

Avec p_i : abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon.

Cet indice est variable aussi bien dans le temps que dans l'espace. L'indice de Shannon-Weaver a pour unité le « Bit ». Sa valeur dépend du nombre d'espèces présentes et de leurs proportions relatives. H' fluctue entre 0 et $\log S$. (H') est minimal quand l'échantillon ne contient qu'une seule espèce, cela traduit des conditions de vie difficiles qui permettent à peu d'espèces de s'établir. À l'inverse, il est maximal (théoriquement infini) lorsque toutes les espèces sont équitablement représentées dans l'échantillon, cela correspond à des conditions de milieu favorables permettant l'installation de nombreuses espèces (Le Bris, 1988). Généralement, dans les milieux naturels, quel que soit le groupe spécifique étudié, selon Frontier (1983) et Frontier & Pichod-Viale (1998), la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 ou 5 (communautés les plus diversifiées et réparti équitablement).

2.2.4.5.2. Indice d'équitabilité de Piélou (E)

L'indice de régularité ou d'équitabilité de Piélou E (1969) traduit le degré de diversité atteint pour identifier l'équilibre des communautés. Il permet d'étudier la régularité de la distribution des espèces et de comparer les diversités de deux communautés ayant des nombres d'espèces différents (Amanieu & Lasserre, 1982 ; Dajoz, 2000). Cet indice correspond au rapport de la diversité H' à la diversité maximale pouvant être obtenue avec le même nombre d'espèces ($H'_{\max} = \log_2 S$).

Son équation s'énonce selon la formule suivante :

$$E = \frac{H}{\text{Log}_2 S} \quad (5)$$

Avec S : nombres d'espèces observées

L'indice d'équitabilité E de Pielou varie entre 0 et 1. Lorsqu'il est proche de 0, cela signifiera qu'une espèce domine largement la communauté et lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces tendent à avoir la même abondance dans un milieu naturel non perturbé. Pour beaucoup d'écologistes, une équitabilité élevée est l'indice d'une communauté équilibrée.

2.2.5. Structuration trophique des communautés de macroinvertébrés

En identifiant le mode d'alimentation prédominant pour les principales espèces, des renseignements sur les qualités trophiques du milieu sont obtenus. À cet effet, la structure trophique des communautés de macroinvertébrés aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama a été obtenue en considérant les groupes trophiques définis par Pointier & McCullogh (1989) ; Pointier *et al.* (1989) ; Tachet *et al.* (2003) et Brown (2005).

2.2.6. Évaluation de la qualité écologique de l'eau

Pour évaluer la qualité écologique des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama, une approche multimétrique fondée sur deux types d'indices inhérents à la tolérance ou l'intolérance des macroinvertébrés aquatiques à la pollution a été utilisée. Il s'agit d'une part, des indices de diversité des communautés des macroinvertébrés qui prennent en compte la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces au sein d'un échantillon et de l'indice Biosédimentaire (IBS) fondé sur l'utilisation d'espèces indicatrices de pollutions, témoignant généralement des perturbations particulières (pollutions organiques ou sédimentaires) d'autre part.

2.2.6.1. Indices de diversité des communautés

Les métriques pris en compte sont : la richesse spécifique, l'indice Chironomidae, l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET), le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) et l'indice de tolérance à la pollution (Compin, 2006 ; Nyamsi *et al.*, 2014 ; Mary, 2015 ; Koumba, *et al.* 2017). Ainsi, selon l'espèce ou le groupe d'espèces analysées (Éphéméroptères, Trichoptères et Chironomidae), une forte proportion peut être interprétée positivement ou non. Par exemple, une densité relative élevée d'espèces Éphéméroptères et Trichoptères (ET) est généralement un signe du bon état écologique des milieux humides. Ils montrent une réponse variable face à divers types de dégradations d'origine anthropique ou naturelle. En revanche, une forte proportion des Chironomidae peut indiquer une pollution chimique et organique des milieux aquatiques (Mary, 1999 ; Hessé & Mangot, 2014).

2.2.6.1.1. Indice Chironomidae

L'indice Chironomidae représente le quotient de l'abondance en Chironomidae sur l'abondance totale des organismes présents dans une station (Cayrou *et al.*, 2000 ; Rosa *et al.*, 2014). Il est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Indice Chironomidae} = \frac{\text{Abondance en chironomidae}}{\text{Abondance totale}} \times 100 \quad (6)$$

Mary (1999), propose la classification suivante en fonction de l'abondance relative en Chironomidae :

- % Chironomidae > 75 % : Eau très polluée ;
- 20 % < % Chironomidae ≤ 75 % : Eau moyennement polluée ;
- 5 % < % Chironomidae ≤ 20 % : Eau faiblement polluée ;
- % Chironomidae ≤ 5 % : Eau de très bonne qualité.

2.2.6.1.2. Indice ET et pourcentage en ET

L'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) est le nombre d'espèces appartenant aux ordres du complexe Éphéméroptères (E) et Trichoptères (T) dans une station.

Il est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Indice ET} = \sum_{i=1}^{i=n} \text{Taxons (E + T)} \quad (7)$$

Quant au pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET), il représente le quotient de l'abondance des espèces du complexe Éphéméroptères et Trichoptères sur l'abondance totale des organismes présents dans un station (Koumba *et al.*, 2017).

Il est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Pourcentage en ET} = \frac{\text{Abondance en ET}}{\text{Abondance totale}} \times 100 \quad (8)$$

Un indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) compris entre 15 et 20 et un pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) supérieure à 30 % indique une eau de très bonne qualité (Mary, 2015). Cependant, la qualité de l'eau se dégrade progressivement avec la baisse des valeurs de ces deux (2) indices.

2.2.6.1.3. Indice de tolérance à la pollution (ET/C)

L'indice de tolérance à la pollution des eaux est basé sur le rapport entre l'abondance des Éphéméroptères et Trichoptères (ET) sur celle des Chironomidae (C) (Koumba *et al.*, 2017). Lorsque ce rapport est proche de 0, il indique que les eaux sont de mauvaise qualité et lorsqu'il est supérieur à 10, les eaux sont de bonne qualité (Cayrou *et al.*, 2000).

Cet indice est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Indice} \frac{ET}{C} = \frac{\text{Abondance en ET}}{\text{Abondance en Chironomidae}} \quad (9)$$

2.2.6.2. Indice Biosédimentaire (IBS)

L'Indice Biosédimentaire (IBS) a été élaboré pour évaluer les perturbations de type mécanique générées par les particules sédimentaires fines (sable, limons, argiles) dans les cours d'eaux drainant des terrains à dominante ultrabasique observée sur les terrains d'exploitation miniers (Mary & Hytec, 2007). La méthode se réfère à un ensemble d'espèces indicatrices auxquels un score a été attribué en fonction de leur sensibilité à la présence de dépôts latéritiques sur le substrat. L'Indice Biosédimentaire (IBS) sur une station est obtenu en divisant la somme des scores des espèces indicatrices présents par le nombre total d'espèces indicatrices.

L'indice biosédimentaire est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Indice Biosédimentaire (IBS)} = 1/n \sum_{i=1}^{i=n} S_i \quad (10)$$

Avec **n** : nombre d'espèces indicatrices; **S_i** : score de l'espèce *i* pour l'indice calculé.

Les valeurs des scores de cet indice se situent entre 1 et 10. Les espèces les plus sensibles ont les scores maximums. La note indicielle de cet indice varie théoriquement entre 0 (aucune espèce indicatrice présente) et 10 (toutes les espèces indicatrices présentes ont un score de 10). Dans la réalité, l'indice Biosédimentaire dépasse rarement la valeur de 7,5. Les scores actuellement utilisés pour cet indice sont inscrits dans le Tableau (IV).

Tableau IV : Scores de sensibilité des espèces indicatrices de l'Indice Biosédimentaire (IBS) par Mary (2015).

Espèces indicatrices	Scores IBS	Espèces indicatrices	Scores IBS
INSECTES		DIPTÈRES	
Lépidoptères	4	Blephariceridae	8
Collemboles	4	Ceratopogonidae	2
EPHEMEROPTERES		Forcipomyiinae	5
Baetidae	5	Chironomini	3
Leptophlebiidae		Chironomus	4
Amoa	9	Corynoneura	6
Celiphlebia	7	Harrisius	4
Coula	10	Orthoclaadiinae	2
Fasciamirus	6	Pseudochironomini	5
Kariona	10	Tanypodinae	3
Kouma	10	Tanytarsini	4
Lepegenia	4	Cecidomyiidae	3
Lepeorus	7	Culicidae	9
N.genre 4	9	Dixidae	5
N.genre A	10	Dolichopodidae	5
N.genre B	10	Empididae	4
Notachalcus	8	Ephydridae	6
Oumas	4	Limoniidae	6
Ounia	8	Muscidae	5
Papposa	10	Psychodidae	8
Paraluma	4	Rhagionidae	5
Peloracantha	10	Simuliidae	5
Poya	9	Stratiomyidae	4
Simulacala	7	Syrphidae	3
Tenagophila	7	Tabanidae	6
Tindea	7	Tanyderidae	5

Tableau IV : (Suite et fin)

Espèces indicatrices	Scores IBS	Espèces indicatrices	Scores IBS
TRICHOPTÈRES		COLÉOPTÈRES	
Ecnomidae	4	Cucurlionidae	7
Helicophidae	10	Dytiscidae	3
Helicopsychidae	9	Gyrinidae	5
Hydrobiosidae	7	Hydraenidae	5
Hydropsychidae	5	Hydrophilidae	8
Hydroptilidae	2	Noteridae	5
Kokiriidae	9	Scirtidae / Helodidae	3
<i>Gracilipsodes</i>	8	Staphylinidae	3
<i>Oecetis</i>	6	HETEROPTERES	
Symphitoneuria	6	Belostomatidae	5
Triplectides	7	Corixidae	5
a.genr. Leptoceridae	7	Gerridae	9
Philopotamidae	7	Hebridae	5
Polycentropodidae	8	Hydrometridae	7
ODONATOPTÈRES		Leptopodidae	5
Aeshinidae	5	Mesoveliidae	4
Coenagrionidae	5	Notonectidae	10
Corduliidae	10	Ochteridae	5
Isostictidae	9	Pleidae	5
Lestidae	5	Saldidae	5
Libellulidae	4	Veliidae	9
Argiolestidae	8	PLANIPENNES	
Synthemistidae	8	MOLLUSQUES GASTÉROPODES	
CNIDAIRES (Hydres)	3	Gyraulus	10
PLATHELMINTES	9	Physastra	10
ACHÈTES	10	Physa	3
NÉMATODES	3	Pseudosuccinea	3
NÉMERTIENS	6	Melanoides	4
OLIGOCHÈTES	7	Melanopsis	9
CRUSTACES		Thiara	3
Amphipodes	3	Hydrobiidae	4
Isopode	3	Neritidae	5
Atyidae	7	MICROBENTHOS	
Grapsidae	5	Ostracodes	9
Hymenosomatidae	5	Copépodes	5
Palaemonidae	9	Hydracariens	4

Après la présentation des scores de sensibilité des espèces indicatrices de l'Indice Biosédimentaire (IBS), les classes de qualités biologiques des eaux consignées dans le tableau V sont proposées par Mary (2015), afin d'évaluer la qualité de l'eau à chaque station. Par ailleurs, des classes de couleurs sont affectées à chaque classe de qualité de l'eau, afin de faciliter la lecture de la représentation sur une carte de qualités (Mary, 2015).

Tableau V : Classes de qualité de l'Indice Biosédimentaire (IBS)

Valeurs de l'Indice IBS	Qualité	Couleurs
$IBS > 6,50$	Excellente	Bleu
$5,75 < IBS \leq 6,50$	Bonne	Orange
$5,00 < IBS \leq 5,75$	Passable	Jaune
$4,25 < IBS \leq 5,00$	Mauvaise	verte
$IBS \leq 4,35$	Tres Mauvaise	Rouge

2.2.6.3. Corrélation entre les indices

Les indices de diversité et biologiques cités plus haut ont été mis en relation les uns aux autres grâce au coefficient de corrélation de rang de Spearman. Cette méthode non paramétrique permet de mesurer l'intensité de la relation entre deux indices. Le coefficient de corrélation de Spearman varie entre -1 et 1, ces valeurs extrêmes indiquant une corrélation parfaite entre les deux indices considérés (Mary, 1999).

2.2.7. Traitements statistiques

2.2.7.1. Analyses univariées

La vérification de la normalité des différentes données a été réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilk (Shapiro *et al.*, 1968).

Les tests non paramétriques tels que le test de Kruskal-Wallis (comparaisons multiples), le test U de Mann-Whitney (comparaison de deux échantillons) ont été également employés pour les comparaisons inter et intra sujets lorsque la distribution des variables ne respectait pas l'une des conditions d'utilisation d'une ANOVA classique (Annexe 3).

Le test de Kruskal-Wallis a été employé pour tester la variabilité des paramètres physico-chimique et hydromorphologique entre différents groupes de stations. Le test U de Mann-Whitney a par la suite été utilisé pour identifier des différences entre les groupes pris deux à deux. En effet, la valeur de la « signification asymptotique » indique qu'il n'y a pas de différences significatives entre les variables quand elle est supérieure à 0,05, et inversement lorsque celle-ci est inférieure à 0,05.

Par ailleurs, le test G de proportion avec la correction de Yates (Zar, 1999), a été employé pour comparer les proportions des stations selon les différentes distributions spatiales des macroinvertébrés. Le test G qui est un test de proportion a été utilisé pour comparer les proportions des stations dans les groupes définis par la SOM (Reyjol *et al.*, 2005).

En outre, le test de corrélation de Spearman a été employé pour tester la corrélation entre les indices utilisés pour l'évaluation de la qualité écologique des eaux. Cette méthode non paramétrique permet de mesurer l'intensité de la relation entre deux indices (Mary, 1999).

Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica v 7.1 sous Excel (Microsoft Office 2013).

2.2.7.1.1. Test de Student

Le test de Student est la méthode la plus courante pour évaluer les différences entre les moyennes de deux groupes. Vous pouvez utiliser le test de student même sur des échantillons de très petite taille (par exemple $n = 10$), tant que les variables sont distribuées normalement dans chaque groupe et que la dispersion des résultats dans les deux groupes n'est pas significativement différente (Kinnear & Gray, 2005). Le niveau p reporté dans un test de student représente la probabilité d'erreur associée à l'acceptation d'une hypothèse (H_0) quant à l'existence d'une différence. Le test de Student est significatif pour une valeur de la probabilité inférieure à 0,05 ($p < 0,05$). La nature de l'hypothèse (uni ou bilatérale) détermine les zones d'acceptation ou de rejet de l'hypothèse nulle (Borcard, 2011). Dans cette étude, le test de Student a permis d'évaluer les différences entre les groupes de stations minéralisées et faiblement minéralisées et les espèces indicatrices associés aux valeurs indicatrices de références, afin d'utiliser les différences significative comme métrique.

2.2.7.2. Analyses multivariées

2.2.7.2.1. Cartes auto-organisatrices de Kohonen (SOM)

L'algorithme des cartes auto-organisatrices « Self Organizing Maps (SOM) » ou cartes de Kohonen (Kohonen, 1982 & 1995) a été utilisé pour ordonner les sites d'études en fonction des variables environnementales et des assemblages des familles. Ces modèles neuronaux artificiels partagent avec les algorithmes classiques d'ordination, l'idée de représenter des données multidimensionnelles dans un espace de dimension inférieure (généralement un plan). Contrairement aux méthodes classiques, les SOM traitent avec beaucoup d'aisance les données extrêmes (grande abondance ou extrême rareté), très souvent contenues dans les bases de données écologiques (Brosse *et al.*, 2001 ; Giraudel & Lek, 2001). Par ailleurs, Lek *et al.* (1996 & 2000) et Laë *et al.* (1999) ont montré l'efficacité des réseaux de neurones en écologie qui est caractérisée pour la plupart du temps par des processus non linéaires. En effet, cette technique de classification non linéaire est capable de montrer des patrons simplifiés à partir des bases de

données complexes en identifiant des groupes semblables (Kohonen, 2001). Les SOM se composent habituellement de deux couches de neurones. La couche d'entrée, constituée de la matrice du jeu de données, est directement reliée à la couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen et qui est composée par des neurones artificiels de sortie (Figure 19). L'apprentissage est dit concurrentiel car il engendre une compétition d'activité des nœuds du modèle vis à vis des données d'entrée. Cet apprentissage est également dit non supervisé parce que les valeurs du jeu de données sont uniquement utilisées dans la couche d'entrée et aucune indication concernant les valeurs attendues dans la couche de sortie n'est apportée au système. Ce procédé recherche itérativement des similarités parmi les données observées et les représente dans la carte de sortie en préservant les voisinages. À la fin de l'apprentissage, une carte est obtenue et dans chaque hexagone se trouve un objet virtuel pour lequel les valeurs des descripteurs ont été calculées. Ces objets virtuels représentent la distribution des objets réels.

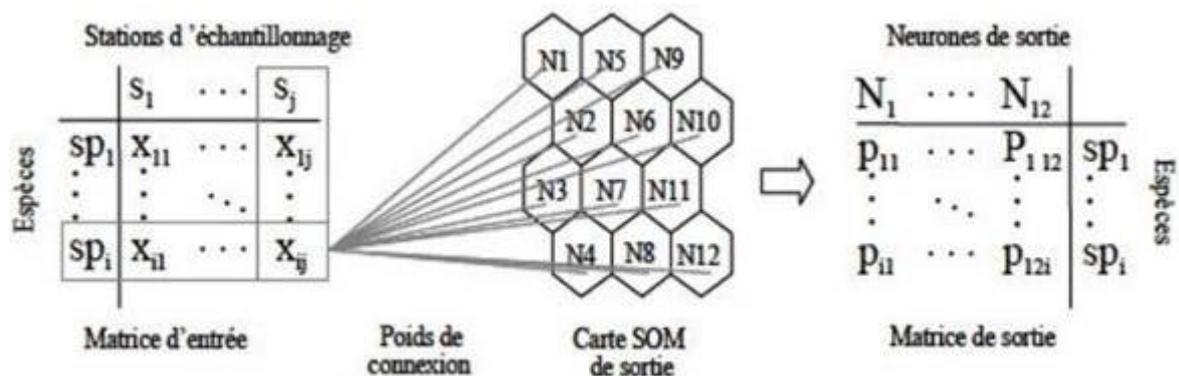


Figure 19 : Schéma simplifié de la carte auto-organisatrice de Kohonen ; D'après Aguilar Ibarra (2004).

La couche d'entrée contient les données de présence/absence (x_{ij}) pour chaque observation ou station d'échantillonnage (s_j). Une fois que la SOM a trouvé les poids de connexion (p_{ij}) en erreur minimale d'apprentissage, on obtient la carte et la couche de sortie.

L'objectif de l'apprentissage est d'ajuster les composantes des objets virtuels afin qu'ils reflètent la distribution des échantillons. Les étapes de l'algorithme des SOM se résument comme suite :

- (1) les objets virtuels sont initialisés par des objets choisis au hasard parmi les objets réels du jeu de données ;
- (2) un objet réel est choisi au hasard et présenté à la couche d'entrée ;
- (3) la distance entre cet objet et chaque objet virtuel est calculée ;
- (4) l'objet virtuel le plus proche est déclaré « neurone vainqueur » ou « Best Matching Unit (BMU) » ;

- (5) tous les neurones au voisinage du BMU sont modifiés (phase de mise en ordre et d'ajustement).

Le choix de la taille de la carte est un paramètre déterminant pour détecter au mieux l'écart entre les données. Par exemple, si la carte est trop grande, c'est à dire si le nombre d'unités de la carte est largement supérieur au nombre d'échantillons, les données seront trop dispersées par le modèle. L'apprentissage se fait donc avec différentes tailles de carte et la taille optimale est choisie en minimisant les erreurs dites de quantification (QE) et de topographie (TE). Selon Kohonen (2001), la *QE* qui mesure la résolution de la carte est la moyenne des distances entre chaque vecteur d'entrée et son *BMU*. La *TE* représente la proportion des vecteurs de données pour lesquels les 1^{er} et 2^{ème} *BMU* ne sont pas adjacents et donc est utilisée pour mesurer la préservation de la typologie (Kiviluoto, 1996). La *TE* évalue la qualité de la carte, c'est-à-dire mesure si l'apprentissage de la carte de Kohonen est de qualité.

Une fois la carte de Kohonen obtenue, un algorithme d'analyse de classification hiérarchique basée sur la méthode Ward et la distance Euclidienne a ensuite permis de mettre en évidence des assemblages des objets réels sur la carte (Park *et al.*, 2003). Ces regroupements se sont faits sur la base des affinités en termes de communautés des échantillons projetés dans les cellules de couche de sortie. L'interface *SOM Toolbox* (version 2) pour Matlab® qui a été utilisée, a été développée par l'Université de Technologie d'Helsinki est disponible sur le site : <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>.

2.2.7.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de caractériser les différentes stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve. Cette approche permet de récapituler en deux ou quelques variables synthétiques les « composantes principales », la majorité de l'information contenue dans les variables initiales (Dufrière, 1992). Deux formes de résultats sont obtenues :

- Des feuilles de données utilisées pour l'interprétation des résultats.

Celles-ci donnent des informations telles que les coordonnées factorielles des variables et observations, les contributions des variables et observations, les résultats factoriels, les coefficients des résultats factoriels, les cosinus carrés, les valeurs propres et les statistiques descriptives ;

- Deux graphiques juxtaposés qui représentent les projections en deux dimensions des métriques et des stations regroupés en classes. Les axes factoriels qui présentent une valeur propre supérieure à 1 sont utilisés pour l'interprétation. C'est une méthode statistique factorielle

descriptive dont l'objectif est de présenter sous forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données de taille importante (Philippeau, 1992). Les données à traiter par l'ACP sont stockées dans un tableau rectangulaire ou matrice. Les lignes de cette matrice représentent les individus « n » sur lesquels sont mesurés des variables quantitatives « p » disposées en colonnes. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée avec le logiciel Xlstat v2018 sous Excel (Microsoft Office 2013).

2.2.7.2.3. Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

L'analyse de Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a été effectuée pour rassembler les stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve. Pour cette classification, la distance Euclidienne du Chi-deux a été utilisée et comme critère d'agrégation, la méthode de Ward. Cette méthode permettant de regrouper deux classes d'une partition pour obtenir une partition plus agrégée, notamment à regrouper les classes de façon à que l'augmentation de l'inertie interclasse soit maximum (Philippeau, 1992). Le résultat est un dendrogramme arbre de la classification hiérarchique. Elle a été réalisée à l'aide logiciel PAST version 2.17c.

2.2.7.2.4. Analyse Factorielle Discriminante (AFD)

L'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) fait partie des analyses de classement. Elle a pour but d'attribuer un ensemble d'objets nouveaux à des catégories prédéterminées d'objets. L'AFD consiste à trouver la combinaison linéaire des variables explicatives qui maximisent la variance entre les groupes et qui la minimise au sein des groupes. Dans cette étude, cette analyse a permis d'identifier les variables environnementales qui déterminent les regroupements des familles définies par la SOM à partir de la matrice présence/absence (Wunderlin *et al.*, 2001 ; Konan, 2008). Des coefficients normalisés pour chaque paramètre environnemental ont d'abord été calculés afin de déterminer leur contribution dans la discrimination des groupes (Manly, 1994). La pertinence de l'AFD a été par la suite appréciée par le test de permutation de Monte Carlo sur 1000 permutations aléatoires (Edia, 2008). Aussi, le "leave-one-out" a-t-il été exécuté pour estimer la capacité du modèle à prédire pour chaque groupe prédéfini, l'appartenance de chaque échantillon (Wunderlin *et al.*, 2001). Le processus 'leave-one-out' consiste au déplacement d'une observation de la matrice originale suivie de l'AFD sur les observations restantes pour prédire l'appartenance de l'observation omise au groupe. Cette opération est répétée pour toutes les observations de la matrice de données. Ainsi, pour un problème de

classification, l'AFD consiste à trouver le meilleur sous-espace de dimension qui permet de séparer en projection les différentes classes de données. Le critère de séparation tend à ce que les centres de gravité projetés soient aussi séparés que possible, tandis que chaque sous-nuage doit se projeter de manière groupée autour de la projection de son centre de gravité. L'AFD a été réalisée avec le logiciel Xlstat v2018 (sous Excel de Microsoft Office 2013).

2.2.7.2.5. Analyse canonique de ReDondance (RDA)

Une Analyse Canonique de ReDondance (RDA) a permis d'étudier la relation entre les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques et les variations des abondances des principales espèces des macroinvertébrés dans les stations. Le logiciel CANOCO 4.5 (Canonical Community Ordination, version 4.5) a été utilisé. A cet effet, deux matrices de données macroinvertébrés-stations et paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques-stations ont été constituées. Cette analyse met en évidence les préférences environnementales des communautés (Ter Braak & Smilauer, 2002). Le test de Monte Carlo a été effectué pour sélectionner les variables environnementales qui expliquent le mieux la répartition des macroinvertébrés (Manly, 1994). Le résultat est un graphe dans lequel les macroinvertébrés et les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques sont représentés par des flèches. La longueur de la flèche dans l'ordination traduit l'importance de la variable environnementale, la direction montrant comment la variable environnementale est corrélée aux divers axes des espèces, l'angle entre les flèches indiquant les corrélations entre les variables, l'emplacement des espèces par rapport aux flèches mettra en évidence les préférences environnementales de chaque espèce (Fängstrom & Willén, 1987 ; Ter Braak, 1987 ; Palmer, 1993).

2.2.7.2.6. Méthode « Indval »

La méthode des valeurs indicatrices « *Indval* : Indicator value » est une méthode permettant de sélectionner les espèces les plus indicatrices des conditions environnementales des groupes obtenus après une ordination (Dufrêne & Legendre, 1997). Le principe de la méthode « *Indval* » repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce. Une espèce est considérée comme indicatrice si elle est typique d'un groupe de relevés et absente des autres groupes ou si elle est présente dans tous les relevés de ce groupe. Les espèces indicatrices donnent un sens écologique à une typologie d'une station donnée. Elles fournissent des critères pour (a) comparer des typologies différentes obtenues par analyse des données (groupement) et (b) identifier les niveaux intéressants dans un dendrogramme.

Pour chaque espèce i dans chaque groupe de relevés j , on calcule le produit du nombre d'individus ij (A_{ij}) par le nombre de sites ij (B_{ij}). Le facteur A_{ij} est la moyenne des abondances de l'espèce i dans les sites du groupe de relevés j par rapport à tous les groupes. Le second facteur B_{ij} représente la fréquence relative d'occurrence de l'espèce i dans les sites du groupe j . Toutes ces variables se calculent selon la formule suivante :

$$\mathbf{Ind\ Val}_{ij} = 100 \times A_{ij} \times B_{ij} \quad (11)$$

où, $\mathbf{Ind\ Val}_{ij}$ est la valeur indicatrice de l'espèce i dans le groupe de relevés j .

Soit $A_{ij} = \text{Nombre d'individus } ij / \text{Nombre d'individus } i$ et $B_{ij} = \text{Nombre de sites } ij / \text{Nombre de sites } j$. Ainsi, A_{ij} mesure la spécificité de l'espèce pour un groupe tandis que B_{ij} indique la fidélité de cette espèce à l'intérieur de ce groupe. La spécificité est maximale (100 %) quand l'espèce n'occupe qu'un groupe et la fidélité est maximale (100 %) lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'un groupe. La valeur indicatrice de l'espèce est maximale (100 %) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales (Tomassone *et al.*, 1993 ; Nahmani & Rossi, 2003). Dans cette étude, la méthode *IndVal* a été utilisée pour déterminer les valeurs indicatrices des espèces caractéristiques des différents types de stations en fonction de leurs caractéristiques abiotiques. Un espèce est considéré comme indicateur d'un habitat donné quand le test de permutation appliqué à ses différentes valeurs indicatrices est significatif pour cet habitat (Thomas *et al.*, 2004 ; Edia, 2008; Kouamé, 2014). Outre ce test, les espèces qui ont une valeur indicatrice supérieure ou égale à 25 % pour un type d'habitat ont été également assimilées aux espèces indicatrices de cet habitat (Nahmani & Rossi, 2003). Cette dernière considération signifie que l'espèce caractéristique apparaît au moins à 50 % dans un groupe donné de sites et que son abondance relative dans ce groupe atteint 50 % (Dufrêne & Legendre, 1997). L'outil utilisé pour exécuter les calculs de cette analyse est le package *Vegan* du logiciel R.

CHAPITRE III : **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

3.1. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDROMORPHOLOGIQUES DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA

3.1.1. Résultats

3.1.1.1. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama

3.1.1.1.1. Température

La figure 20 illustre les variations spatiales de la température dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur l'ensemble des stations prospectées, la température est comprise entre 19,2 °C dans la rivière Nambyon à la station NYA et 27,8 °C dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYB. Les valeurs médianes de la température ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différentes stations prospectées dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama.

La figure 21 montre les variations spatiales de la température entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques visités dans la Réserve, la valeur minimale de 19,2 °C a été obtenue dans la rivière Nambyon. Par contre, la valeur maximale de 27,8 °C a été enregistrée dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la température enregistrées dans les différents milieux aquatiques de la Réserve varient significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre. Toutefois, les valeurs médianes de la température enregistrées dans le fleuve Bandama et les mares ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Par contre, elles diffèrent significativement de celle notée dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

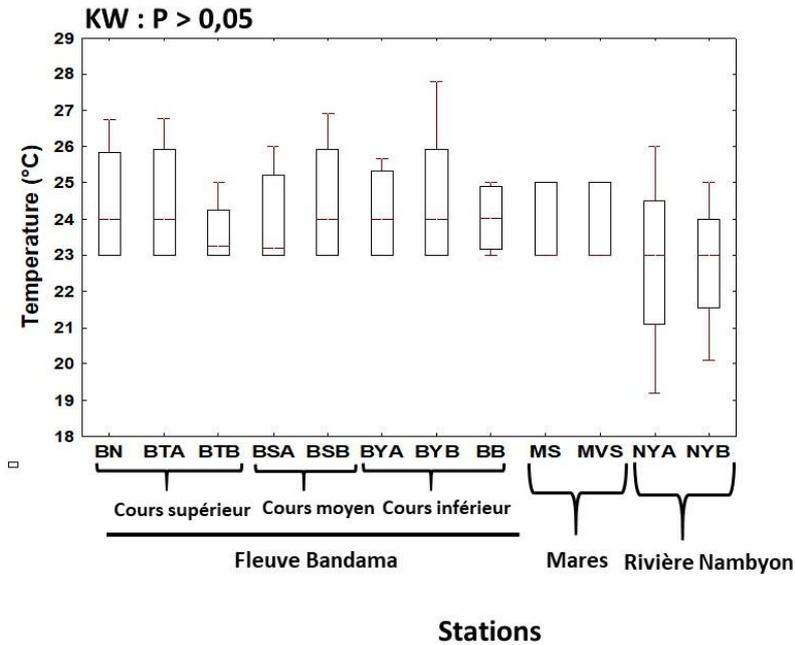


Figure 20 : Variations spatiales de la température dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

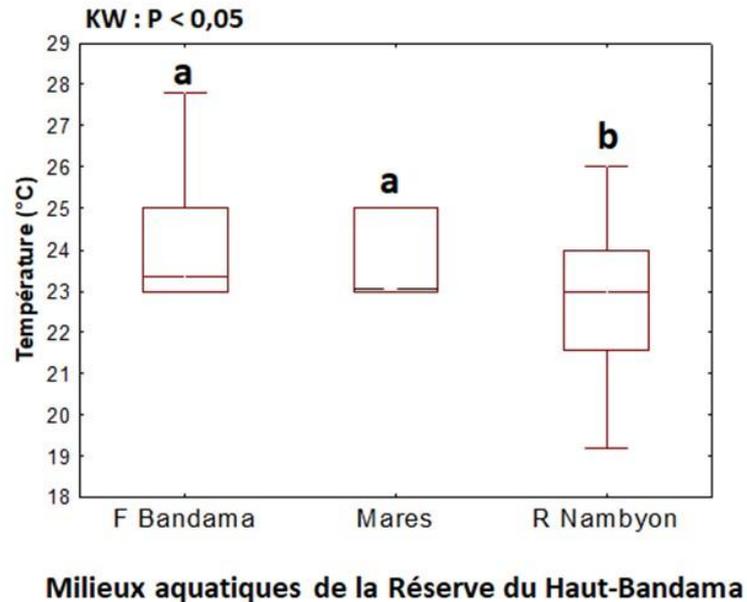


Figure 21 : Variations spatiales de la température dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.1.2. pH

Les variations spatiales du pH dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont illustrées à la figure 22. Dans l'ensemble des stations prospectées, les valeurs du pH oscillent entre 6,50 dans la rivière Nambyon à la station NYB et 11,55 dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTA. Les valeurs médianes du pH ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différentes stations visitées dans la Réserve.

La figure 23 illustre les variations spatiales du pH entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. La plus faible valeur du pH (6,50) est enregistrée dans la rivière Nambyon. En revanche, la plus grande valeur de cette variable (11,55) est notée dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes du pH enregistrées dans les différents milieux aquatiques de la Réserve ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre.

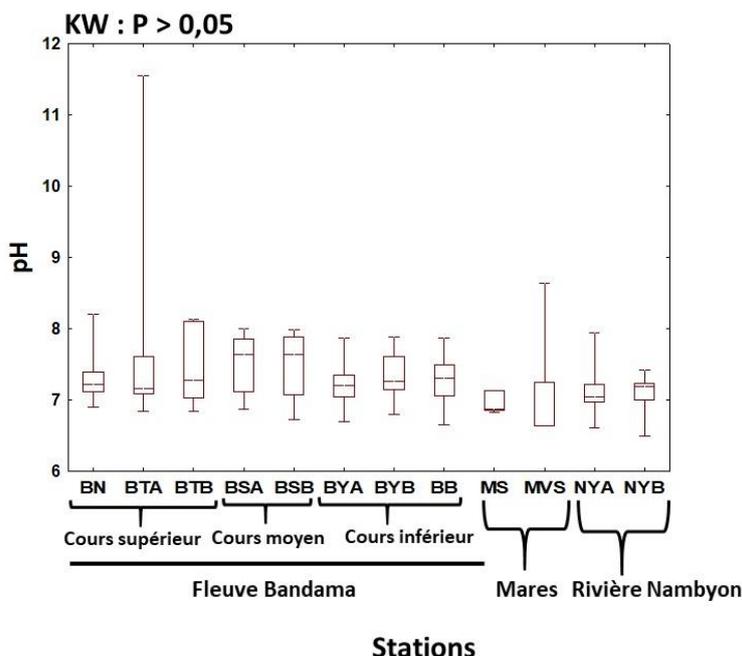


Figure 22 : Variations spatiales du pH dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

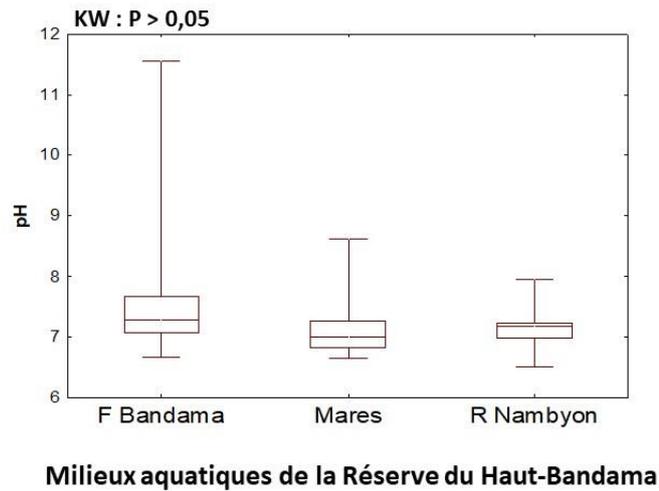


Figure 23 : Variations spatiales du pH dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

3.1.1.1.2. Oxygène dissous

La figure 24 indique les variations spatiales de l'oxygène dissous dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur toutes les stations prospectées, les valeurs minimales de 2,65 ppm et maximales de 26,97 ppm de la teneur en oxygène dissous ont été observées dans le cours moyen du fleuve Bandama à la station BSA. Les valeurs médianes de la teneur en oxygène dissous ne diffèrent pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les stations prospectées dans les milieux aquatiques de la Réserve.

La figure 25 montre les variations spatiales de l'oxygène dissous entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve, le fleuve Bandama enregistre la plus grande variation de la disponibilité en oxygène dissous, ainsi que les valeurs minimales de 2,65 ppm et maximales de 26,97 ppm. Les valeurs médianes de la teneur en oxygène dissous varient de manière significative (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre les différents milieux aquatiques de la Réserve. Cependant, les valeurs médianes de la teneur en oxygène dissous enregistrées dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Toutefois, elles diffèrent significativement de celle enregistrée dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

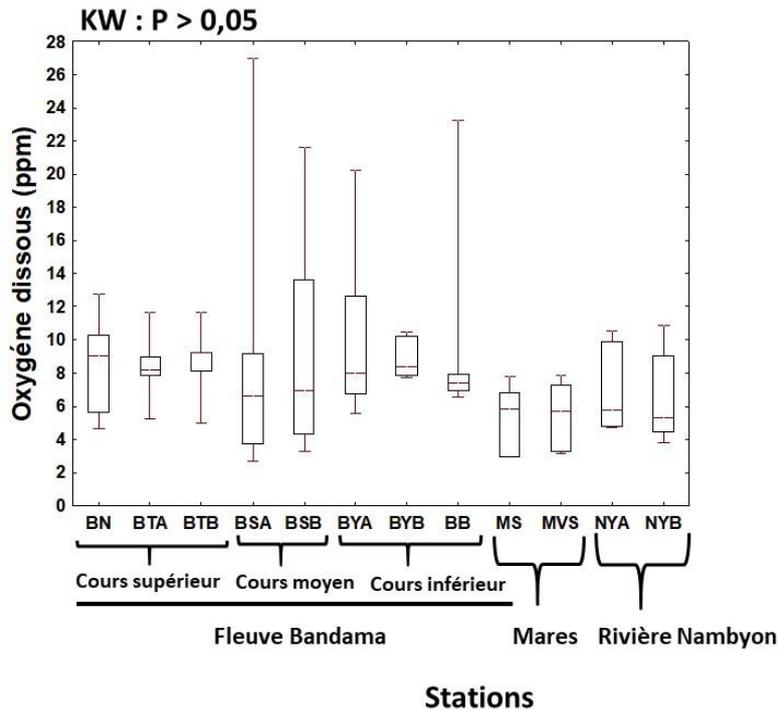


Figure 24 : Variations spatiales de la teneur en oxygène dissous dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

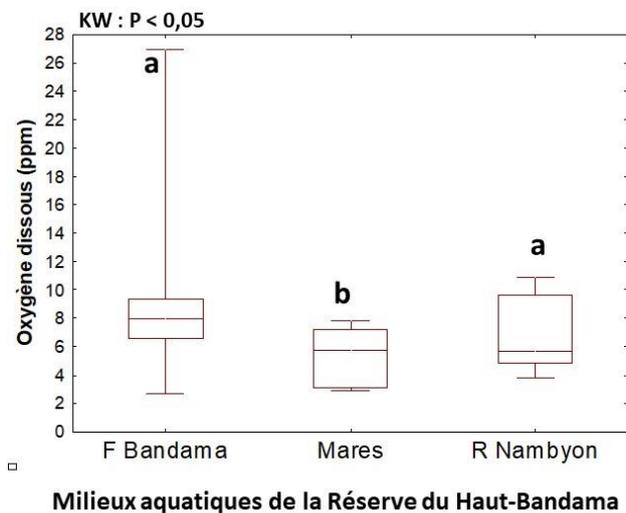


Figure 25 : Variations spatiales de la teneur en oxygène dissous dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.1.3. Conductivité

La figure 26 illustre les variations spatiales de la conductivité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Les valeurs de la conductivité dans l'ensemble des stations prospectées sont comprises entre 31,92 et 952,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de la rivière Nambyon à la station NYA. Les valeurs médianes de la conductivité varient significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre les différentes stations visitées dans la Réserve. Cependant, les valeurs médianes de la conductivité ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$) entre les stations BN, BTA, BTB, BSA, BSB, BYA, BYB et BB situées dans le fleuve Bandama, les stations MS et MVS, situées dans les mares et la station NYB de la rivière Nambyon. Par contre, les valeurs médianes de la conductivité à ces stations diffèrent (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) de celle enregistrée dans la rivière Nambyon à la station NYB.

La figure 27 indique les variations spatiales de la conductivité entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve, les valeurs de la conductivité oscillent entre 31,92 et 952,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la rivière Nambyon. Les valeurs médianes de la conductivité varient significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre. Cependant, les valeurs médianes de la conductivité enregistrées dans le fleuve Bandama et les mares ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Par contre, elles diffèrent significativement de celle observée dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

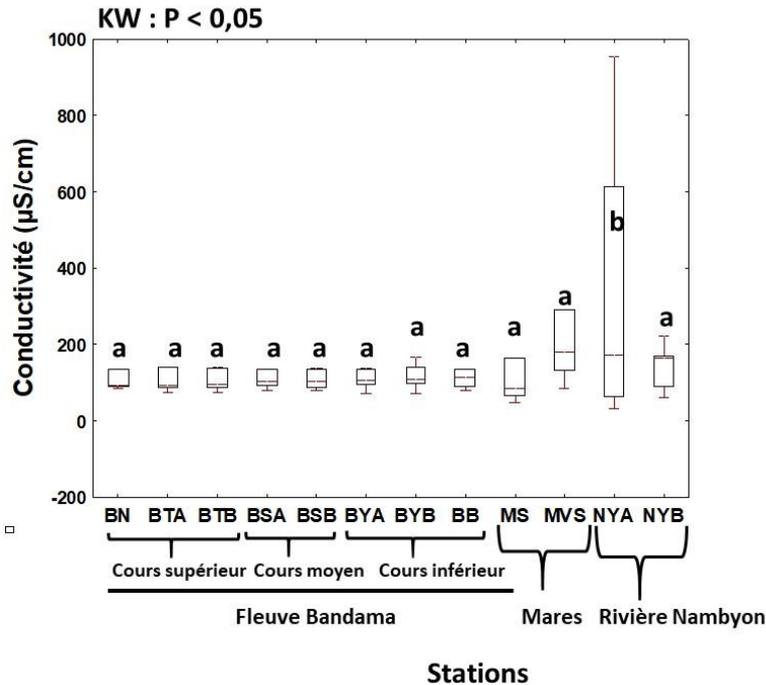


Figure 26 : Variations spatiales de la conductivité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

a, b = indiquent les différences observées au niveau des stations, les stations ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

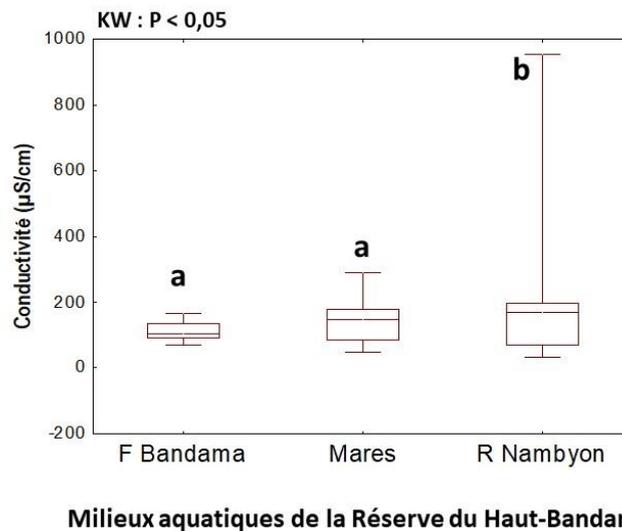


Figure 27 : Variations spatiales de la conductivité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.1.4. Turbidité

La figure 28 montre les variations spatiales de la turbidité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur l'ensemble des stations visitées, la plus faible valeur de la turbidité (4,80 NTU) a été enregistrée dans la rivière Nambyon à la station NYA. En revanche, la valeur la plus élevée de cette variable (325,33 NTU) est notée dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTB. Les valeurs médianes de la turbidité ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) d'une station à l'autre dans les milieux aquatiques de la Réserve.

La figure 29 illustre les variations spatiales de la turbidité entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. La valeur minimale de la turbidité (4,80 NTU) est notée dans la rivière Nambyon. En revanche, la valeur maximale de 325,33 NTU est observée au niveau du fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la turbidité ne présentent pas de variations significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre.

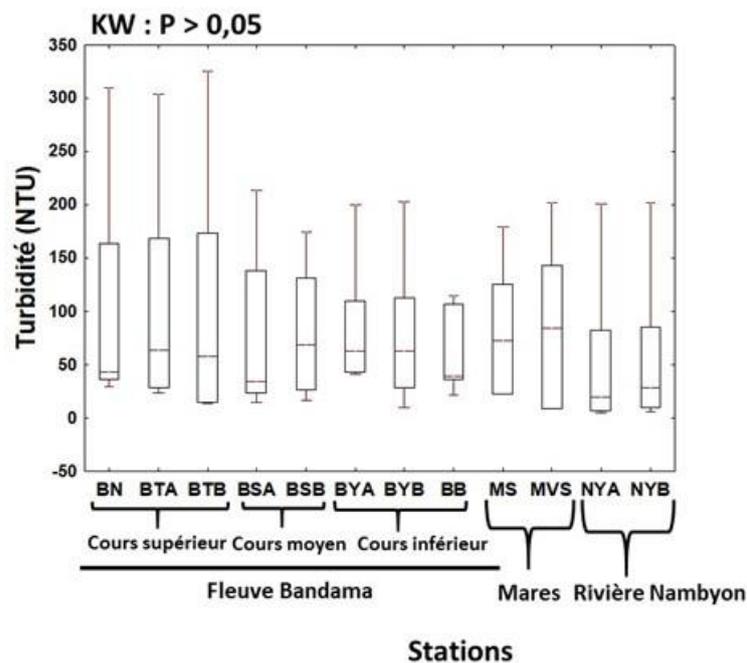


Figure 28 : Variations spatiales de la turbidité dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

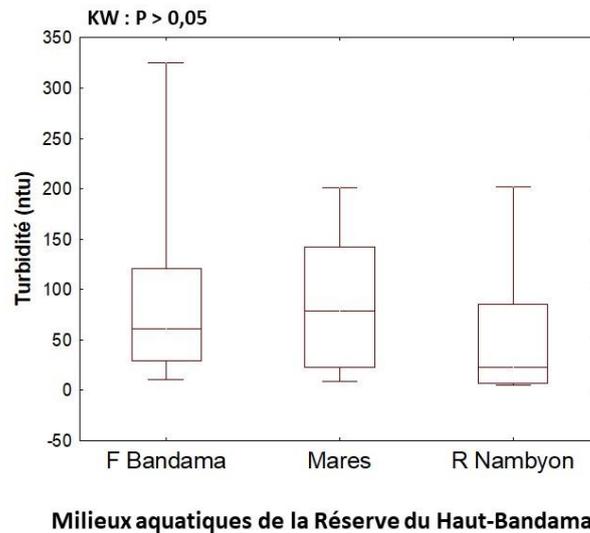


Figure 29 : Variations spatiales de la turbidité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon, pas de variation significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

3.1.1.1.5. Largeur du lit mouillé

Les variations spatiales de la largeur du lit mouillé dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont présentées par la figure 30. Dans l'ensemble des stations visitées, les valeurs de la largeur du lit mouillé fluctuent entre 3 m dans les mares à la station MS et 375 m dans le cours moyen du fleuve Bandama à la station BSB. Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé diffèrent significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre les différentes stations. Toutefois, les valeurs médianes de la largeur du lit mouillée ne varient pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$) entre les stations BN, BTA, BTB, BSA, BSB, BYA, BYB et BB situées dans le fleuve Bandama. Il en est de même pour les stations MS et MVS, situées dans les mares et les stations NYA et NYB, situées dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

La figure 31 indique les variations spatiales de la largeur du lit mouillé entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. La plus faible valeur de la largeur du lit mouillée (3 m) est enregistrée dans les mares. Cependant, la valeur la plus élevée de 375 m est notée dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé diffèrent significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre. Par ailleurs, les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé enregistrées dans les mares et la rivière Nambyon ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-

Whitney, $p > 0,05$). Par contre, elles diffèrent de celle obtenue dans le fleuve Bandama (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

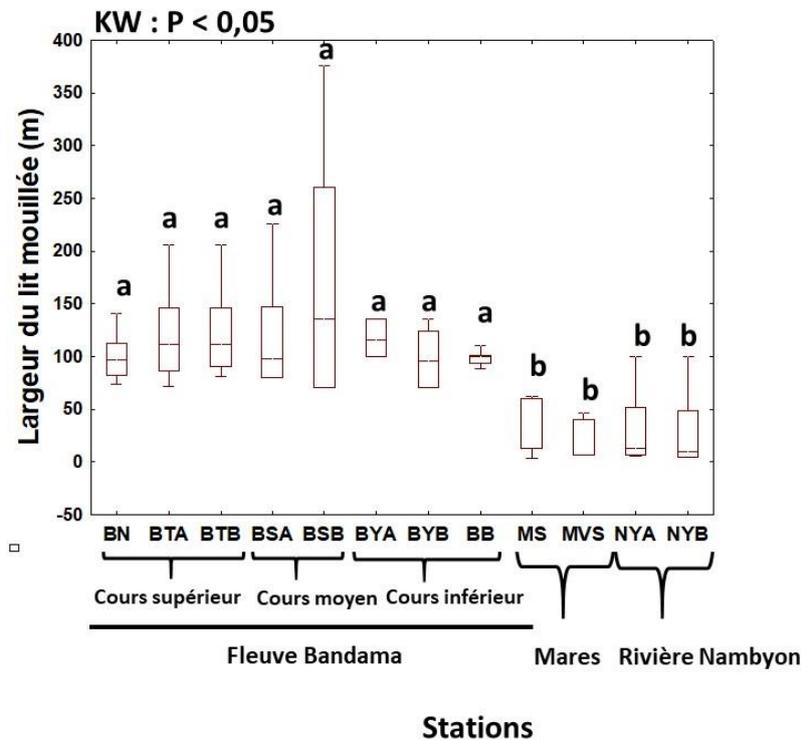
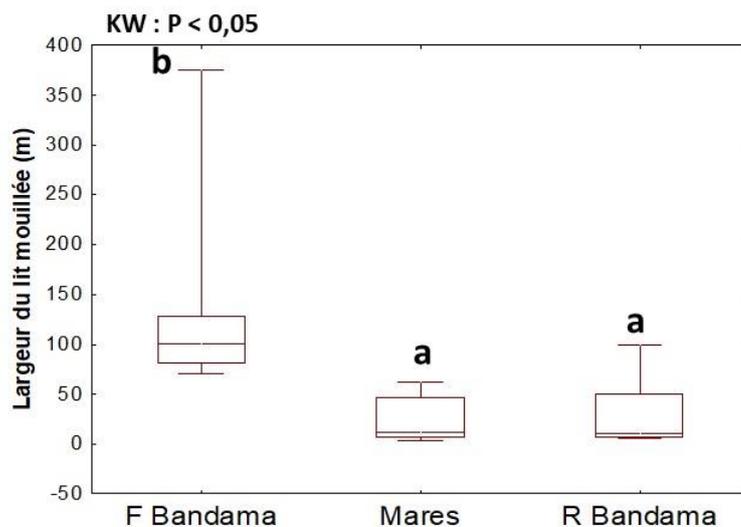


Figure 30 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillé dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).



Milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama

Figure 31 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillée dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.1.6. Vitesse du courant

La figure 32 fait état des variations spatiales de la vitesse du courant dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur l'ensemble des stations prospectées dans les milieux aquatiques de la Réserve, la valeur minimale de 0,02 m/s est obtenue dans la rivière Nambyon à la station NYA. Quant à la valeur maximale de 1m/s, elle a été enregistrée dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BN. Par ailleurs, les plus faibles variations de la vitesse (0,10 à 0,20 m/s) ont été mesurées au cours moyen aux stations BSA et BSB. Les valeurs médianes de la vitesse varient de manière significative (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre les différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve. Cependant, les valeurs médianes de la vitesse aux stations BN, BTA et BTB, situées dans le cours supérieur du fleuve Bandama ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Il en est de même pour les stations BSA, BSB, BYA, BB et BYB, situées dans le fleuve Bandama et les stations NYA et NYB situées dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

La figure 33 indique les variations spatiales de la vitesse du courant entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve, la vitesse est minimale (0,02 m/s) dans la rivière Nambyon et maximale (1 m/s) dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la vitesse enregistrées dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon sont significativement différentes (test U de Mann-Whitney $p < 0,05$).

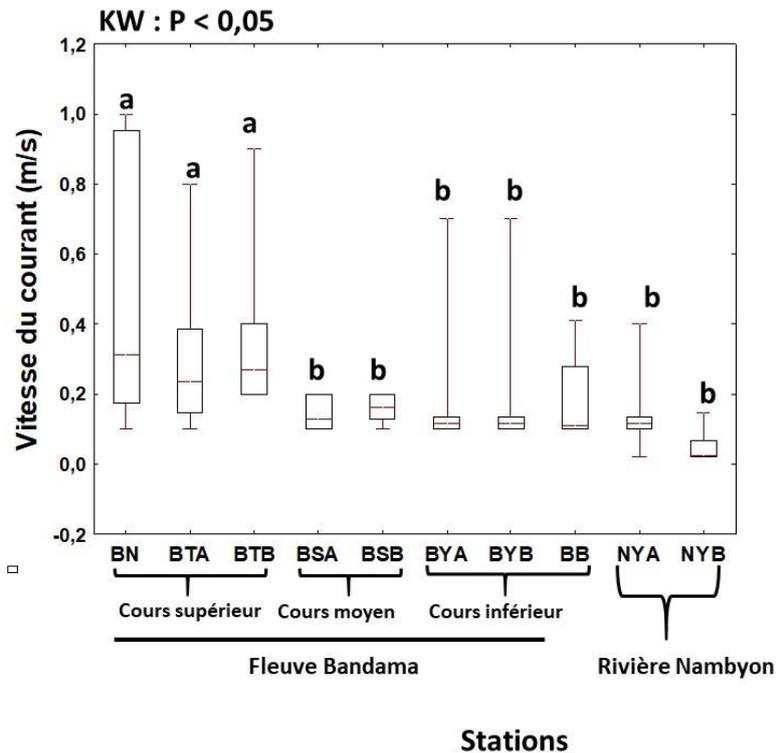


Figure 32 : Variations spatiales de la vitesse du courant dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

a, b = indiquent les différences observées au niveau des stations, les stations ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

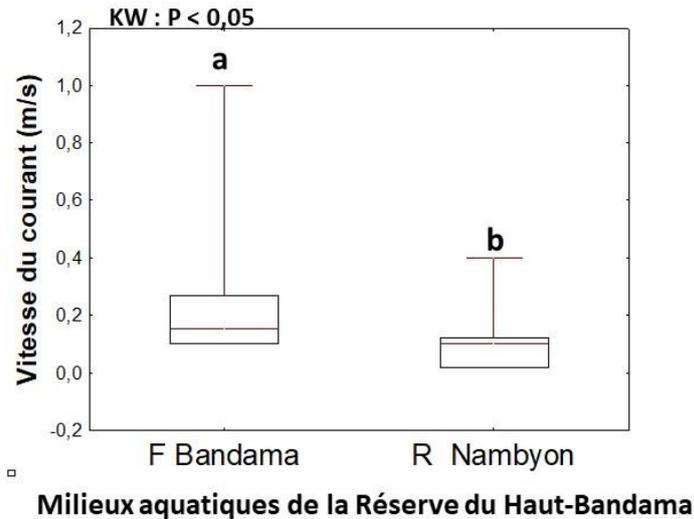


Figure 33 : Variations spatiales de la vitesse du courant dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a et b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques selon le test U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.1.7. Profondeur

La figure 34 indique les variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations, les valeurs de la profondeur fluctuent entre 2,5 cm dans les mares à la station MVS et 251 cm dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTB. Les valeurs médianes de la profondeur ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) d'une station à l'autre.

La figure 35 indique les variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage entre les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve, les valeurs de la profondeur sont comprises entre 2,5 cm dans les mares et 251 cm dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la profondeur varient significativement (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre les différents milieux aquatiques de la Réserve. Par ailleurs, les valeurs médianes de la profondeur enregistrées dans les mares et la rivière Nambyon ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Par contre, elles diffèrent significativement de celle enregistrée dans le fleuve Bandama (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

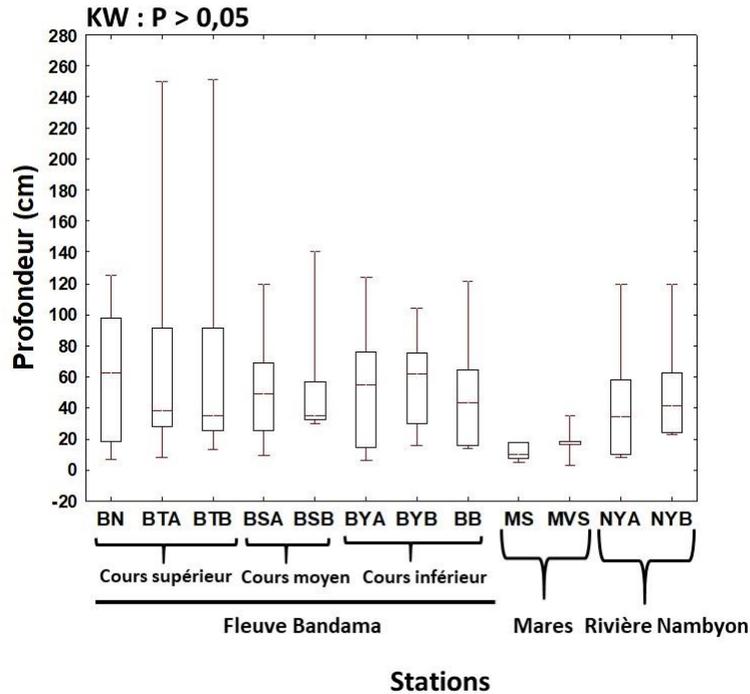


Figure 34 : Variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

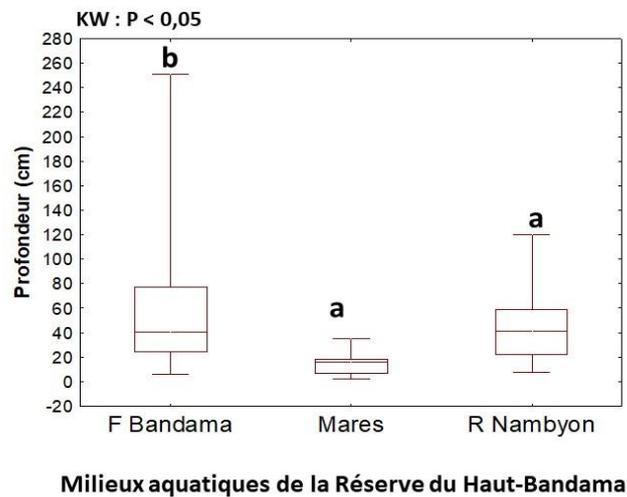


Figure 35 : Variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; a, b = indiquent les différences observées au niveau des milieux aquatiques, les milieux aquatiques ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW).

3.1.1.2. Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama

3.1.1.2.1. Température

Les variations saisonnières de la température dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont présentées par la figure 36. Dans le fleuve Bandama, la valeur minimale de 23 °C de la température a été enregistrée durant les deux saisons climatiques. Par contre, la valeur maximale de 27,8 °C est obtenue pendant la saison sèche. Dans les mares, la valeur minimale de 23 °C est enregistrée pendant la saison pluvieuse. Par ailleurs, la valeur maximale de 25 °C est notée pendant les deux saisons climatiques. Au niveau de la rivière Nambyon, la valeur minimale de 19,2 °C de la température est notée durant la saison sèche. En revanche, la valeur la plus élevée de la température (26 °C) est enregistrée durant les deux saisons. Les valeurs médianes de la température varient significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). En revanche, elles ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

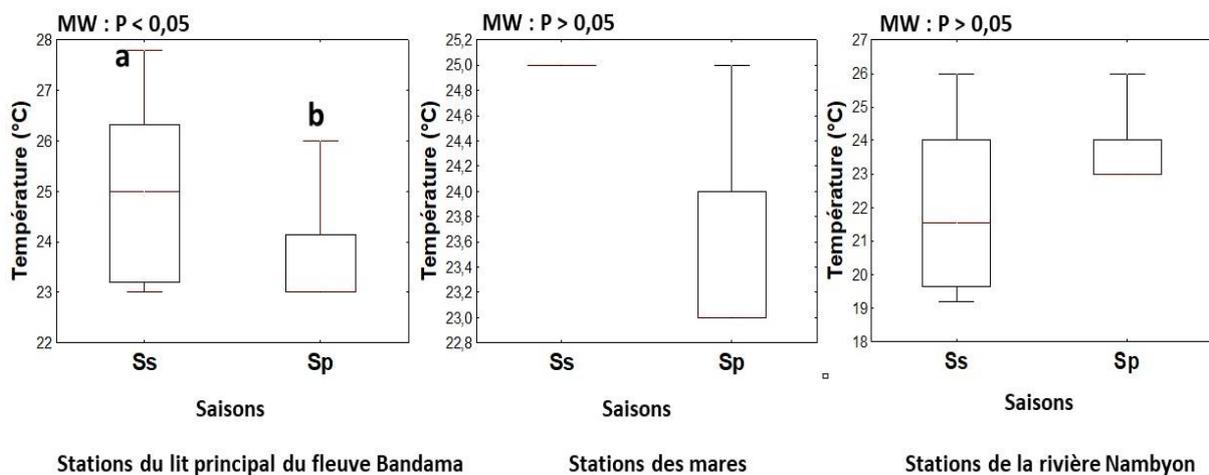


Figure 36 : Variations saisonnières de la température dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.2. pH

Les variations saisonnières du pH dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont présentées par la figure 37. Les valeurs les plus élevées du pH ont été atteintes durant la saison sèche dans le fleuve Bandama avec 11,55 et la rivière Nambyon avec 7,95. En revanche, les plus faibles valeurs du pH ont été enregistrées durant la saison pluvieuse avec respectivement 6,66 dans le fleuve Bandama et 6,50 dans la rivière Nambyon. Dans les mares, les valeurs minimales de 6,64 et maximales de 8,63 du pH ont été observées pendant la saison pluvieuse. Les valeurs médianes du pH varient significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). En revanche, les valeurs médianes de ce paramètre ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

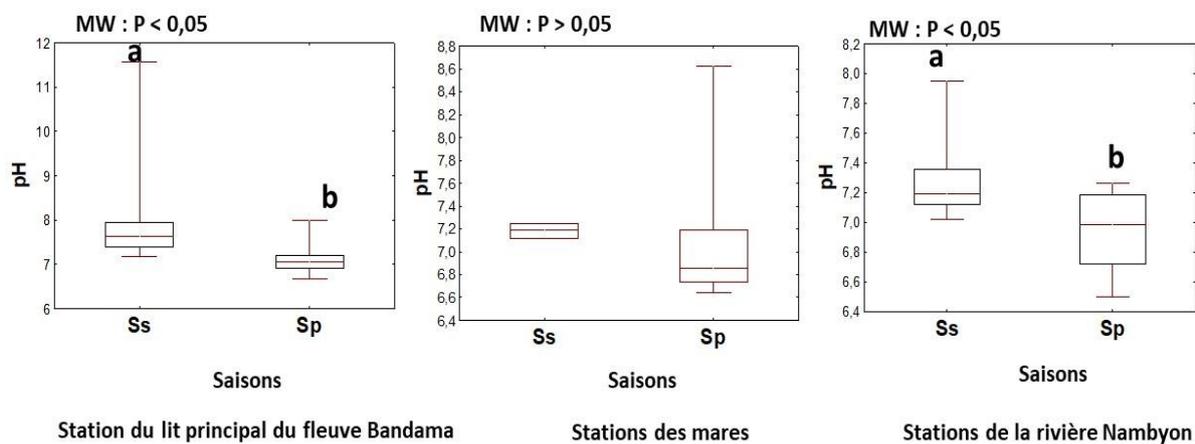


Figure 37 : Variations saisonnières du pH dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.3. Oxygène dissous

La figure 38 présente les variations saisonnières de la disponibilité en oxygène dissous dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans le fleuve Bandama, la valeur minimale de la teneur en oxygène dissous (2,65 ppm) a été enregistrée durant les deux saisons climatiques. En revanche, la valeur maximale de la disponibilité en oxygène dissous (26,97 ppm) est enregistrée durant la saison sèche. Dans les mares, la valeur minimale de l'oxygène dissous (2,96 ppm) est obtenue durant les deux saisons climatiques. Par ailleurs, la valeur maximale de cette variable (7,80 ppm) est atteinte pendant la saison pluvieuse.

Au niveau de la rivière Nambyon, la teneur en oxygène dissous est comprise entre 3,80 ppm durant la saison sèche et 10,87 ppm pendant la saison pluvieuse. Les valeurs médianes du taux d'oxygène dissous ne diffèrent pas significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Cependant, elles varient de manière significative entre les deux saisons climatiques dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

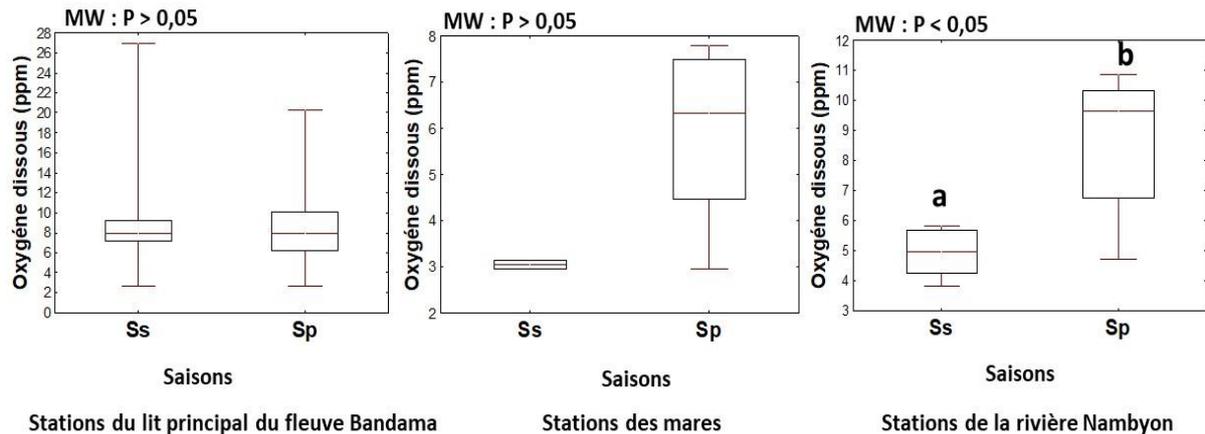


Figure 38 : Variations saisonnières de l'oxygène dissous dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.4. Conductivité

Les variations saisonnières de la conductivité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont présentées par la figure 39. Les valeurs les plus élevées de la conductivité ont été enregistrées durant la saison sèche dans le fleuve Bandama avec 166,77 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la rivière Nambyon avec 952,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par contre, les plus faibles valeurs de la conductivité ont été enregistrées durant la saison pluvieuse avec respectivement 71,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le fleuve Bandama et 31,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la rivière Nambyon. Dans les mares, la valeur la plus élevée de la conductivité (291 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été obtenue durant les deux saisons climatiques. Par ailleurs, la plus faible valeur de la conductivité (47,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est enregistrée durant la saison pluvieuse. Les valeurs médianes de la conductivité varient significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par contre, elles ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

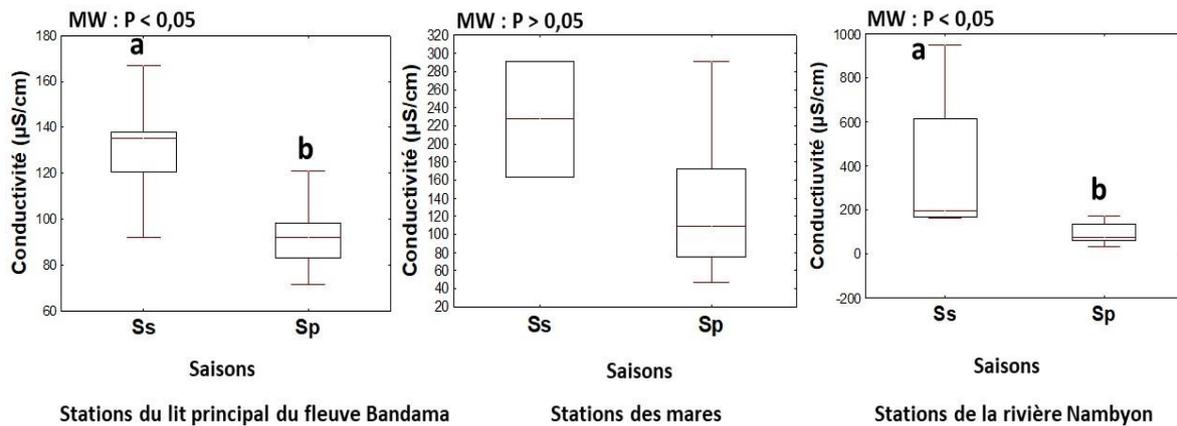


Figure 39 : Variations saisonnières de la conductivité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.5. Turbidité

La figure 40 présente les variations saisonnières de la turbidité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques prospectés dans la Réserve, les valeurs les plus élevées de la turbidité sont observées durant la saison pluvieuse. Elles sont de 325,33 NTU dans le fleuve Bandama, 201,5 NTU dans les mares et 202 NTU dans la rivière Nambyon. Dans le fleuve Bandama, la plus faible valeur de la turbidité (10,15 NTU) a été enregistrée durant la saison sèche. Dans les mares et la rivière Nambyon, les plus faibles valeurs de la turbidité ont été observées pendant les deux saisons climatiques. Elles sont de 8,69 NTU dans les mares et de 4,80 NTU dans la rivière Nambyon. Les valeurs médianes de la turbidité diffèrent significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par contre, elles ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

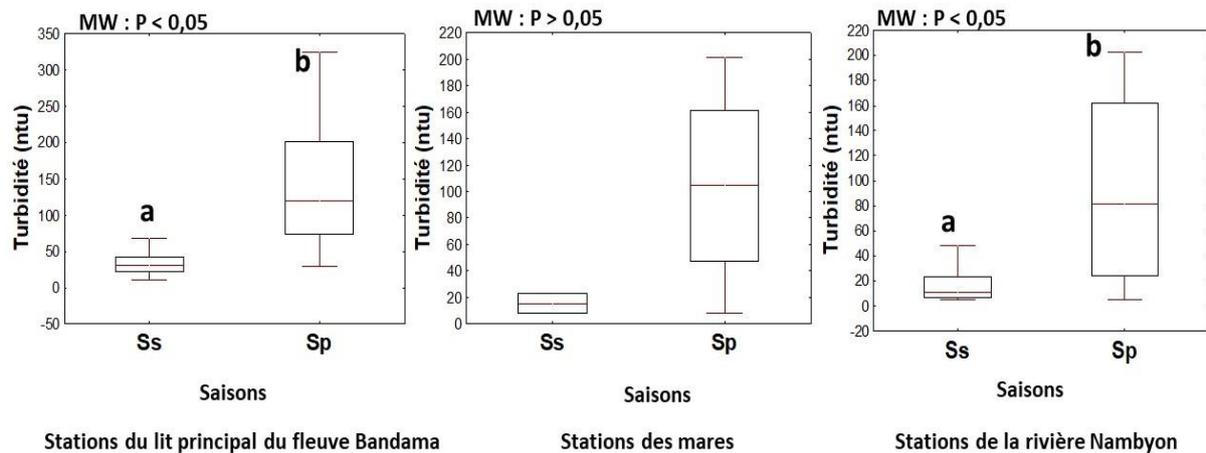


Figure 40 : Variations saisonnières de la turbidité dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.6. Largeur du lit mouillé

La figure 41 présente les variations saisonnières de la largeur du lit mouillé dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques prospectés, les valeurs les plus élevées de la largeur du lit mouillé ont été observées durant la saison pluvieuse dans le fleuve Bandama (375 m), les mares (62,25 m) et la rivière Nambyon (100m). Dans le fleuve Bandama, la plus faible valeur de la largeur du lit mouillé (70 m) a été enregistrée durant les deux saisons climatiques. Dans les mares, les plus faibles variations de la largeur du lit mouillé (6,25 à 12,25 m) sont observées durant la saison sèche. Dans la rivière Nambyon, la plus faible valeur la largeur du lit mouillé (5 m) est notée durant de la saison sèche. Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé varient significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par contre, elles ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

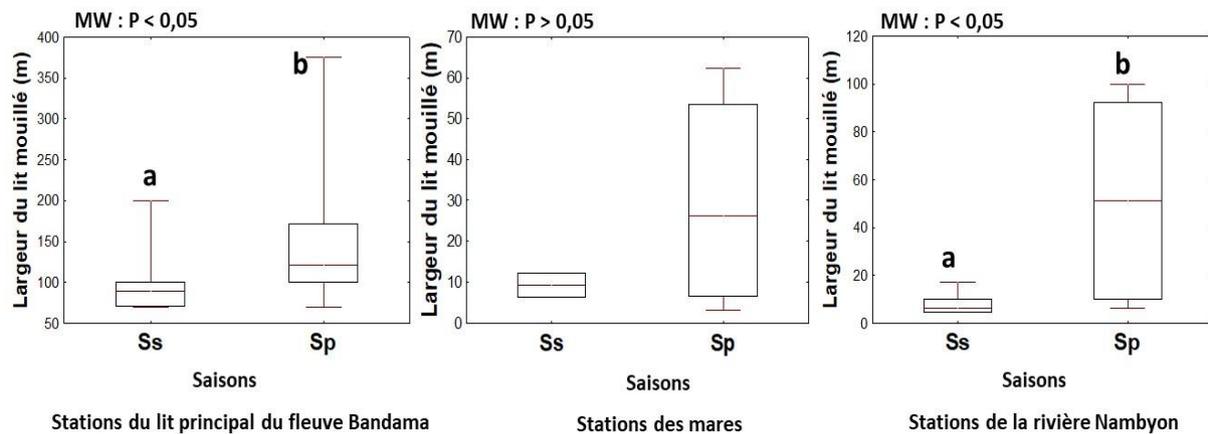


Figure 41 : Variations saisonnières de la largeur du lit mouillé dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.2.7. Vitesse du courant

La figure 42 indique les variations saisonnières de la vitesse du courant dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Les valeurs les plus élevées de la vitesse du courant sont enregistrées durant la saison pluvieuse dans le fleuve Bandama avec 1 m/s et la rivière Nambyon avec 0,4 m/s. Par contre, les plus faibles valeurs de la vitesse sont notées durant les deux saisons climatiques dans le fleuve Bandama avec 0,10 m/s et la rivière Nambyon avec 0,02 m/s. Les valeurs médianes de la vitesse du courant diffèrent significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). En revanche, elles ne varient pas de manière significative entre les deux saisons climatiques dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

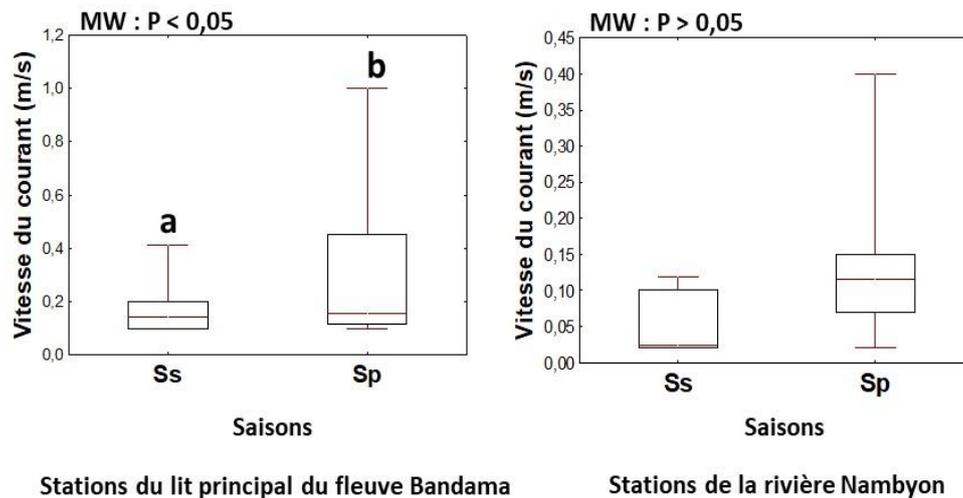


Figure 42 : Variations saisonnières de la vitesse du courant dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Whitney (MW).

3.1.1.2.8. Profondeur

La figure 43 illustre les variations saisonnières de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon, les valeurs maximales de la profondeur aux stations d'échantillonnage sont enregistrées durant la saison des pluieuses. Elles sont de 251 cm dans le fleuve Bandama et 120 cm dans la rivière Nambyon. Par contre, les plus faibles valeurs de la profondeur sont enregistrées durant la saison sèche dans le fleuve Bandama avec 6,33 cm et la rivière Nambyon avec 7,83 cm. Dans les mares, la profondeur varie entre 2,5 et 35 cm durant la saison pluvieuse. Les valeurs médianes de la profondeur aux stations d'échantillonnage varient significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). En revanche, les valeurs médianes de ce paramètre ne diffèrent pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

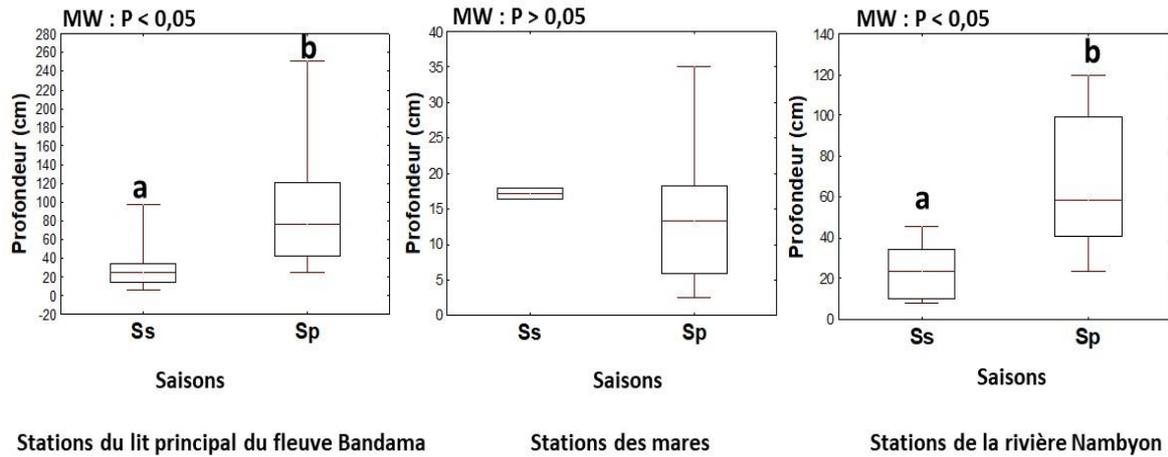


Figure 43 : Variations saisonnières de la profondeur aux stations d'échantillonnage dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse, a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.1.1.3. Typologie des stations en fonction des paramètres physico-chimiques et phydromorphologiques des eaux

Une Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) réalisée à partir des données abiotiques permet de regrouper les stations d'échantillonnage des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama présentant des similarités physico-chimiques et hydromorphologiques. La classification est effectuée sur les axes de l'ACP. Ainsi, trois groupes de stations, correspondant à différents types de qualités physico-chimiques et hydromorphologiques des eaux, peuvent être distingués (Figure 44).

Il s'agit des stations du groupe I, II et III.

- le groupe I regroupe dans le fleuve Bandama toutes les stations du cours supérieur (stations BN, BTA et BTB), dans le cours moyen, la station BSA et les stations MVS et MS, situées dans les mares au Centre de la Réserve.

- le groupe II englobe dans le cours moyen du fleuve Bandama la station BSB, dans le cours inférieur les stations BYA, BYB et BB, ainsi que la station NYB, située dans la rivière Nambyon au Sud de la Réserve.

- le groupe III regroupe essentiellement la station NYA dans la rivière Nambyon.

L'axe F1 discrimine le groupe I (stations BSA, BTB, BN, BTA, MS et MVS) dans sa partie positive, pendant que le groupe II (stations BSB, BYA, BYB, NYB et BB) est situé dans la

partie négative de cet axe. L'axe F2 discrimine les groupes III (station NYA) dans sa partie négative.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des données abiotiques a permis de regrouper les stations d'échantillonnage des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama présentant des similarités physico-chimiques et hydromorphologiques (Figure 45). Cette classification est effectuée sur la base de l'ensemble des échantillons des différentes stations. L'axe 1 représente 45,37 % et l'axe 2 22,35 %, soit 67,72 % de l'information contenue dans la matrice des données (Figure 45). Le cercle de corrélation indique une forte corrélation positive de la largeur moyenne du lit mouillée et de la conductivité à l'axe F1 alors que, la profondeur aux stations d'échantillonnage est négativement corrélée à cet axe. Quant à l'axe F2, il présente une corrélation positive avec la teneur en oxygène dissous et la turbidité (Figure 45 A) (Tableau VI).

La carte factorielle (Figure 45 B) présente une distribution des douze stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physico-chimiques et hydromorphologiques. Selon l'axe F1, les stations du groupe I (stations BSA, BTB, BN, BTA, MS et MVS) présentent une corrélation positive avec des valeurs élevées de la largeur moyenne du lit mouillée et de la conductivité. Cependant, elles sont négativement corrélées aux valeurs élevées de la profondeur aux stations d'échantillonnage. Sur l'axe F2, la station NYA représentant le groupe III présente une corrélation négative avec les valeurs élevées de la teneur en oxygène dissous et de la turbidité. Sur ce même axe, les stations du groupe II (stations BYA, BYB, BSB, BB et NYB) sont positivement corrélées avec les valeurs élevées de l'oxygène dissous et de la turbidité. Les stations de ce groupe sont aussi associées aux faibles valeurs de la température de l'eau.

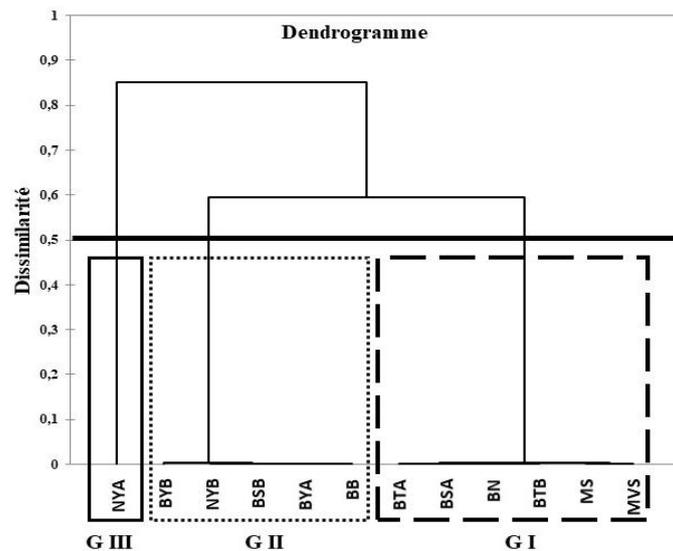


Figure 44 : Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des stations à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

G I, G II et G III = groupes observés.

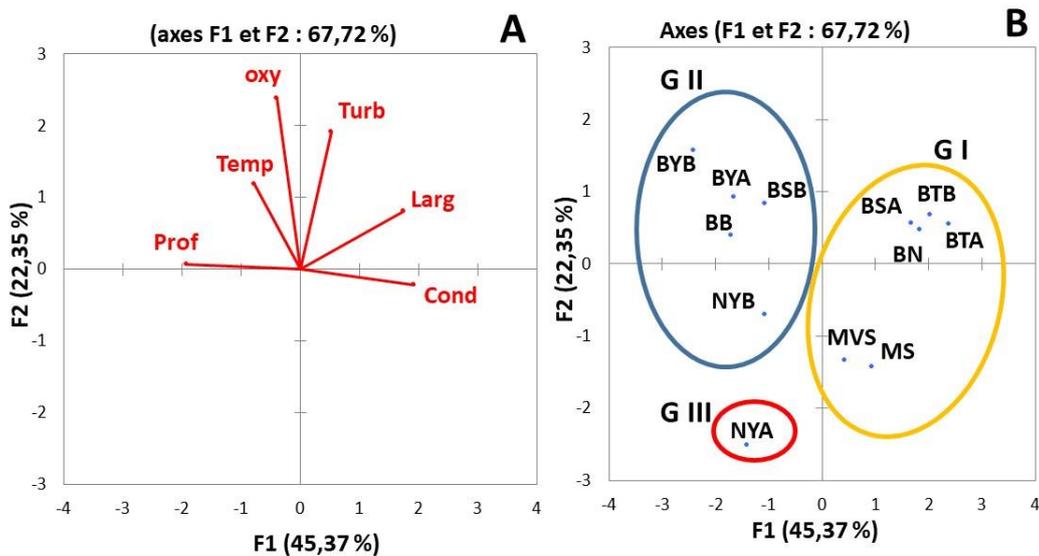


Figure 45 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des variables physico-chimiques et hydromorphologiques mesurées aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

A = Cercle de corrélation des paramètres abiotiques sur les axes factoriels ; **B** = Carte factorielle présentant la distribution des douze stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physico-chimiques et hydromorphologiques ; **Temp** = température, **Turb** = turbidité, **Larg** = Largeur du lit mouillé, **Cond** = Conductivité, **Oxy** = Oxygène dissous et **Prof** = Profondeur aux stations d'échantillonnage; G I, G II et G III = groupes observés.

Tableau VI : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Paramètres	Axes factoriels	
	F1	F2
Conductivité	0,938	-0,073
pH	0	0
Température	-0,378	0,407
Profondeur	-0,934	0,022
Oxygène dissous	-0,194	0,816
Turbidité	0,256	0,654
Vitesse du courant	0	0
Largeur du lit mouillé	0,851	0,276

Les poids factoriels significatifs sont en gras.

La figure 46 indique les variations des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques entre les stations des groupes définis par l'ACH. Les stations du groupe I présentent les valeurs plus élevées de la largeur du lit mouillé et de la conductivité par rapport aux stations des groupes II et III. Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé et de la conductivité varient significativement entre les stations des groupes I, II et III (tests de Kruskal-Wallis et U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par ailleurs, les valeurs médianes de la conductivité enregistrées entre les stations des groupes II et III ne diffèrent pas significativement (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Ces valeurs diffèrent significativement de celle des stations du groupe I (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). De même, les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé ne diffèrent pas significativement entre les stations des groupes I et II (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Cependant, elles sont significativement différentes de celle des stations du groupe III (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les valeurs médianes de la profondeur, de la teneur en oxygène dissous, de la température et de la turbidité ne variation pas significativement entre les stations des groupes I, II et III (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

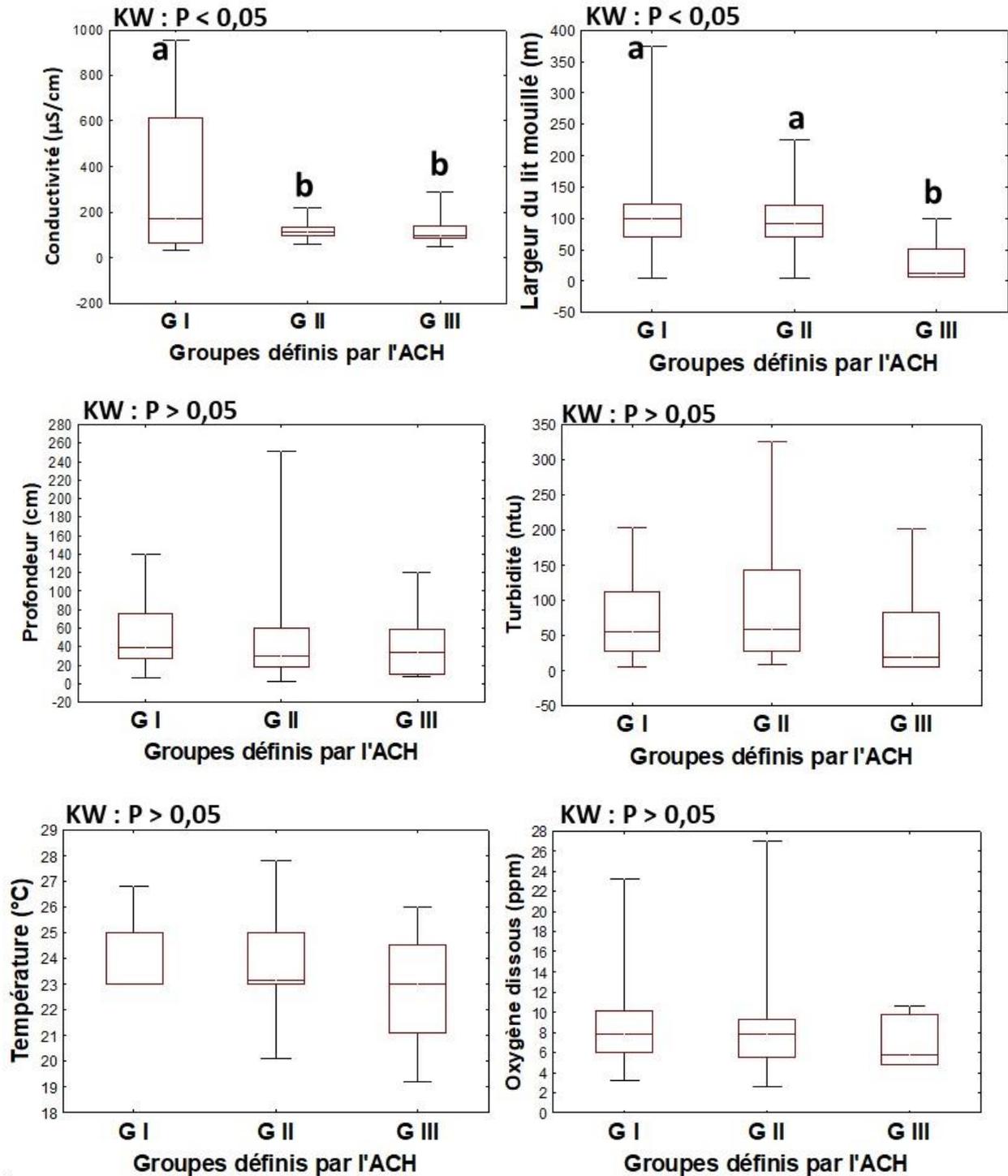


Figure 46 : Boîtes à moustache indiquant la différence des variations des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques entre les groupes définis par l'ACH entre janvier 2018 et février 2019.

a, b = indiquent les différences observées au niveau les groupes. Les groupes n'ayant pas les mêmes lettres présentent de différences significatives selon les tests de Kruskal-Wallis (KW) et U de Mann-Whitney (MW); (G I = groupe I, G II = groupe II et G III = groupe III) définis par la figure 44.

3.1.2. Discussion

Les travaux réalisés sur les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019, comprennent une description générale des stations d'échantillonnage et la mesure des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux humides. L'analyse des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama révèle que les paramètres abiotiques mesurés présentent une très grande variabilité saisonnière.

Au niveau spatial, à l'exception de la conductivité, de la largeur du lit mouillée et de la vitesse du courant qui varient significativement entre les stations, les autres paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques mesurés ne présentent pas de variations significatives d'une station à l'autre. Ce résultat pourrait s'expliquer par un échange entre les eaux des différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve. En effet, l'influence de l'écoulement du fleuve Bandama et de la rivière Nambyon du cours supérieur vers le cours inférieur entraîne une importante circulation de masses d'eaux entre les différentes stations des milieux aquatiques considérés. Ce mouvement serait à la base d'une certaine homogénéité de l'eau à une période donnée. Ainsi, après plusieurs études réalisées sur une cinquantaine de sites en Côte d'Ivoire, Quillévére (1979) conclut que dans les zones de savane, toutes les eaux ont des caractéristiques voisines. Par ailleurs, la variation spatiale significative de la vitesse du courant entre les stations prospectées pourrait être liée à l'activité d'orpaillage. En effet, l'intense activité d'orpaillage observée dans le cours moyen du fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve conduit à l'obstruction du lit principal du fleuve Bandama par une importante quantité de terre issue du lessivage de l'or. Cette situation expliquerait les faibles valeurs de la vitesse du courant enregistrées aux stations BSA et BSB. Cette observation a déjà été faite par Edia (2008), sur les cours supérieurs des rivières Ehania et Noé, dans le Sud-est de la Côte d'Ivoire, où certaines modifications naturelles ou anthropiques influenceraient la vitesse du courant.

Les variations spatiales inter-habitats des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques révèlent qu'à l'exception du pH et de la turbidité, les autres paramètres mesurés diffèrent significativement d'un milieu aquatique à un autre. Les valeurs de la température comprises entre 23 et 27,8 °C enregistrées dans le fleuve Bandama indiquent que les eaux du fleuve Bandama sont relativement chaudes. En effet, les stations d'échantillonnage situées dans le fleuve Bandama ont une canopée bien ouvertes. Elles reçoivent de ce fait la lumière solaire qui réchauffe les eaux. Quant à la valeur élevée de l'oxygène dissous (26,97 ppm) obtenue sur le fleuve Bandama, elle pourrait être en rapport avec les importantes vitesses du courant mesurées dans ce cours d'eau. Selon Barendregt & Bio (2003), la vitesse du courant

de l'eau favorise l'oxygénation. La valeur élevée de la conductivité (952,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$) notée sur la rivière Nambyon serait due à un faible renouvellement de l'eau de cette rivière. Cette situation favoriserait une forte concentration d'éléments nutritifs issus du lessivage du substrat rocheux dans les eaux de la rivière Nambyon (Galdean & Staicu, 1997 ; Koumba *et al.*, 2017). Selon Sandin (2003), la minéralisation entraîne une baisse du taux d'oxygène dissous. D'où les faibles valeurs de l'oxygène dissous enregistrées sur la rivière Nambyon.

Quant aux variations saisonnières des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques, l'on a noté qu'à l'exception de la teneur en oxygène dissous les autres paramètres varient significativement entre les deux saisons climatiques dans le fleuve Bandama. Dans la rivière Nambyon, située au Sud de la Réserve, ce sont la température et la vitesse du courant de l'eau qui ne varient pas significativement d'une saison à l'autre. Par ailleurs, aucun des paramètres mesurés ne varie significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares, situées au Centre de la Réserve.

Les variations inter-saisonnières significatives de la conductivité et du pH ont été notées dans le fleuve Bandama et dans la rivière Nambyon. Cette saisonnalité des paramètres liés à la minéralisation serait imputable aux apports saisonniers en nutriments et en particules solides provenant du bassin versant sous l'action des eaux de ruissellement en saison des pluies. Ces résultats viennent nuancer ceux d'Iltis & Lévêque (1982) et Mathuriau (2002) qui affirment que les milieux tropicaux sont caractérisés au cours de l'année par une faible amplitude de variations des paramètres physico-chimiques entre les différentes saisons. En outre, les faibles valeurs de la conductivité et du pH des eaux enregistrées dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon durant la saison des pluies seraient attribuables au phénomène de dilution des eaux du fait de l'augmentation considérable des débits (Bengen *et al.*, 1992).

Une variation inter-saisonnière significative de la température a été enregistrée dans le fleuve Bandama. La valeur la plus élevée de ce paramètre a été enregistrée durant la saison sèche. Ce résultat serait lié aux températures ambiantes relativement importantes de l'ordre de 32,55 °C dans cette région du pays. Ces observations corroborent ceux de Tamungang *et al.* (2016) qui ont remarqué, au cours de leurs travaux sur la qualité des eaux domestiques du village de Babiesi au Nord-ouest du Cameroun, que la variation de la température reflète l'influence de la saison. Au cours de cette étude, les valeurs de la température comprises entre 23 et 27,8 °C dans le fleuve Bandama sont inférieures à celles obtenues par Yao (2006) dans le fleuve Comoé, où les valeurs de la température oscillent entre 20,6 et 32,65 °C. Pour Lemoalle (1999), en Afrique intertropicale les températures sont élevées et le plus souvent supérieures à 20 °C. Par ailleurs,

les faibles valeurs de la température obtenues durant la saison des pluies dans le fleuve Bandama au niveau de la Réserve seraient liées à un ensoleillement moindre durant la saison des pluies.

La variation saisonnière significative de la vitesse du courant des eaux enregistrée dans le fleuve Bandama serait imputable à la construction de plusieurs petits barrages hydroagricoles sur le lit principal du fleuve Bandama en amont de la Réserve. Ces infrastructures contribueraient durant la période des pluies à l'augmentation du débit du fleuve Bandama à l'intérieur de la Réserve (Kouassi, 1979 ; Lévêque *et al.*, 1983).

La turbidité est un paramètre abiotique qui intervient dans la production primaire et permet d'apprécier l'importance des matières en suspension dans l'eau (N'Douba, 2000). Les variations saisonnières significatives de la turbidité ont été enregistrées dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon. Cette observation résulterait d'une importante accumulation de particules (sable, limon et détritiques) dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon par le lessivage des sols nus (Wipfli *et al.*, 2007 ; Berté, 2009). Au cours de cette étude, les valeurs élevées de la turbidité (325,33 NTU) et (202 NTU) ont été enregistrées pendant la saison des pluies respectivement dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon. En effet, durant cette période, les sources de matières particulaires seraient d'origine naturelle (particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion des sols nus) et anthropique (rejets industriels, activités agricoles et d'orpaillages) (Edia, 2008). En effet, le bassin versant et le lit principal du fleuve Bandama sont les lieux d'une importante activité d'orpaillage qui favorise l'ouverture de puits, le grattage et le retournement des sols. Cette activité déstabilise les berges et favorise durant la saison des pluies un important transport de terre et d'effluents miniers dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon. Cette situation expliquerait les valeurs élevées de la turbidité de ces eaux à cette période. Bamba *et al.* (2013), lors de leurs travaux au Burkina Faso sur l'impact de l'artisanat minier sur les sols d'environnement agricole, rapportent que l'activité d'orpaillage prédispose les sols à des processus d'érosion souvent intenses. Ces apports en matières organiques seraient à l'origine de la coloration brune des eaux de la Réserve durant la saison pluvieuse.

Une variation saisonnière significative de la teneur en oxygène dissous a été observée dans la rivière Nambyon. En effet, les faibles valeurs de la teneur en oxygène dissous mesurées sur la rivière Nambyon durant la saison sèche (novembre à février) seraient la conséquence de la dégradation de la matière organique. En effet, la présence de macrophytes sur cette rivière apparaît comme une source potentielle élevée d'azote organique du fait de leur décomposition. Pour Galvez-Cloutier *et al.* (2002), la croissance excessive de macrophytes entraîne les baisses très importantes d'oxygène dissous. Durant ce processus de décomposition, les acides

organiques de types acides humiques, foliques et aminés sont relégués dans le milieu (Champiat & Larpet, 1988 ; Nakai *et al.*, 1996). En revanche, les valeurs élevées de la teneur en oxygène dissous enregistrées dans la rivière Nambyon pendant la saison des pluies seraient le fait de la vitesse du courant de l'eau. En effet, selon Barendregt & Bio (2003) et Gonçalves *et al.* (2006), les forts courants favorisent l'oxygénation des cours d'eaux.

L'Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée sur la base de l'ensemble des échantillons des différentes stations montre que dans le cours supérieur du fleuve Bandama les stations BTA, BTB et BN, dans le cours moyen la station BSA et les stations MS et MVS, situées dans les mares, au Centre de la Réserve présentent les valeurs plus élevées de la conductivité. Ce résultat serait lié à une forte concentration en nutriments et en particules solides provenant du bassin versant sous l'action des eaux de ruissellement dans ces stations. Troeh *et al.* (2004) ont montré que sous l'action de la pluie qui draine les terres cultivées les eaux de surface reçoivent des apports accrus de nutriments. Par ailleurs, les stations BTA, BTB et BN sont sous l'influence directe des rejets urbains, agricoles et industriels. Quant à la station BSA, elle est le lieu d'une intense activité d'orpaillage. En outre, les valeurs élevées de la conductivité enregistrée sur ces stations pourraient s'expliquer par la présence d'activité de pêche et de déchets de bovins. Konan *et al.* (2015) ont trouvé que ces pratiques favorisent une élévation de la conductivité des eaux due à l'entrée de la matière organique pendant la saison pluvieuse. Par ailleurs, pour Freeman *et al.* (2007), l'accumulation de sels nutritifs serait favorisée par les pressions anthropiques sur le paysage environnant. Pour Goloma & Symoens (1990), une eau dont la conductivité est supérieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est fortement minéralisée.

L'Analyse en Composante Principale (ACP) a également montrée dans le groupe II des similarités physico-chimiques et hydromorphologiques entre la station NYB, située dans le cours inférieur de la rivière Nambyon et les stations BYA, BYB et BB, situées dans le cours inférieur du fleuve Bandama, mais aussi avec la station BSB, située dans le cours moyen du fleuve Bandama. Ce résultat serait du au fait que la station NYB soit située à l'embouchure avec le fleuve Bandama. Par contre, la station NYA qui constitue à elle seule le groupe III est située dans le cours supérieur de la rivière Nambyon.

3.2. COMPOSITION ET STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS DE MACROINVERTÉBRÉS DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Analyse qualitative des communautés des macroinvertébrés

3.2.1.1.1. Composition spécifique globale et caractéristiques générales

La composition et les occurrences des espèces de macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama sont consignées dans le tableau VII. Au total, 199 espèces ont été récoltées dans l'ensemble des stations. Ils se répartissent entre 84 familles, 26 ordres et 8 classes. Les classes rencontrées sont les Arachnides, les Clitellates, les Entognathes, les Insectes, les Malacostracés, les Priapulida, les Bivalves et les Gastéropodes. Parmi ces classes, les Insectes et les Gastéropodes sont les plus diversifiées. Les Insectes avec 62 familles et 11 ordres comptent 160 espèces, soit 80 % de la richesse spécifique globale. Quant aux Gastéropodes (9 familles et 6 ordres), ils comptent 19 espèces, soit 10 % du nombre total d'espèces. Ensuite vient la classe des Clitellates qui avec 6 espèces repartis entre 4 familles et 3 ordres, représentent 3 % des espèces inventoriés. Les autres classes représentent ensemble 7 % des espèces collectés (Figure 47).

Huit espèces sont communes à toutes les stations. Il s'agit de *Thalassius* spp., *Ophidonais serpentina*, *Dineutus* sp., *Culiseta* sp., *Diplonychus* sp., *Microvelia* sp., *Lanistes neavei* et *Biomphalaria pfeifferi* (Tableau VII). Par ailleurs, 38 espèces, soit 19 % de la richesse spécifique globale sont localisés uniquement dans le fleuve Bandama. Ce sont : une espèce dans l'ordre des Arachnides et des Malacostracés, 2 espèces dans l'ordre des Gastéropodes et 34 espèces dans l'ordre des Insectes. On dénombre 12 espèces, soit 6 % du total des espèces échantillonnés uniquement au Sud de la Réserve, dans la rivière Nambyon: *Pila occidentalis*, *Bulinus africanus*, *Dytiscus marginalis*, *Aedes* sp.1, *Eriopterini* sp., *Simulium* sp., *Gabbiella* sp., *Athripsodes* sp., *Ecnomus* sp., *Parasetodes* sp., *Pisidium abditum* et Neurorthidae. 8 espèces, soit 4 % de l'ensemble des espèces ont été essentiellement collectés dans les mares, situées au Centre de la Réserve. Ce sont : *Hydrovatus* sp., *Ochthebius* sp., *Clogmia* sp., *Paraphrynovelias* sp., *Rhagadotarsus* sp., *Priapulul* sp., Pyralidae et Pentatomidae (Tableau VII).

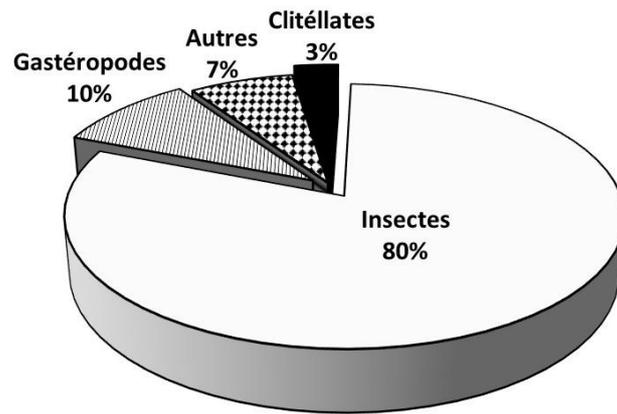


Figure 47 : Contribution des différentes classes dans la diversité spécifique des macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Tableau VII : Composition et occurrences des espèces de macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Acro	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon	
					Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Clitellates	Canalipalata	Serpulidae	<i>Annelida</i> sp.	Ann	*	*	*	***	*	*	*	*	*	*	-	-	
		Haplotaxida	Lumbricidae	<i>Eisenia</i> sp.	Eis	-	*	*	***	*	*	*	***	*	*	*	*
	Turbificidae		<i>Ophidonais serpentina</i>	Ose	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Barbrania</i> sp.	Bba	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
			<i>Alboglossiphonia</i> sp.	Alb	-	-	-	***	*	-	-	-	***	-	-	**	*
			<i>Helobdella europaea</i>	Heu	-	*	*	-	-	-	-	-	*	*	-	*	
Arachnides	Trombidiformes	Lycosidae	-	Lyc	-	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	
			<i>Thalassius radiatolineatus</i>	Rad	-	*	*	*	**	-	-	*	**	-	-	-	
		Pisauridae	<i>Thalassius spinosissimus</i>	Tsp	***	***	*	*	**	*	*	**	*	*	-	*	*
			<i>Thalassius</i> spp.	Tha	*	***	***	***	***	***	**	***	***	***	***	***	***
		Tetragnathidae	<i>Tetragnatha</i> sp.	Tea	*	**	*	*	-	*	*	-	*	*	-	-	
Entognathes	Entomobryomorpha	Entomobryidae	<i>Orchesella</i> sp.	Och	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-		
Malacostracés	Décapodes	Atyidae	<i>Caridina africana</i>	Caf	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	
			<i>Caridina nilotica</i>	Cni	***	***	***	***	***	**	***	***	-	-	***	***	
		Potamonautidae	<i>Potamonautes obesus-calcaratus</i>	Sss	-	*	*	-	*	*	*	-	-	-	*	-	
			<i>Potamonautes unispinus</i>	Pun	-	**	-	*	**	*	*	*	-	-	-	*	
Priapulida	Priapulimorpha	Priapulidae	<i>Priapulus</i> sp.	Ppu	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-		
Bivalves	Unionida	Margaritiferidae	<i>Margaritifera margaritifera</i>	Mma	*	**	**	-	***	-	**	*	-	-	-	***	
			<i>Pisidium abditum</i>	Ptm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
	Venerida	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i> sp.	Psp	***	**	*	*	**	***	***	*	-	-	***	**	
Gastéropodes	Architaenioglossa	Ampullariidae	<i>Lanistes ciliatus</i>	Lci	*	-	-	**	*	-	-	*	*	**	-	-	

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon		
				Acro	Cours supérieur				Cours moyen		Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Gastéropodes	Architaenioglossa	Ampullariidae	<i>Lanistes neavei</i>	Lvi	*	***	**	***	***	***	***	*	*	**	**	***	
			<i>Lanistes nyassanus</i>	Lny	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-
			<i>Pila occidentalis</i>	Poc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
		Viviparidae	<i>Bellamya capillata</i>	Bca	***	-	-	**	**	*	*	**	*	-	-	*	***
			<i>Bellamya crawshayi</i>	Bcr	*	-	*	***	*	-	**	*	-	-	-	*	*
		Basommatophores	Planorbidae	<i>Biomphalaria pfeifferi</i>	Bpf	*	***	***	***	***	**	***	***	*	**	***	***
	<i>Bulinus africanus</i>			Baf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
	<i>Bulinus crystallinus</i>			Bcy	-	*	*	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-
	<i>Bulinus forskali</i>			Kli	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-
	<i>Bulinus natalensis</i>			Bna	*	-	-	**	*	*	*	*	*	-	-	*	*
	<i>Helisoma</i> sp.			Eli	*	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
	Cycloneritida	Neritidae	<i>Clithon longispina</i>	Hon	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Littorinimorpha	Bithyniidae	<i>Gabbiella</i> sp.	Gab	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
		Pomatiopsidae	<i>Tomichia ventricosa</i>	Tos	*	*	*	***	*	-	-	*	*	***	-	-	
	Sorbeoconcha	Hydrobiidae	<i>Cleopatra guillemei</i>	Cgu	***	***	***	**	**	***	***	**	*	-	***	**	
		Melanopsidae	<i>Melanopsis</i> sp.	Mps	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Neotaenioglossa	Thiaridae	<i>Melanoides manguensis</i>	Man	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	*	*	
			<i>Melanoides tuberculata</i>	Mtu	***	***	***	**	*	***	***	***	*	-	***	***	
	Insectes	Blattoptères	-	Bla	***	*	*	***	***	*	*	**	-	*	***	*	
		Coléoptères	Carabidae	<i>Carabus auratus</i>	Aur	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
Dryopidae			<i>Strina promontorii</i>	Spo	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	*	*	
Dytiscidae			<i>Canthydrus xanthinus</i>	Cxa	-	-	-	*	-	-	**	*	-	*	*	*	

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon				
				Acro	Cours supérieur				Cours moyen		Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB		
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB							
Insectes	Coléoptères	Dytiscidae	<i>Capelatus</i> sp.	Cap	-	-	*	*	*	*	*	*	-	-	-	**	*		
			<i>Dineutus</i> sp.	Din	***	*	*	***	***	*	*	***	**	*	**	**	**	**	
			<i>Hydaticus flavolineatus</i>	Hfl	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
			<i>Hydaticus matruelis</i>	Hma	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			<i>Dytiscus marginalis</i>	Dma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
			<i>Guignotus</i> sp.	Gui	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*
			<i>Heterhydrus</i> sp.	Hse	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-
			<i>Hydroglyphus</i> sp.	Hyd	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			<i>Hydrovatus</i> sp.	Hus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
			<i>Hygrotus</i> sp.	Hyg	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	*
			<i>Hyphydrus careyrus</i>	Hca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
			<i>Hyphydrus</i> sp.	Yph	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	**	-	-	-	-
			<i>Laccophilus</i> sp.	Lus	**	*	*	**	***	-	***	**	-	*	*	-	*	**	***
			<i>Yola elegantula</i>	Yel	-	-	-	**	*	-	-	-	**	-	*	*	*	*	*
		<i>Yola tuberculata</i>	Yot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	
		-	Elm	-	-	-	-	*	-	-	*	-	*	-	*	*	*	-	
		Elmidae	<i>Leptelmis seydeli</i>	Les	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*	
			<i>Omotonus angolensis</i>	Oog	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	
			<i>Omotonus</i> sp.	Nus	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			<i>Potamodytes</i> sp.	Pot	-	-	**	-	*	-	*	-	-	-	-	-	*	-	
<i>Pseudancyronyx basilewskyi</i>	Pba		**	-	-	***	-	*	*	-	-	-	-	-	*	*			
<i>Rhizelmis</i> sp.	Rhi		-	**	***	*	*	*	*	**	*	-	-	-	***	***			

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon		
				Acro	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Insectes	Coléoptères	Gyrinidae	<i>Aulonogyrus</i> sp.	Aul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	
			<i>Orectogyrus</i> sp.	Ore	-	-	*	-	*	-	-	*	-	-	-	**	-
		Helodidae	<i>Helodes</i> sp.	Hel	-	-	*	**	-	*	**	-	*	*	***	***	
			Hydraenidae	<i>Ochthebius</i> sp.	Biu	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-
		<i>Pterosthetops</i> sp.		Pte	-	*	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*
		Hydrophilidae	<i>Amphiops</i> sp.	Amp	-	-	-	-	*	*	***	-	*	-	***	**	
			<i>Anacaena</i> sp.	Ana	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			<i>Berosus</i> sp.	Ber	-	*	-	-	-	-	*	-	*	*	*	-	
			<i>Enochrus</i> sp.	Eno	***	*	***	***	**	*	-	*	***	***	***	***	
			<i>Grenitis</i> sp.	Gre	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	*	*	
	Diptères	Limnichidae	<i>Limnichus</i> sp.	Mch	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	
			<i>Bezzia</i> sp.	Bez	**	**	-	*	-	*	-	*	-	-	-	-	
		Ceratopogonidae	<i>Dasyhelea</i> sp.	Das	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	**
			<i>Smittia</i> sp.	Smi	-	*	-	*	*	-	-	*	*	**	-	-	
Chironomidae		<i>Chaoborus cristallinus</i>	Ccr	-	*	*	***	-	*	-	*	-	-	-	*	-	
		<i>Ablabesmyia</i> sp.	Aby	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	
		<i>Ablabesmyia</i> sp. 1	Aap	*	-	-	*	**	-	-	**	**	*	-	-		
		<i>Ablabesmyia</i> sp. 2	Adu	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	**		
	<i>Chironomus</i> sp.	Cfo	***	-	-	***	***	-	-	***	*	**	-	*			
	<i>Clinotanypus</i> sp.	Ccl	-	-	**	**	*	-	-	**	-	-	-	*			
	<i>Cryptochironomus</i> sp.	Cry	-	-	**	-	*	-	-	-	-	-	-	*			
<i>Nilodorum</i> sp.	Nil	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-				

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon		
				Acro	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Insectes	Diptères	Chironomidae	<i>Nilodorum</i> sp. 1	Nis	-	*	**	*	**	-	*	*	*	-	*	**	
			<i>Nilodorum</i> sp. 2	Nbr	-	*	***	*	*	-	-	*	-	*	*	*	
			<i>Polypedilum</i> sp.	Pab	*	-	-	***	*	-	-	*	*	**	-	*	
			<i>Polypedilum</i> sp.1	Pfu	**	*	**	***	***	-	*	***	*	*	***	**	
			<i>Polypedilum</i> sp. 2	Plo	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	
			<i>Stenochironomus</i> sp.	Ste	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	
			<i>Stictochironomus</i> sp.	Spu	-	**	-	***	***	-	**	**	*	-	*	*	
			<i>Tanypus</i> sp.	Tfu	-	*	*	-	-	-	-	-	-	*	*	-	
			<i>Tanypus</i> sp. 1	Tla	*	-	*	**	*	*	-	**		**	*	-	
			<i>Tanytarsus</i> sp.	Tan	-	-	-	*	*	-	**	*	-	-	**	-	
		Culicidae	<i>Aedes</i> sp.	Aed	*	***	***	*	*	-	-	*	-	-	**	-	
			<i>Aedes</i> sp. 1	Aeg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	
			<i>Anopheles</i> sp.	Ano	***	*	**	-	*	-	-	*	-	*	-	-	
			<i>Culex</i> sp.	Cul	***	***	*	**	*	-	-	**	-	*	*	-	
			<i>Culex</i> sp. 1	Cpi	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	
			<i>Culiseta</i> sp.	Clo	*	***	*	*	*	*	*	*	*	**	**	*	
			<i>Mansonia</i> sp.	Son	*	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	
			Dixidae	<i>Dixa</i> sp.	Dix	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*	*	*
			Dolichopodidae	<i>Leptoconops</i> sp.	Top	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	
			Limoniidae	<i>Eriopterini</i> sp.	Eri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	
Muscidae	<i>Limnophora</i> sp.	Lim	-	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-				
	<i>Lispe</i> sp.	Esp	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-				
Phoridae	<i>Megaselia scarlaris</i>	Mes	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-				
Psychodidae	<i>Clogmia</i> sp.	Cog	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	*	-			

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Acro	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares		Stations rivière Nambyon		
					Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur		MS	MVS	NYA	NYB	
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Insectes	Diptères	Rhagionidae	<i>Atherisc</i> sp.	Ath	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	*	
		Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	Sim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
			<i>Simulium</i> sp. 1	Sch	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.	Tab	**	-	-	***	*	-	-	*	-	*	-	-	*
		Baetidae	<i>Afrobeatodes</i> sp.	Afb	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-
			<i>Bifurcatum</i> sp.	Bif	*	*	**	*	**	-	*	-	-	-	-	*	-
			<i>Cloeon</i> sp.	Cla	**	-	-	*	*	-	-	*	*	*	*	-	-
			<i>Dicercomyzon</i> sp.	Dic	-	-	-	-	-	*	***	*	-	-	-	-	*
		Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	Cae	*	*	*	*	**	*	-	*	-	*	*	*	-
		Ephéméroptères	Heptageniidae	<i>Afronurus</i> sp.	Afr	-	-	*	*	***	*	**	***	-	-	***	***
	<i>Notonurus</i> sp.			Not	-	*	**	*	*	*	***	*	-	-	***	***	
	Leptophlebiidae		<i>Adenophlebia</i> sp.	Ade	*	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*
			<i>Adenophlebiodes</i> sp.	Ads	-	*	*	*	**	-	*	*	-	-	-	-	-
			<i>Thraulius</i> sp.	Thr	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-	**	*
	Polymitarcidae		<i>Povilla adusta</i>	Pad	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tricorythidae		<i>Tricorythus</i> sp.	Tri	-	-	*	*	*	-	*	*	-	*	*	*	-
	Anthocoridae	<i>Anthocoris nemoralis</i>	Ois	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	
	Hémiptères	Aphididae	<i>Melanaphis</i> sp.	Mel	**	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Aphrophroridae	<i>Aphrodes</i> sp.	Hro	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
		Belostomatidae	<i>Appasus</i> sp.	App	-	**	-	*	*	-	*	*	*	*	*	**	-
<i>Diplonychus</i> sp.			Dip	***	*	**	**	**	**	*	***	*	***	***	***	***	**

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Acro	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon	
					Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Insectes	Hémiptères	Cicadellidae	<i>Cicadella viridis</i>	Cvi	*	*	*	*	*	-	-	*	*	*	***	*	
			<i>Micronecta scutellaris</i>	Msc	***	-	-	*	-	-	-	*	-	**	-	-	
		Corixidae	<i>Micronecta</i> sp.	Mic	***	**	**	*	-	-	-	**	-	**	*	*	
			<i>Stenocorixa protrusa</i>	Spr	-	-	-	*	***	*	*	*	*	*	*	*	
		Cydnidae	<i>Sehirus cinctus</i>	Sec	-	-	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	
			-	Grr	**	*	**	-	*	-	-	-	-	-	*	-	
			<i>Eurymetra</i> sp.	Eur	***	**	*	**	**	*	*	**	-	-	***	**	
		Gerridae	<i>Gerisella</i> sp.	Ger	-	*	*	-	*	***	*	-	-	**	**	-	
			<i>Limnogonus chopardi</i>	Lch	*	-	-	-	*	***	***	*	**	**	*	*	
			<i>Rhagadotarsus</i> sp.	Rch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	
		Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	Hra	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Mesoveliidae	<i>Mesovelia vittigera</i>	Mvi	*	-	-	**	*	-	-	*	*	**	-	-	
			<i>Laccocoris</i> sp.	Lis	-	-	*	-	*	-	*	*	-	-	-	*	
		Naucoridae	<i>Macrocoris flavicolis</i>	Mfl	-	*	***	-	*	-	-	*	-	-	-	-	
			<i>Naucoris</i> sp.	Nau	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			<i>Laccotrephes ater</i>	Lat	-	-	-	***	-	*	-	-	-	-	-	*	
		Nepidae	<i>Laccotrephes</i> sp.	Lsp	**	**	-	**	*	-	**	**	-	*	-	-	
			<i>Nepa</i> sp.	Nep	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	
			<i>Ranatra</i> sp.	Ran	-	-	-	-	*	-	-	*	*	*	-	-	
			<i>Anisops sarclea</i>	Asa	**	-	-	**	**	*	*	***	*	**	*	-	
Notonectidae	<i>Anisops</i> sp.	Ani	***	***	***	***	***	*	*	***	-	**	***	***			
	<i>Enithares</i> sp.	Emi	**	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-			

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon				
				Acro	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB		
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB							
Insectes	Hémiptères	Paraphrynoveleidae	<i>Paraphrynoveleia</i> sp.	Pno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-		
			-	Ptt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
		Pentatomidae	<i>Dolycoris</i> sp.	Oly	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-
			<i>Eysarcoris</i> sp.	Eys	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-
		Pleidae	<i>Plea pullula</i>	Ple	-	-	-	-	**	-	-	-	-	*	*	-	-	***	
			-	Lii	-	*	*	*	*	-	-	*	*	*	*	*	-	-	-
		Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.	Miv	***	*	**	**	***	*	**	**	***	**	**	**	**	**	*
	<i>Rhagovelia reitteri</i>		Rhr	*	*	*	*	**	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	
	Hyménoptères	Formicidae	<i>Solenopsis</i> sp.	Sol	***	**	*	***	*	-	-	***	**	**	**	**	***	***	
	Lépidoptères	Crambidae	-	Cri	*	*	-	*	*	-	-	*	***	***	-	-	-	-	
			<i>Hygraula</i> sp.	Ghy	-	-	-	*	*	-	-	*	-	*	-	*	-	-	-
		Noctuidae	<i>Agrotis ipsilon</i>	Ips	-	-	-	-	-	*	*	-	*	-	*	-	-	-	-
	-	Pyralidae	-	Yra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
	Neuroptères	Neurorthidae	-	Ror	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Odonates	Aeshinidae	<i>Anax impevator mauricianus</i>	Aim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	
Coenagrionidae		<i>Ceriagrion</i> sp.	Cer	*	*	*	**	**	-	**	**	*	**	*	**	-	-		
		<i>Pseudagrion</i> sp.	Pse	*	*	*	*	***	-	*	***	*	*	*	*	-	-	*	
Macromiidae		<i>Phyllomacromia picta</i>	Ppi	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		<i>Phyllomacromia</i> sp.	Phy	-	*	**	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	-	
Gomphidae		<i>Gomphidia</i> sp.	Gsp	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

Tableau VII : Suite et fin

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations rivière Nambyon		
				Acro	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
					BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB					
Insectes	Odonates	Gomphidae	<i>Ictinogomphus</i> sp.	Ict	-	*	-	*	*	-	*	*	-	-	*	*	
			<i>Lestinogomphus angustus</i>	Lan	*	-	-	*		-	*	-	-	-	*	*	
			<i>Microgomphus</i> sp.	Gom	-	*	-	*	*	-	-	-	-	-	*	*	
			<i>Neurogomphus</i> sp.	Neu	-	*	*	**	***	**	***	*	-	-	-	**	
			<i>Paragomphus genei</i>	Pge	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	
			<i>Paragomphus</i> sp.	Par	-	*	*	**	*	***	***	*	-	-	*	*	
		<i>Phyllogomphus aethiops</i>	Pae	-	-	-	*	*	**	*	-	-	-	*	**		
		Libellulidae	<i>Diplacodes lefebvrei</i>	Bvi	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
			<i>Olpogastra</i> sp.	Ora	-	-	-	-	*	-	-	-	*	*	-	-	
			<i>Orthetrum caffrum</i>	Oca	-	-	-	***	**	-	-	***	-	**	*	*	
	<i>Palpopleura lucia lucia</i>		Pll	-	**	-	*	-	-	-	*	-	*	*	-		
	<i>Parazyxomma flavicans</i>		Zya	*	*	-	***	-	-	*	*	-	-	-	-		
	Orthoptères	Acrididae	-	Add	*	*	*	*	*	*	*	*	**	***	-	-	
			Gryllidae	<i>Acheta</i> sp.	Ach	-	-	-	*	***	-	-	***	-	-	-	-
		Tettigoniidae	-	Tti	-	*	*	-	-	*	*	-	*	-	-	-	
		Trichoptères	Ecnomidae	<i>Ecnomus</i> sp.	Ecm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
			Hydropsychidae	<i>Polymorphanythus</i> sp.	Pol	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*
	<i>Athripsodes</i> sp.			Sod	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
	<i>Leptocerus</i> sp.	Lep		-	*	**	*	-	*	-	-	-	*	-	-	-	
Leptoceridae	<i>Oecetis modesta</i>	Omo		-	**	**	-	-	-	-	-	-	*	-	-		
	<i>Parasetodes</i> sp.	Paa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*		
Polycentropodidae	<i>Dipseudopsis capensis</i>	-	Ida	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Dca	-	-	-	*	*	-	-	**	-	-	-	-			
8	26	84	199	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85		

* = espèces accidentelles ; ** = espèces accessoires ; *** = espèces constantes, - = absent, Acro = Acronyme.

3.2.1.1.2. Répartition spatiale de la richesse spécifique

Le tableau VIII présente la répartition spatiale de la richesse spécifique dans les différentes stations d'échantillonnage des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations, la richesse spécifique est comprise entre 59 espèces dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYA et 117 espèces dans le cours moyen à la station BSA. Dans les mares, la richesse spécifique la plus élevée (77 espèces) a été enregistrée à la station MVS, alors que la plus faible (61 espèces) a été notée à la station MS. Au niveau de la rivière Nambyon, la richesse spécifique la plus importante (96 espèces) est observée à la station NYA. Par contre, la plus faible (85 espèces) est notée à la station NYB.

Tableau VIII : Répartition spatiale de la richesse spécifique des macroinvertébrés capturés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama							Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon		
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur		MS	MVS	NYA	NYB
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB				
Richesses spécifiques	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85

3.2.1.1.3. Composition spécifique des ordres d'Insectes et de Gastéropodes

3.2.1.1.3.1. Composition spécifique des ordres d'Insectes

La composition spécifique des ordres d'Insectes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama est indiquée par la figure 48. Dans l'ensemble des stations, les Diptères (39 espèces), les Coléoptères (37 espèces), les Hémiptères (35 espèces) et les Odonates (19 espèces) sont les ordres les plus diversifiés. Cependant, les Neuroptères, les Hyménoptères et les Blattoptères sont moins diversifiés avec 1 espèce chacun.

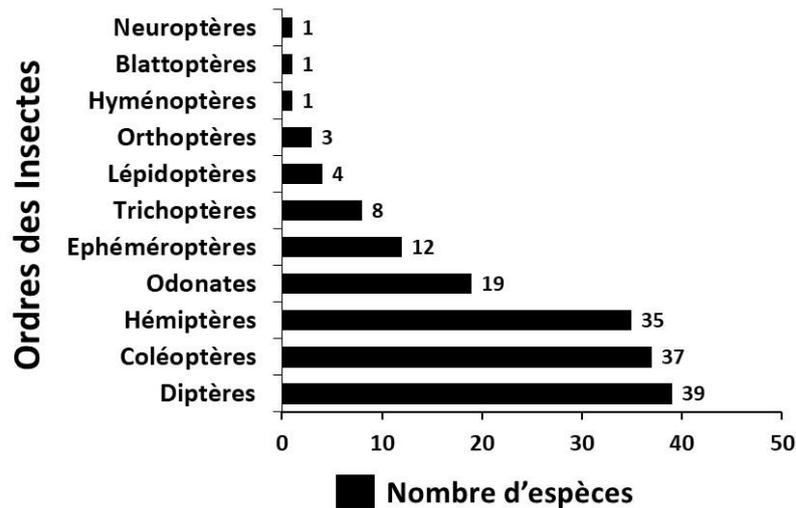


Figure 48 : Composition spécifique des ordres d'Insectes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

3.2.1.1.3.2. Composition spécifique des ordres de Gastéropodes

La figure 49 montre la composition spécifique des ordres de Gastéropodes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve, l'ordre des Basommatophores et des Architaenioglossa avec chacun 6 espèces sont les plus riches en espèces. Ils sont suivis de celui des Sorbeoconcha, des Neotaenioglossa et des Littorinimorpha avec 2 espèces chacun. Cependant, l'ordre des Cycloneritida avec 1 espèce est le moins diversifié.

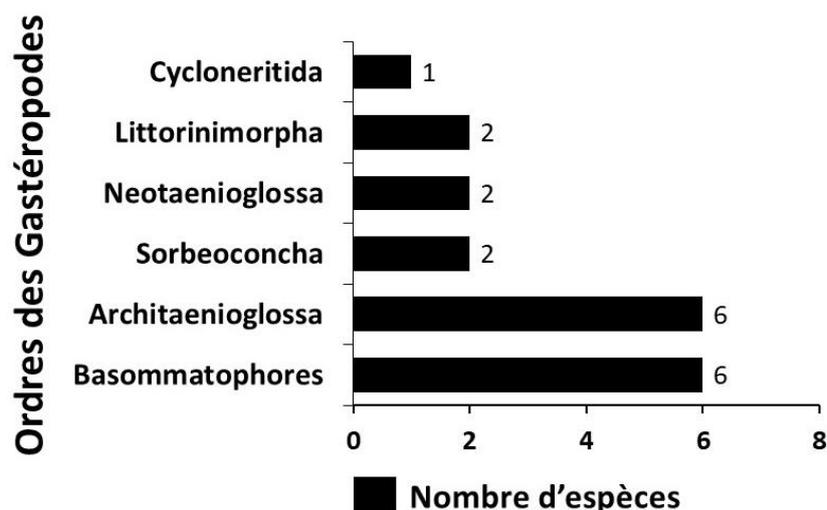


Figure 49 : Composition spécifique des ordres de Gastéropodes échantillonnés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

3.2.1.2. Occurrences et structure throphique des macroinvertébrés aquatiques

3.2.1.2.1. Occurrences des espèces de macroinvertébrés aquatiques

Sur la base de leur fréquence (*cf.* Tableau VII), les espèces de macroinvertébrés aquatiques récoltés sur l'ensemble des stations dans la Réserve du Haut-Bandama sont regroupées en trois catégories : les espèces constantes, les espèces accessoires et les espèces accidentelles. Le tableau IX présente les proportions des catégories d'espèces définies sur la base de l'occurrence dans les stations d'échantillonnage de la Réserve du Haut-Bandama.

Dans le cours supérieur du fleuve Bandama, la station BN enregistre une majorité d'espèces accidentelles (52,78 %) et une minorité d'espèces accessoires (18,05 %). Par contre, aux stations BTA et BTB, on note de grandes proportions d'espèces accidentels respectivement de 64,29 % et 63,09 % et de faibles proportions d'espèces constants qui sont respectivement de 14,28 % et 15,48 %. Au cours moyen du fleuve Bandama, les stations BSA et BSB enregistrent les plus fortes proportions d'espèces accidentels qui ont respectivement de 60,68 % et 64,55 %. Cependant, la station BSA obtient la plus faible proportion d'espèces accessoires (17,09 %). Quant à la station BSB, elle enregistre le plus faible pourcentage d'espèces constantes (17,27 %). Au cours inférieur du fleuve Bandama, les stations BYA, BYB et BB enregistrent les plus importantes proportions d'espèces accidentelles qui sont respectivement de 77,96 %, 61,84 % et 64,71 %. Par ailleurs, ces stations détiennent les plus faibles proportions d'espèces accessoires qui sont de 8,47 %, 15,79 % et 16,67 % respectivement. Dans les mares, situées au Centre de la Réserve, les stations MS et MVS enregistrent les majorités d'espèces accidentelles qui sont respectivement de 78,69 % et 62,33 %. Par ailleurs, on y observe les plus faibles proportions d'espèces constantes respectivement de 9,84 % et 9,09 %. Au Sud de la Réserve, dans la rivière Nambyon, les stations NYA et NYB ont observées une majorité d'espèces accidentelles, dont les proportions sont respectivement de 63,54 % et 64,71 %. En outre, ces stations enregistrent les plus faibles proportions d'espèces accessoires qui sont respectivement de 15,63 % et 14,12 %. Les espèces constantes observées aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont consignés dans le tableau X.

Tableau IX : Proportions (en %) des catégories d'espèces définies sur la base de l'occurrence aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Milieux aquatiques	Gradient	Stations	Proportions des catégories espécifiques (%)		
			Espèces constants	Espèces accessoires	Espèces accidentels
Stations du lit principal du fleuve Bandama	Cours supérieur	BN	29,17	18,05	52,78
		BTA	14,28	21,43	64,29
		BTB	15,48	21,43	63,09
	Cours moyen	BSA	22,22	17,09	60,68
		BSB	17,27	18,18	64,55
	Cours inférieur	BYA	13,55	8,47	77,96
		BYB	22,37	15,79	61,84
	Stations des mares	BB	18,63	16,67	64,71
		MS	9,84	11,47	78,69
Stations de la rivière Nambyon	MVS	9,09	28,57	62,33	
	NYA	20,83	15,63	63,54	
		NYB	21,18	14,12	64,71

Les valeurs minimales et maximales de chaque catégorie espécifique en gras

Tableau X : Proportions (en %) des espèces constantes observées aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Milieux	Gradient	Stations	Espèces constantes	Proportions (%)
Stations du lit principal du fleuve Bandama	Cours supérieur	BN	<i>Anisops</i> sp., <i>Anopheles</i> sp., <i>Bellamyia capillata</i> Blattoptère, <i>Caridina nilotica</i> , <i>Chironomus</i> sp., <i>Cleopatra guillemei</i> , <i>Culex</i> sp., <i>Dineutus</i> sp., <i>Diplonychus</i> sp., <i>Enochrus</i> sp., <i>Eurymetra</i> sp., <i>Laccobius starnuehlneri</i> , <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Micronecta scutellaris</i> , <i>Micronecta</i> sp., <i>Microvelia</i> sp., <i>Pisidium</i> sp., <i>Solenopsis</i> sp., <i>Ophidonais serpentina</i> , et <i>Thalassius spinosissimus</i> .	29,17
		BTA	<i>Aedes</i> sp., <i>Anisops</i> sp., <i>Biomphalaria pfeifferi</i> <i>Caridina nilotica</i> , <i>Cleopatra guillemei</i> , <i>Culex</i> sp. <i>Culiseta</i> sp., <i>Lanistes neavei</i> , <i>Thalassius</i> spp. <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Ophidonais serpentina</i> <i>Thalassius spinosissimus</i> .	14,28
		BTB	<i>Aedes</i> sp., <i>Anisops</i> sp., <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , <i>Caridina nilotica</i> , <i>Cleopatra guillemei</i> , <i>Enochrus</i> sp., <i>Macrocoris flavicolis</i> , <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Nilodorum</i> sp. 2, <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Rhizelmis</i> sp., <i>Thalassius</i> spp., <i>Trithemis dorsalis</i> .	15,48

Tableau X (Suite)

Milieux	Gradient	Stations	Espèces constantes	Proportions (%)
Stations du lit principal du fleuve Bandama	Cours moyen	BSA	<i>Alboglossiphonia</i> sp., <i>Anisops</i> sp., <i>Annelida</i> sp., <i>Bellamyia crawshayi</i> , <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , Blattoptère, <i>Caridina nilotica</i> , <i>Chaoborus cristallinus</i> , <i>Chironomus</i> sp., <i>Dineutus</i> sp., <i>Eisenia</i> sp., <i>Enochrus</i> sp., <i>Laccobius starnuehlneri</i> , <i>Laccotrephes ater</i> , <i>Lanistes neavei</i> , <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Orthetrum cafferum</i> , <i>Parazyxomma flavicans</i> , <i>Polypedilum</i> sp., <i>Polypedilum</i> sp. 1, <i>Pseudancyronyx basilewskyi</i> , <i>Solenopsis</i> sp., <i>Stictochironomus</i> sp., <i>Tabanus</i> sp., <i>Thalassius</i> spp., <i>Tomichia ventricosa</i> .	22,22
		BSB	<i>Acheta</i> sp., <i>Afronurus</i> sp., <i>Anisops</i> sp., <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , Blattoptère, <i>Caridina nilotica</i> , <i>Chironomus</i> sp., <i>Dineutus</i> sp., <i>Laccophilus</i> sp., <i>Thalassius</i> spp., <i>Lanistes neavei</i> , <i>Margaritifera margaritifera</i> , <i>Microvelia</i> sp., <i>Neurogomphus</i> sp., <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Polypedilum</i> sp.1, <i>Pseudagrion</i> sp., <i>Stenocorixa protrusa</i> , <i>Stictochironomus</i> sp.	17,27
		BYA	<i>Cleopatra guillemei</i> , <i>Gerisella</i> sp., <i>Lanistes neavei</i> , <i>Limnogonus chopardi</i> , <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Paragomphus</i> sp., <i>Pisidium</i> sp.	13,55
		BYB	<i>Amphiops</i> sp. , <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , <i>Caridina nilotica</i> , <i>Cleopatra guillemei</i> , <i>Dicercomyzon</i> sp. , <i>Diplonychus</i> sp., <i>Laccophilus</i> sp. <i>Lanistes neavei</i> , <i>Limnogonus chopardi</i> , <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Neurogomphus</i> sp., <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Paragomphus</i> sp. , <i>Pisidium</i> sp., <i>Thalassius</i> spp., <i>Trithemis dorsalis</i> ., <i>Notonurus</i> sp.	22,37
		BB	<i>Acheta</i> sp., <i>Afronurus</i> sp., <i>Alboglossiphonia</i> sp., <i>Anisops sarclea</i> , <i>Anisops</i> sp. , <i>Thalassius</i> spp. <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , <i>Caridina nilotica</i> , <i>Chironomus</i> sp., <i>Dineutus</i> sp., <i>Eisenia</i> sp., <i>Laccobius starnuehlneri</i> , <i>Melanoides tuberculata</i> , <i>Microvelia</i> sp., <i>Polypedilum</i> sp.1 <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Orthetrum cafferum</i> , , <i>Pseudagrion</i> sp., <i>Solenopsis</i> sp. ,	18,63
Stations des mares		MS	<i>Clogmia</i> sp. , <i>Diplonychus</i> sp., <i>Enochrus</i> sp., Crambidae, <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Thalassius</i> spp.	9,84
		MVS	Acrididae, <i>Diplonychus</i> sp., <i>Enochrus</i> sp., Crambidae, <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Tomichia ventricosa</i> , <i>Thalassius</i> spp.	9,09

Tableau X (Suite et fin)

Milieux	Gradient	Stations	Espèces constantes	Proportions (%)
Stations de la rivière Nambyon		NYA	<i>Eurymetra</i> sp., <i>Helodes</i> sp., <i>Melanooides tuberculata</i> , <i>Notonurus</i> sp., <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Pisidium</i> sp., <i>Rhizelmis</i> sp., <i>Polypedilum</i> sp.1, <i>Solenopsis</i> sp., <i>Thalassius</i> spp.	20,83
		NYB	<i>Afronurus</i> sp., <i>Anisops</i> sp. , <i>Bellamyia capillata</i> , <i>Biomphalaria pfeifferi</i> , <i>Caridina nilotica</i> , <i>Helodes</i> sp., <i>Laccophilus</i> sp., <i>Lanistes neavei</i> , <i>Trithemis dorsalis</i> , <i>Margaritifera margaritifera</i> , <i>Notonurus</i> sp. , <i>Enochrus</i> sp., <i>Melanooides tuberculata</i> , <i>Ophidonais serpentina</i> , <i>Plea pullula</i> , <i>Rhizelmis</i> sp., <i>Solenopsis</i> sp., <i>Thalassius</i> spp.	21,18

3.2.1.2.2. Structure trophique des macroinvertébrés aquatiques

La figure 50 présente les proportions en termes de nombre d'espèces des quatre groupes trophiques collectés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations, les Prédateurs 95 espèces soit, 48 % dominent les communautés de macroinvertébrés. Ils sont suivis des Herbivores (52 espèces) et des Détritvires (47 espèces). Ces derniers représentent respectivement 26 et 24 %. Les Filtreurs (5 espèces) ne représentent que 2 % des espèces récoltés.

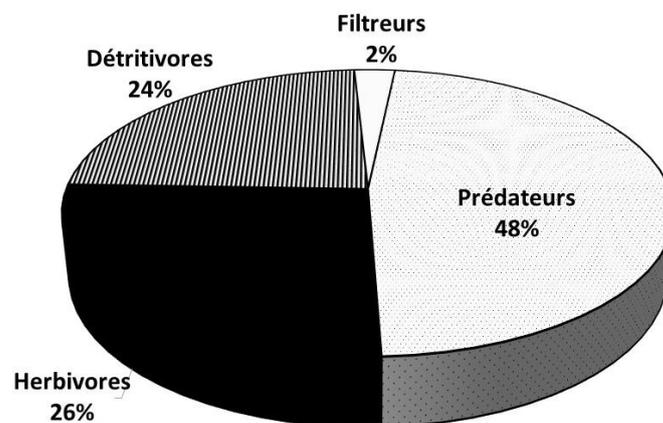


Figure 50 : Proportions en nombre d'espèces des quatre groupes trophiques de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve de Flore et de Faune du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

La distribution des quatre groupes trophiques dans les différentes stations d'échantillonnage de la Réserve du Haut-Bandama est représentée par la figure 51. Les Prédateurs et les Herbivores sont dominants dans l'ensemble des stations. La proportion des Prédateurs varie

entre 45 % dans le cours moyen du fleuve Bandama à la station BSA et 36 % dans la rivière Nambyon à la station NYA. Celle des Herbivores est comprise entre 28 % dans le cours moyen du fleuve Bandama à la station BSA et 23 % dans les mares à la station MS. Ces groupes trophiques sont suivis de celui des Détritivores dont, les proportions oscillent entre 27 % dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BB et 20 % dans les mares à la station MS. En revanche, les Filtreurs sont faiblement représentés dans l'ensemble des stations visitées. Leur proportion est comprise entre 1,5 % dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BN et 5 % dans la rivière Nambyon à la station NYA. Ces derniers n'ont pas été inventoriés dans les mares aux stations MS et MVS.

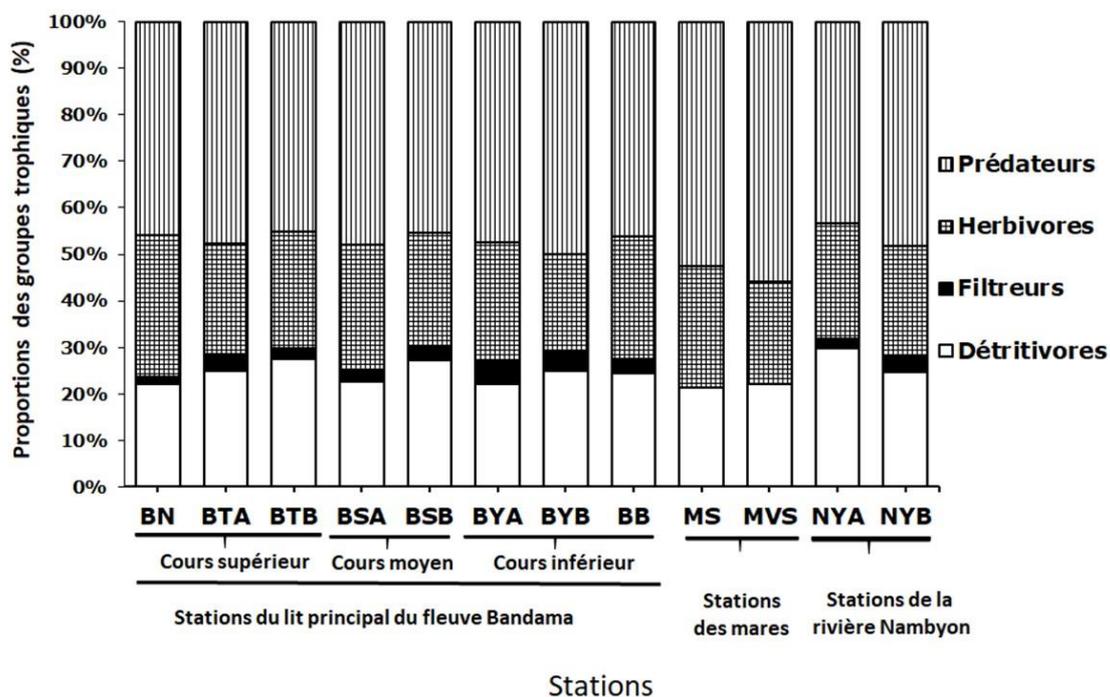


Figure 51 : Répartition spatiale des quatre groupes trophiques de macroinvertébrés aquatiques capturés aux différentes stations d'échantillonnage dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

3.2.1.3. Variations spatiales et saisonnières de la richesse spécifique

3.2.1.3.1. Variations spatiales de la richesse spécifique

La figure 52 présente les variations spatiales de la richesse spécifique des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations, la richesse spécifique varie entre 7 et 57 espèces dans le cours moyen du fleuve Bandama respectivement aux stations BSB et BSA. Les valeurs

médianes de la richesse spécifique ne varient pas de manière significative (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différentes stations prospectées.

La figure 53 illustre les variations spatiales de la richesse spécifique entre les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Les valeurs minimales de 7 espèces et maximales de 57 espèces de la richesse spécifique ont été enregistrées dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de la richesse spécifique ne diffèrent pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différents milieux aquatiques de la Réserve.

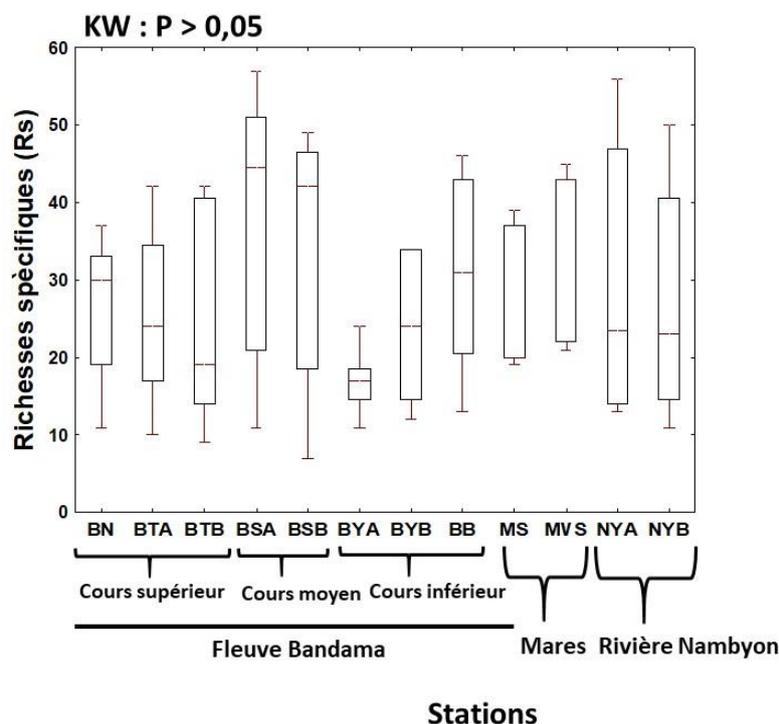
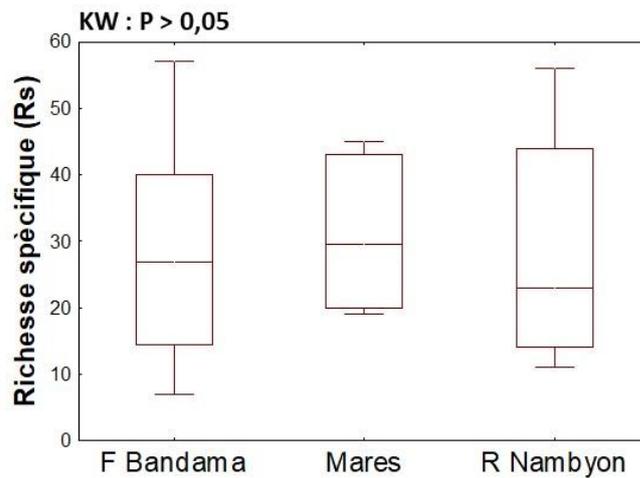


Figure 52 : Variations spatiales de la richesse spécifique dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).



Milieus aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama

Figure 53 : Variations spatiales de la richesse spécifique dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon; pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

3.2.1.3.2. Variations saisonnières de la richesse spécifique

La figure 54 présente les variations saisonnières de la richesse spécifique des communautés de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans le fleuve Bandama, la valeur maximale de la richesse spécifique (57 espèces) a été enregistrée durant la saison sèche. En revanche, la valeur minimale (7 espèces) est observée durant les deux saisons climatiques. Dans les mares, la richesse spécifique est comprise entre 19 et 45 espèces durant la saison pluvieuse. Sur la rivière Nambyon, la richesse spécifique varie entre 11 espèces durant la saison pluvieuse et 56 espèces durant la saison sèche. Les valeurs médianes de la richesse spécifique ne varient pas significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Cependant, elles diffèrent significativement entre les deux saisons climatiques dans la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

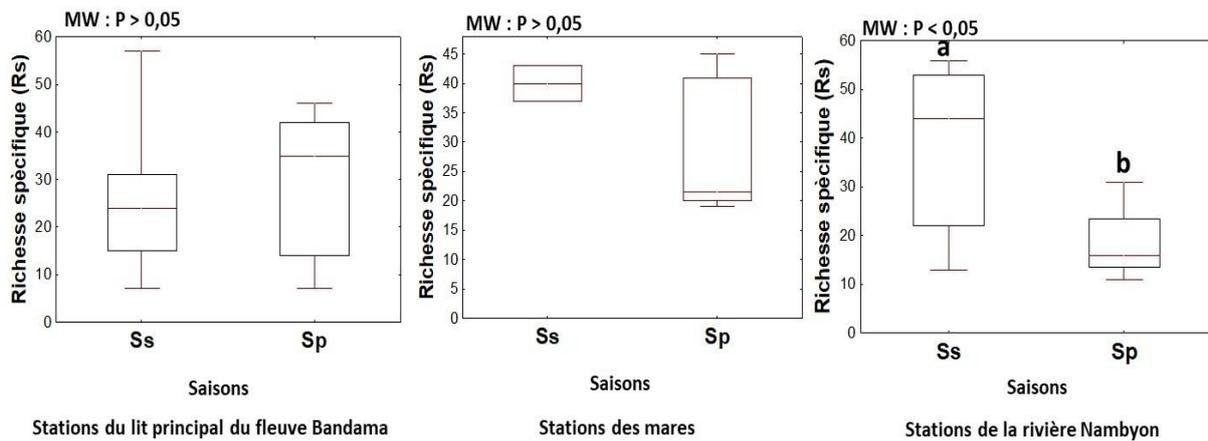


Figure 54 : Variations saisonnières de la richesse spécifique dans les différents milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test de Man-Whitney (MW).

3.2.1.4. Similarités spécifiques entre les stations

Les Similarités spécifiques entre les stations mises en évidence par les valeurs de l'indice de similarité de Jaccard (J) calculé à partir de la composition spécifique des stations sont présentées dans le tableau XI. Pour l'ensemble des stations, les valeurs de l'indice de similarité de Jaccard entre les communautés de macroinvertébrés aquatiques aux stations prises deux à deux varient entre 22,52 et 71,09 %. Dans le fleuve Bandama, l'indice de Jaccard est plus élevé entre la station BB, située dans le cours inférieur et les stations BSA et BSB dans le cours moyen, 71,09 et 70,97 % respectivement. Aussi, les deux précédentes stations (BSA et BSB) ont des communautés de macroinvertébrés similaires à 60,99 %. Par ailleurs, les communautés de macroinvertébrés de la station BSB sont similaires à 50,39 % à celles de la station BTB, située dans le cours supérieur du fleuve Bandama. La même tendance est observée dans le cours supérieur du fleuve Bandama entre les macrofaunes aquatiques des stations BTA et BTB similaires à 68 %. Il est aussi noté dans le cours inférieur du fleuve Bandama que, la macrofaune des stations BYA et BYB présente une ressemblance à 55,17 %. Par contre, au Sud de la Réserve, on note un indice de similarité de Jaccard inférieur à 50 % entre les communautés de macroinvertébrés des stations NYA et NYB, situées respectivement dans le cours supérieur et inférieur de la rivière Nambyon.

Tableau XI : Résultats du test de similarité de Jaccard exprimés en pourcentage des espèces communs aux stations prises deux à deux dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon	
	Cours supérieur			Cours moyen		Cours inférieur			MS	MVS	NYA	NYB
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB				
BN												
BTA	43,12											
BTB	41,82	68										
BSA	44,28	43,57	39,58									
BSB	43,31	48,09	50,39	60,99								
BYA	32,32	36,19	40,2	36,43	34,13							
BYB	38,32	45,46	46,79	41,91	44,19	55,17						
BB	46,22	46,46	43,08	71,09	70,97	33,06	41,27					
MS	37,11	33,03	28,32	29,93	35,71	25	28,04	33,61				
MVS	40,57	36,44	33,06	40,58	40,6	22,52	25,41	44,36	48,39			
NYA	32,28	39,54	40,63	41,06	47,14	33,62	42,15	38,46	22,66	31,06		
NYB	31,93	32,03	36,29	45,32	46,62	34,58	43,75	41,67	24,79	27,56	48,36	

Les résultats du test de similarité de Jaccard supérieurs ou égaux à 50 % apparaissent en gras.

3.2.1.5. Déterminisme de la richesse spécifique

3.2.1.5.1. Profil de distribution des macroinvertébrés aquatiques

L'apprentissage des SOM (Self-Organizing Map) réalisé sur la matrice présence/absence des familles de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama a permis de classer les 96 échantillons (12 stations x 8 campagnes). Cette classification s'est faite en fonction de la distribution et de la probabilité d'occurrence des familles de macroinvertébrés aquatiques. La carte de 49 cellules (7 lignes x 7 colonnes) est retenue. Les erreurs de quantification et topographique sont les plus faibles sur cette carte (Tableau XII).

Tableau XII : Différentes tailles de carte de Kohonen et les erreurs de quantification et topographique correspondantes.

Taille de la carte	Erreur de quantification	Erreur topographique
7*6	2,246	0,033
7*7	2,156	0,000
8*6	2,161	0,000

La taille retenue est en gras.

Les cellules de la carte auto-organisatrice ont été classées en trois groupes (I à III) à partir d'une Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) avec la méthode Ward et la distance euclidienne. Les groupes sont illustrés par différentes figurines sur la carte de Kohonen (Figures 55 et 56).

Le groupe I rassemble les échantillons provenant des mares à la station MS et au cours supérieur et inférieur du fleuve Bandama des stations BN et BB respectivement (Figure 56). Ce groupe représente 33,52 % de l'ensemble des échantillons. Cette dominance est significative (test G : $p < 0,05$). Le groupe II est significativement caractérisé par les échantillons provenant dans le cours moyen du fleuve Bandama des stations BSA et BSB et dans le cours supérieur des stations BTA et BTB. Ce groupe comprend également les échantillons provenant des stations NYA et NYB de la rivière Nambyon et ceux de la mare (station MVS). Le groupe II représente 53,13 % de l'ensemble des échantillons (test G : $p < 0,05$). Quant au groupe III, il représente 13,35 % de l'ensemble des échantillons. Ce groupe renferme majoritairement les échantillons issus dans le cours inférieur du fleuve Bandama des stations BYA et BYB qui s'associent significativement (test G : $p < 0,05$).

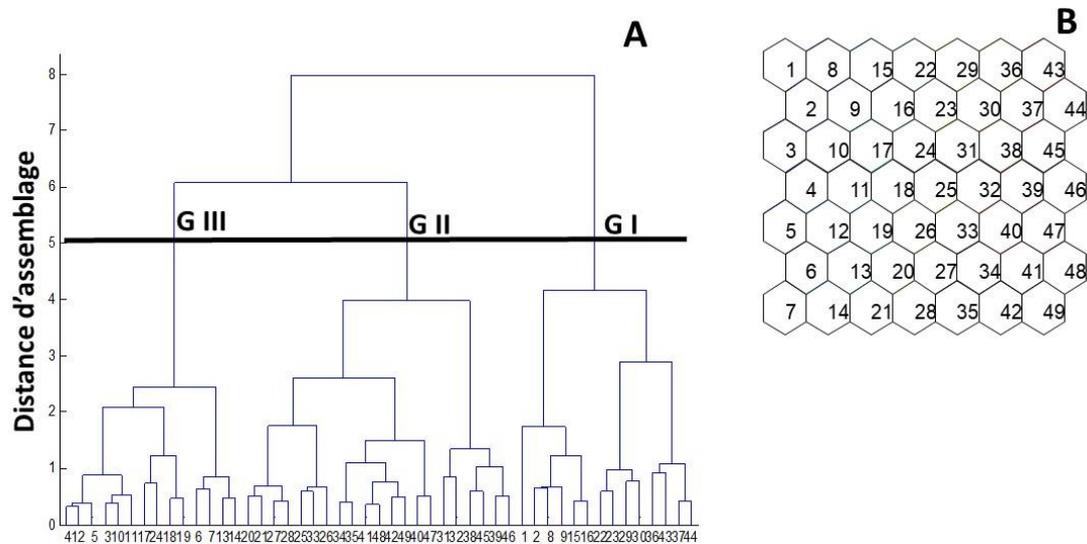


Figure 55 : Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la SOM sur la base des familles de macroinvertébrés dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

A = Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la carte de Kohonen avec la méthode Ward et la distance Euclidienne comme distance d'assemblage (les nombres [1 à 48] correspondent aux numéros de cellules de la carte de Kohonen ; les chiffres romains [I à III] représentent les groupes retenus). B = Carte de Kohonen avec les cellules numérotées de 1 à 49.

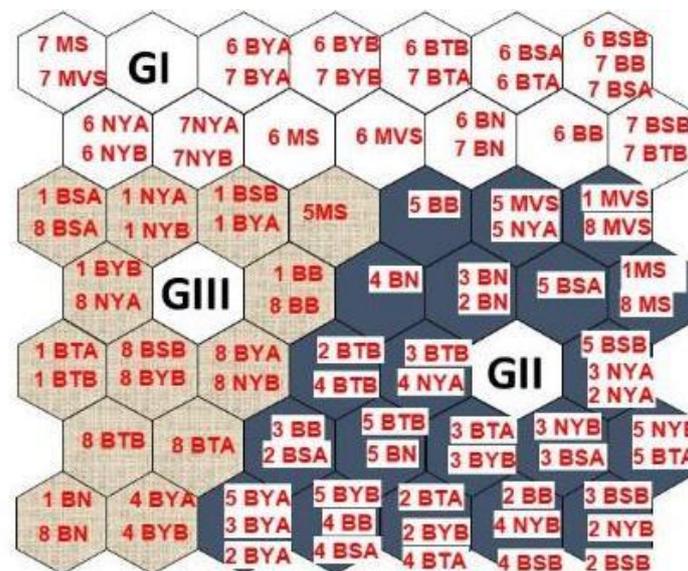


Figure 56 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence des familles de macroinvertébrés récoltées dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Les chiffres romains (I à III) représentent les groupes définis ; Les chiffres arabes de (1 à 4) et de (5 à 8) : désignent respectivement les campagnes réalisées durant la saison sèche et pluvieuse.

La distribution de chacune des familles de macroinvertébrés aquatiques dans chaque groupe défini par la SOM est illustrée par la figure 57. La répartition est faite à partir de l'analyse de la contribution de chaque famille dans chaque groupe. Le regroupement des familles appartenant à un même groupe défini par la SOM est présenté par la figure 58. Le groupe I comprend les 33 familles suivantes : Acrididae, Aeshinidae, Anthocoridae, Aphrophoridae, Baetidae, Belostomatidae, Caenidae, Carabidae, Chaoboridae, Cicadellidae, Corixidae, Culicidae, Cydnidae, Dixidae, Entomobryidae, Formicidae, Gerridae, Glossiphoniidae, Crambidae, Gryllidae, Hydraenidae, Leptophlebiidae, Lycosidae, Noctuidae, Pentatomidae, Pisauridae, Priapulidae, Psychodidae, Serpulidae, Tetragnathidae, Pomatiopsidae, Tettigoniidae et Veliidae. Le groupe II plus diversifié comprenant 44 familles se distingue par la présence de la famille des Aphididae, Atyidae, Bithyniidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Dolichopodidae, Dryopidae, Dytiscidae, Ecnomidae, Gyrinidae, Helodidae, Heptageniidae, Hydrophilidae, Hydrométridae, Hydropsychidae, Leptocéridae, Libellulidae, Limnichidae, Limoniidae, Leptoceridae, Margaritiferidae, Melanopsidae, Mesoveliidae, Muscidae, Turbificidae, Nepidae, Neritidae, Neurorthidae, Notonectidae, Hydrobiidae, Phoridae, Pyralidae, Planorbidae, Pleidae, Polycentropodidae, Potamonautidae, Polymitarcidae, Rhagionidae, Simuliidae, Sphaeriidae, Tabanidae, Tricorythidae et Viviparidae. Le Groupe III moins diversifié avec seulement 7 familles, se caractérise par les Ampullariidae, Macromiidae, Elmidae, Gomphidae, Lumbricidae, Paraphrynoveliidae et Thiaridae. Le nombre de familles enregistrées dans les différents groupes diffère significativement d'un groupe à un autre (test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les groupes I et II sont les plus riches en familles et en espèces comparativement au groupe III (test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

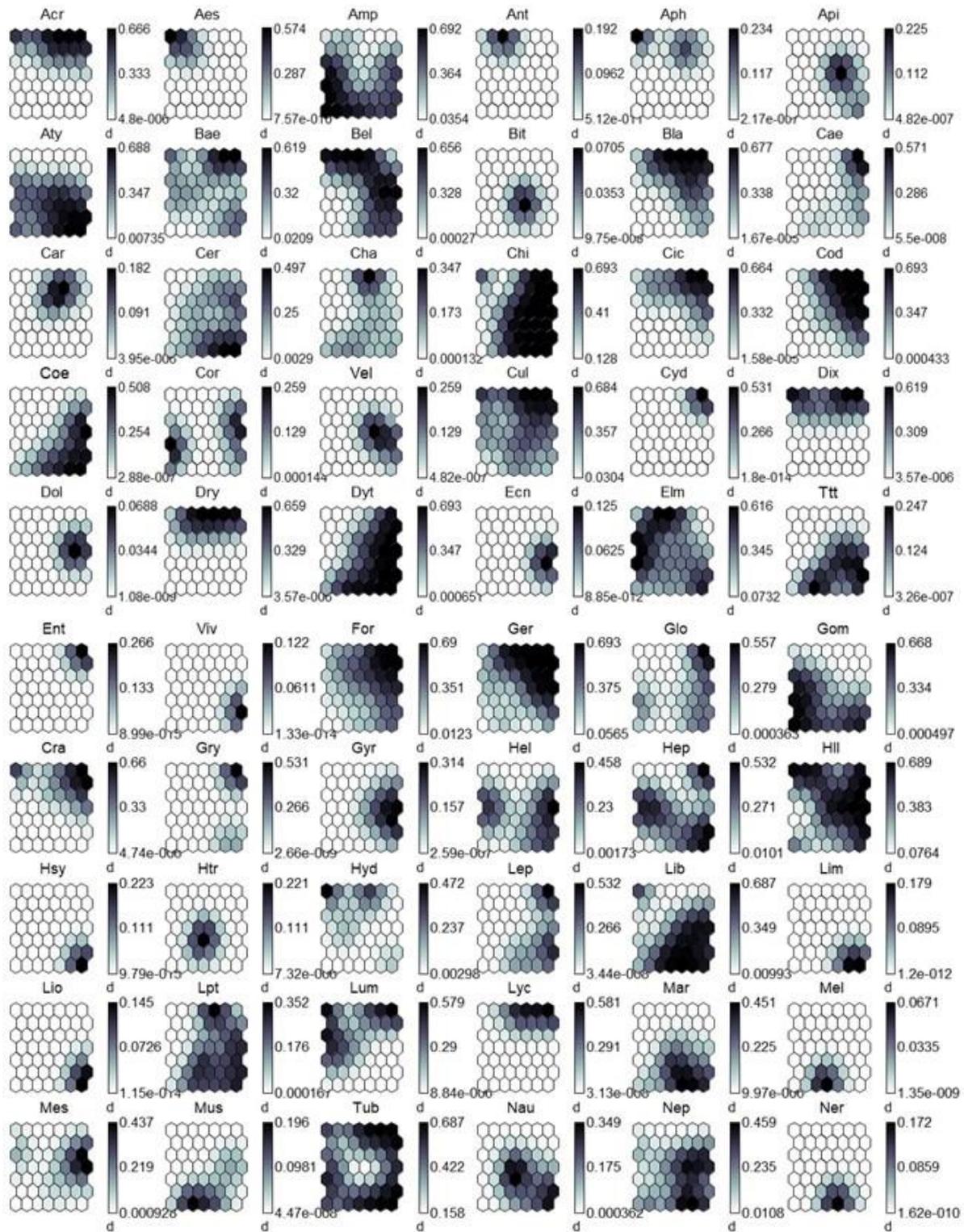


Figure 57 : Patron de distribution de chaque famille de macroinvertébrés sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des familles de macroinvertébrés récoltées dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle.

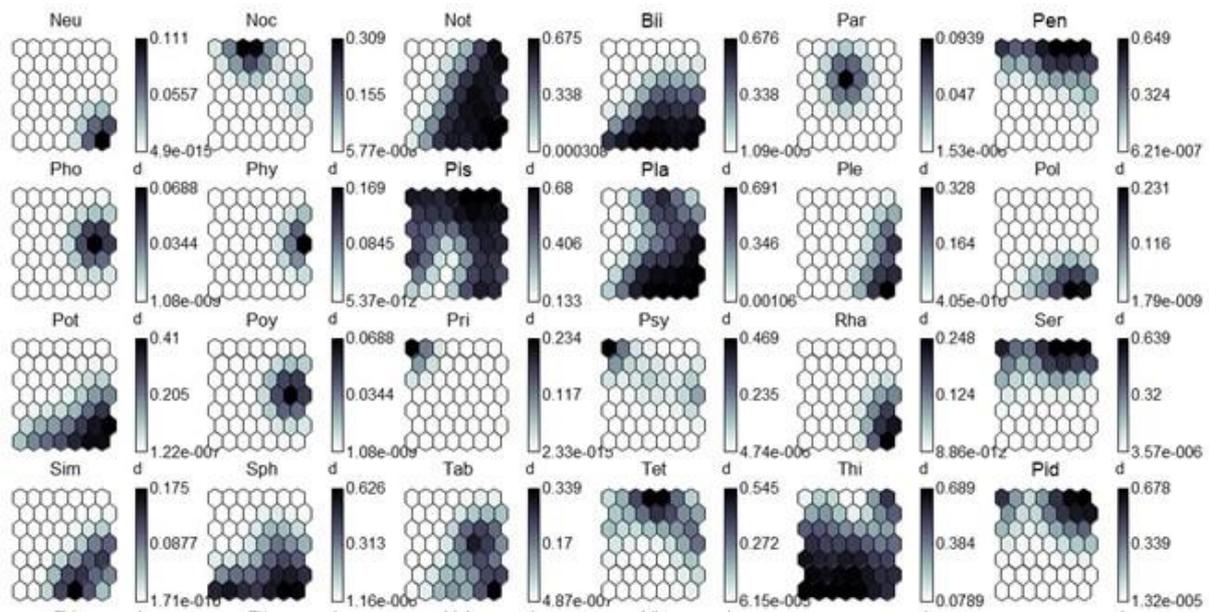


Figure 57 : (suite et fin) : Patron de distribution de chaque famille de macroinvertébrés sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence-absence des familles de macroinvertébrés récoltées dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence. d = échelle. Pour les acronymes des familles : voir figure 58.

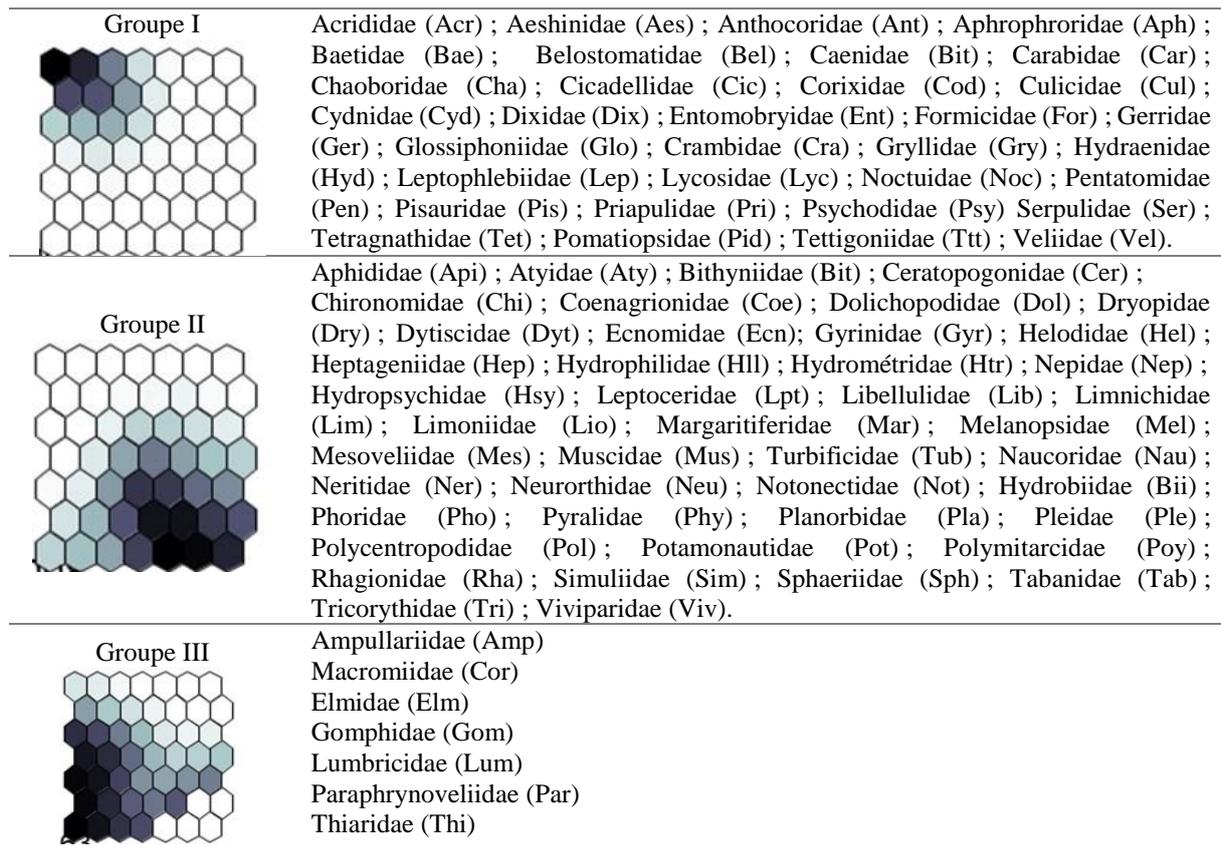


Figure 58 : Distribution des familles de macroinvertébrés récoltés dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019 dans chaque groupe défini par la SOM. (Couleur foncée = fréquence élevée ; couleur claire = faible fréquence : voir absence).

Les nombres de familles de macroinvertébrés aquatiques appartenant aux quatre groupes trophiques en fonction des groupes définis par la SOM sont présentés dans le tableau XIII. Dans le groupe I, les prédateurs sont les plus représentés avec 19 familles. Cependant, les herbivores et les filteurs sont les moins représentés avec 4 familles chacun. Dans le groupe II, les prédateurs dominent avec 21 familles. Par contre, les moins représentés sont les filteurs avec 3 familles. Quant au groupe III, il est dominé par les prédateurs et les détritivores avec 3 familles chacun. Par ailleurs, aucune famille appartenant aux filteurs n'a été enregistrée dans le groupe III.

Tableau XIII : Répartition du nombre de familles de macroinvertébrés aquatiques appartenant aux quatre groupes trophiques en fonction des groupes définis par la SOM entre janvier 2018 et février 2019

Nombre de familles			
Groupes définis par la SOM			
Groupes trophiques	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Prédateurs	19	21	3
Détritivores	6	14	3
Herbivores	4	6	1
Filtreurs	4	3	0

Le tableau XIV présente les proportions des familles appartenant aux huit classes de macroinvertébrés aquatiques en fonction des groupes définis par la SOM. Dans le groupe I, les Insectes sont les plus représentés. Ils représentent 75,75 % des familles. Les moins représentés sont les Clitellates, les Entognathes, les Malacostracés et les Priapulida avec 3,03 % des familles chacun. Aucune famille appartenant à la classe des Bivalves et des Gastéropodes n'a été notée dans le groupe I. Dans le groupe II, les Insectes (75 %) sont les plus dominants. Par contre, les moins représentés sont les Clitellates avec 2,27 % des familles. Aucune famille appartenant à la classe des Arachnidés, des Entognathes et des Priapulida n'a été enregistrée dans ce groupe. En ce qui concerne le groupe III, il est dominé par les Insectes (42,85 %) et les Gastéropodes (28,57 %). Les Clitellates et les Entognathes avec 14,28 % chacun sont les moins dominants. Par ailleurs, aucune famille appartenant à la classe des Arachnidés, des Malacostracés, des Priapulida et des Bivalves n'a été enregistrée dans le groupe III.

Tableau XIV : Proportions des familles appartenant aux huit classes de macroinvertébrés aquatiques en fonction des groupes définis par la SOM entre janvier 2018 et février 2019

Proportions des familles (%)			
Groupes définis par la SOM			
Classes	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Clitellates	3,03	2,27	14,28
Arachnidés	6,06	0	0
Entognathes	3,03	0	14,28
Malacostracés	3,03	4,54	0
Priapulida	3,03	0	0
Bivalves	0	4,54	0
Gastéropodes	0	13,63	28,57
Insectes	75,75	75	42,85

3.2.1.5.2. Facteurs déterminant la diversité des macroinvertébrés

Une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été réalisée sur les trois groupes établis par la SOM (matrice de présence/absence des familles) et les variables environnementales, afin de déterminer les facteurs qui influencent le patron de distribution de la diversité des macroinvertébrés. Les variables originelles ont été regroupées en trois facteurs, dont les deux premiers F1 (78,9 %) et F2 (16,55 %) qui expriment 95,45 % de l'information sont retenus pour l'ordination (Figure 59 A).

L'AFD montre que les trois groupes établis par la SOM se recouvrent à plus de 50 % (Figure 59 A). Par ailleurs, les groupes I et II se recouvrent totalement. Cette analyse ne permet pas une distinction entre les groupes I et II comprenant plus de familles et le groupe III renfermant moins de familles. Le barycentre du groupe I se trouve dans la partie positive de l'axe F1, par contre, ceux du groupe II et III se situent dans la partie négative de cet axe. En ce qui concerne l'axe F2, il regroupe le barycentre du groupe III dans sa partie positive et celui du groupe II du côté négatif (Figure 59 B).

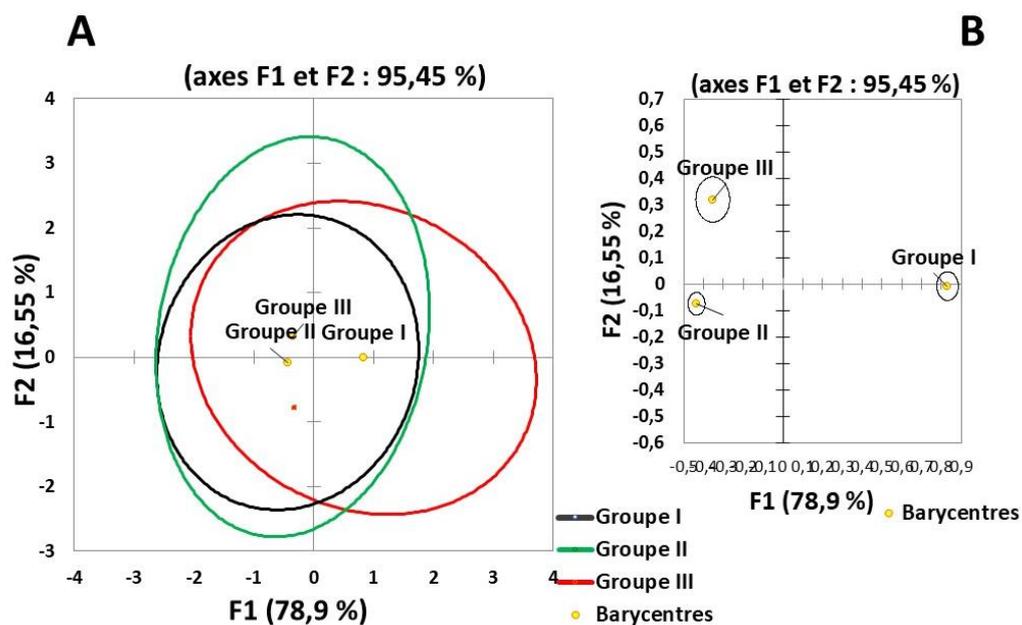


Figure 59 : Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur les groupes (I à III) établis par la SOM et les variables physico-chimiques et hydromorphologiques relevés aux différentes stations dans la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

A = Diagramme des valeurs propres de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) ; B = AFD effectuée sur les groupes établis par la SOM et des variables abiotiques : (le barycentre des échantillons d'un même groupe est marqué par le chiffre romain [I à III] du nom de ce groupe).

Le test de permutation de Monte-Carlo (1000 permutations) révèle que les groupes I et II sont correctement prédits ($p < 0,05$). Le résultat du test d'évaluation de la qualité des prédictions des différents groupes est présenté dans le tableau XV. La matrice de confusion établie par la technique de Jackknife indique que les groupes (I, II et III) ont des taux de prédiction respectifs de 59,50, 87,92 et 0,00 %. Dans l'ensemble 66,66 % des échantillons sont correctement classés dans les groupes définis par la SOM.

Tableau XV : Résultats de la classification obtenue par l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) et le test "leave-one-out" de validation croisée.

Groupes	Nombre d'échantillons	Nombres d'échantillons des groupes prédits			Pourcentages de prédiction
		I	II	III	
Groupe I	1316	783	533	0	59,50 %
Groupe II	2086	252	1834	0	87,92 %
Groupe III	524	71	453	0	0,00 %
Total	3926	1106	2820	0	66,66 %

Le nombre des échantillons correctement classés est en gras.

Les variables environnementales du milieu discriminant les groupes définis par la *SOM* sont illustrées par la figure 60. Sur le premier axe (F1) la température, la profondeur aux stations d'échantillonnage et la largeur du lit mouillé apparaissent positivement plus déterminants dans le regroupement des échantillons. Par ailleurs, sur l'axe (F2), la température discrimine positivement les différents groupes alors que, sur ce même l'axe, la largeur du lit mouillé discrimine négativement les différents groupes (Tableau XVI).

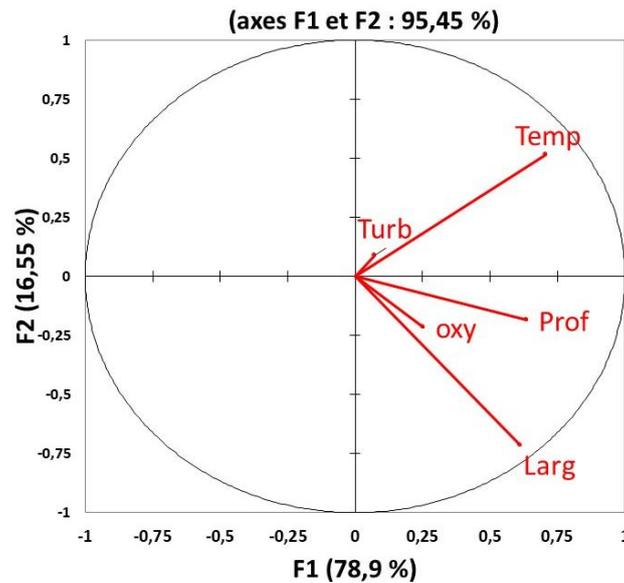


Figure 60 : Cercle de corrélation des variables environnementales discriminants les groupes dans le plan F1 x F2 de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD).

Temp = température, **Turb** = turbidité, **Oxy** = Taux d'oxygène dissous, **Prof** = Profondeur aux stations d'échantillonnage et **Larg** = Largeur du lit mouillé.

Tableau XVI : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'AFD sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Paramètres	Axes factoriels	
	F1	F2
Température	0,706	0,515
Profondeur	0,636	-0,186
Oxygène dissous	0,253	-0,215
Turbidité	0,074	0,089
Largeur du lit mouillé	0,611	-0,715

Les poids factoriels significatifs apparaissent en gras

3.2.1.6. Analyse quantitative des communautés de macroinvertébrés

3.2.1.6.1. Variations spatiales et saisonnières des abondances

3.2.1.6.1.1. Variations spatiales des abondances

3.2.1.6.1.1.1. Analyse globale des classes de macroinvertébrés

Les proportions des classes de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama à partir de leurs abondances sont présentées par la figure 61. Les classes des Insectes et des Gastéropodes sont les plus abondantes. Les Insectes comptent 2590 individus, soit 66 % de l'effectif total. Quant aux Gastéropodes, ils comptent 657 individus, soit 17 % des organismes récoltés. Ces classes sont suivies de celle des Clitellates, qui avec 268 individus représentent 7 % de l'effectif des macroinvertébrés aquatiques. Les autres classes avec 407 individus représentent 10 % de l'effectif total des macroinvertébrés.

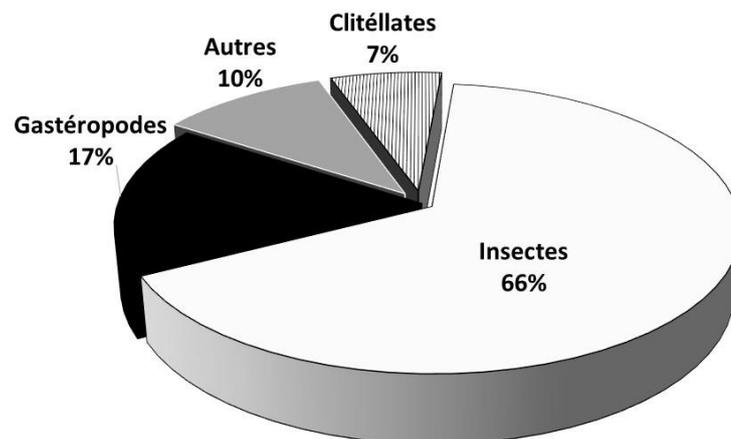


Figure 61 : Contribution quantitative des classes de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

3.2.1.6.1.1.2. Variations spatiales des abondances relatives des principaux ordres

Le tableau XVII indique les abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la réserve du Haut-Bandama. Ces ordres sont ceux qui représentent au moins 5 % de l'effectif total des organismes récoltés sur au moins une des 12 stations. Douze (12) ordres se sont révélés principaux. Il s'agit de l'ordre des Tombidiformes, des Haplotaxida, des Coléoptères, des Diptères, des Éphéméroptères, des Hémiptères, des Odonates, des Décapodes, des Venerida, des Architaenioglossa, des Neotaenioglossa et des Basommatophores. Dans l'ensemble des stations, les Hémiptères, les Coléoptères et les Diptères sont les ordres les plus abondants. L'abondance des Hémiptères est comprise entre 11 % dans la rivière Nambyon à la station NYB

et 36 % dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BN. Celle des Coléoptères oscille entre 8 % dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTA et 24 % dans la rivière Nambyon à la station NYA. Quant aux Diptères, ils sont moins abondants (7 %) dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYB et plus abondants dans les mares à la station MVS, où ils représentent 21 %. Dans le fleuve Bandama, les Hémiptères sont plus abondants (36 %) à la station BN et moins abondants (14 %) à la station BYB. Les Diptères sont plus représentés (20 %) à la station BSA et moins représentés (7 %) à la station BYB. Les Coléoptères, avec 18 % dominent à la station BSA. Cependant, ils sont moins abondants (8 %) à la station BTA. Dans les mares, les Hémiptères, les Diptères et les Coléoptères sont plus abondants à la station MVS où, ils représentent respectivement 31 %, 21 % et 18 %. Dans la rivière Nambyon, la station NYA renregistre les plus grandes abondances d'Hémiptères (14 %), de Diptères (15 %) et de Coléoptères (24 %).

Tableau XVII : Abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ordres	Abondances relatives par stations (%)											
	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			MS	MVS	NYA
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB	MS	MVS	NYA	NYB
Architaenioglossa	4	2	3	6	5	6	6	3	3	4	2	9
Basommatophores	2	6	10	5	7	6	7	3	3	3	9	4
Coléoptères	16	8	14	18	14	10	15	12	13	18	24	19
Décapodes	2	6	4	3	4	3	5	4	0	0	6	5
Diptères	18	19	15	20	16	8	7	19	19	21	15	13
Ephéméroptères	5	2	7	4	9	5	8	6	1	2	9	5
Haplotaxida	3	6	4	5	3	11	6	8	13	8	4	6
Hémiptères	36	22	22	17	24	19	14	26	27	31	14	11
Neotaenioglossa	5	11	8	5	1	11	9	4	2	0	4	10
Odonates	3	9	8	11	11	10	11	6	10	10	7	11
Trombidiformes	3	8	5	6	4	5	5	8	9	3	2	3
Venerida	3	1	0	0	2	6	6	1	0	0	4	4

3.2.1.6.1.1.3. Variations spatiales des abondances relatives des principales familles

Le tableau XVIII montre les abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Ces familles sont celles qui représentent au moins 5 % de l'effectif total des organismes récoltés sur au moins une des 12 stations d'échantillonnage. Quinze (15) familles se sont révélées principales. Ce sont : les Belostomatidae, les Corixidae, les Gerridae, les Notonectidae, les Veliidae, les Chironomidae, les Culicidae, les Dytiscidae, les Gomphidae, les Turbificidae, les Viviparidae, les Pisauridae. Les Planorbidae, les Sphaeriidae et les Thiaridae. Au niveau du fleuve Bandama, les Chironomidae et les Dytiscidae sont les familles dominantes rencontrées dans cinq des huit stations. L'abondance des Chironomidae varie entre 3 % au cours inférieur à la station BYA et 22 % dans le cours moyen à la station BSA. Celle des Dytiscidae est comprise entre 4 % dans le cours inférieur et supérieur respectivement aux stations BYA et BTA et 19 % dans le cours moyen à la station BSA. Elles sont suivies des Thiaridae qui prédominent dans quatre des huit stations. L'abondance de cette famille oscille entre 2 % dans le cours moyen à la station BSB et 18 % au cours inférieur à la station BYA. Dans les mares, la famille des Chironomidae est la plus abondante, elle représente 19 et 20 % aux stations MS et MVS respectivement. Cette famille est suivie des Turbificidae qui présentent des abondances relatives allant de 10 % à la station MVS à 17 % à la station MS. Par ailleurs, les Pisauridae enregistrent leur plus forte abondance (14 %) à la station MS. Cependant, ils sont moins abondants (5 %) à la station MVS. Dans la rivière Nambyon, les Dytiscidae et les Chironomidae sont les familles les plus adondantes. L'adondance relative des Dytiscidae va de 14 % à la station NYB à 17 % à la station NYA, alors que celle des Chirominidae est comprise entre 14 et 16 % respectivement aux stations NYB et NYA. Par ailleurs, les Thiaridae sont abondants dans la rivière Nambyon. Ils ont une abondance relative de 9 % à la station NYA et de 17 % à la station NYB.

Tableau XVIII : Abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Abondances relatives par stations (%)												
Familles	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon	
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur		MS	MVS	NYA	NYB
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB				
Belostomatidae	3	3	2	2	5	2	4	1	14	7	6	2
Chironomidae	11	7	14	22	18	3	7	18	20	19	16	14
Corixidae	12	2	3	4	2	3	1	4	3	11	2	1
Culicidae	8	15	10	2	4	4	4	7	3	6	7	2
Dytiscidae	11	4	7	19	13	4	11	11	4	18	17	14
Gerridae	7	9	10	1	7	10	5	3	4	10	7	3
Gomphidae	1	5	3	8	7	11	12	2	0	0	5	9
Turbificidae	4	8	6	5	5	15	10	7	17	10	7	9
Notonectidae	15	9	4	7	8	3	2	9	4	8	7	4
Hydrobiidae	5	6	10	1	3	7	8	2	3	0	2	2
Pisauridae	4	9	7	7	9	4	5	12	14	5	4	5
Sphaeriidae	4	2	1	1	3	10	10	2	0	0	7	8
Thiaridae	7	17	13	9	2	18	16	7	3	0	9	17
Veliidae	4	4	9	6	10	5	3	11	11	5	2	2
Viviparidae	4	0	2	6	4	1	2	4	0	0	2	8

3.2.1.6.1.1.4. Variations spatiales des abondances relatives des principales espèces

Les abondances relatives des principales espèces de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont consignées dans le tableau XIX. Les principales espèces sont celles qui constituent au moins 5 % de l'effectif total des organismes collectés sur au moins une des 12 stations d'échantillonnage. Cinq (5) espèces à savoir : *Anisops* sp., *Ophidonais serpentina*, *Pisidium* sp., *Biomphalaria pfeifferi* et *Melanoides tuberculata* sont les plus représentés. *Melanoides tuberculata* est abondant dans six des huit stations situées dans le fleuve Bandama. Cette espèce est fortement représentée dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTA, où elle représente 39 % de l'effectif des espèces inventoriées. Au niveau des mares, *Ophidonais serpentina* est l'espèce prédominante. Elle représente respectivement 75 et 50 % de l'effectif des espèces récoltés aux stations MS et MVS. Dans la rivière Nambyon, *Melanoides tuberculata* et *Biomphalaria pfeifferi* dominent la macrofaune aquatique. *Melanoides*

tuberculata avec 38 % prédomine à la station NYB. Quant à *Biomphalaria pfeifferi* (34 %), elle est l'espèce dominante à la station NYA.

Tableau XIX : Abondances relatives des principales espèces de macroinvertébrés récoltés aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Abondances relatives par stations (%)												
Espèces	Stations du lit principal du fleuve Bandama						Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon			
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur			NYA	NYB	
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB	MS			MVS
<i>Anisops</i> sp.	37	21	14	23	25	4	3	29	0	25	12	9
<i>Biomphalaria pfeifferi</i>	2	17	36	23	38	14	22	15	13	25	34	16
<i>Melanoïdes tuberculata</i>	33	39	33	28	2	34	33	15	12	0	21	38
<i>Ophidonais serpentina</i>	17	18	15	22	21	28	20	33	75	50	19	22
<i>Pisidium</i> sp.	11	5	2	4	14	20	22	8	0	0	14	15

3.2.1.6.1.2. Variations saisonnières des abondances

3.2.1.6.1.2.1. Variations saisonnières de l'ensemble des communautés

Les variations saisonnières des abondances de macroinvertébrés collectés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama sont illustrées par la figure 62. Dans le fleuve Bandama et les mares, les plus grandes abondances de macroinvertébrés sont enregistrées durant la saison des pluies. Elles sont de 1527 individus dans le fleuve Bandama et de 329 individus dans les mares. En revanche, dans la rivière Nambyon, la saison sèche est la période durant laquelle l'effectif de la macrofaune aquatique capturé est plus élevé (537 individus).

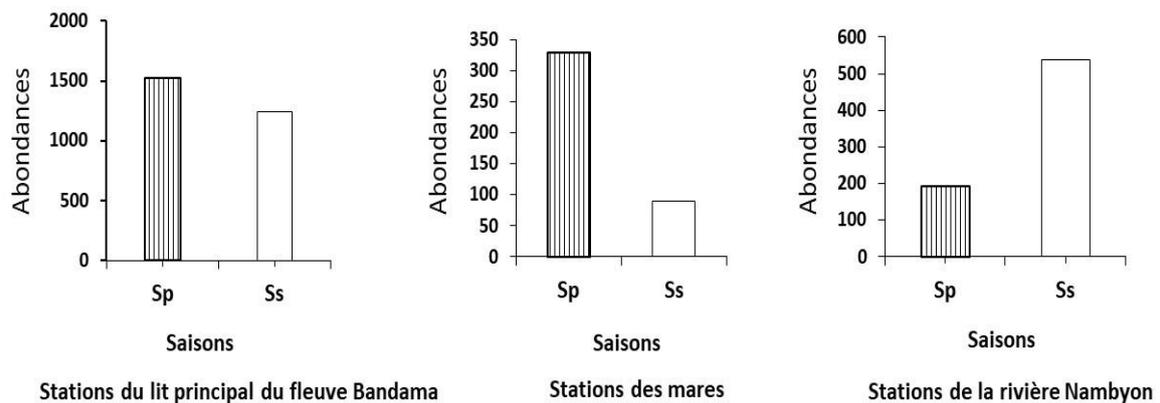


Figure 62 : Variations saisonnières des abondances de macroinvertébrés collectés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = saison sèche ; Sp = saison des pluies.

3.2.1.6.1.2.2. Variations saisonnières des abondances relatives des principales espèces

La figure 63 présente les variations saisonnières des abondances des cinq principales espèces de macroinvertébrés récoltés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Ces espèces sont ceux qui constituent au moins 5 % des effectifs des organismes récoltés sur au moins une des 12 stations d'échantillonnage. Dans le fleuve Bandama, les communautés de macroinvertébrés sont dominées par *Ophidonais serpentina* et *Anisops* sp., durant la saison des pluies. Ils représentent respectivement 38 et 26 % de l'effectif des espèces du fleuve Bandama. En revanche, pendant la saison sèche *Melanoïdes tuberculata* (31 %) et *Biomphalaria pfeifferi* (25 %) sont en nombre plus importants dans le fleuve Bandama. *Ophidonais serpentina* domine les communautés de macroinvertébrés aquatiques des mares durant les deux saisons climatiques. Cette espèce représente 64 % de la macrofaune des mares durant la saison des pluies et 46 % pendant la saison sèche. Dans de la rivière Nambyon, *Melanoïdes tuberculata* (37%) et *Ophidonais serpentina* (26%) sont numériquement abondants durant la saison des pluies. Par contre, durant la saison sèche *Biomphalaria pfeifferi* (28 %) et *Melanoïdes tuberculata* (27 %) sont abondants.

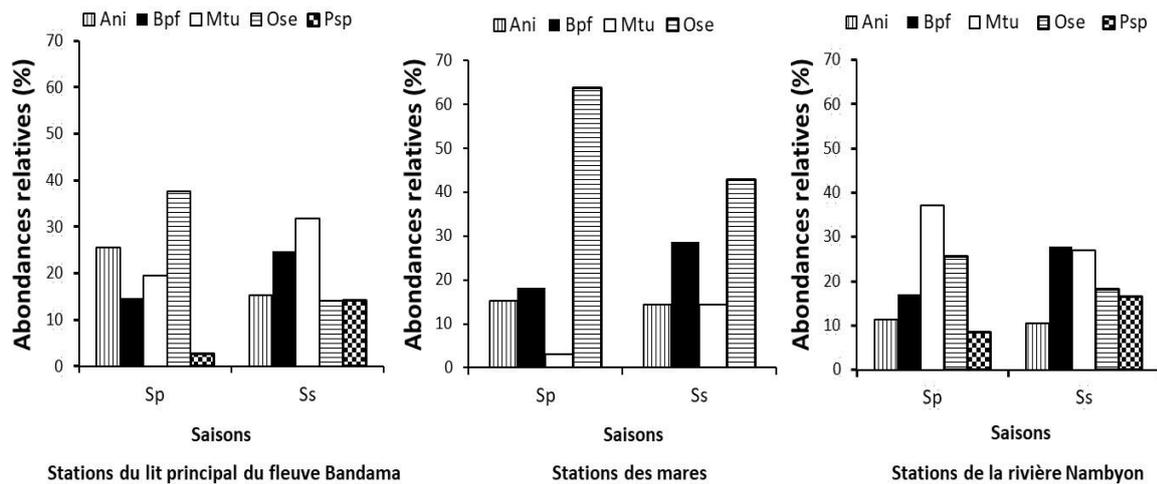


Figure 63 : Variations saisonnières des abondances relatives des principales espèces de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ani= *Anisops* sp., **Bpf**= *Biomphalaria pfeifferi*, **Mtu**= *Melanoides tuberculata*, **Ose**= *Ophidonais serpentina* et **Psp**= *Pisidium* sp.

3.2.1.7. Analyse de la diversité des communautés de macroinvertébrés

3.2.1.7.1. Variations spatiales des indices de Shannon et d'équitabilité

3.2.1.7.1.1. Variations spatiales de l'indice de Shannon

La figure 64 présente les variations spatiales de l'indice de Shannon des communautés de macroinvertébrés aquatiques dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Sur l'ensemble des stations visitées, les valeurs de l'indice de Shannon varient entre 1,94 et 3,88 bit dans le cours moyen du fleuve Bandama respectivement aux stations BSB et BSA. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne présentent pas de différence significative (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différentes stations.

La figure 65 montre les variations spatiales de l'indice de Shannon entre les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Les valeurs minimales de 1,94 bit et maximales de 3,88 bit de l'indice de Shannon ont été enregistrées dans le fleuve Bandama. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne varient pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différents milieux aquatiques de la Réserve.

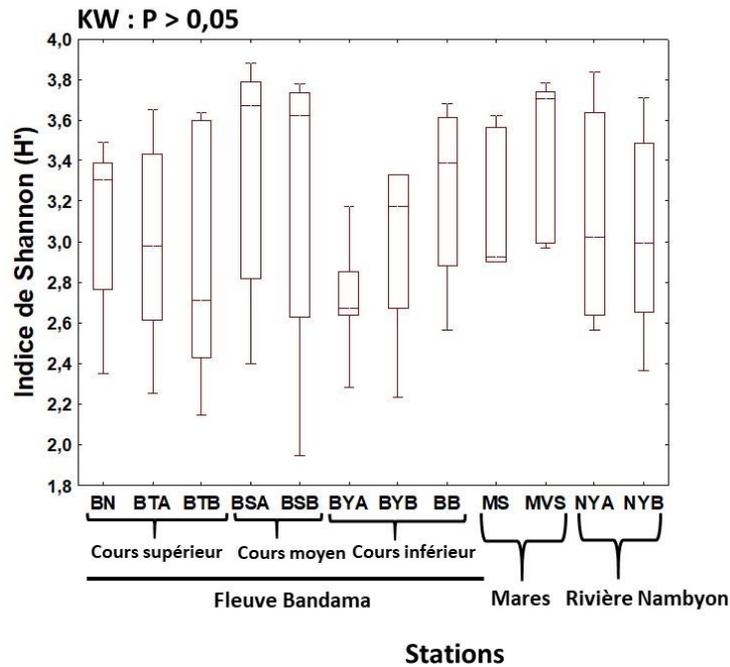


Figure 64 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

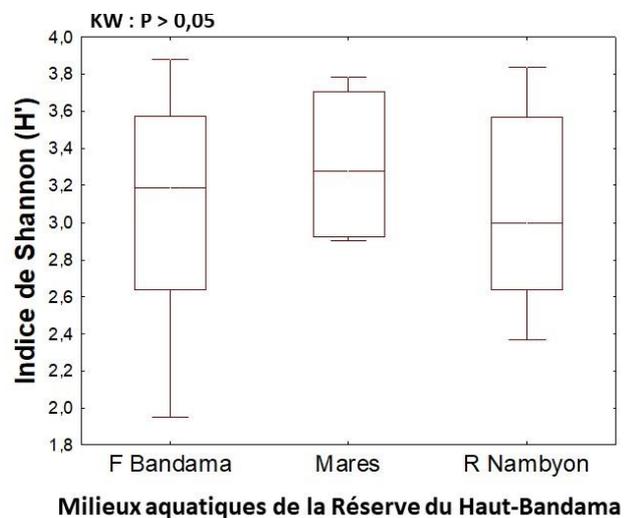


Figure 65 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon ; pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

3.2.1.7.1.2. Variations spatiales de l'indice d'équitabilité

La figure 66 indique les variations spatiales de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations prospectées, l'indice d'équitabilité est compris entre 0,89 dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYB et 1 dans le cours inférieur aux stations BB, BYA et BYB, dans le cours moyen aux stations BSA et BSB, ainsi que dans la rivière Nambyon aux stations NYA et NYB. Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) entre les différentes stations.

La figure 67 indique les variations spatiales de l'indice d'équitabilité entre les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Les valeurs de l'indice d'équitabilité sont comprises entre 0,89 dans le fleuve Bandama et 1 dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon. Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité enregistrées dans les différents milieux aquatiques de la Réserve ne révèlent aucune variation significative (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) d'un milieu aquatique à un autre.

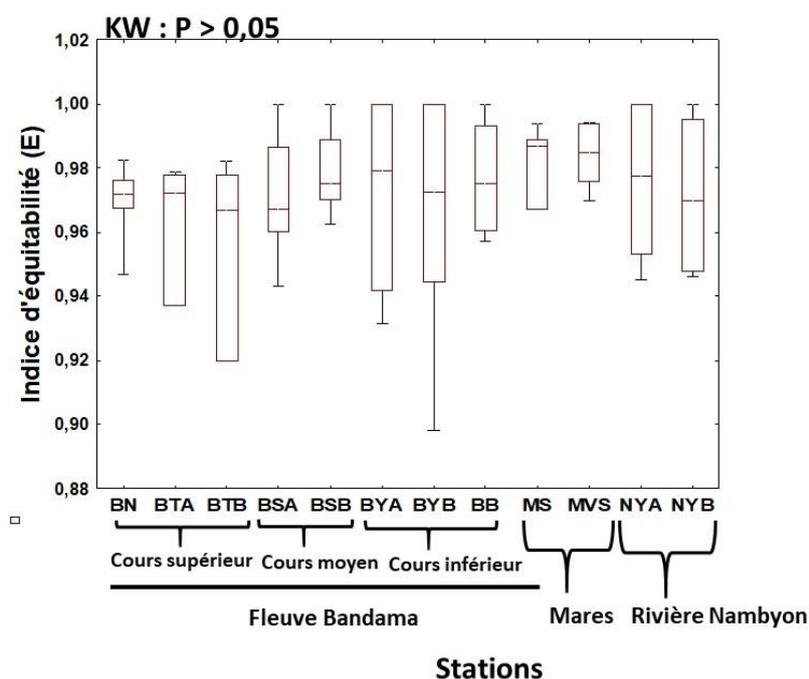


Figure 66 : Variations spatiales de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les différentes stations des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

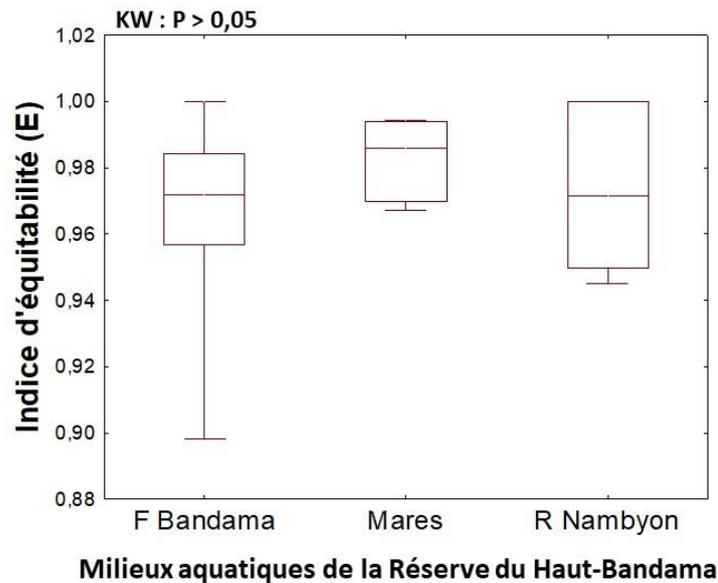


Figure 67 : Variations spatiales de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les différents milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

F Bandama = Fleuve Bandama, R Nambyon = Rivière Nambyon ; pas de différence significative selon le test de Kruskal-Wallis (KW).

3.2.1.7.2. Variations saisonnières des indices de Shannon et d'équitabilité

3.2.1.7.2.1. Variations saisonnières de l'indice de Shannon

La figure 68 présente les variations saisonnières de l'indice de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans le fleuve Bandama, la valeur minimale de 1,94 bit de l'indice de Shannon a été enregistrée durant les deux saisons climatiques. Cependant, la valeur maximale de 3,88 bit est observée pendant la saison sèche. Dans les mares, les valeurs de l'indice de Shannon varient entre 2,89 et 3,78 bit durant la saison pluvieuse. Sur la rivière Nambyon, la valeur maximale de 3,83 bit de l'indice de Shannon a été enregistrée durant la saison sèche. Quant à la valeur minimale de 2,36 bit, elle a été observée durant la saison pluvieuse. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne diffèrent pas significativement d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$). Par contre, ces valeurs varient significativement entre les deux saisons climatiques dans la rivière Nambyon (test U Mann-Whitney, $p < 0,05$).

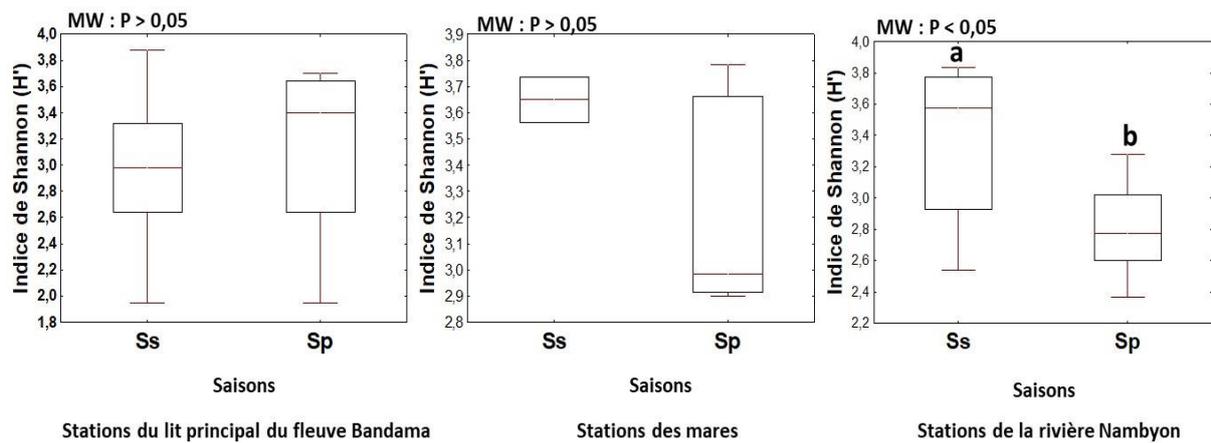


Figure 68 : Variations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.2.1.7.2.2. Variations saisonnières de l'indice d'équitabilité

La figure 69 indique les variations saisonnières de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Dans le fleuve Bandama, les valeurs de l'indice d'équitabilité sont comprises entre 0,89 durant la saison sèche et 1 durant les deux saisons climatiques. Dans les mares, les valeurs de l'équitabilité oscillent entre 0,96 durant la saison pluvieuse et 0,99 durant les deux saisons climatiques. En ce qui concerne la rivière Nambyon, les valeurs de l'indice d'équitabilité sont comprises entre 0,94 durant la saison sèche et 1 durant les deux saisons climatiques. Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité présentent une variation significative d'une saison à l'autre dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon (test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par ailleurs, ces valeurs ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares (test U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

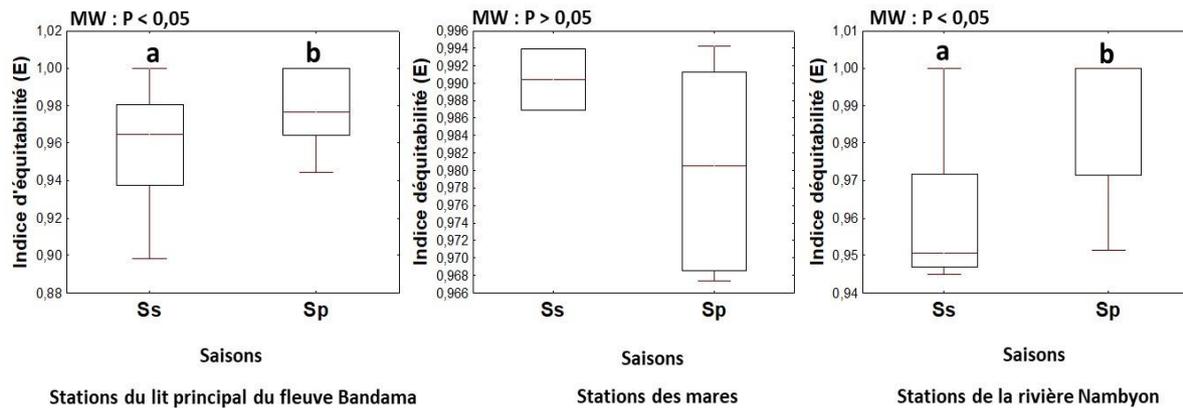


Figure 69 : Variations saisonnières de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

Ss = Saison sèche, Sp = Saison pluvieuse ; a et b indiquent les différences significatives selon le test U de Man-Withney (MW).

3.2.1.8. Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama

3.2.1.8.1. Corrélation entre les paramètres physicochimiques et hydromorphologiques de l'eau et la distribution des principales espèces

Une Analyse de Redondance (RDA) a été réalisée pour établir une relation entre les cinq principales espèces de macroinvertébrés récoltés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama et les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques relevés aux différentes stations. La représentativité de tous les axes est très significative ($P\text{-value} = 0,028$). Les deux premiers axes (F1 et F2) ressortent respectivement 92,36 % et 6,17 %, soit un total de 98,53 % de l'information (Figure 70).

L'analyse de la carte factorielle montre que l'axe I est positivement corrélé à la conductivité. Cependant, la teneur en oxygène dissous est négativement corrélée à cet axe. L'axe II est positivement corrélé à la profondeur aux stations d'échantillonnage et négativement à la turbidité et la température.

La projection des principales espèces sur les axes vectoriels des paramètres environnementaux (Figure 70), indique que *Anisops* sp. et *Ophidonais serpentina* se situent dans la partie positive de l'axe I, pendant que *Melanoides tuberculata* et *Pisidium* sp. se trouvent dans la partie négative de cet axe. Sur l'axe II, *Biomphalaria pfeifferi* se situe dans la partie positive.

Selon l'axe I, les valeurs élevées de la conductivité sont plus corrélées aux abondances de *Anisops* sp. et *Ophidonais serpentina*. En revanche, ces espèces s'opposent aux valeurs élevées de la teneur en oxygène dissous. Par ailleurs, les abondances de *Melanoïdes tuberculata* et *Pisidium* sp. sont négativement corrélées à la teneur en oxygène dissous. Selon l'axe II, l'abondance de *Biomphalaria pfeifferi* est associée aux faibles valeurs de la profondeur aux stations d'échantillonnage. Cependant, cette espèce est négativement associée à la turbidité et la température.

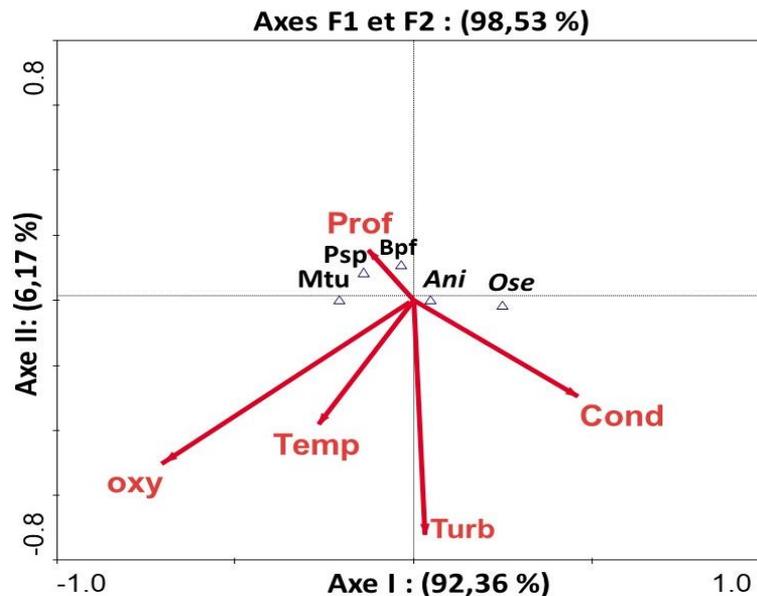


Figure 70 : Analyse de Redondance (RDA) des principales espèces de macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de la Réserve Haut-Bandama et des variables environnementales relevés aux différentes stations entre janvier 2018 et février 2019.

Temp = Température, **Turb** = Turbidité, **Cond** = Conductivité, **Oxy** = Oxygène dissous. **Larg** = Largeur du lit mouillé et **Prof** = Profondeur aux stations d'échantillonnage. **Ani** = *Anisops* sp. : **Bpf** = *Biomphalaria pfeifferi*, **Mtu** = *Melanoïdes tuberculata*, **Ose** = *Ophidonais serpentina* et **Psp** = *Pisidium* sp.

3.2.1.9. Espèces indicatrices des différents types d'habitats

La méthode Indval a été utilisée pour déterminer les espèces ayant une valeur indicatrice significative au sein des différents types d'habitats obtenus à partir de la typologie abiotique des stations. La classification, à partir des caractéristiques environnementales, regroupe les stations en fonction de leur degré de minéralisation. Cette classification donne trois niveaux d'hierarchisation. Le premier niveau renferme toutes les stations. Quant au second niveau, il sépare les stations minéralisées de celles qui sont faiblement minéralisées. Le troisième niveau discrimine les différents types de milieux aquatiques prospectés dans la Réserve. Le test Indval

a été réalisé avec l'ensemble des 199 espèces récoltées. Sur cet ensemble, 44 espèces se sont révélées indicatrices d'au moins un niveau de la classification (Figure 71).

Le premier niveau de la typologie rassemble toutes les 44 espèces qui se sont montrées indicatrices. Au second niveau, 24 espèces ont été identifiées comme indicatrices des stations minéralisées et 20 espèces comme étant indicatrices des stations faiblement minéralisées. En ce qui concerne le troisième niveau, 5 espèces sont indicatrices au cours supérieur du fleuve Bandama des stations BN, BTA et BTB et dans le cours moyen de la station BSA. Ces espèces sont : *Neurogonphus* sp. (56,5**), *Micronecta* sp. (55**) et *Aedes* sp. (59,6**). (test de student moyennement significative), *Caridina nilotica* (75***) et *Anisops* sp. (70,2***) (test de student très significative). Les 19 autres espèces sont indicatrices des mares (stations MVS et MS), situées dans le Centre de la Réserve. Il s'agit notamment de : *Clogmia* sp. (83,7***), *Smittia* sp. (65,2***), *Ochthebius* sp. (63,2***) et *Ophidonais serpentina* (77,1***) (test de student très significative), Acrididae (59,4**), *Olpogastra* sp. (59,6**), *Lanistes ciliatus* (59**), *Microvelia* sp. (59,2**), *Ranatra* sp. (58,6**) et *Hydrovatus* sp. (58,8**) (test de student moyennement significative), de *Polypedilum* sp. (50,5*), *Ablabesmyia* sp.1 (50,3*), *Limnogonus chopardi* (50,3*), Pentatomidae (50,7*), *Hyphydrus* sp. (50,3*), Pyralidae (51,9*), *Tomichia ventricosa* (50,9*), *Diplacodes Lefebvrii* (50,1*) et *Priapulius* sp. (50,7*) (test de student faiblement significative). Dix-sept (17) espèces sont indicatrices dans le Sud de la Réserve de la station NYA, située dans la rivière Nambyon. Il s'agit de : *Thraulius* sp. (60,3**), *Simulium* sp. (67,5**), *Amphiops* sp. (63,1**), *Orectogyrus* sp. (65,6**), *Ecnomus* sp. (64,3**), *Parasetodes* sp. (67,7**) et *Athripsodes* sp. (68,3**) (test de student moyennement significative), de *Bulinus africanus* (50*), *Pisidium Abditum* (50,6*), *Afrobeatodes* sp. (50,3*), *Tanytarsus* sp. (50*), *Aedes* sp.1 (50,5*), *Ablabesmyia* sp. (50,6*), *Atherix* sp. (50,3*), *Polypedilum* sp. 2 (50,7*), *Hydaticus Flavolineatus* (50,6*) et *Hétérydrus* sp. (50,7*) (test de student faiblement significative). Deux (2) espèces, *Dicercomyzon* sp (50,5*) (test de student faiblement significative) et *Pisidium* sp. (65,2**) (test de student moyennement significative) sont indicatrices dans le cours moyen du fleuve Bandama de la station BSB, dans le cours inférieur des stations BYA, BYB et BB. Une espèce, *Melanoïdes tuberculata* (87,6***) (test de student très significative) est indicatrice dans le Sud de la Réserve de la station NYB, située dans la rivière Nambyon.

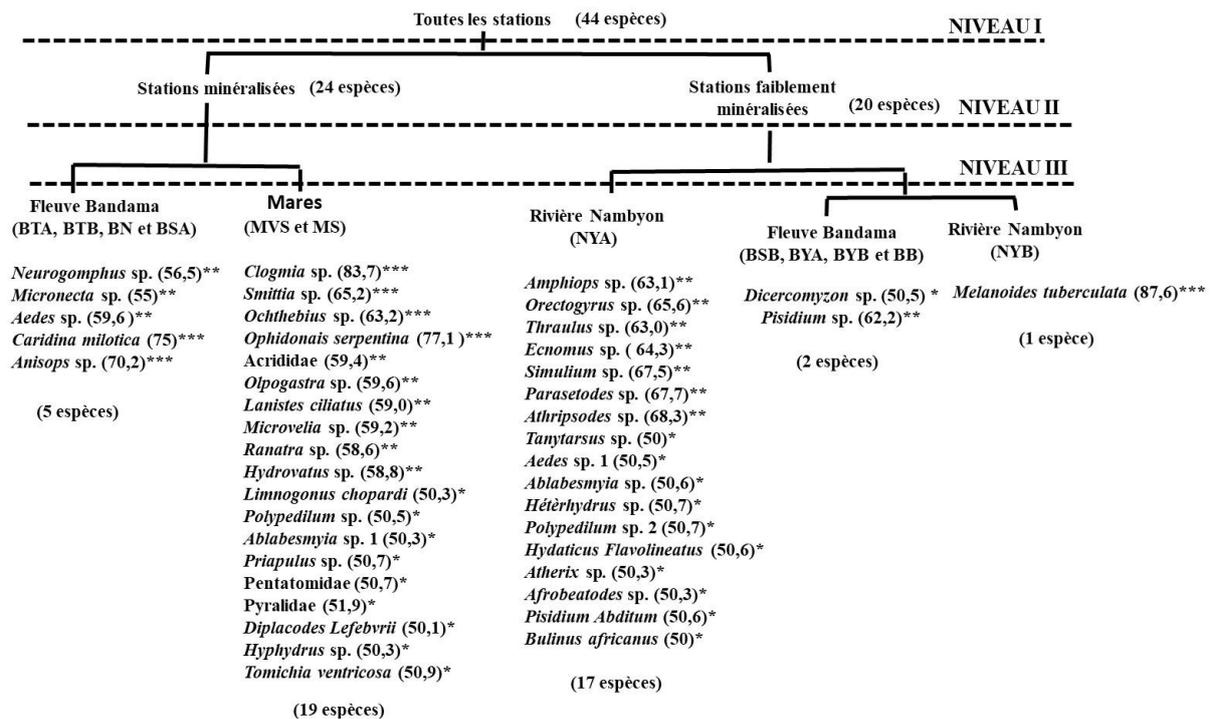


Figure 71 : Typologie abiotique des groupes de stations et les espèces indicatrices associées avec les valeurs indicatrices entre parenthèses.

$0 < (***) < 0,001$ = Test de student très significatif ; $0,001 < (**)$ < 0,01 = Test de student moyennement significatif ; $0,01 < (*) < 0,05$ = Test de student faiblement significatif ; $0,1 < (^\wedge) < 1$ = Test de student très faiblement significatif ; $0,05 < (^\wedge) < 0,1$ = Test de student non significatif.

3.2.2. Discussion

D'une façon générale, la composition spécifique des macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama constituée de 199 espèces répartis entre 84 familles, 26 ordres et 8 classes correspond à celle des eaux douces africaines (Ramade, 2003 ; Edia, 2008 ; Ben Moussa *et al.*, 2014 ; Kouamé, 2014). Parmi les huit (8) classes de macroinvertébrés récoltées lors de cette étude, les Insectes et les Gastéropodes constituent les deux classes les plus diversifiées et les plus abondantes. Les Insectes sont représentés par 2590 individus regroupés entre 160 espèces et les Gastéropodes 657 individus réparties entre 19 espèces. Ensemble, ils représentent 90 % de la richesse spécifique globale et environ 83 % de l'effectif total de la macrofaune aquatique récolté. Cette dominance des Insectes en termes de richesse spécifique serait due au fait qu'ils représentent, selon Gagnon & Pedneau (2006), près de 95 % des organismes présents dans les milieux aquatiques (Lee *et al.*, 2006). En effet, les Insectes sont ubiquistes du fait de leur aire de répartition très étendue. Par ailleurs, la forte

représentativité des Insectes et des Gastéropodes a également été signalée par certains auteurs (Edia, 2008 ; Foto *et al.*, 2011 ; Camara, 2013 ; Nyamsi *et al.*, 2014 ; Kaboré *et al.*, 2015 ; Tchakonté, 2016) dans les cours d'eaux des régions tropicales africaines. La diversité et l'abondance élevées des Gastéropodes pourraient être liées également à la couverture des milieux humides de la Réserve par les plantes aquatiques et à la présence de substrats rocheux dans le fleuve Bandama et la rivière Nambyon. En effet, les plantes aquatiques et les substrats rocheux sont une composante importante de l'écologie des Gastéropodes à plusieurs niveaux. En ce sens qu'ils servent de sources de nourriture et de support à la croissance du périphyton, principale, source de nourriture des Gastéropodes. De plus, ils fournissent des sites de pontes bien oxygénés pour la reproduction et servent d'abris contre les divers prédateurs (Bony, 2008). En se basant sur les études antérieures réalisées dans le bassin du fleuve Bandama, parmi les Insectes inventoriés dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama, 12 nouveaux genres ont été signalés. Il s'agit notamment des genres *Dasyhelea*, *Clinotanypus* et *Leptoconops* dans l'ordre des Diptères, des genres *Caenis*, *Thraululus*, *Bifurcatum* et *Afronurus* dans l'ordre des Éphéméroptères, dans l'ordre des Trichoptères, des genres *Athripsode*, *Oecetis* et *Parasetodes* et des genres *Anax* et *Pyllomacromia* dans l'ordre des Odonates. En revanche, 14 espèces antérieurement décrits dans le N'Zi à hauteur de Katiola et Bouaké, dans le Bandama en amont de la retenue de Kossou et dans la Marahoué vers Bouaflé par Déjoux *et al.* (1981) et Lévêque *et al.* (1983) sur le bassin du Bandama dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose, n'ont pas été rencontrés dans la présente étude. Il s'agit de : *Orthocladus* sp., *Centroptiloides* sp., *Pseudocloeon* spp., *Choroterpes* sp., *Baetis* sp., *Elassoneuria* sp., *Caenomedeia* sp., *Cheumatopsyche falcifera*, *Cheumatopsyche digitata*, *Orthotrichia* sp., *Ceraclea* sp., *Chimarra petri*, *Puntala flavescens*, *Neoperla spio*. En ce qui concerne les crevettes, seul, deux espèces du genre *Caridina* (*Caridina nilotica* et *Caridina africana*) ont été inventoriés dans les milieux aquatiques de la Réserve. Par ailleurs, aucun spécimen du genre *Atya* (*Atya africana* et *A. Gabonensis*), ni du genre *Macrobrachium* (*Macrobrachium chevalieri*, *M. vollenhovenii*, *M. felicinum*, *M. raridens*), signalés antérieurement par Corredor (1979) et N'Zi (2007) sur le bassin du fleuve Bandama, n'ont été rencontrés. En outre, aucun Pulmoné du genre *Potadoma* inventorié lors des travaux de Binder (1957), Brown (1979) et de Sellin *et al.* (1980) dans le fleuve Bandama, en amont de la retenue de Kossou à l'aide de filets maillants ne figure dans la présente liste spécifique. Ces différences pourraient se justifier par les méthodes d'échantillonnage utilisées et la zone prospectée. En effet, pour la collecte des insectes aquatiques, l'efficacité et la complémentarité de la méthode et des techniques d'échantillonnage employées au cours de cette étude, à savoir l'utilisation conjuguée de la

benne Van Venn et du filet troubleau ont permis d'inventorier une grande diversité des communautés d'Insectes et de Gastéropodes de surface et du fonds des stations prospectées. Cependant, pour la collecte des crevettes, Corredor (1979) et N'Zi (2007) ont utilisé différents engins dont l'appareil de pêche électrique portatif (type *SMITH ROOT BACKPACK, model 12-B POW*) qui est peu sélectif. Il ressort donc que la méthode et les techniques d'échantillonnage adoptées dans cette étude ne sont pas particulièrement performantes pour la capture d'invertébrés aussi mobiles que les Décapodes (crevettes et crabes). Toutefois, Il faut noter que ces méthodes et techniques ont permis de se faire une idée générale sur la richesse spécifique des macroinvertébrés aquatiques colonisant les différents milieux humides de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Par ailleurs, la richesse spécifique obtenue au cours de cette étude est supérieure à celle enregistrée par Koumba *et al.* (2017), lors de leurs travaux dans les rivières du Parc National de Moukalaba Doudou (PNMD), dans le Sud-ouest du Gabon. Ces auteurs qui n'ont utilisé qu'un filet surber de 30 cm x 30 cm et de 500 µm de vide de maille, ont inventorié 81 espèces de macroinvertébrés regroupés entre 54 familles, 12 ordres et 5 classes. Cette différence d'espèces pourrait être liée à la fréquence d'échantillonnage. En effet, les travaux de ces auteurs ont été réalisés durant la saison pluvieuse, dans le mois d'août 2014 en 10 jours, contrairement à cette étude qui s'est déroulée durant un rythme saisonnier entre janvier 2018 et février 2019.

L'analyse de la distribution des espèces montre *Culiseta* sp. (Culicidae) comme étant l'un des huit espèces commun à toutes les stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve. De plus, quatre des sept espèces qui composent la famille des Culicidae (*Aedes* sp., *Anopheles* sp., *Culex* sp. et *Culiseta* sp.) ont été identifiés à toutes les stations situées dans le cours supérieur du fleuve Bandama (stations BN, BTA et BTB). Pour Morais (1995) et Coimbra *et al.* (1996), la présence de cette famille de Diptères est caractéristique des milieux fortement pollués. La forte présence de ces espèces polluo-tolérants à ces stations pourrait s'expliquer par le fait que celles-ci soient sous l'influence directe des rejets urbains, agricoles et industriels qui entraînent probablement leur dégradation. En effet, dans cette partie de la Réserve, les plantations (anacarde et coton) sont plus proches du fleuve Bandama. Par conséquent, le fleuve reçoit un apport constant et régulier de produits chimiques utilisés en agriculture sous l'action des eaux de ruissellement. De plus, le fleuve Bandama, dans cette partie de la Réserve reçoit d'importants apports d'eaux usées issues des activités d'orpillages et industrielles localisées à proximité de la Réserve. L'arrivée de toutes ces eaux résiduelles au niveau de ces stations s'associe aux faibles valeurs de la teneur en oxygène dissous, mais également par les valeurs élevées de la turbidité et de la conductivité enregistrées à ces stations. Selon Ben Moussa *et al.*

(2014), les espèces polluo-tolérants pullulent en général dans les eaux présentant des conditions écologiques très dégradées. La présence de ces espèces appartenant à la famille des Culicidae à toutes ces stations dans le cours supérieur du fleuve Bandama dans la Réserve indiquerait la présence de sels minéraux liée aux activités anthropiques précédemment évoquées.

L'analyse de la structure trophique des communautés de macroinvertébrés inventoriées dans l'ensemble des milieux aquatiques considérés montre que, les prédateurs et les herbivores dominent les communautés de macroinvertébrés. Les organismes prédateurs se reproduiraient proportionnellement à la disponibilité de leur proies, notamment les détritivores tels que les Chironomidae, Ceratopogonidae et Oligochètes (Arditi & Ginzburg, 1989).

Les communautés de macroinvertébrés des milieux aquatiques explorés dans la Réserve du Haut-Bandama présentent une grande similarité entre sept des huit stations situées dans le fleuve Bandama, pour des indices de similarité de Jaccard supérieurs à 50 %. Dans l'ensemble, ce résultat traduit une homogénéité de la composition spécifique des macroinvertébrés aquatiques entre les stations du fleuve Bandama au niveau de la Réserve du fait de leur rapprochement sur un même gradient. Cette situation favoriserait le déplacement des organismes entre les stations du fleuve Bandama sous l'influence du courant de l'eau. Par ailleurs, la similarité spécifique des communautés de macroinvertébrés entre les stations du fleuve Bandama pourrait être associé aux conditions similaires offertes par les variables physico-chimiques et hydromorphologiques de ces eaux et des végétaux aquatiques le long des berges. En effet, selon Soderstrom (1987) et Edia (2008), le taux d'échange des espèces relativement élevé entre les stations situées sur un même cours d'eau s'expliquerait par l'effet de dérive facilité par le courant qui entraîne certaines espèces des cours supérieurs vers les cours inférieurs. Cela justifie la forte similarité faunistique observée entre les différentes stations situées dans le gradient longitudinal du fleuve Bandama dans sa section de la Réserve. Cependant, la faible similarité spécifique observée entre les communautés de macroinvertébrés des stations NYA et NYB, situées respectivement dans le cours supérieur et inférieur de la rivière Nambyon, au Sud de la Réserve serait imputable à la faible capacité de dispersion des organismes en rapport avec les faibles vitesses du courant enregistrées sur cette rivière (Sites *et al.*, 2003).

L'analyse de la variation spatiale de la richesse spécifique des communautés de macroinvertébrés inventoriés entre les différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama n'a pas montrée de variation significative entre les stations. Toutefois, les faibles valeurs de la richesse spécifique enregistrées dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYA seraient en partie le fait de l'intensité des activités

anthropiques en cours dans le Sud de la Réserve. En effet, la station BYA était autrefois située à proximité de l'ex-campement « Yyakaha ». Ce site servait à diverses activités villageoises dont l'approvisionnement en eau et la lessive. Aujourd'hui, dans cette partie de la Réserve l'on constate l'activité d'orpaillage clandestin réalisé en pleine eau à l'aide de motopompes. Ce phénomène contribuerait à la dégradation des habitats qui pourrait perturber le processus de colonisation de ce site par les macroinvertébrés. Par ailleurs, la valeur maximale (57 espèces) de la richesse spécifique obtenue dans le cours moyen du fleuve Bandama à la station BSA s'expliquerait par les conditions écologiques favorables qu'offre cette station. Il s'agit de la présence de végétaux aquatiques et de massifs rocheux qui serviraient de supports à la prolifération de certaines espèces (Ben Moussa *et al.*, 2014). De plus, la station BSA bénéficie d'un enrichissement en éléments nutritifs provenant du bassin versant. En effet, l'intense activité d'orpaillage observée dans le Centre de la Réserve a favorisé l'émergence de sols nus. Par conséquent, l'érosion des berges proches de cette station favorise l'accumulation des éléments nutritifs provenant du bassin versant et transportés par l'eau de ruissellement sur ce site. Par ailleurs, la présence de nombreux débris végétaux et animaux (bovins) à la station BSA pourrait fournir lors de leur décomposition une ressource alimentaire favorable au développement des macroinvertébrés (Jacobsen & Encalada, 1998). Les richesses spécifiques élevées enregistrées aux stations de la rivière Nambyon dans le Sud de la Réserve, seraient probablement liées au fait que cette rivière est très peu impactée par les activités humaines, contrairement au fleuve Bandama, elle suscite peu d'intérêt aux yeux des populations riveraines. Il est important de noter que le Centre et le Sud de la Réserve sont caractérisés par une hétérogénéité de la végétation ripisylve, mais aussi, par la présence de nombreux méandres principalement au Centre. La diversité d'habitats qu'offrent ces deux zones expliquerait le fait que les macroinvertébrés aquatiques profiteraient de ses conditions environnementales favorables pour leurs proliférations. Legendre & Legendre (1998), ont montré que la richesse spécifique est fonction de la stabilité de l'environnement.

Au niveau temporel, une variation significative de la richesse spécifique a été enregistrée dans la rivière Nambyon. La faible valeur de la richesse spécifique (11 espèces) obtenue durant la saison pluvieuse sur cette rivière pourrait être imputable à la montée brusque des eaux dans cette rivière durant la saison des pluies (Kouassi, 1979). Cette situation pourrait conduire à la perturbation des habitats et à la disparition d'espèces qui ne s'adaptent pas aux nouvelles conditions. En revanche, pour Yapi *et al.* (1994), la ponte des œufs des macroinvertébrés a lieu pendant la saison pluvieuse suivi d'une éclosion et d'un développement du stade larvaire en

saison sèche. Par conséquent, l'apport des pluies favoriserait l'apparition de nouvelles générations.

L'analyse de la répartition spatiale de l'abondance des principales familles de macroinvertébrés montre que les Chironomidae présentent des abondances plus élevées dans le fleuve Bandama et les mares. Quant aux Dytiscidae, ils sont plus abondants dans la rivière Nambyom. La forte abondance des Chirominidae aux stations situées dans le fleuve Bandama et les mares est liée aux variations des conditions plus étendue sous lesquelles ces organismes pourraient vivre (Merritt & Cummins, 1996), plus encore, à leur tolérance aux conditions environnementales extrêmes (Di Giovanni *et al.*, 1996). Ces organismes auraient donc un large spectre de résilience et d'adaptation morphologique, physiologique et comportementale. La prédominance des Chironomidae dans différents microhabitats a déjà été observée par Di Giovanni *et al.* (1996). Pour ces auteurs, les Chironomidae s'avèrent presque toujours numériquement prédominants dans les milieux lentiques et lotiques. L'importance numérique des Dytiscidae aux stations situées dans la rivière Nambyon serait imputable à leur régime alimentaire. En effet, la majorité des individus de cette famille de Coléoptères sont herbivores. Par conséquent, elle consommerait activement les lentilles d'eau et les plantes aquatiques qui colonisent ces différents habitats. En outre, pour Mathuriau (2002), les Coléoptères pullulent dans les zones peu perturbées. Aussi, l'abondance des Dytiscidae dans la rivière Nambyon suggère que les eaux de cette rivière seraient peu perturbées.

L'analyse de la répartition spatiale de l'abondance des principales espèces révèle que *Melanoides tuberculata* domine les communautés de macroinvertébrés du fleuve Bandama et de la rivière Nambyon. Dans les mares, *Ophidonais serpentina* est numériquement plus élevé. La forte abondance de cet Gastéropode dans le fleuve Bandama et dans la rivière Nambyon est due à sa croissance rapide par parthénogénèse (mode de reproduction où l'ovule se développe sans fécondation) et la diminution des ressources (Prentice, 1983 ; Dudgeon, 1986 ; Pointier & McCullough, 1989 ; Pointier *et al.*, 1989). Cela lui confère un avantage sur le plan compétitif sur les autres espèces locales de Mollusques, notamment celles de la famille des Planorbidae (Pointier, 2001). Elle est responsable de la raréfaction et même de la disparition de ces mollusques dans certains habitats (Pointier & Jourdane, 2000 ; Pointier *et al.*, 2004). L'influence négative de cette espèce invasive pourrait expliquer la faible abondance des autres familles de Mollusques et l'absence du Pulmoné du genre *Potadoma* dans nos échantillons au cours de la présente étude. Cette dominance de *Melanoides tuberculata* dans le fleuve Bandama et dans la rivière Nambyon serait imputable au fait que cette espèce soit connue comme n'ayant pas une grande exigence écologique. Elle a la possibilité de pulluler aussi bien dans les eaux

polluées que dans les eaux de bonne qualité (Bony, 2008). Par ailleurs, *Melanoides tuberculata* est tolérante aux fortes températures des eaux (Bony, 2008). La Réserve étant fondamentalement une zone de refuge des espèces, la forte présence de cette espèce invasive pourrait être un frein à une diversité plus élevée de la faune malacologique locale (N’Goran, 1997). La forte abondance de *Ophidonais serpentina* dans les mares s’expliquerait par la forte couverture des mares par les jacinthes d’eaux (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* et *Nymphaea lotus*) et que cet organisme soit strictement détritivore (Brinkhurst & Gelder, 1991), endobenthique et fouisseur (Tessier *et al.*, 2008). Par conséquent, cette espèce a une forte activité dans le sédiment. La présence de ces macrophytes est d’une importance écologique significative pour les détritivores. En effet, la décomposition des sédiments piégés dans le système racinaire de ces végétaux aquatiques libère les débris et d’importantes quantités de matière organique fournissant des ressources alimentaires aux organismes détritivores (Stripari & Henry, 2002). De plus, de nombreux macroinvertébrés utilisent les macrophytes pour la reproduction, la protection contre les prédateurs et comme source de nourriture durant une partie ou l’intégralité de leur cycle de vie (Bailey & Litterick, 1993).

L’Analyse de Redondance (RDA) suggère que les variables environnementales telles que la conductivité et l’oxygène dissous influencent significativement la distribution des macroinvertébrés des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Ces résultats concordent avec ceux de Mary & Archaimbault (2011). Pour ces auteurs, il existerait une corrélation entre la structure de ces organismes et les variables environnementales. *Melanoides tuberculata* et *Pisidium* sp. sont négativement influencés par des valeurs élevées du taux d’oxygène dissous. En revanche, *Anisops* sp. et *Ophidonais serpentina* sont positivement influencés par les valeurs maximales de la conductivité. Ce résultat est similaire à ceux de Poi de Neiff & Carignan (1997) qui ont lié les densités de macroinvertébrés associés aux racines de la jacinthe d’eau positivement à la conductivité.

3.3. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX AQUATIQUES DE LA RÉSERVE DE FAUNE ET DE FLORE DU HAUT-BANDAMA

3.3.1. Résultats

3.3.1.1. Analyse de la qualité des eaux à partir des indices de diversité

3.3.1.1.1. Indice Chironomidae

Le tableau XX présente des données relatives à l'indice Chironomidae de la qualité écologique des eaux aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations les valeurs de l'indice Chironomidae varient entre 1,8 % dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYA et 11,1 % au cours moyen à la station BSA. Cette gamme de variation de l'indice Chironomidae indique que la qualité écologique des eaux dans les milieux aquatiques de la Réserve est comprise entre « faiblement polluées » (FP) et « très bonne » (TB). A partir de l'analyse de l'indice Chironomidae, les stations BTA, BYA et BYB dont les valeurs de l'indice Chironomidae sont inférieures à 5 % ont des eaux de « très bonne » qualité écologique (TB). Cependant, les autres stations qui enregistrent des valeurs de l'indice Chironomidae oscillant entre 5 et 20 %, ont des eaux « faiblement polluées » (FP).

Tableau XX : Indice Chironomidae et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama									Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon	
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur					Aval	
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB	MS	MVS	NYA	NYB	
Richesse spécifique	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85	
Indices Chir	6,6	3,7	6,5	11,1	8,6	1,8	3,9	8,9	8,7	9,3	7,7	7,4	
Classes de qualités	FP	TB	FP	FP	FP	TB	TB	FP	FP	FP	FP	FP	

Richesse spécifique = Richesse spécifique, **Indices Chir** = Indices Chironomidae; **FP** = Faiblement Pollué, **TB** = Très Bonne qualité.

3.3.1.1.2. Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET)

Le tableau XXI présente des données relatives à la qualité écologique des eaux aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama à partir de l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET). Sur l'ensemble des stations prospectées, la valeur de l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) est plus faible (2 individus) dans les mares à la station MS et plus élevée (38 individus) dans la rivière Nambyon

à la station NYA. Les valeurs de l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) indiquent qu'à l'exception dans le cours supérieur du fleuve Bandama de la station BTA, qui possède une eau de « très bonne » qualité (TB), toutes les autres stations ont des eaux de « mauvaise » qualité (MQ).

Tableau XXI : Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares	Stations de la rivière Nambyon		
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur		MS	MVS	Aval	
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB			NYA	NYB
Richesse spécifique	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85
Indice ET	15	10	25	28	34	9	21	27	2	9	38	20
Classes de qualités	TB	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	TB

Richesse spécifique = Richesse spécifique, **Indice ET** = Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET), **MQ** = Mauvaise qualité, **TB** = Très Bonne qualité.

3.3.1.1.3. Pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET)

Le tableau XXII relate des données relatives à la qualité écologique des eaux aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama à partir du pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET). Sur toutes les stations, les valeurs du pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) fluctuent entre 1,3 % dans les mares à la station MS et 9,7 % dans la rivière Nambyon à la station NYA. Les valeurs du pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) enregistrées à toutes les stations étant inférieure à 30 %, les eaux aux stations des milieux aquatiques de la Réserve sont de « mauvaise » qualité (MQ).

Tableau XXII : Pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares	Stations de la rivière Nambyon		
	Cours supérieur			Cours moyen		Cours inférieur				Aval		
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB		MS	MVS	NYA
Richesse spécifique	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85
% en ET	4,7	3,4	8,2	5,9	7,7	5,4	7,5	5,6	1,3	3,5	9,7	5,8
Classes de qualités	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ

Richesse spécifique = Richesse spécifique, **% en ET** = Pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET), **MQ** = Mauvaise qualité.

3.3.1.1.4. Indice de tolérance à la pollution (ET/C)

Le tableau XXIII présente des données relatives à l'indice de tolérance à la pollution de la qualité écologique des eaux aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Dans l'ensemble des stations, les valeurs de l'indice de tolérance à la pollution varient entre 0,1 dans les mares à la station MS et 3 dans le cours inférieur du fleuve Bandama à la station BYA. Les valeurs de l'indice de tolérance à la pollution enregistrées sur l'ensemble des stations étant toutes inférieures à 10, les eaux aux stations dans les milieux aquatiques de la Réserve sont de « mauvaise » qualité.

Tableau XXIII : Indice de tolérance à la pollution et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares	Stations de la rivière Nambyon		
	Cours supérieur			Cours moyen		Cours inférieur				Aval		
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB		MS	MVS	NYA
Richesse spécifique	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85
Indice ET/C	0,7	0,9	1,3	0,5	0,9	3	1,9	0,6	0,1	0,4	1,3	0,8
Classe de qualités	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ

Richesse spécifique = Richesse spécifique, **Indice ET/C** = Indice de tolérance à la pollution ; **MQ** = Mauvaise qualité.

3.3.1.2. Analyse de la qualité des eaux à partir de l'indice biosédimentaire (IBS)

Le tableau XXIV illustre des données relatives à l'indice biosédimentaire de la qualité écologique des eaux aux différentes stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. La valeur minimale de l'indice biosédimentaire (5,7) a été retrouvée dans les mares à la station MS. Cependant, la valeur maximale de cet indice (6,3) est obtenue dans le cours supérieur du fleuve Bandama à la station BTB. L'analyse des valeurs de l'indice biosédimentaire montre qu'à l'exception dans les mares de la station MS, qui a une eau de « passable » qualité écologique pour un indice compris entre 5 et 5,75, toutes les autres stations ont des eaux de « bonne » qualité.

Tableau XXIV : Indice Biosédimentaire et classes de qualité des eaux définis aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Stations du lit principal du fleuve Bandama								Stations des mares		Stations de la rivière Nambyon	
	Cours supérieur			Cours moyen			Cours inférieur		MS	MVS	Aval	
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB			NYA	NYB
Richesse spécifique	72	84	84	117	110	59	76	102	61	77	96	85
Indice IBS	5,9	6,2	6,3	5,9	5,9	6,0	5,9	5,9	5,7	5,9	6,1	5,8
Classes de qualités	B	B	B	B	B	B	B	B	P	B	B	B

Richesse spécifique = Richesse spécifique, **Indice IBS** = Indice Biosédimentaire, **B** = « Bonne » qualité biologique, **P** = « Passable » qualité écologique.

3.3.1.3. Corrélation entre les indices étudiés

Les corrélations entre les différents indices étudiés sont présentées dans le tableau XXV. La richesse spécifique (Rs) est positivement corrélée à l'indice Chironomidae (Indice Chir) avec ($r = 0,53$; $p < 0,05$), à l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (Indice ET) ($r = 0,82$; $p < 0,05$). et au pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (% en ET) ($r = 0,54$; $p < 0,05$). L'indice Chironomidae (Indice Chir) enregistre une forte corrélation négative avec l'indice de tolérance à la pollution (ET/C) ($r = -0,81$; $p < 0,05$) et l'indice biosédimentaire (IBS) ($r = -0,50$; $p < 0,05$). L'indice Éphéméroptères-Trichoptères (Indice ET) est positivement associé au pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (% ET) ($r = 0,86$; $p < 0,05$). Par ailleurs, le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (% ET) a une forte corrélation positive avec l'indice de tolérance à la pollution (ET/C) ($r = 0,54$; $p < 0,05$). En outre, l'indice de tolérance à la pollution (ET/C) est positivement corrélé à l'indice biosédimentaire (IBS) ($r = 0,63$; $p < 0,05$).

Tableau XXV : Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les indices étudiés pour évaluer la qualité écologique des eaux aux différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

	Rs	Indice Chir	Indice (ET)	% en ET	Indice ET/C
Rs					
Indice Chir	0,53				
Indice (ET)	0,82	0,25			
% en ET	0,54	-0,02	0,86		
Indice ET/C	-0,15	-0,81	0,25	0,54	
Indice IBS	0,05	-0,50	0,25	0,35	0,63

Indices (ET) = Indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) ; **Rs** = Richesse spécifique ; **% en ET** = Pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) ; **Indice Chir** = Incice Chironomidae ; **Indice ET/C** = indices de tolérance à la pollution, **Indice IBS** = Indice Biosédimentaire. Le résultat significatif du test entre deux indices apparaît en gras ($p < 0,05$).

3.3.2. Discussion

Dans l'ensemble des stations d'échantillonnage retenues dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama, les richesses espèces enregistrées sont supérieures à 30. Pour Mary, (2015), cette valeur est la valeur seuil indicatrice d'une eau peu perturbée, ayant une bonne qualité écologique. Les résultats des classes de qualités obtenues au cours de cette étude viennent nuancer cette observation. En effet, l'évaluation de la qualité écologique des eaux aux stations d'échantillonnage à partir de l'indice de tolérance à la pollution (ET/C), du pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (% ET), de l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) et de l'indice Chironomidae (indice Chir) indiquent une mauvaise qualité des eaux de la Réserve, malgré les valeurs élevées de la richesse spécifique. Par ailleurs, l'évaluation de la qualité écologique des eaux sur l'ensemble des stations de la Réserve à travers les espèces appartenant au complexe Éphéméroptères-Trichoptères (complexe ET), indique des valeurs de l'indice Éphéméroptères-Trichoptères (ET) comprises entre 2 et 38 individus et un pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) fluctuant entre 1,3 et 9,7 %. Ces valeurs sont très inférieures aux seuils indicateurs d'une eau de très bonne qualité écologique telle qu'indiqué par Mary (2015) et Mary & Archaimbault (2011). En effet, ces auteurs à l'issue de leur travaux dans les cours d'eaux de Nouvelle Calédonie affirment qu'une eau de bonne qualité est caractérisée par des valeurs de l'indice Éphéméroptères-

Trichoptères (ET) comprises entre 15 et 20 et un pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères (ET) supérieure à 30 %.

Les faibles valeurs des indices liés au complexe Éphéméroptères-Trichoptères enregistrées dans la Réserve s'expliqueraient par la faible représentativité des espèces de ce complexe, qui représentent 6,07 % de la richesse spécifique totale. Cette situation pourrait être attribuée à l'influence de l'homme sur ces milieux. Par ailleurs, les valeurs de l'indice de tolérance à la pollution (ET/C) sont tous inférieures au seuil de 10, en dessous duquel une eau ne peut être considérée comme étant de bonne qualité (Mary, 2015). Ce résultat confirme l'abondance des Chironomidae par rapport aux Éphéméroptères-Trichoptères dans nos échantillons. Ces derniers représentent 7,50 % de l'effectif des macroinvertébrés aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Cette famille de Diptère est reconnue comme tolérant à une large gamme de perturbations et en particulier aux pollutions de type chimique et organique. Selon Ben Moussa *et al.* (2014), la perturbation des milieux aquatiques crée des conditions défavorables pour la prolifération des organismes polluo-sensibles comme les Éphéméroptères et les Trichoptères, laissant la place aux plus tolérants, tels que les Chironomidae. De plus, la faible abondance des insectes appartenant au complexe Éphéméroptères-Trichoptères s'expliquerait par les facteurs physico-chimiques défavorables à leurs proliférations. Parmi ces facteurs, les plus importants sont la température et le taux d'oxygène dissous (Koumba *et al.*, 2017). En effet, les valeurs de température relativement élevées (19,2 à 27,8°C) et d'oxygène dissous relativement bas (2,65 à 26,97 ppm) enregistrées sur l'ensemble des stations sont défavorables à la prolifération des espèces de ce complexe. Ce groupe d'espèces est vulnérable aux conditions turbides et aux faibles concentrations en oxygène dissous des eaux (Mandaville, 2002 ; Voshell, 2002). Selon Naiman *et al.* (1997), la température de l'eau est un important indicateur de la vitalité des milieux aquatiques de par son influence sur le métabolisme, le développement et l'activité des organismes, tels que les Éphéméroptères.

L'évaluation de la qualité écologique des eaux sur les stations des milieux aquatiques de la Réserve à travers l'indice Chironomidae, indique qu'à l'exception dans le cours supérieur du fleuve Bandama de la station BTA et dans le cours inférieur des stations BYA et BYB, qui possèdent des eaux de « très bonne » qualité écologique, toutes les autres stations ont des eaux « faiblement polluées ». La « très bonne » qualité écologique des eaux aux stations BTA, BYA et BYB s'expliquerait par leurs faibles abondances en Chironomidae. Par ailleurs, les indices de Shannon enregistrés à ces stations sont relativement faibles. Selon Guenda (1996), une valeur élevée de l'indice de Shannon signifie que tous les milieux sont diversifiés, ce qui correspond à un milieu favorable et non anthropisé. Cette observation est nuancée par les

présents résultats qui montrent que malgré les faibles valeurs de la richesse spécifique et de l'indice de diversité de Shannon enregistrées sur ces stations, elles sont de « très bonne » qualité écologique. Aussi, la diversité ne serait pas toujours étroitement liée à la qualité écologique des milieux aquatiques. En outre, la « très bonne » qualité écologique des eaux aux stations BTA, BYA et BYB pourrait être imputable aux valeurs élevées de la vitesse du courant enregistrée sur ces stations. En effet, la vitesse du courant de l'eau favorise l'oxygénation de l'eau. Cette variable joue un rôle important dans la composition spécifique et la qualité écologique des milieux aquatiques (Barendregt & Bio, 2003; Gonçalves Jr. *et al.*, 2006).

Les faibles abondances des espèces du complexe Éphéméroptères-Trichoptères (ET) dans les mares, situées au Centre de la Réserve pourrait s'expliquer par leur stagnation. En effet, la stagnation des eaux crée les conditions favorables au développement et à la prolifération d'espèces indicatrices polluo-résistants tels que les Chironomidae au détriment des espèces polluo-sensibles comme les individus du complexe Éphéméroptères-Trichoptères et des Coléoptères, qui préféreraient les eaux courantes (Lalèyè *et al.*, 2004). Ces organismes sont ainsi sensibles à une pollution de l'eau. Les organismes benthiques qui vivent sur le sédiment des mares sont bien adaptés aux phénomènes de dessiccation (Oyenekan, 1979). La colonisation et la recolonisation des mares par ces organismes benthiques s'expliquerait tant par leurs capacités de résistances aux conditions défavorables (Bettersen *et al.*, 1988), que par leur éventuelles migrations (actifs et passifs) entre milieux (Madsen & Frandsen, 1989). Cette observation a déjà été faite par (Oyenekan, 1979) dans la lagune de Lagos, où le Gastéropode *Melaniidé pachyneania* est capable de survivre à plus de trois mois d'assèchement.

L'absence totale des Plécoptères dans les milieux aquatiques de la Réserve pourrait mettre en évidence les dégradations engendrées par les pressions anthropiques dominées par l'orpaillage. Selon Alhou *et al.* (2009), les Plécoptères sont des organismes indicateurs très polluo-sensibles qui tendent à disparaître lorsque le milieu devient pollué.

L'évaluation de la qualité écologique des eaux aux stations d'échantillonnage sur les milieux aquatiques de la Réserve à travers l'indice Biosédimentaire (IBS), indique dans l'ensemble que les eaux sont de « bonne » qualité écologique. Cette situation serait liée au phénomène d'autoépuration favorisé par le renouvellement de l'eau. Pour Mary (1999), l'autoépuration restaure la qualité de l'eau. Cela montre que les eaux de la Réserve du Haut-Bandama subiraient très peu de stress occasionnés par les pressions anthropiques.

L'analyse des corrélations entre les indices étudiés montre une corrélation positive significative d'une part entre la richesse spécifique, l'indice Chironomidae, l'indice

Éphéméroptères-Trichoptères et le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères et entre l'indice Éphéméroptères-Trichoptères, le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères, l'indice de tolérance à la pollution et l'indice biosédimentaire d'autre part. Par contre, on note une forte et négative corrélation entre l'indice Chironomidae, l'indice de tolérance à la pollution et l'indice biosédimentaire. Ainsi, ces indices constitueraient des métriques complémentaires pour évaluer la qualité écologique des eaux de la Réserve du Haut-Bandama.

CONCLUSION

La présente étude a permis d'étudier la composition spécifique et les variations spatio-temporelles des communautés de macroinvertébrés aquatiques en relation avec les paramètres abiotiques des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama. Ensuite d'évaluer la qualité écologique des eaux aux stations dans les milieux aquatiques de la Réserve.

L'analyse des résultats relatifs aux paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques (température, pH, oxygène dissous, conductivité, turbidité, largeur du lit mouillé, vitesse du courant et profondeur) de l'environnement abiotique révèle qu'au niveau spatial, seul la conductivité, la largeur du lit mouillée et la vitesse du courant ont variés significativement entre les stations.

En outre, les variations inter-habitats des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques révèlent qu'à l'exception du pH et de la turbidité, les autres paramètres diffèrent significativement d'un milieu aquatique à un autre. S'agissant de l'aspect temporel des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des eaux de la Réserve du Haut-Bandama, une variation non significative du taux d'oxygène dissous a été constatée dans le fleuve Bandama entre les deux saisons climatiques. Dans la rivière Nambyon, située au Sud de la Réserve, la température et la vitesse du courant ne varient pas significativement d'une saison à l'autre. Aucun des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques mesurés ne varie significativement entre les deux saisons climatiques dans les mares, situées au Centre de la Réserve.

La composition spécifique de la macrofaune des milieux aquatiques de la Réserve du Haut-Bandama est assez bien diversifiée. Elle fait état de la présence de 199 espèces répartis entre 08 classes (Arachnides, Clitellates, Entognathes, Insectes, Malacostracés, Priapulida, Bivalves et Gastéropodes). Parmi ces différentes classes, les Insectes ont constitué le groupe spécifique le plus abondant (2590 individus) et le plus diversifié (160 espèces).

Dans l'ensemble, huit espèces sont communes à toutes les stations. Il s'agit de : *Thalassius* spp., *Ophidonais serpentina*, *Dineutus* sp., *Culiseta* sp., *Diplonychus* sp. et *Microvelia* sp., *Lanistes neavei* et *Biomphalaria pfeifferi*.

Les résultats relatifs à la fréquence d'apparition des macroinvertébrés aquatiques ont mis en évidence que *Ophidonais serpentina* a été enregistré comme espèce constante dans l'ensemble des douze stations prospectées.

En ce qui concerne la structure des communautés, il apparaît que la richesse spécifique varie significativement d'une station à l'autre dans le fleuve Bandama, contrairement aux autres milieux.

Au niveau saisonnier, une variation significative de la richesse spécifique a été enregistrée d'une saison à l'autre uniquement dans la rivière Nambyon.

L'analyse de la structure des communautés de macroinvertébrés a montré une diversité spécifique relativement élevée tant au niveau spatial que saisonnier pour des indices de diversité de Shannon et d'équitabilité respectivement compris entre 1,94 et 3,88 bit et entre 0,89 et 1.

L'Analyse de Redondance (RDA) réalisée entre les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques et les cinq principales espèces de macroinvertébrés indique que les valeurs élevées de la conductivité sont plus corrélées aux abondances de *Anisops* sp. et *Ophidonais serpentina*. En revanche, ces espèces s'opposent aux valeurs élevées de la teneur en oxygène dissous. Par ailleurs, l'abondance de *Biomphalaria pfeifferi* est associée aux faibles valeurs de la profondeur aux stations d'échantillonnage.

L'analyse des corrélations entre les indices étudiés montre une corrélation positive significative d'une part entre la richesse spécifique, l'indice Chironomidae, l'indice Éphéméroptères-Trichoptères et le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères et entre l'indice Éphéméroptères-Trichoptères, le pourcentage en Éphéméroptères-Trichoptères, l'indice de tolérance à la pollution et l'indice biosédimentaire d'autre part. Ainsi, chacune des métriques utilisées pourraient être adaptée pour l'évaluation la qualité écologique des milieux aquatiques de la Réserve.

Une étude complémentaire sur la macrofaune aquatique de la rivière Bou à l'intérieur de la Réserve du Haut-Bandama est indispensable pour améliorer les connaissances sur les différentes espèces de macroinvertébrés qui colonisent réellement l'ensemble des milieux aquatiques de cette Réserve, afin de faire l'état des lieux des macroinvertébrés aquatiques présents. Compte tenu des exploitations minières (or et diamant) actuelles et futures en cours dans la région, il serait judicieux d'étendre la caractérisation de la qualité écologique des eaux à tout le réseau hydrographique de la Réserve. Les macroinvertébrés aquatiques étant indispensables dans l'évaluation de l'état de santé écologique des milieux aquatiques, il conviendrait de mettre en place un programme de bio-surveillance de la qualité écologique de l'ensemble des milieux aquatiques de la Réserve. À long terme, cela permettrait la conception d'un indice biotique local, basé sur les macroinvertébrés propres à la Côte d'Ivoire. Le suivi de la qualité écologique de l'ensemble des milieux aquatiques de la RFFHB permettra de mieux maîtriser les différents impacts des pollutions. Par ailleurs, pour mieux préserver la biodiversité des milieux aquatiques de l'ensemble des aires protégées en Côte d'Ivoire, il serait judicieux que tous les acteurs de la gestion des aires protégées accordent une attention particulière à ces

milieux aquatiques dans la mesure où ceux-ci jouent un rôle important dans le développement socio-économique et culturel du pays.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

- Aboua. B.R.D. (2012). Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 278 p.
- Aguilar Ibarra A. (2004). Les communautés de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de doctorat des sciences, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 178 p.
- Alhou B., Micha J.C., Dodo A. & Awaiiss A. (2009). Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 : 240-254.
- Allan J.D. & Johnson L.B. (1997). Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37 : 107-111.
- Amanieu M. & Lasserre G. (1982). Organisation et évolution des communautés lagunaires. *Oceanologica Acta* : 201-213.
- Angermeier P.L. & Karr J.R. (1994). Biological integrity versus biological diversity as policy directives, *Bioscience*, 44 : 690-697.
- Anonyme 1. (1999). Diversité biologique de la Côte d'Ivoire, rapport de synthèse Ministère de l'environnement et de la forêt : Côte d'Ivoire, 270 p.
- Anonyme 2. (1982). Géographie CM République de Côte d'Ivoire. Editions CEDA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 270 p.
- Arab A., Lek S., Lounaci A. & Park Y.S. (2004). Spatial and temporal patterns of benthic invertebrate communities in an intermittent river (North Africa). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 40 : 317-327.
- Arditi R. & Ginzburg L.R. (1989). Coupling in predator-prey dynamics : ratiodependence. *Journal of Theoretical Biology*, 139 : 311-326.
- Avenard J.M. (1971). Aspects de la géomorphologie. In : Avenard, G., & Perraud A. (Eds). Le milieu naturel de Cote d'Ivoire, ORSTM, Paris, 13 p.
- Bailey R.G. & Litterick M.R. (1993). The Macroinvertebrate fauna of water hyacinth fringes in the Sud Swamps (River Nile, Southern Sudan). *Hydrobiologia*, 250 - 97-103.
- Bamba O., Pelede S., Sako A., Kagambega N. & Miningou M.YW. (2013). Impact de l'artisanat minier sur les sols d'un environnement agricole aménagé au Burkina Faso. *Journal des sciences*, 13 (1) : 1-11.
- Barbe J., Lafont M., Mouthon J. & Philippe M. (2003). Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau rapport technique Agence de l'Eau RMC-Cemagref, Lyon, 24 p.

- Barendregt A. & Bio A.M.F. (2003). Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters. *Ecological Modelling*, 160 : 205-17.
- Bellemare M.C., Richard R., Garand G. & Beisner P.D. (2013). Rapport de caractérisation du cours d'eau Papineau-Lavoie de Laval. *GRIL-UQAM*, 27 p.
- Bengen D., Lim P. & Beland A. (1992). Qualité des eaux de trois bras morts de la Garonne : variabilité spatio-temporelle. *Revue des Sciences de l'Eau*, 5 : 131- 156.
- Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E. & Chahboune M. (2014). Diversité spécifique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc (Espèceomic diversity and structure of benthic macrofauna of surface water of Khoumane River. Moulay idriss Zerhoun, Morocco). *Journal of. Materials and Environnement. Sciences*, 5 (1) : 183-198.
- Berté S. (2009). Biologie et écologie de *Distichodus rostratus* (Günther, 1864) dans un hydrosystème particulier en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 180 p.
- Betterton C., Ndifon G. & Tan R. (1988). Schistosomiasis in Kano State, Nigeria. Field studies on aestivation on *Bulinus rohlfsi* (Clessin) and *B. globosus* (Morelet) and their susceptibility to local strains of *Schistosoma haematobium* (Bilharz). *Annales Tropical. Medecine. Parasit.*, 82 : 571-579.
- Binder E. (1957). Mollusques aquatiques de Cote d'Ivoire. I-Gastéropodes. *Bulletin de l'Institut Fondamental de l'Afrique Noire, Série A*, 19 (1) : 97-125.
- Bony K. (2008). Biodiversité et écologie des Mollusques Gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834). Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire : 50-70.
- Borcard D. (2011). La corrélation. Bio-2042. Département de sciences biologiques, Université de Montréal, Canada, 9 p.
- Bouché P. (1996). Contribution à l'aménagement d'un game-ranching sur le Haut Bandama (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat. UFR Environnement, Université de Liège, Belgique, 240 p.
- Brinkhurst R.O & Gelder S.R. (1991). Annelida: Oligocheata and Branchiobdellida. In: J.H, Covich A.P. (Eds), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. San Diego: Academic Press, San Diego : 401-433.
- Brosse S., Giraudel J.L. & Lek S. (2001). The temporal dynamic of fish population assemblage and community structure. *Ecological Modelling*, 146 (1-3): 159-166.

- Brown D.S. (1979). Biogeographical aspects of African Freshwater gasteropods. *Malacologia*, 18: 79-102.
- Brown D.S. (2005). Freshwater Snails of Arica and their Medical Importance. (Eds) Taylor and Francis Ltd, London, 673 p.
- Camara I.A. (2013). Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 151 p.
- Camus H. (1972). Hydrologie du Bandama. Rapport. Centre ORSTOM Adiopodoumé, 2 vol., 150 p.
- Caquet T. (2012). Des invertébrés pour la bio-indication de la qualité des cours d'eau : bilan et perspectives. *In* : Bio-indicateurs pour la caractérisation des sols, journée technique nationale, 7^e édition, Paris 16 octobre 2012, Rennes : 41-68.
- Carvalho B., Pinto T. & Araujo F.G. (2007). Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50 : 499-502.
- Cayrou J., Compin A., Giani N. & Céréghino R. (2000). Associations spécifiques chez les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation pour la typologie des cours d'eau. Cas du réseau hydrographique Adour- Garonne (France). *International Journal of Limnology*, 36 : 189-202.
- Champiat D. & Larpet J.P. (1988). Biologie des eaux, méthodes et techniques. Masson, Paris : 1-374.
- Cheruvilil K.S., Soranno P.A., Madsen J.D. & Roberson M.J. (2002). Plant architecture and epiphytic macroinvertebrate communities: the role of an exotic dissected macrophytes. *Journal of the North American Benthological Society*, 21 (2) : 261-277.
- Chessman B.C. (1995). Rapid assessment of bergers using macroinvertebrates : A procedure based on habitat specific sampling family level identification and biotic index. *Australian journal of ecology*, 20: 122-129.
- Clarke R.T., Furse M.T., Gunn R.M., Winder J.M. & Wright J.F. (2002). Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices. *Freshwater Biology*, 47: 1735-1751.
- Coimbra C.N., Graça M.A. & Cortes R.M. (1996). The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, 94 : 301-307.

- Compin A. (2006). Distribution spatiale des invertébrés benthiques du réseau hydrographique Adour-Garonne. Modélisation et impact de l'anthropisation. Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse III -Paul Sabatier, France, 166 p.
- Corredor L. (1979). Identification, distribution et aperçu écologique des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire. Rapport DEA Océanographie Biologique, Paris 6, 37 p.
- Coulibaly S. (1980). La difficile mais nécessaire intégration de l'élevage zébu dans le monde rural sénoufo. Abidjan, Institut de Géographie tropicale, 92 p.
- Clements W.H. & Newman M.C. (2002). Community ecotoxicology. John Wiley & Sons Chichester, UK, 336 p.
- Dabalem A.L. & Paul S. (2014). Effect of conflict on Dietary Diversity: Evidence from Côte d'Ivoire. *World Development*, 58:143-158.
- Dajoz R. (2000). Précis d'Ecologie. Ecologie fondamentale et appliquée 7ème édition, Dunod, Paris, France, 615 p.
- Davies S.P. & Jackson S. K. (2006). The biological condition gradient : a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems. *Ecological Applications* 16, 1251-1266.
- DCE (2006). Constitution et mise en œuvre du programme de surveillance (contrôles de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquêtes et contrôles additionnels) pour les eaux douces de surface (cours d'eau, canaux et plans d'eau). Circulaire DCE 2006/16, 8, 19 p.
- Déjoux C., Elouard J.M., Forge P. & Maslin J.L. (1981). Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapp. ORSTOM, Bouaké, 42 : 178 p.
- De Moor I.J., Day J.A. & De Moor F.C. (2003). Freshwater invertebrates of southern Africa. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera and Lepidoptera. *WRC Report No. TT 214/03*. Volume 8 : Insecta II, 209 p.
- Dickens C.W. & Graham P.M. (2002). The South African Scoring System (SASS) Version 5 rapid bioassessment methods for rivers. *African Journal of Aquatic Sciences*, 27 : 1-10.
- Dien K.O. (2018). Occupation humaine de la Réserve de Faune et de Flore du Haut Bandama : Diagnostic et perspectives pour une gestion durable. *European Scientific Journal* 14 : 1857-7881.
- Dierl W. & Ring W. (1992). Guide des Insectes : Description, Habitat et Moeurs. Delachaux et Nestlé, Paris, 237 p.
- Di Giovanni M.V., Goretti E. & Tamanti V. (1996). Macroenthos in Montedoglio Reservoir, central Italy. *Hydrobiologia*, 321: 17-28.

- Dudgeon D. (1986). The life cycle, populations dynamics and productivity of *Melanoides tuberculata* (Muller, 1774) (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae) in Hong Kong. *Journal of Zoology*, 208 : 37-53.
- Dufrêne M. (1992). Biogéographie et écologie des communautés de Caradidae an Wallonie. Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique, 194 p.
- Dufrêne M. & Legendre P. (1997). Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67 : 345-366.
- Durand J.R. & Lévêque C. (1991). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelo-soudanienne (Tome II). Paris, France : ORSTOM, 483 p.
- Edia O.E. (2008). Diversité spécifique et structure des communautés de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 171 p.
- Elouard J.M. (1981). Diptères : caractères généraux, clés systématiques et familles peu importantes. In : Durand J. R. & Lévêque C. Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahelosoudanienne. Edition, Tome II, Paris : 553-567.
- Fabio. P., Njifonjou O., Assienan J., Kodjo A., Ndia Y., Salvati N., Seghieri C. (2002). Profil de pauvreté des communautés riveraines du lac de Kossou en Côte d'Ivoire, Cotonou, Programme pour des Moyens d'Existence Durables dans la Pêche en Afrique de l'Ouest, PMEDP/RT/17, 90 p.
- Fängstrom I. & Willèn E. (1987). Clustering and canonical correspondance analysis of phytoplankton and environmental variables in Swedish lakes. *Vegetation* 71 : 87-95
- Forcellini M., Mathieu C. & Merigoux S. (2011). Atlas des Macroinvertébrés des eaux douces de l'île de la Réunion. Office de l'eau de la réunion-CNRS, 137 p.
- Foto M.S., Zebaze T.S.H., Nyamsi T.N.L., Ajeagah G.A. & Njiné T. (2011). Evolution Spatiale de la Diversité des Communautés de Macroinvertébrés Benthiques dans un cours d'eau Anthropisé en Milieu Tropical (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 55(2) : 291-300.
- Freeman M.C., Pringle C.M. & Jackson C.R. (2007). Hydrologic connectivity and contribution of stream headwaters in ecological integrity at regional scales. *Journal of American Water Resources Association*, 43 : 5-14.
- Frontier S. (1983). Stratégies d'Echantillonnage en Ecologie. Masson, Paris, 494 p.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. (1998). Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Dunod, Paris, 447 p.

- Gagnon E. & Pedneau J. (2006). Surveillance Volontaire (SurVol) Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec, Canada, 25 p.
- Galdean N. & Staicu G. (1997). The carrying capacity assessment of the lotic system Crisul Repede (Tisa Area Catchment, Romania), based on faunistical analysis. Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle '*Grigore Antipa*, 37 : 237-254.
- Galvez-Cloutier R., Ize S. & Arsenault S. (2002). La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyen de lutte contre l'eutrophisation, Gestion de l'eau. *Vecteur environnement*, 35 (6): 18-37.
- Giraudel J.L. & Lek S. (2001). A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, 146 (1 - 3) : 329-339.
- Gonçalves J.F., França J.S., Medeiros A.O., Rosa C.A. & Callisto M. (2006). Leaf Breakdown in a Tropical Stream. *International Journal of Hydrobiology*, 91 : 164-177.
- Goloma S. & Symoens J.J. (1990). Caractéristiques physiques et chimiques de quelques cours d'eau de Kisangani (Zaïre). *Bulletin des Séances Académie Royale*, 35 : 145-157.
- Gordon N.D., McMahon T.A., & Finlayson B.L. (1994). Stream Hydrology, an Introduction for Ecologists. Wiley & Sons, New York, 526 p.
- Guenda W. (1996) : Etude faunistique, écologique et de la distribution des insectes d'un réseau hydrographique de l'Ouest africain : le Mouhoun (Burkina Faso); rapport avec *Similium damnosum* Théobald, vecteur de l'onchocercose, 260 p.
- Guillaumet J.L., & Adjanohoun E. (1971). Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoire. ORSTOM, Paris : 156-264.
- Halle B. & Bruzon V. (2006). Profil environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final. Consortium AGRIFOR consult, 127 p.
- Hessé A.S., Imbert E., Karabaghli C., Mangot S. & Saadat S. (2014). Les macroinvertébrés benthiques : bioindicateurs de la qualité de nos rivières. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 6 p.
- Hynes H.B.N. (1957). The use of invertebrates as indicators of river pollution. *Proceedings Linnean Society. London*. 170, 165-169.
- Iltis A. & Lévêque C. (1982). Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 15 : 115-150.
- Jacobsen D. & Encalada. A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian high-land streams in the wet and dry season. *Archive für Hydrobiologie*, 142 : 53-70.

- Kaboré I., Moog O., Alp M., Guenda W., Koblinger T., Mano K., Ouéda A., Ouédraogo R., Trauner D. & Melcher A. H. (2015). Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semi-arid streams of Burkina Faso. *Hydrobiologia*, 20 p.
- Kangbeni. D., Kperkouma. W., Komlan. B., Marra. D., A.W. & Koffi. A. (2012). Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la Réserve de Faune de l'Oti-Mandouri (Togo), *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 14, mis en ligne le 15 septembre 2012.
- Karr J.R., Fausch K.D., Angermeier P.L., Yant P.R. & Schlosser I.J. (1986). Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Special Publication*, 5 : 28 p.
- Karr J.R. (1991). Biological integrity: a long-neglected aspect of water-resource management. *Ecological Applications* 1, 66-84.
- Karr J.R. (1996). Ecological integrity and Ecological health are not the same. In *Engineering within ecological constraints Schulze*, édition Washington : National Academy Press : 97-109.
- Kiampi C.C. (2004). Ampleur de la pollution du M'ingoa par les eaux usées domestiques, et réponse des organismes du milieu. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun, 58 p.
- Kinncar P. & Gray. C. (2005). SPSS facile appliqué à la psychologie et aux sciences sociales ; maîtriser le traitement de données. De Boeck, 432 p.
- Kiviluoto K. (1996). Topology preservation in self-organizing maps. *Proceedings of ICNN'96*, International Conference on Neural Networks. IEEE Service Center, Piscataway : 294-299.
- Klaus A. (2001). The biology of Decapod crustacean larvae. *Balkema publishers*, 14 : 14-20.
- Kohonen T. (1982). Self Organized formation of topologically correct features maps. *Biological Cybernetics*, 43 : 59-69.
- Kohonen T. (1995). Self Organizing Maps. Springer-Verlag, Heindelberg, Berlin, 362 p.
- Kohonen T. (2001). Self Organizing Maps (3rd Edition). Springer-Verlag, Berlin, 501 p.
- Konan K.F. (2008). Composition, structure et déterminisme de la diversité ichtyologique des rivières côtières du Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Soumié - Eholié - Ehania - Noé). Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 186 p.
- Konan K.F., Bony K.Y., Adon M.P. & Potgieter J. (2015). Hydrobiological study of the Bandama Basin in Yaoure Gold Project's Area of Influence (Yaoure Gold Project, Côte

- d'Ivoire). Study report Amara Mining Côte d'Ivoire SARL/Cabinet AMEC Foster Wheeler/Cabinet 2D Consulting Afrique, 99 p.
- Kouamé K.M. (2014). Diversité, structure et réponse fonctionnelle des macroinvertébrés à l'invasion du lac de Taabo (Côte d'Ivoire) par la jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms-Laubach, 1883. Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 201 p.
- Kouassi N. (1979). Installation et évolution des populations piscicoles dans le lac de barrage de Kossou (Côte d'Ivoire) entre 1972 et 1977. *Annale Université Abidjan*, Edition., 12 : 159-174.
- Koumba M., Mipounga H.K., Koumba A.A., Koumba C.R.Z., Mboye B.R., Liwouwou J.F., Mbega J.D. & Mavoungou J.F. (2017). Diversité familiale des macroinvertébrés et qualité des cours d'eau du Parc National de Moukalaba Doudou (sud-ouest du Gabon). *Entomologie Faunistique*, 70 (1-3) : 107-120.
- Kpan N.V. (2015). Dynamique spatio-temporelle de la Réserve du Haut-Bandama en Côte d'Ivoire, Apport de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques, Université Alassane Ouattara, Bouaké, (Côte d'Ivoire), 13P.
- Laë R., Lek S. & Moreau J. (1999). Predicting fish yield of African lakes using neural networks. *Ecological Modelling*, 120 : 325-335.
- Laine A.O. (2003). Distribution of soft-bottom macrofauna in the deep open Baltic Sea in relation to environmental variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57 : 87-97.
- Lalèyé P., Chikou A., Philipart J-C., Teugels G.G. & Vandewalle P. (2004). Étude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'ouest). *Cybium*, 28 (4) : 329-339.
- Lauginie. F. (2007) : Conservation de la nature et des aires protégées en Côte d'Ivoire. Abidjan, NEI/ Hachette et Afrique Nature, 668 p.
- Le Bris H. (1988). Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Bretagne Occidentale, France, 311 p.
- Leclercq L. (2001). Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes Fagnes, Belgique, Document de travail, 44 p.
- Lee S.J., Park J.H. & Ro T.H. (2006). Ephemeropteran community structure and spatial stability of local populations of the major species group in the Keumho Berger. *Entomological Research*, 36 : 98-106.

- Legendre P. & Legendre L. (1998). Numerical Ecology. Second edition, Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Lek S., Delacoste M., Baran P., Dimopoulos I., Lauga J. & Aulagnier S. (1996). Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological Modelling*, 90 : 39-52.
- Lek S., Giraudel J.L. & Guégan J.F. (2000). Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists. *Artificial Neuronal Networks: Application to Ecology and Evolution*. Springer -Verlag, Berlin : 3-27.
- Lemoalle J. (1999). La diversité des milieux aquatiques. *In* : Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Editions de l'IRD, Paris : 11-30.
- Lévêque C. (1980). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelosoudanienne, *In* Aquatic animals, Edition IRD, Paris : 18-73.
- Lévêque C., Dejoux C. & Iltis A. (1983). Limnologie du fleuve Bandama, Côte d'Ivoire. *Hydrobiologia*, 100 : 113-141.
- Lévêque C. (1997). Biodiversity dynamics and conservation: the freshwater fish of tropical Africa. Cambridge University Press, Paris, 438 p.
- Loreau M. & Hector A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412 : 72-76.
- Madsen H., & Frandsen F. (1989). The spread of fresh water snails including those of medical and veterinary importance. *Acta Tropica*, 46 : 139-149.
- Mandaville S.M. (2002). Benthic macroinvertebrates in freshwaters: espèces tolerance values, metrics and protocols. Technical report, Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax, Dartmouth, Nova Scotia, 48 p.
- Manly B.F.J. (1994). Multivariate Statistical Methods. A primer. Second edition. Chapman & Hall, London, 215 p.
- Martin JW. & Davis G.E. (2001). An updated classification of the recent Crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County, Sciences serie, 39, 132 p.
- Mary N. (1999). Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle- Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Thèse de doctorat, Université Française du Pacifique, Nouvelle-Calédonie, 181 p.

- Mary N. (2000). Guide d'identification des macroinvertébrés benthiques des rivières de la Nouvelle-Calédonie. Ministère de l'Environnement, Service de l'Eau (Paris), Province Nord et Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 92 p.
- Mary N. (2002). Guide méthodologique en vue de la détermination de l'Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie : l'échantillonnage de la faune benthique, Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales, observatoire de la ressource en eau, 25 p.
- Mary N. (2015). Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Biosédimentaire (IBS) : guide méthodologique et technique, DAVAR NC / OEIL / CNRT "Nickel & son environnement", 78 p.
- Mary N. & Hytec. (2007). Mise en place d'un indice biologique spécifique aux terrains miniers en Nouvelle-Calédonie. Province Sud, Province Nord, DAVAR Nouvelle-Calédonie, 120 p.
- Mary N. & Archaimbault V. (2011). Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie et Indice Biosédimentaire : guide technique, DAVAR, Pôle de l'Observatoire de la Ressource en Eau, 58 p.
- Mathuriau C. (2002). Les macroinvertébrés des cours d'eau andins du Sud-est de la Colombie : écologie et bioindication. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 309 p.
- MDDEFP. (2012). Ministère du Développement Durable De l'Environnement de la Faune et des Parcs, Elaboration d'un indice d'intégrité biotique basé sur les Macroinvertébrés benthiques et mise en application en milieu agricole. Cours d'eau peu profonds à substrats meubles, Quebec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-65630-2, 62 p.
- Melhaoui M. (2009). Echantillonnage et étude des macroinvertébrés de la Moulouya, document du stage de formation à la connaissance et la gestion de biodiversité aquatique, Projet UICN Med/ABHM, Moulouya, Maroc, 40 p.
- Merritt R.W. & Cummins K.W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America. 3rd edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA, USA, 862 p.
- Merritt R.W., Cummins K.W., & Berg M. B. (2008). An Introduction to the Aquatic Insects of North America, 4^{ème} édition, *Dubuque (Iowa)*, Kendall/Hunt Publishing Company, 158 p.
- Metzeling L., Chessman B., Hardwick R. & Wong V. (2003). Rapid assessment of river using macroinvertebrates: the role of experience, and comparisons with quantitative methods. *Hydrobiologia*, 510 : 39-52.

- Moisan J. (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, 82 p.
- Moisan J. & Pelletier L. (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.
- Moisan J. & Pelletier L. (2014). Réponses des macroinvertébrés benthiques à la contamination métallique Site minier de Notre Dame de Montauban, *Québec*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 24 p.
- Morais M. (1995). The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, 94 : 301-307.
- Mouthon J. & Kuiper J.G. (1987). Inventaire des Sphaeriidae de France. SFF, Paris. 60 p.
- Mouthon J. (1982). Les Mollusques dulcicoles, données biologiques et écologiques, clés de détermination des principaux genres de Bivalves et de Gastéropodes de France, *Bulletin français*, NS, 127 p.
- Nangmo J.B. (2004). Evaluation de la Qualité des eaux de l'Ekozoa par utilisation des composantes physico-chimiques et biologiques du milieu. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Cameroun; 47 p.
- Nahmani J. & Rossi J.P. (2003). Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *Comptes Rendus de Biologie*, 326 : 295-303.
- Naiman R.J., Beechie T.J., Benda L.E., Berg D.R., Bisson P.A., Omernik J.M. & Bailey R.G. (1997). Distinguishing between Watersheds and Ecoregions, *Journal of the American Water Resources Association*, 33 (5) : 935-949.
- Nakai S., Hosomi M., Okada M. & Murakami A. (1996). Control of algal growth by macrophytes and macrophyte-extracted bioactive compounds. *Water Science and Technology*, 34 (7-8) : 227-235.
- N'Douba V. (2000). Biodiversité des monogènes parasites des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire : cas des poissons des rivières Bia et Agnebi. Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 250 p.
- N'Goran E. (1997). Biodiversité, transmission et épidémiologie de *Schistosoma Haematobium*, Bilharziar, 1852, et des schistosomoses apparentées en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, université de Perpignan, 220 p.

- Norris R.H. & Thoms N.C. (1999). What is river health ? *Fresh water Biology* 41, 197-209.
- Novotny V., Bartosova A., O'Reilly N. & Ehlinger T. (2005). Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Research* 39, 184-198.
- Nyamsi T.N.L. (2004). Effets des rejets d'une usine de traitement de la cellulose sur La qualité des eaux du Ntsomo: Etude biologique et hydrologique du cours d'eau. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun; 58 p.
- Nyamsi T.N.L., Foto M.S., Zébazé T.S.H., Onana F.M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yémélé T.C., Koji E. & Njiné T. (2014). Indice multimétrique des macroinvertébrés benthiques Yaoundéens (IMMY) pour l'évaluation biologique de la qualité des eaux de cours d'eau de la région du centre sud forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123 : 412-430.
- N'Zi K.G. (2007). Diversité biologique des communautés de crevettes des eaux douce de Côte d'Ivoire en relation avec les variables environnementales. Thèse de Doctorat, Université d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 178 p.
- Ohio EPA. (1987). Inter office Communication Regarding ARMCO's Elimination of Blast Furnace Blowdown in Outfall 001. From Mike Zimmerman, Southwest District Office. To Bob Phelps and John Kirwin, Industrial Waste Water, Central Office. August 21, 1987.
- OIPR. (2015). Rapport d'activités trimestriel, Office Ivoirien des Parcs et Réserves. Abidjan, 21p.
- Oyenekan J.A. (1979). The Ecology of the genus *Pachymelania* in Lagos lagoon. *Archive Hydrobiologie*, 86 (4) : 515-522.
- Palmer M. (1993). Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis *ecology*, 74 (8) : 2215-2230.
- Park Y.S., Chang J., Lek S., Cao W. & Brosse S. (2003). Conservation strategies for endemic fish threatened by the three Gorges Dam. *Conseravtion Biology*, 17 : 1748-1758.
- Paugy D. & Lévêque C. (1999). Régimes alimentaires et réseaux trophiques. In : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie et utilisation par l'homme (Eds), IRD, Paris : 167-190.
- Perraud A. (1971). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, Paris : 265-391.
- Peyrusse V. & Bertrand M. (2001). Les Acariens aquatiques de France. *Insectes*, 123, 4 : 3-6.
- Philippeau G., (1992). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? .Service des Etudes Statistiques-ITCF, 63 p.

- Piélou E.C. (1969). An introduction to mathematical ecology. Wiley Intersciences, New York, 285 p.
- Poi de Neiff A. & Carignan R. (1997). Macroinvertebrates on *Eichhornia crassipes* roots in two lakes of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, 345 : 185-196.
- Poilecot P. (1996). Contribution aux monographies des parcs nationaux et Réserve de Côte d'Ivoire : éléments du milieu naturel des parcs nationaux de la Comoé, de la Marahoué, des Monts Péko et des Réserves du Haut Bandama et du Sanglé. Rapport inédit, WWF, Abidjan, 72 pp.
- Pointier J.P. (2001). Invading freshwater snails and biological control in Martinique Island, French West Indies. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 96 : 67-74.
- Pointier J.P. & McCulloch F. (1989). Biological control of the snail hosts of *Schistosoma mansoni* in the Caribbean area using *Thiara* spp. *Acta Tropica*, 46 : 147-155.
- Pointier J.P. & Jourdane J. (2000). Biological control of the snail hosts of *schistosomiasis* in areas of low transmission: the example of the Caribbeanarea. *Acta Tropica*, 77 : 53-60.
- Pointier J.P., Guyard A. & Mosser A. (1989). Biological control of *Biomphalaria glabrata* and *B. straminea* by the competitor snail *Thiara tuberculata* in a transmission site of schistosomiasis in Martinique, French West Indies. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 83 : 263-269.
- Pointier J.P, Facon B., Jarne P. & David P. (2004). Les thiaridés, des Gastéropodes envahisseurs des eaux douces tropicales. *Xenophora*, 104 : 14-20.
- Prentice M.A. (1983). Displacement of *Biomphalaria glabrata* by the snail *Thiara granifera* in field habitats in St Lucia, West Indies. *Annals of Tropical Medecine and Parasitology*, 77 : 51-59.
- Quillévére. D. (1979). Contribution à Mude des caractéristiques spècifiques, bioécologiques et vectrices des membres du complexe *Sitniilium darnriosrmi* présent en Côte d'Ivoire, ORSTOM, Paris : 30 p.
- Ramade F. (2003). Elément d'écologie *In* : Ecologie fondamentale. Dunos, Paris, 190 p.
- Reese V.J. (2002). A guide to common freshwater Invertebrates of North America. *Jr. McDonald and Woodward Publishing Company*, Blacksburg, Virginia, USA, 442 p
- Resh V.H. & Mc.Elrary E.P. (2001). Contemporary quantitative approaches to biomonitoring. *In* : Rosenberg D.M. & Resh V.H. (Eds.). "Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates". Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 159-194.

- Reyjol Y., Fischer P., Lek S., Rösch R. & Eckmann R. (2005). Studying the spatiotemporal variation of the littoral fish community in a large prealpine lake, using self-organizing map. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62 : 2294-2302.
- Rios S.L. & Bailey R.C. (2006). Relationship between riparian vegetation and stream benthic communities at three spatial scales. *Hydrobiologia*, 553 : 153-160.
- Roche P.A., Billen G., Bravard J.P., Decamps H., Pennequin D., Vindimian E. & Wasson J.G. (2005). Les enjeux de recherche liés à la directive-cadre européenne sur l'eau. *Comptes rendus Géoscience*, 337 : 243-267.
- Rocherie G. (1960). Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mémoire. IFAN n° 58, 542 pp.
- Rosa B.J.F.V., Rodrigues L.F.T., Da Gama Alves R. & De Oliveira G.S. (2014). Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 : 7771-7779.
- Roumequere P. (1986). Une société de développement régional intégré : l'Autorité pour L'Aménagement de la Vallée du Bandama ou AVB (1969-1980). *In* : Dynamique des systèmes agraires : l'exercice du développement. ORSTOM, Paris : 141-149.
- Sandin L. (2003). Benthic macroinvertebrates in Swedish streams : community structure, espèce richness, and environmental relations. *Ecography*, 26 : 269-282.
- Schlosser I.J. (1991). Stream fish ecology: a lands cape perspective. *Biology Science*, 41 : 704-712.
- Sellin B., Simonkovich E. & Roux J. (1980). Étude de la répartition des mollusques hotes intermediaires des schistosomes en Afrique de l'Ouest. *Médecine Tropicale*, 40 (1): 31-39.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1963). The mathematical theory of communication. Urbana University Press, Illinois, USA, 127 p.
- Shapiro S.S., Wilk M.B. & Chen H.J. (1968). A comparative study of various tests of normality. *Journal of the American Statistical Association*, 63 : 1343-1372.
- Sherman K. & Anderson E.D. (2002). The Gulf of Guinea Large Marine Ecosystems. Elsevier, Large Marine Ecosystems 11, NOAA - NMFS, Narragansett, USA, 9-26.
- Sites R.W., Willig M.R. & Linit M.J. (2003). Macroecology of aquatic insects: a quantitative analysis of espèceomic richness and composition in the Andes Mountains of Northern Ecuador. *Biotropica*, 35 : 226-239.
- Soderstrom O. (1987). Upstream movements of invertebrates in running watera review. *Archiv für Hydrobiologie*, 111 : 197-208.

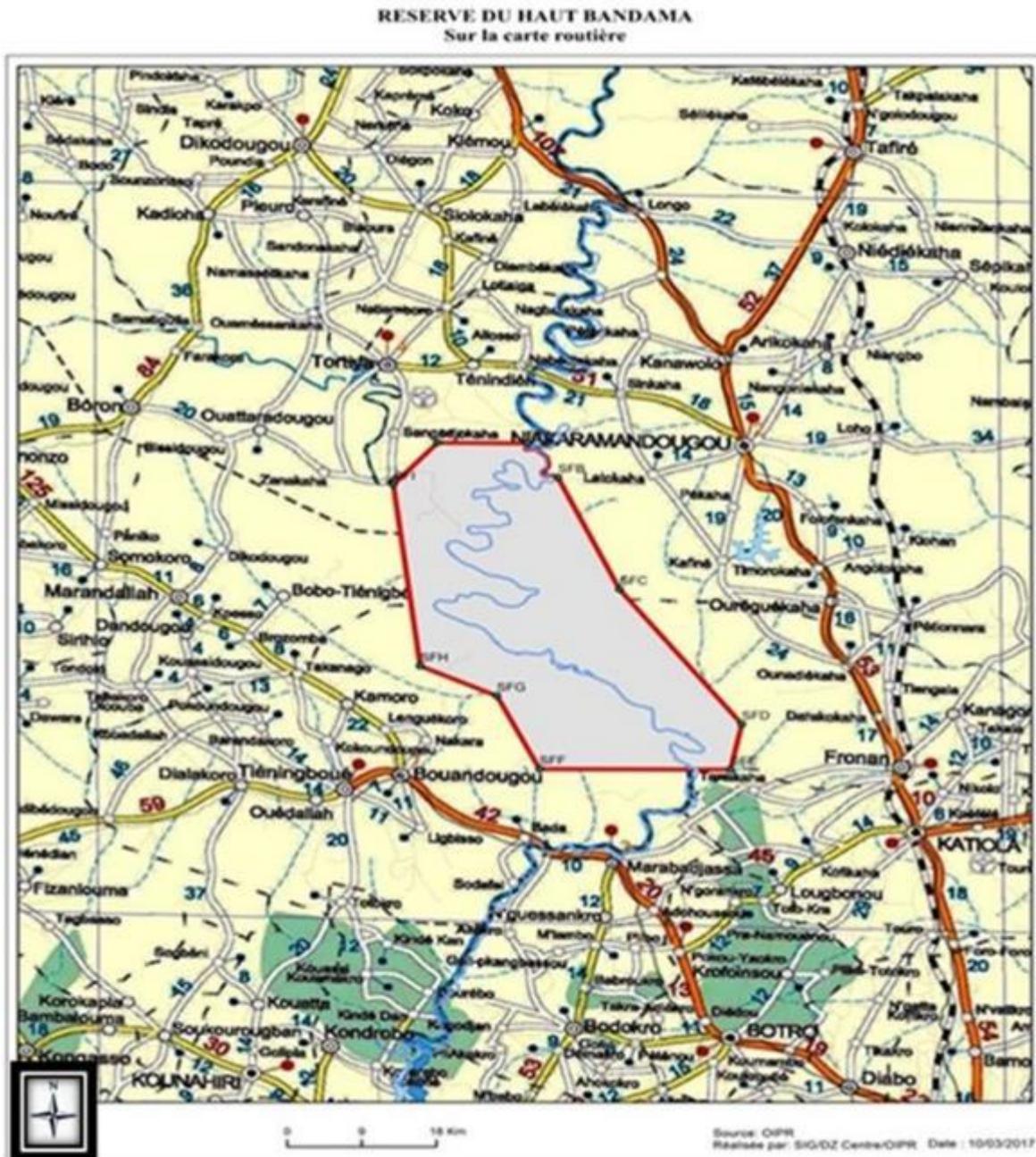
- Soldner M., Stephen I., Ramos L., Angus R., Wells N.C., Grosso A. & Crane M. (2004). Relationship between macroinvertebrate fauna and environmental variables in small streams of the Dominican Republic. *Water Research*, 38 : 863-874.
- Stripari N.L. & Henry R. (2002). The invertebrate colonization during decomposition of *Eichhornia azurea* Kunth in a lateral lake in the mouth zone of Paranapanema River into Jurumirim Reservoir (Sao Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 62 (2) : 293-310.
- Tachet H., Bournaud M. & Richoux P. (1987). Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). CNRS (Eds), Paris, 155p.
- Tachet H., Bournaud M., Richoux P. & Usseglio-Polatera P. (2000). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS (Eds), Paris, 588 p.
- Tachet H., Richoux P., Bourneaux M. & Usseglio-Polatera P. (2003). Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS (Eds), Paris, 587 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS 2 eme Edition, Paris, 588 p.
- Tamungang N. E. B, Biosengazeh N. F., Alakeh M. N. & Tameu D.Y. (2016). Contrôle de la qualité des eaux domestiques dans le village Babessi au Nord-Ouest Cameroun. *International Journal Biology Chemical Sciences* 10 (3) : 1382-1402.
- Tchakonté S. (2016). Diversité et structure des communautés de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD. Université de Yaoundé, Cameroun, 200 p.
- Ter Braak C.J.F. (1987). The analysis of vegetation – environment relationship by canonical correspondance analysis. *Vegetation*, 69 : 69-77.
- Ter Braak C.J.F. & Smilauer P. (2002). CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York, 351 p.
- Tessier C., Cattaneo A., Pinel-Alloul B., Hudon C. & Borcard D. (2008). Invertebrate communities and epiphytic biomass associated with metaphyton and emergent and submerged macrophytes in a large berger. *Aquatic Sciences*, 70 (1) : 10-20.
- Thomas F., Folgarait P., Lavelle P. & Rossi J.P. (2004). Soil macrofaunal communities along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. *Applied Soil Ecology*, 27: 23-29.
- Tilman D. & Wardle D.A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294 : 804-808.

- Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. & Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418 : 671-677.
- Tilman D. (2005). Biodiversité et services écosystémiques : faut-il se préoccuper de l'érosion de la biodiversité ? *In* : Act de la Conférence internationale Biodiversité, science et gouvernance. MNHN, Paris : 102-110.
- Tim T. (1982). Potential age of the aquatic Oligochaeta. *In* : *Processing 2nd International Symposium Aquatic Oligochaeta Biology*, 21-24 September 1982, Pallanza, Italy, 21-24.
- Touzin D. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Mémoire de master, faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, 41 p.
- Traoré K. (1996). Etat des connaissances sur les pêcheries continentales ivoiriennes. Rapport de consultation. Projet FAO TCP/IVC/4553, IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 50 p.
- Troeh F.R., Hobbs J.A. & Donahue R.L. (2004). Soil and water conservation: for productivity and environmental protection. 4th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 610 p.
- Tomassone R., Dervin C. & Masson J.P. (1993). Biométrie : Modélisation des phénomènes biologiques. Masson, Paris, 553 p.
- Van Ruijven J. & Berendse F. (2005). Diversity-productivity relationships : Initial effects, long-term patterns and underlying mechanisms. *PNAS*, 102 (3) : 695-700.
- Verneaux J. & Tuffery G. (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité des eaux courantes. Indice biotique, Annales scientifiques de l'Université de Besançon. Zoologie et physiologie, 2 : 79-89.
- Voshell R.J. (2002). A Guide to Freshwater Invertebrates of North America. McDonald and Woodward Publishing, Blacksburg, Virginia, 391 p.
- Wasson J.B., Chandesaris A., Pella H., Blanc L., Villeneuve B. & Mengin N. (2002). Déterminations des valeurs de référence de l'I.B.G.N. et propositions des valeurs limites du « Bon Etat ». Document de travail. CEMAGREF Groupement de Lyon, 82 p.
- Weis J.S., Smith G. & Santiago-Bass C. (2000). Predator/prey interactions: a link between the individual level and both higher and lower level effects of toxicants in aquatic ecosystems. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7: 145-153.
- Wipfli M.S., Richardson J. S. & Naiman R.J. (2007). Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems : transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. *Journal of the American Water Resources Association*, 43 : 72-85.

- Woodcock T.S. & Huryn A.D. (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, 52 : 177-196.
- Wunderlin D.A., Diaz M.P., Ame M.V., Pesce S.F., Hued A.C. & Bistoni M.A. (2001). Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study : Suquia river basin (Cordoba-Argentina). *Water Research*, 35 : 2881-2894.
- Yao S.S. (2006). Contribution a l'étude de la diversité biologique et de l'écologie alimentaire de l'ichtyofaune d'un hydrosystème ouest africain : Cas du bassin de la Comoé (Côte d'Ivoire). These de Doctorat. Université d'Abidjan Cocody, Côte d'Ivoire, 280 p.
- Yapi Y., N'goran K.E., Salia D., Cunin P. & Bellec C. (1994). Population dynamics of *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834) (Gastropoda: Planorbidae), an exotic freshwater snail recently discovered at Yamoussoukro (Ivory Coast). *Journal of Molluscan Studies*, 60 : 83-95.
- Ysebaert T., Herman P.M.J., Meire P., Craeymeersch J., Verbeek H. & Heip C.H.R. (2003). Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57 : 335-355.
- Ywoung L.G. (2004). Etude biologique du cours d'eau Tongolo, affluent du cours Supérieur du Mfoundi en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des eaux. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun, 47 p.
- Zahradnik J. & Chvala M. (1991). La Grande Encyclopédie des Insectes. Collection Grund, Paris, 511 p.
- Zar J.H. (1999). Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, New Jersey, USA, 662 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Carte de la situation géographique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord de la Côte d'Ivoire).



Annexe 2 : Fiche de terrain de collecte des données mésologiques de la Réserve du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

RELEVÉS DE TERRAIN - DONNÉES MÉSOLOGIQUES

1- IDENTIFICATION DE LA STATION			
Nom		Date...../...../.....	Heure.....h.....
Code		Organisme	Nom de l'opérateur
Coordonnées de la station: X (N)		Y (W)	altitude m

2- ENVIRONNEMENT GENERAL				
Environnement global berge droite	<input type="checkbox"/> forêt	<input type="checkbox"/> cultures	<input type="checkbox"/> ne urbanisée	<input type="checkbox"/> e agricole
	<input type="checkbox"/> Autre, à préciser			
Environnement global berge gauche	<input type="checkbox"/> forêt	<input type="checkbox"/> cultures	<input type="checkbox"/> ne urbanisée	<input type="checkbox"/> e agricole
	<input type="checkbox"/> Autre, à préciser			
Pente à la station	<input type="checkbox"/> faible	<input type="checkbox"/> moyenne	<input type="checkbox"/> te	
Granulométrie (%)	<input type="checkbox"/> Sables ($0-20\mu m$)	<input type="checkbox"/> Gravieriers grossiers ($20-200\mu m$)	<input type="checkbox"/> Gravieriers fins ($200-2000\mu m$)	<input type="checkbox"/> Sables ($2000-20000\mu m$)
	<input type="checkbox"/> Argiles (<math><20\mu m</math>)			
Substrats	<input type="checkbox"/> Vase	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Gravillon	<input type="checkbox"/> Gravier
	<input type="checkbox"/> propre	<input type="checkbox"/> débris végétaux	<input type="checkbox"/> périphyton	<input type="checkbox"/> Débris végétaux
	<input type="checkbox"/> autre, à préciser			<input type="checkbox"/> feuilles
				<input type="checkbox"/> branches
				<input type="checkbox"/> tronc
Végétation aquatique (%)	Profondeur	Largeur	Canopée	
Sources interférence	<input type="checkbox"/> traces d'hydrocarbures		<input type="checkbox"/> présence de bétail	<input type="checkbox"/> rejet d'eaux usées
Phénomène anormal observé	<input type="checkbox"/> odeur et/ou couleur inhabituelle de l'eau		<input type="checkbox"/> poissons morts	
	<input type="checkbox"/> croissance d'algues excessives		<input type="checkbox"/> feux de forêt	
	<input type="checkbox"/> autre, à préciser :			

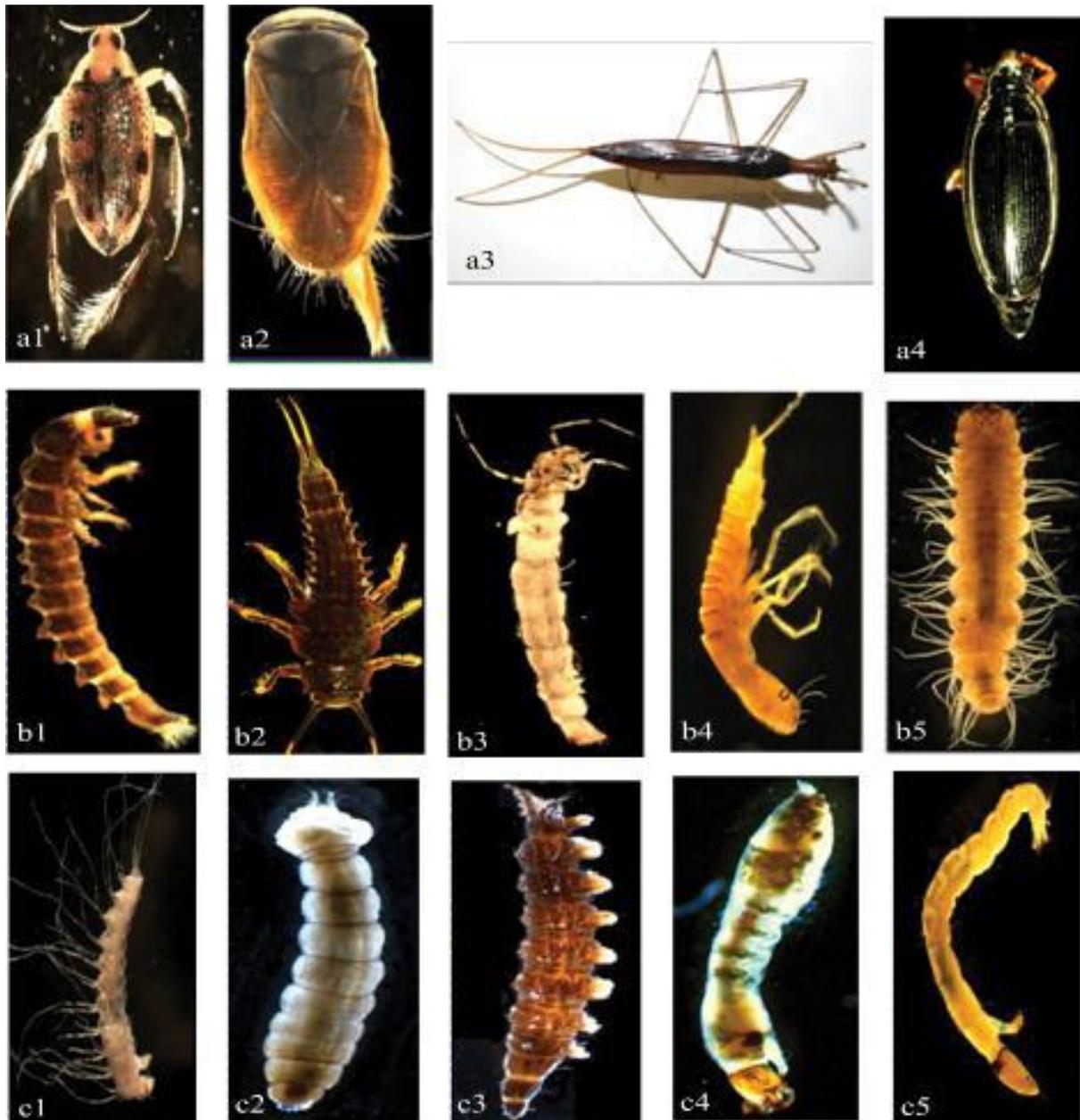
3- CONDITIONS D'OBSERVATION	
Hydrologie :	<input type="checkbox"/> étiage sévère <input type="checkbox"/> basses eaux, étiage normal <input type="checkbox"/> moyennes eaux <input type="checkbox"/> hautes eaux
Traces de laisses de crues ou pluie importante ayant précédé l'échantillonnage (à préciser) ? :	<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui quand ? (nb jours):
Météo :	<input type="checkbox"/> soleil <input type="checkbox"/> ruageux <input type="checkbox"/> pluie fine <input type="checkbox"/> crépuscule
Couleur eau :	<input type="checkbox"/> claire <input type="checkbox"/> légèrement trouble <input type="checkbox"/> trouble Fond visible : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
Vitesse de l'eau:	

4- CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DE LA STATION							
Conductivité							
Oxygène dissous							
pH							
Température							
TDS / Turbidité							

Annexe 3 : Résultats du test de Shapiro-Wilk effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des différentes stations dans les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama entre janvier 2018 et février 2019.

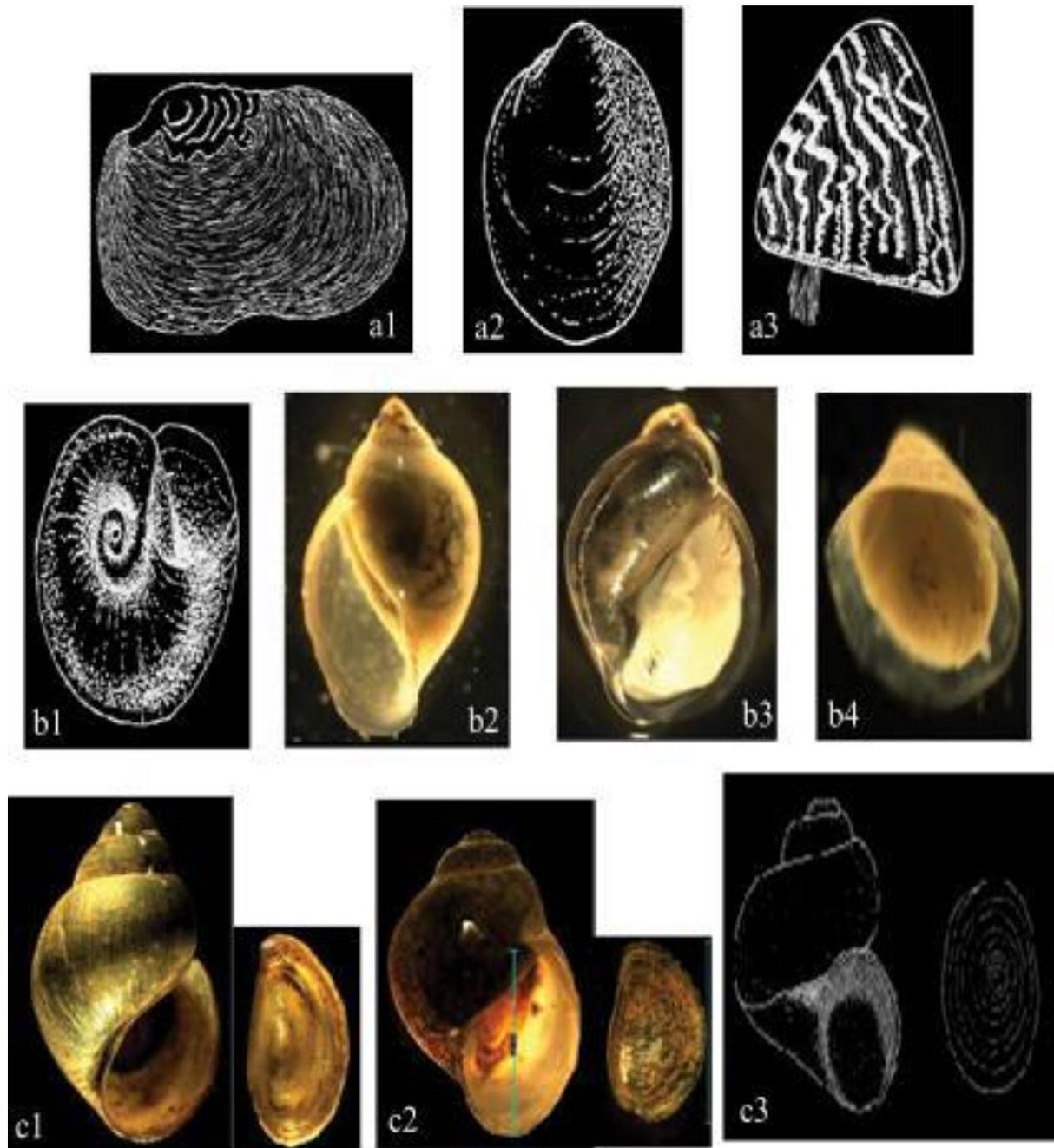
Variables	Test de Shapiro-Wilk	Normalité
Température (°C)	< 0,0001	
Conductivité (µS/cm)	< 0,0001	
Oxygène dissous (ppm)	< 0,0001	
pH	< 0,0001	Les distributions ne suivent pas une loi Normale
Vitesse du courant (m/s)	< 0,0001	
Largeur du lit mouillé (m)	< 0,0001	
Turbidité (ntu)	< 0,0001	
Profondeur (cm)	< 0,0001	

Annexe 4 : Photographies de quelques Insectes d'eaux douces



a = adultes (a1 = Coléoptère, Haliplidae ; a2 = Hémiptère, Corixidae ; a3 = Hémiptère, Nepidae ; a4 = Coléoptère, Gyrididae) ; b = larves avec trois paires de pattes thoracique (b1 = Coléoptère, Elmidae ; b2 = Plécoptère, Pteronarcyidae ; b3 = Trichoptère, Leptoceridae ; b4 = Coléoptère, Dytiscidae ; b5 = Lépidoptère) ; c = larves vermiformes sans pattes thoracique (c1 = Coléoptère, Haliplidae ; c2 = Diptère, Tipulidae ; c3 = Diptère, Athericidae ; c4 = Diptère, Simuliidae ; c5 = Diptère, Chironomidae) (Moisan, 2010 ; Camara, 2013)

Annexe 4 (suite et fin) : Photographies de quelques classes de Mollusques d'eaux douces



a = Bivalves (a1 = Unionidae ; a2 = Sphaeriidae ; a3 = Dreissenidae) ; b = Gastéropodes pulmonés ou sans opercule (b1 = Planorbidae ; b2 = Physidae ; b3 = Lymnaeidae ; b4 = Ancylidae) ; c = Gastéropodes prosobranches ou avec opercule (c1 = Bithyniidae ; c2 = Hydrobiidae ; c3 = Valvatidae) (**Moisan, 2010 ; Camara, 2013**)

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THÈSE

- 1- **Kressou Armand**, Bony Kotchi Yves, Allouko Jean-Renaud, and Konan Koffi Félix, **2019**. “Diversity and Distribution of Aquatic Snails in the Upper Bandama Fauna and Flora Reserve (North-center Côte d'Ivoire),” *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, Volume 4, Issue 3, pp. 378-382.

- 2- **Kressou Armand**, Bony Kotchi Yves, Allouko Jean-Renaud and Djene Kouakou Roland, 2019. Biosedimentary index (IBS) and biological quality of the water courses in the upper Bandama fauna and flora reserve (North-center Côte d'Ivoire). *Journal of Entomology and Zoology Studies* ; 7(6) : 330-335.

Diversity and Distribution of Aquatic Snails in the Upper Bandama Fauna and Flora Reserve (North-center Côte d'Ivoire)

Kressou Armand^{1*}, Bony Kotchi Yves¹, Allouko Jean-Renaud¹, Konan Koffi Félix¹

¹Laboratory of Biodiversity and Tropical Ecology, University Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire-BP 150

*Corresponding author: Daloa, Côte d'Ivoire-BP 150, e-mail: armandkressou@gmail.com

Abstract— The Upper-Bandama fauna and flora Reserve is a 122,162 ha protected area which is threatened by the anthropogenic activities. This study aimed to highlight its functioning with the use of freshwater snails in the Bamdama watercourse. The sampling was carried out between January 2018 and February 2019 using a kick net and Van Veen grab on twelve stations. A total of 762 individuals of Gastropods and Bivalves belonging to 22 taxa, 9 Orders and 12 Families were collected. In Gastropods, the Planorbidae family was most diversified with 05 taxa and in Bivalves Sphaeriidae was most diversified with 02 taxa. *Melanoides tuberculata* (Thiaridae) and *Biomphalaria pfeifferi* (Planorbidae) were the most abundant in Bamdama (respectively 22.86 and 17.68%) and in Nambyon rivers (26.19 and 22.62%). On the other hand, *Biomphalaria pfeifferi* and *Tomichia ventricosa* (Tomichidae) with each 17.64% of the total abundances were dominants in the ponds. In general, the redundancy analysis shows that turbidity and conductivity are the parameters that most influence the distribution of snails. The strong presence of the invasive species *Melanoides tuberculata* in the hydrosystems of the reserve could be a brake on the diversity of local malacological fauna, hence the need for monitoring of the snails communities of this reserve.

Keywords— Diversity, freshwater snails, Ivory Coast, Upper Bandama reserve.

I. INTRODUCTION

The hydrosystems of the Upper-Bandama fauna and flora reserve (RFFHB) are subject to strong anthropogenic pressures, including the location of agro-food industries upstream of the reserve, intensive agriculture, artisanal fishing at the site. The use of pesticides and traditional gold panning (Carreti & Loyer, 2012; OIPR, 2015). Moreover, the unstable socio-political situation that prevailed in Côte d'Ivoire between 2002 and 2011 accentuated the clandestine settlement of populations. Hence the increase in the invasion of these media by aquatic plants and algae, inducing their enrichment in suspended matter (Halle & Bruzon, 2006).

Today, with the Ivorian State taking over this reserve through the Ivorian Office of Parks and Reserves (OIPR), it is gradually setting up, quality monitoring systems water from the reserve. These systems include methods based on monitoring biological communities, including the aquatic macroinvertebrates that live there. These organisms are used as indicators of the quality of aquatic environments because of their sedentary nature, their great diversity and their variable tolerance to pollution and habitat degradation (Moisan & Pelletier, 2008). In addition, they reflect particularly well the ecological status and integrity of aquatic environments by

reacting very quickly to changes in their environment. Finally, they are an essential component of the food web of aquatic ecosystems (Barbour et al., 1996 & Tachet et al., 2006) and actively participate in the transformation of organic matter. The presence or the absence of a species, the richness and the specific diversity, are thus indices of a good or bad quality of the waters. The reserve has benefited from very few studies, especially those concerning its benthic macrofauna. Therefore, the establishment of such a monitoring system relies entirely on the knowledge of this aquatic component. Thus, the present study aims to show the diversity and distribution of snails of the reserve of fauna and flora of Upper Bandama.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Study Site

Established by decree N ° 73-133 of the 21/03/73, the Upper-Bandama fauna and flora reserve (RFFHB) covering 123 km² is located in the North-center of Ivory Coast, between, 8° 10' 25,3" and 8° 38' 25,01" N and 5° 12' 14,1" and 5° 37' 55,3" W. The RFFHB is crossed from north to south by the white Bandama River for a distance of 160 km, or 15% of its total length. This zone is subject to a sub-humid tropical climate, sometimes referred to as sub-Sudanian transition (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). It is characterized by two seasons, one dry, from November to March, accented by the harmattan between January and February and the other rainy, covering the period from April to October. Heavy rainfall and a larger flood recorded in September with a flow of 300 m³/s. The average annual rainfall is about 1230 millimeters. Other climates characteristics are relatively large thermal amplitudes are of the order of 26.6 ° C and a humidity ranging from 35 to 79 %.

B. Sampling Procedure

During this study, eight (8) seasonal sampling campaigns were conducted between January 2018 and February 2019 on the reserve, at the frequency of four (4) sampling campaigns per season. A total of twelve (12) sampling stations were visited, of which eight (8) are arranged along the Bandama River longitudinal gradient, two (2) of which are outside the reserve respectively upstream under the influence of anthropogenic activities and downstream in a relatively well-preserved area. Of the four (4) other stations, two (2) are located in the Nambyon River and two (2) ponds (fig. 1). All stations were sampled with a kick net and Van Veen Grab. Overall, 36 sampling sites were defined. The samples were

collected at each site for two to three minutes by submerging the kick net and dragging it into the water column. The net has also been banged against the bottom substrate to dislodge and collect sediment organisms. The survey was also done using a Van Veen grab. At each site, three (03) sediment samples corresponding to a total area of 0.15 m² were taken. *In situ*, the samples were washed on a 500 µm mesh vacuum screen and

fixed with 5% formalin. In the laboratory, the organisms were sorted, identified and counted. The identification was made at the lowest taxonomic level by combining the appropriate literature including those of Brown, (2005), Dejoux (1981), Mary (2000), De Moor *et al.* (2003a and 2003b) and Forcellini *et al.* (2011).

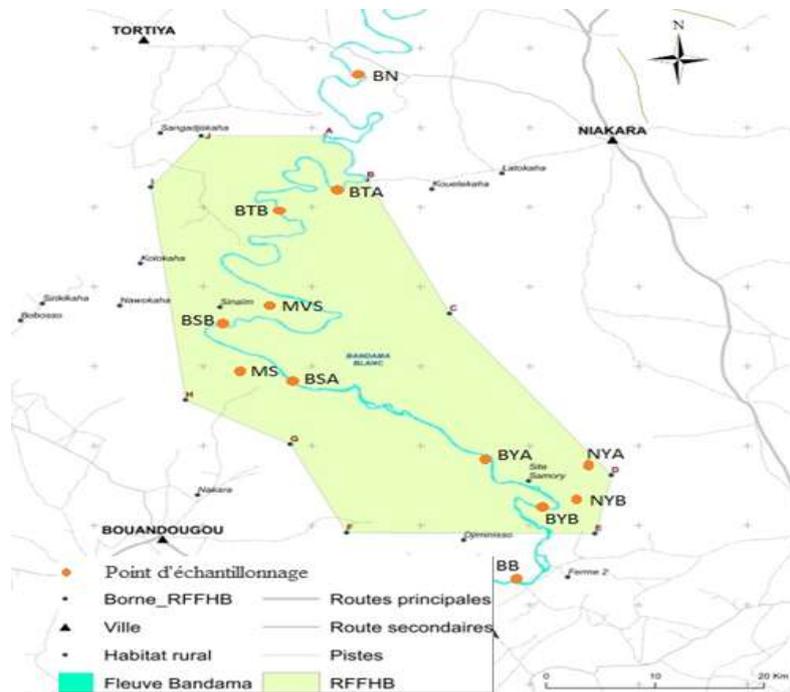


Fig. 1. Location of the sampling stations in the Upper-Bandama Fauna and Flora Reserve (RFFHB).

Pond = MS and MVS stations; Nambyon River = NYA and NYB Stations; Bandama = BN stations; BTA; BTB; BSA; BSB; BYA; BYB and BB.

III. RESULTS

A. Taxonomic Composition

A total of 762 individuals of 22 taxa belonging to 12 families 9 orders and 2 classes (Bivalves and Gastropods) were collected and identified during the study period (Table I).

The class of Gastropods is the most diversified with 19 taxa, or 95% of the global taxonomic wealth. In contrast, Bivalves have 3 taxa, or 5% of the total number of taxa.

The gastropods have 10 families grouped between 7 orders: Architaenioglossa, Littorinimorpha and Sorbéoconcha (2 families each), Basommatophores, Cycloneritida, Mesogasteropods and Stylommatophores (1 family each). In this class 2 orders represent 58.2% of the taxonomic richness. These are: Architaenioglossa (6 taxa), of which the Ampullariidae family is the most diversified (4 taxa) and the Basommatophores (5 taxa). With regard to Bivalves, the 3 taxa of this class belong to 2 families (Margaritiferidae and Sphaeriidae) grouped between 2 orders (Unionida and Venerida), of which the family of Sphaeriidae (2 taxa) is the most diversified.

B. Spatial Variations of Taxonomic Richness

The taxonomic richness of the snails sampled in the Upper-Bandama Reserve is also presented in Table I. Two Gastropods *Biomphalaria pfeifferi* (Planorbidae) and *Lanistes*

neavei (Ampullariidae) were common to all stations. Five (5) taxa are subservient to one station, of which: three (3): *Bulinus africanus*, *Gabbiella* sp. and *Pila occidentalis* at Nambyon Yayakaha A (NYA), located in the Nambyon downstream, *Clithon longispina* in the Bandama at Bandama Tortiya A (BTA), upstream and *Melanopsis* sp., at the middle course at the station Bandama Sinaïm A (BSA). The highest taxonomic richness was displayed at the middle course inside the reserve in the fluvial part of Bandama the BSA and BSB stations (Bandama Sinaïm A and B) and downstream outside the reserve the BB station (Bandama Badasso) with 14 taxa each. They are followed by Nambyon Yayakaha A (BYA), located downstream, inside the reserve (13 taxa). The lowest taxonomic richness was recorded at the middle course in the two pools with respectively 7 taxa in the Sinaïm pond (MS) and 4 taxa in the pond Vodougue Sinaïm (MVS).

The distribution of taxonomic richness according to the environments surveyed indicates that four (4) Gastropods: *Biomphalaria pfeifferi*, *Cleopatra guillemei*, *Lanistes neavei* and *Melanoides tuberculata* are common to the three habitats. They represent 18.18% of the global taxonomic wealth. Five (5) taxa of this taxonomic category, representing 22.72% of the global taxonomic richness, are located only in the Bandama River: *Bulinus forskalii*, *Clithon longispina*, *Helisoma* sp., *Lanistes nyassanus* and *Melanopsis* sp. On the

other hand, four (4) taxa subservient to the Nambyon River. These are: Gastropod snails (*Bulinus africanus*, *Gabbiella* sp., and *Pila occidentalis*) and *Pisidium abditum* (Bivalve).

The distribution of taxonomic richness along the upstream-downstream gradient indicates that the downstream of the

reserve is more diversified (19 taxa, including 2 Bivalves). However, upstream has the lowest value of taxonomic richness (14 taxa, including 2 Bivalves).

TABLE I. Taxonomic list of snails of Hydrosystems of the Upper Bandama Reserve from January 2018 to February 2019. * = accidental taxa; ** = accessory taxa; *** = constant taxa ; Pond = MS and MVS stations; Nambyon River = NYA and NYB Stations. Bandama = Stations BN; BTA; BTB; BSA; BSB ; BYA; BYB et BB.

Taxa	Upstream			Middle stream				Downstream				
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	MS	MVS	BB	BYA	BYB	NYA	NYB
<i>Margaritifera margaritifera</i>	*	**	**		***			*		**		***
<i>Pisidium abditum</i>											*	*
<i>Pisidium</i> sp.	***	**	*	*	**			*	***	***	***	**
<i>Lanistes ciliatus</i>	*			**	*	*	**	*				
<i>Lanistes neavei</i>	*	***	**	***	***	*	**	*	***	***	**	***
<i>Lanistes nyassanus</i>				*				*				
<i>Pila occidentalis</i>											*	
<i>Bellamya capillata</i>	***			**	**			**	*	*	*	***
<i>Bellamya crawshayi</i>	*		*	***	*			*		**	*	*
<i>Biomphalaria pfeifferi</i>	*	***	***	***	***	*	**	***	**	***	***	***
<i>Bulinus africanus</i>											*	
<i>Bulinus crystallinus</i>		*	*		*	*						
<i>Bulinus forskali</i>				*	*			*				
<i>Helisoma</i> sp.	*	*	*							*		
<i>Clithon longispina</i>		**										
<i>Gabbiella</i> sp.											*	
<i>Tomichia ventricosa</i>	*	*	*	***	*	*	***	*				
<i>Cleopatra guillemei</i>	***	***	***	**	**	*		**	***	***	***	**
<i>Melanopsis</i> sp.				*								
<i>Melanoides manguensis</i>				*	*			*			*	*
<i>Melanoides tuberculata</i>	***	***	***	**	*	*		***	***	***	***	***
<i>Bulinus natalensis</i>	*			**	*			*	*	*	*	*

C. Spatial Variations of Abundances

In all 12 sampling stations in the Upper Bandama Reserve, 762 individuals of aquatic molluscs were counted. The gastropods appeared the most abundant. They comprise 657 individuals, or 86.22% of the total population and dominate numerically by *Melanoides tuberculata*. As for Bivalves, they have 105 individuals and represent 13.78% of the organisms harvested. *Pisidium* sp. is the most abundant taxon of this class.

Figure 2 shows the distribution of mollusc numbers at the different habitat stations surveyed in the Upper Bandama reserve. In relation to the main taxa, those representing at least 10 % of the total number of organisms harvested at at least one of the 12 sampling stations. On the Bandama, *Melanoides tuberculata* (Thiaridae) is best represented. This taxon constitutes the bulk of the workforce at the BTA, BYB, BTB,

BSA, BYA, and BN. Stations with respectively 33.33, 26.67, 22.78, 32.69 and 29.41% of the workforce of these stations (figure 2a). On the other hand, *Biomphalaria pfeifferi* (Planorbidae) (19.35%) and *Tomichia ventricosa* (Tomichidae) (27.03%) make up the bulk of the crops at the BSB (Bandama Sinaim B) and BB (Bandama Badasso) stations respectively. Regarding the Nambyon River, *Melanoides tuberculata* (Thiaridae) is best represented with 30.76% of the NYB (Nambyon Yayakaha B) station. While, *Biomphalaria pfeifferi* (Planorbidae) 33.78% dominates numerically at the NYA (Nambyon Yayakaha A) station. In the case of ponds, *Biomphalaria pfeifferi* (Planorbidae) and *Tomichia ventricosa* (Tomichidae) dominate the malacological fauna of the ponds. They each represent 17.64% of the total workforce (figure 2b).

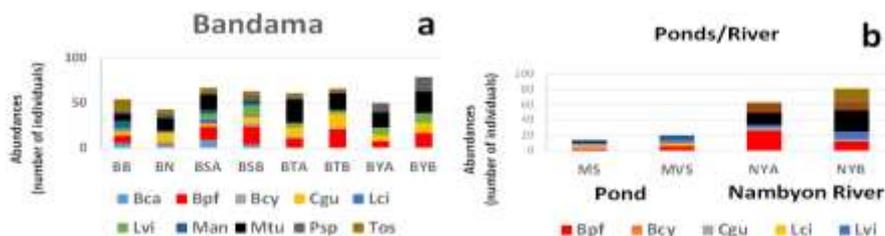


Fig. 2. Abundances of the ten (10) main taxa of aquatic molluscs in the Upper Bandama Reserve by habitat types. (a) at the stations on the Bandama River; (b) at stations in Nambyon River and pools.

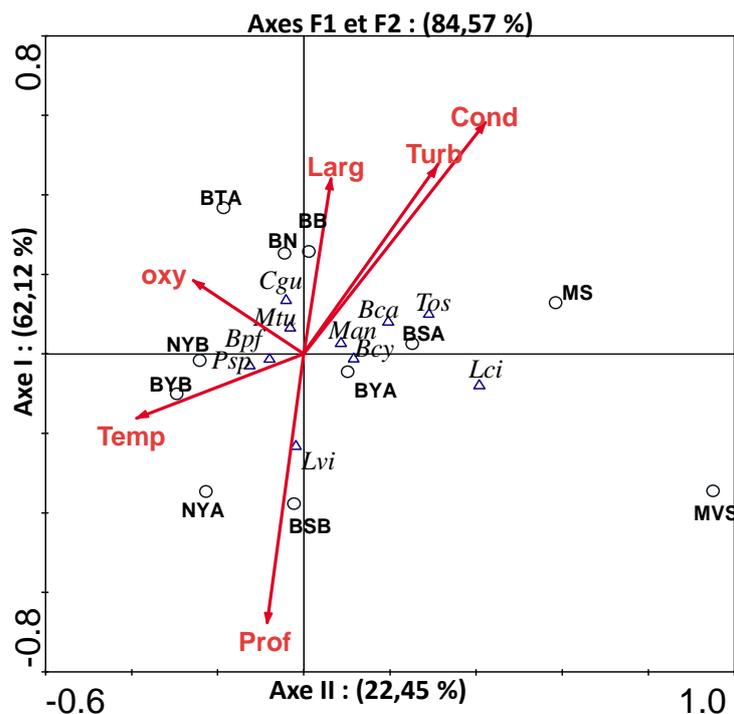
Bpf = *Biomphalaria pfeifferi*, **Bcy** = *Bulinus crystallinus*, **Cgu** = *Cleopatra guillemei*, **Lci** = *Lanistes ciliatus*, **Lvi** = *Lanistes neavei*, **Mtu** = *Melanoides tuberculata*, **Tos** = *Tomichia ventricosa*, **Psp** = *Pisidium* sp. , **Man** = *Melanoides manguensis*, **Bca** = *Bellamya capillata*.

D. Correlation between physico-chemical parameters and the distribution of snails

A redundancy analysis (RDA) was performed to establish a relationship between the ten main taxa sampled and the physicochemical parameters recorded at the different stations. The representativity of the first two axes is significant (p -value = 0.0096) and displayed a total of 84.57% of the information (Axis I, 62.12%; Axis II, 22.45%) (Fig. 3). On axis I (F1), *Biomphalaria pfeifferi* (Bpf) and *Pisidium* sp. (Psp) are negatively influenced by low values of dissolved oxygen and temperature. This transpands downstream into the Nambyon

River at Nambyon Yayakaha B (NYB) and into the Bandama River bed at Bandama Yayakaha B (BYB).

Axis II (F2) is weakly and positively correlated with the width of the wet bed. This gradient opposes the depth at sampling points strongly correlated to this same axis. This axis runs in the Bandama River the stations Bandama Tortiya A (BTA) and Bandama Nabadjakaha (BN). Then downstream the Bandama Badasso (BB) station located in the Bandama River outside the reserve. *Melanoides tuberculata* (Mtu) and *Cleopatra guillemei* (Cgu) are the taxa that characterize these stations. In contrast, in the Bandama River, Bandama Sinaim B (BSB) is located in the middle course. This station is characterized by *Lanistes neavei* (Lvi).



Redundancy analysis (RDA) of the ten (10) main taxa of aquatic molluscs and environmental variables.

Temp: Temperature, **Turb:** Turbidity, **Cond:** Conductivity, **Oxy:** Dissolved Oxygen. Width: Wet Width and Depth: Depth at Sampling Points. **Bpf** = *Biomphalaria pfeifferi*, **Bcy** = *Bulinus crystallinus*, **Cgu** = *Cleopatra guillemei*, **Lci** = *Lanistes ciliatus*, **Lvi** = *Lanistes neavei*, **Mtu** = *Melanoides tuberculata*, **Tos** = *Tomichia ventricosa*, **Psp** = *Pisidium* sp., **Man** = *Melanoides manguensis*, **Bca** = *Bellamyia capillata* Mares = MS and MVS stations; River = NYA and NYB Stations; Bandama = BN stations; BTA; BTB; BSA; BSB; BYA; BYB and BB.

IV. DISCUSSION

In general, the composition of the Malacological fauna of the Upper-Bandama reserve corresponds to that of the anthropogenic watercourses of the tropical regions of Africa (Edia, 2008, Foto *et al.*, 2011). From the point of view of taxonomic composition, 22 taxa were recited. Gasteropods are fairly well represented in terms of taxa (19 taxa), orders (7 orders) and families (10 families). The high diversity of Gastropods could be related to the water covered by aquatic plants and to the presence of rocky substrates and rock blocks on the Bandama River and the Nambyon river. Indeed, aquatic plants, rocky substrates, and rock blocks are an important component of the multi-level ecology of snails. In that they serve as sources of food and support for the growth of the

periphyton, the main food source of snails. In addition, they provide well-oxygenated spawning sites for breeding and provide shelter for various predators (Bony, 2008).

In addition, the diversity of gastropods collected during this study is explained by the efficiency and complementarity of the method and sampling techniques used, namely the combined use of the Van Veen dump and the troubleau fillet. These techniques have made it possible to explore a wide diversity of molluscan populations.

However, no Pulmonary of the genus *Potadoma* has been inventoried during the work of (Binder, 1957, Brown, 1979, Sellin *et al.*, 1980) in the region that is to say, upstream from Lake Kossou. is included in this taxonomic list. This

difference could be justified by the sampled habitat types and the areas surveyed.

With regard to the spatial distribution of abundances, *Melanoides tuberculata* (Thiaridae) predominantly dominates the malacological fauna in the Bandama River and the Nambyon River. This result could be explained by the rapid growth of this species by parthenogenesis (a mode of reproduction in which the egg develops without fertilization) and the depletion of resources (Pointier & McCullough, 1989, Pointier *et al.*, 1989). This gives it a competitive advantage over other local species of molluscs, particularly those of the family Planorbidae (Pointier, 2001). It is also responsible for the rarefaction and even the disappearance of these molluscs in certain habitats (Pointier & Jourdan, 2000, Pointier *et al.*, 2004). The negative influence of this so-called invasive species could explain the low abundance of other families of molluscs. More so, the absence of the pulmonary of the genus *Potadoma* in our samples. This dominance of *Melanoides tuberculata* in the river and river is also due to the fact that it is known as a species that does not have a high ecological requirement. It has the potential to spread in polluted environments as well as in good quality waters (Bony, 2008). *Melanoides tuberculata* is the intermediate host of some parasites, such as *Schistosoma mansoni*. As the reserve is basically a sanctuary, a refuge area for species, the strong presence of this invasive species could be a brake on a higher diversity of local malacological fauna.

V. CONCLUSION

The strong presence of the invasive species (*Melanoides tuberculata*) in the hydrosystems of the Haut-Bandama reserve could be a barrier to the high diversity of local malacological fauna. According to Pointier, 2001, this species is responsible for the rarefaction and even the disappearance of certain species of molluscs, particularly those of the family Planorbidae. Therefore, the need to adopt new conservation methods through the monitoring of the shellfish communities of the reserve is necessary. The integrated management of these communities in the spatio-temporal monitoring of the waters of the Haut-Bandama reserve is not such an innovative approach?

ACKNOWLEDGMENT

We are grateful to the "Office Ivoirien des Parcs et Réserves; OIPR" and its managing director for the support provided during this study. The assistance of technicians for their contribution to data collection is gratefully acknowledged.

REFERENCES

[1] Barbour M.T., & Gerritsen J. (1996). *Journal of the North American Benthological Society*, (3) 386 P.

[2] Binder, E. (1957). Mollusques aquatiques de Cote d'Ivoire. I-Gastéropodes. *Bulletin de l'Institut Fondamental de l'Afrique Noire*, Série A, 19 (1): 97-125.

[3] Bony K. Y. (2008). Biodiversité et écologie des mollusques gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive

Indoplanorbis exustus (Deshayes, 1834). *Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire*, 228 p.

[4] Brown D. S. (1979). Biogeographical aspects of African Freshwater gasteropods. *Malacologia*, 18: 79-102.

[5] Brown D.S. (2005). Freshwater Snails of Arica and their Medical Importance. *Edition Taylor and Francis Ltd, London*, 673 p.

[6] Carreti, J.C. & Loyer, Denis (2012) : Comment financer durablement le réseau d'aires protégées terrestres à Madagascar Apport de l'analyse économique ; 12p.

[7] Dejoux, C., Elouard, J. M., Forge, P. et Maslin, J. L. (1981). Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. *ORSTOM* 42, 178 p.

[8] De Moor I. J., Day J. A. & De Moor F. C. (2003 a et b). Freshwater invertebrates of southern Africa. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera and Lepidoptera. *WRC Report No. TT 214/03. Volume 8 : Insecta II*, 209 p.

[9] Edia O.E. (2008). Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire*, 171 p.

[10] Forcellini M., Mathieu C. & Merigoux S. (2011). Atlas des macro-invertébrés des eaux douces de l'île de la Réunion. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macro-crustacés et des invertébrés benthiques. Office de l'Eau de la Réunion – CNRS, 137 p.

[11] Foto M.S., Zebaze T.S.H., Nyamsi T.N.L., Ajeegah G.A. & Njiné T. (2011). Evolution Spatiale de la Diversité des Peuplements de Macroinvertébrés Benthiques dans un cours d'eau Anthropisé en Milieu Tropical (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 55(2): 291-300.

[12] Guillaumet, J. L., & Adjahoun E. (1971). La végétation. In : Avenard, J.M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulou, J., Toucheboeuf, P., Guillaumet, J. L., Adjahoun, E. et Perraud, A. Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. *Memoires. ORSTOM n° 50. ORSTOM, Paris : 156-264*.

[13] Halle B., & Bruzon v. (2006). Profil environnemental de la Cote d'Ivoire. Rapport final. *Consortium AGRIFOR consult*. 127 p.

[14] Mary N. (2000). Guide d'identification des macro-invertébrés benthiques des rivières de la Nouvelle-Calédonie. Ministère de l'Environnement, Service de l'Eau (Paris), Province Nord et Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 92 p.

[15] Moisan J., & Pelletier L. (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.

[16] Office ivoirien des parcs et réserves (2015) : rapport d'activités trimestriel. Abidjan, p. 21

[17] Pointier J.P. & McCulloch F. (1989). Biological control of the snail hosts of *Schistosoma mansoni* in the Caribbean area using *Thiara* spp. *Acta Tropica*, 46: 147-155.

[18] Pointier J.P., Guyard A. & Mosser A. (1989). Biological control of *Biomphalaria glabrata* and *B. straminea* by the competitor snail *Thiara tuberculata* in a transmission site of schistosomiasis in Martinique, French West Indies. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 83: 263-269.

[19] Pointier J. P. (2001). Invading freshwater snails and biological control in Martinique Island, French West Indies. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 96: 67-74.

[20] Pointier J. P. & Jourdan J. (2000). Biological control of the snail hosts of schistosomiasis in areas of low transmission: the example of the Caribbean area. *Acta Tropica*, 77: 53-60.

[21] Pointier J. P., Facon B., Jarne P. & David P. (2004) Les thiaridés, des Gastéropodes envahisseurs des eaux douces tropicales. *Xenophora*, 104 : 14-20.

[22] Sellin B., Simonkovich E., & Roux J. (1980). Étude de la répartition des mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes en Afrique de l'Ouest. *Médecine Tropicale*, 40 (1): 31- 39.

[23] Tachet H., Richoux P., Bournaud M., & Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. *CNRS 2^{ème} Editions, Paris* 588 p.



E-ISSN: 2320-7078

P-ISSN: 2349-6800

JEZS 2019; 7(6): 330-335

© 2019 JEZS

Received: 22-09-2019

Accepted: 24-10-2019

Kressou Armand

Laboratory of Biodiversity and
Tropical Ecology, University
Jean Lorougnon Guédé, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Bony Kotchi Yves

Laboratory of Biodiversity and
Tropical Ecology, University
Jean Lorougnon Guédé, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Allouko Jean-Renaud

Laboratory of Biodiversity and
Tropical Ecology, University
Jean Lorougnon Guédé, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Djene Kouakou Roland

Laboratory of Biodiversity and
Tropical Ecology, University
Jean Lorougnon Guédé, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Corresponding Author:

Kressou Armand

Laboratory of Biodiversity and
Tropical Ecology, University
Jean Lorougnon Guédé, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Biosedimentary index (IBS) and biological quality of the water courses in the upper Bandama fauna and flora reserve (North-center Côte d'Ivoire)

Kressou Armand, Bony Kotchi Yves, Allouko Jean-Renaud and Djene Kouakou Roland

Abstract

This study aimed to assess the biological quality of the Bandama watercourse in the Upper Bandama Fauna and Flora Reserve. Macro-invertebrates were sampled between January 2018 and February 2019 using a kick net and Van Veen grab on twelve stations. A total of 3922 individuals of 199 taxa belonging to 8 classes, 27 orders and 87 families were collected. Insects appeared most abundant and diverse with 80.40% of the taxonomic richness and 66% of the different classes represented. Based on the values of the Biosedimentary Index (IBS), the station (MS) located at the middle stream in the pond has water of «fair» biological quality. On the other hand, all other stations have «good» organic quality water.

Keywords: Biosedimentary index, diversity, biological quality, upper bandama fauna and flora reserve, Ivory Coast

Introduction

The hydrosystems of the Upper-Bandama fauna and flora reserve (RFFHB) are subject to strong anthropogenic pressures, including the location of agro-food industries upstream of the reserve, intensive agriculture, artisanal fishing at the site. The use of pesticides and traditional gold panning^[1, 2]. Moreover, the unstable socio-political situation that prevailed in Côte d'Ivoire between 2002 and 2011 accentuated the clandestine settlement of populations. Hence the increase in the invasion of these media by aquatic plants and algae, inducing their enrichment in suspended matter^[3].

Today, with the Ivorian State taking over this reserve through the Ivorian Office of Parks and Reserves (OIPR), it is gradually setting up, quality monitoring systems water from the reserve. These systems include methods based on monitoring biological communities, including the aquatic macro-invertebrates that live there. These organisms are used as indicators of the quality of aquatic environments because of their sedentary nature, their great diversity and their variable tolerance to pollution and habitat degradation^[4]. In addition, they reflect particularly well the ecological status and integrity of aquatic environments by reacting very quickly to changes in their environment. Finally, they are an essential component of the food web of aquatic ecosystems^[5, 6] and actively participate in the transformation of organic matter. The presence or the absence of a species, the richness and the specific diversity, are thus indices of a good or bad quality of the waters. The reserve has benefited from very few studies, especially those concerning its benthic macrofauna. There fore, the implementation of such a monitoring system relies entirely on the knowledge of this aquatic component necessary to assess the state of biological integrity of the aquatic environments of this reserve.

This assessment using biological indices is based on the presence or absence of some bioindicator taxa and the extent of changes observed in them. These indices apply to both lotic and luteal facies systems. They provide complementary information since they aim to characterize disturbances by their effects on living communities (benthic macroinvertebrates) in place. They are also more integrated because they reflect both the characteristics of the water.

Thus, the purpose of this publication is to assess the biological quality of the water at the sampling stations of this reserve through the biological index IBS (the biosedimentary index).

Materials and Methods

Study Site

Established by decree N ° 73-133 of the 21/03/73, the Upper-Bandama fauna and flora reserve (RFFHB) covering 123 km² is located in the North-center of Côte d'Ivoire, between, 8° 10' 25,3" and 8° 38' 25,01" N and 5° 12' 14,1" and 5° 37' 55,3" W. The RFFHB is crossed from north to south by the white Bandama River for a distance of 160 km, or 15% of its total length. This zone is subject to a sub-humid tropical climate, sometimes referred to as sub-Sudanian transition [7]. It is characterized by two seasons, one dry, from November to March, accented by the harmattan between January and February and the other rainy, covering the period from April to October. Heavy rainfall and a larger flood recorded in September with a flow of 300 m³/s. The average annual rainfall is about 1230 mm. Other climates characteristics are relatively large thermal amplitudes are of the order of 26.6 °C and a humidity ranging from 35 to 79%.

Sampling Procedure

During this study, eight (8) seasonal sampling campaigns were conducted between January 2018 and February 2019 in

the reserve, at the frequency of four (4) sampling campaigns per season. A total of twelve (12) sampling stations were visited, of which eight (8) are arranged along the Bandama River longitudinal gradient, two (2) of which are outside the reserve respectively upstream under the influence of anthropogenic activities and downstream in a relatively well-preserved area. Of the four (4) other stations, two (2) are located in the Nambyon River and two (2) ponds (Fig. 1).

All stations were sampled with a kick net and Van Veen Grab. Overall, 36 sampling sites were defined. The samples were collected at each site for two to three minutes by submerging the kick net and dragging it into the water column. The net has also been banged against the bottom substrate to dislodge and collect sediment organisms. The survey was also done using a Van Veen grab.

At each site, three (03) sediment samples corresponding to a total area of 0.15 m² were taken. *In situ*, the samples were washed on a 500 µm mesh vacuum screen and fixed with 5% formalin. In the laboratory, the organisms were sorted, identified and counted. The identification was made at the lowest taxonomic level by combining the appropriate literature [8-17, 6].

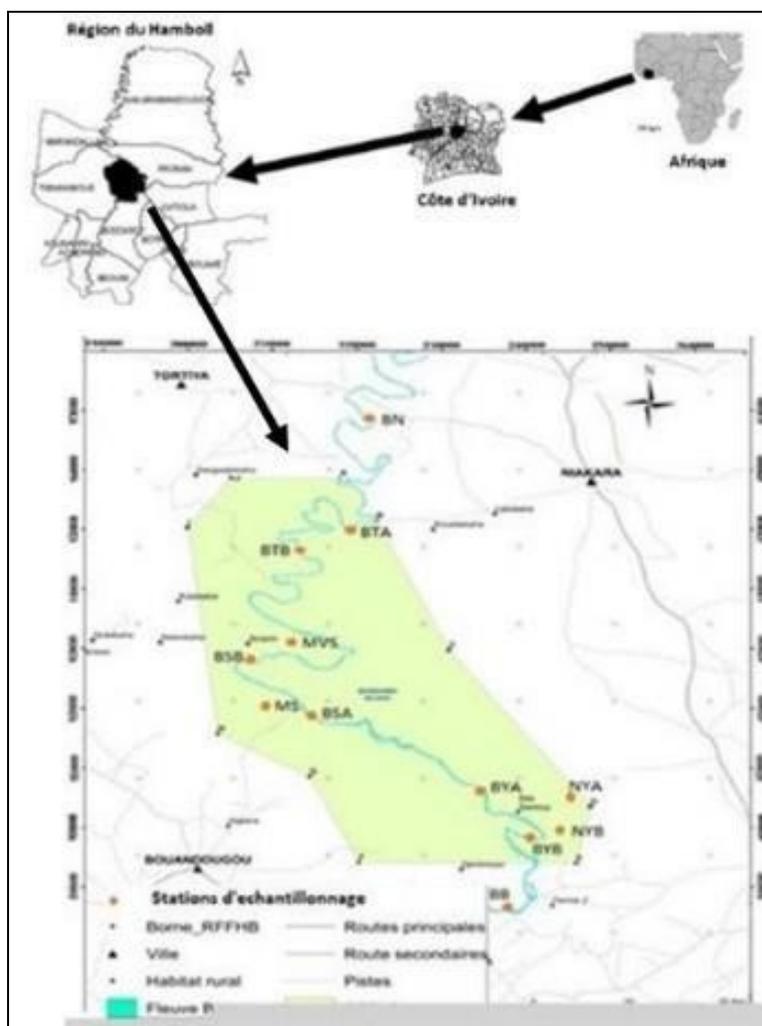


Fig. 1: Location of the sampling stations in the Upper-Bandama Fauna and Flora Reserve (RFFHB). pond (MS and MVS); River (NYA and NYB); Bandama - (BTA, BTB; BSA; BSB; BYA; BYB (located in the reserve), BN and BB stations (located outside the reserve).

Biosedimentary Index (IBS)

The Biosedimentary Index (IBS) was performed to assess mechanical-type disturbances generated by fine sedimentary particles (sand, silt, clay) in streams draining ultra-basic-dominant land observed on New Caledonia [18]. The method

refers to a set of indicator taxa to which a score has been assigned based on their sensitivity to their presence. The biosedimentary index (IBS) on a station is obtained by dividing the sum of the scores of the indicator taxa present by the total number of indicator taxa.

$$I = n$$

$$IBS = 1/n \sum S_i$$

$$I = 1$$

With n: number of indicator taxa; Si: taxon i score for the calculated index.

The scores values of this index are between 1 and 10, with the most sensitive taxa having maximum scores. The index score theoretically varies between 0 (no indicator taxon present) and 10 (all indicator taxa present have a score of 10). In reality, the biosedimentary index rarely exceeds the value of 7, 5. The scores currently used for this index are listed in Table I.

Table 1: Biosedimentary Index Indicator Taxa Sensitivity Scores (IBS) [19].

Indicator Taxa		Score	Scores		Score
Insects		Isostictidae	9	Némertiens	6
Lépidoptera	4	Lestidae	5	Oligochètes	7
Collemboles	4	Libellulidae	4	Crustaces	
Ephemeroptera		Argiolestidae	8	Amphipodes	3
Baetidae	5	Synthemistidae	8	Isopode	3
Leptophlebiidae		Diptera		Atyidae	7
Amoa	9	Blephariceridae	8	Grapsidae	5
<i>Celiphlebia</i>	7	Ceratopogonidae	2	Hymenosomatidae	5
<i>Coula</i>	10	Forcipomyiinae	5	Palaemonidae	9
<i>Fasciamirus</i>	6	Chironomini	3	Heteroptera	
Kariona	10	Chironomus	4	Belostomatidae	5
Kouma	10	Corynoneura	6	Corixidae	5
<i>Lepegenia</i>	4	Harrisius	4	Gerridae	9
<i>Lepeorus</i>	7	Orthocladiinae	2	Hebridae	5
N. genre 4	9	Pseudochironomini	5	Hydrometridae	7
N. genre A	10	Tanypodinae	3	Leptopodidae	5
N. genre B	10	Tanytarsini	4	Mesoveliidae	4
<i>Notachalcus</i>	8	Cecidomyiidae	3	Notonectidae	10
Oumas	4	Culicidae	9	Ochteridae	5
Ounia	8	Dixidae	5	Pleidae	5
<i>Papposa</i>	10	Dolichopodidae	5	Saldidae	5
Paraluma	4	Empididae	4	Veliidae	9
<i>Peloracantha</i>	10	Ephydriidae	6	Planipennes	5
<i>Poya</i>	9	Limoniidae	6	Molluscs Gastropodes	
<i>Simulacala</i>	7	Muscidae	5	Gyraulus	10
<i>Tenagophila</i>	7	Psychodidae	8	Physastra	10
Tindea	7	Rhagionidae	5	Physa	3
Trichoptera		Simuliidae	5	Pseudosuccinea	3
Ecnomidae	4	Stratiomyidae	4	Melanoides	4
Helicophidae	10	Syrphidae	3	Melanopsis	9
Helicopsychidae	9	Tabanidae	6	Thiara	3
Hydrobiosidae	7	Tanyderidae	5	Hydrobiidae	4
Hydropsychidae	5	Coléoptera		Microbenthos	
Hydroptilidae	2	Cucurionidae	7	Ostracodes	9
Kokiriidae	9	Dytiscidae	3	Copépodes	5
<i>Gracilipsodes</i>	8	Gyrinidae	5	Hydracariens	4
<i>Oecetis</i>	6	Hydraenidae	5		
<i>Symphitoneuria</i>	6	Hydrophilidae	8		
<i>Triplectides</i>	7	Noteridae	5		
A. genr. Leptoceridae	7	Scirtidae /Helodidae	3		
Philopotamidae	7	Staphylinidae	3		
Polycentropodidae	8	Haliplidae	5		
Odonatoptera		Cnidaires (Hydres)	3		
Aeshinidae	5	Plathelminthes	9		
Coenagrionidae	5	Achètes	10		
Corduliidae	10	Nématodes	3		

The biological quality classes of the waters recorded in Table II are proposed [19], to assess the water quality at each station. In addition, color classes are assigned to each water quality

class to make it easier to read the representation on a quality map [19].

Table 2: Biosedimentary Index Quality Classes (IBS).

IBS Values	Quality	Colors
IBS > 6,50	Excellent	Blue
5,75 < IBS ≤ 6,50	Good	Orange
5,00 < IBS ≤ 5,75	Fair	Yellow
4,25 < IBS ≤ 5,00	Bad	Green
IBS ≤ 4,35	Very bad	Red

Results

Global Community Analysis

In this study, 3922 aquatic macro-invertebrates individuals belonging to 08 classes, 27 orders, 87 families and 199 taxa were counted in the twelve sampling sites. Of the eight

classes of macro-invertebrates inventoried, Insects, Gastropods and to a lesser extent Clitellates appeared the most abundant and diverse. Insects account for 160 taxa, or 80.40% of the total taxonomic wealth and 2590 individuals, or 66% of the total number of organisms collected. Gastropods comprise 19 taxa, or 9.55% of the total number of taxa and 657 individuals, or 17% of all organisms. Clitellates with 6 taxa and 268 individuals account for 3.02% of total taxonomic wealth and 7% of the abundance of organisms, respectively. Insects dominate by *Anisops* sp. (Hemiptera), Gastropods by *Melanoides tuberculata* (Thiaridae) and Clitellates by *Ophidonais serpentina* (Haplotaxida) (Fig 2).

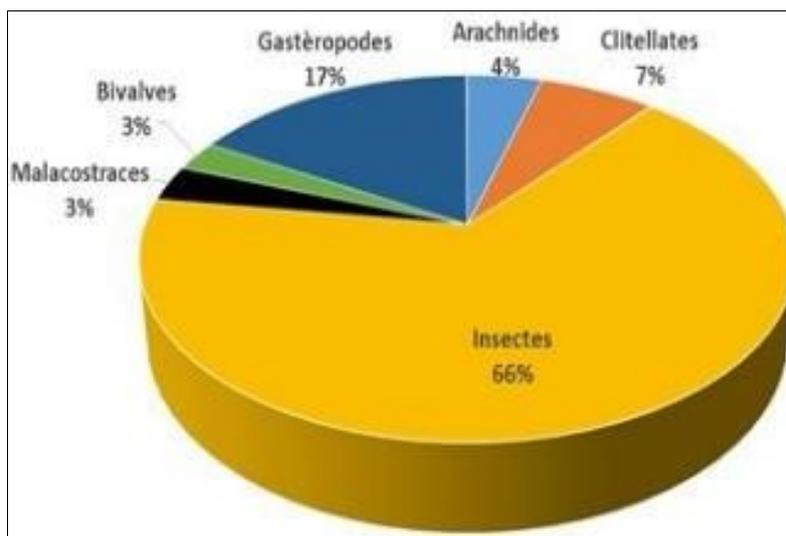


Fig 2: Relative abundance of macro-invertebrates classes harvested from the Upper Bandama Fauna and Flora Réserve.

Biological quality of water at sampling stations in Upper Bandama Fauna and Flora Reserve

Table II illustrates the breakdown by indicator of the taxa considered in the calculation of the biosediment index (IBS) and the biological quality of the water at these stations. Of the 199 taxa inventoried in this study, ninety-seven (97) proved to be indicators for the IBS index. The largest numbers of indicator taxa were found at the middle course in the Bandama River at the BSA station and the upper stream of Nambyon River (NYA). These stations displayed 50 and 48

indicator taxa respectively. On the other hand, the downstream station (BYA) on the Bandama River has the lowest number of indicator taxa (24 taxa). Over all, the values of the biosedimentary index (IBS) between 5.71 in the pond (MS station) and 6.27 on the Bandama river (BTB station) indicate that the waters of the stations prospected in the different courses of water are of « good » biological quality. With the exception of the median course of the pond (MS) whose minimum value (5.71) of the IBS index shows that it has a water of «Fair » biological quality.

Table 2: IBS Index Data for Sampling Stations.

	Bandama River						Pond		River			
	Up Stream			Middle Stream		Down Stream			Middle Stream	Down Stream		
	BN	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB	BB	MS	MVS	NYA	NYB
Total indicator taxa	36	37	35	50	46	24	31	43	31	47	48	38
Total scores	113	130	138	152	134	97	95	123	137	149	140	139
IBS Index	5,95	6,19	6,27	5,85	5,83	6,06	5,94	5,86	5,71	5,96	6,08	5,79
Quality Classes	B	B	B	B	B	B	B	B	P	B	B	B

Pond = MS and MVS stations; Nambyon River = NYA and NYB Stations; Bandama River= BTA stations; BTB; BSA; BSB; BYA and BYB (located inside the reserve), BN and BB stations (located outside the reserve). IBS indices = Biosedimentary indices. B = «good» biological quality; P = «Fair» biological quality.

Discussion

In general, the faunistic composition of aquatic macro invertebrates of the Upper Bandama Fauna and Flora Reserve was dominated by Insects. This observation has also been made by some authors [20-25] in anthropogenic water courses of Africa tropical regions.

The high diversity and abundance of Insects and Gastropods may be related to the coverage of reservoirs by aquatic plants

and to the presence of bedrock on the Bandama River and the Nambyon River. In fact, aquatic plants and rocky substrates are an important component of the ecology of Insects and Gastropods at several levels. In the sense that they serve as sources of food and support for the growth of the periphyton, main food source of gastropods. In addition, they provide well-oxygenated spawning sites for breeding and provide shelter for various predators [26].

Regarding the biosedimentary index (IBS), the reference indicator taxa scores were used to determine the biological quality of the water at the different stations of the reserve. The number of reference indicator taxa recommended by Mary, 2015 [19] for the calculation of this index is 56 taxa. During this study, 97 indicator taxa were recorded in all stations. This difference in numbers of indicator taxa could be due to sampling methods, sampled substrates, and environmental conditions. In all stations this index is between 5.71 (MS station) and 6.27 (BTB station). These values generally suggest that the waters of the sampling stations in the reserve are of «good» biological quality. However, on the middle course ponds the station (MS) which records the minimum value of the IBS index at a water of «fair» biological quality. The «fair» biological quality of the water in this pond could be explained by its stagnation, its slow coverage by the surrounding canopy (0 to 5%). Indeed by (Barendregt & Bio (2003); Gonçalves Jr. *et al.* (2006)) [27, 28] the speed of the current of the water favors the oxygenation of the water. For these authors, the canopy, by shadowing a body of water causes a drop in temperature which in turn leads to a decrease in the solubility of the gases and thus maintains oxygenation. Each of these variables plays a direct or indirect role in the entomological composition and quality of wetlands. As these conditions were not met at this station (MS), this could explain the development and proliferation of pollutant-resistant indicator taxa such as Chironomidae and Naididae. This to the detriment of pollen-sensitive taxa such as individuals of the complex (ET) and Coleoptera, who preferred running waters [29]. These organisms are sensitive to water pollution.

In addition, the «fair» biological quality of the water in this pond is related to the rapid decline in dissolved oxygen that occurs during the dry season (November to March) when salinity reaches its maximum. This phenomenon is the result of the degradation of the organic matter produced by the strong phytoplanktonic surge of the wet season (April to October) which is linked to the nutrient intake in this environment. Thus, the benthic organisms that live on the sediment of this pond are well adapted to desiccation phenomena. They are able to survive three to five months of dewatering [30]. The colonization and recolonization of pools by these benthic organisms can be explained as much by their ability to resist adverse conditions [31] as by their possible migrations (active and passive) between environments [32].

This observation has already been made by Oyeneke, 1979 [30] in the Lagos Lagoon, where the Gastropod *Melaniidé pachyneania* able to survive three to five months of drying out. In addition, the «good» biological quality of the water at the stations on the Bandama River and the Nambyon River was due to the constant renewal of their waters.

Conclusion

Given current and future mining operations (gold and diamonds) in the region. It would be wise to extend the characterization of water quality to the entire hydrographic network of this reserve in order to take stock of aquatic macro-invertebrates present. These are essential for the assessment of the ecological health of these aquatic environments. Also, in the long term, it would be visible to set up a program of bio-surveillance of these rivers to allow the design of a local biotic index, based on the populations of macro-invertebrates specific to Ivory Coast. Moreover, this will make it possible to better control the different impacts of

pollution on the wetlands of this reserve.

Acknowledgment

We are grateful to the "Office Ivoirien des Parcs et Réserves; OIPR" and its managing director for the support provided during this study. The assistance of Captain N'DRI N'dri Ehie and technicians for their contribution to data collection is gratefully acknowledged.

Références

1. Carreti JC, Loyer D. Comment financer durablement le réseau d'aires protégées terrestres à Madagascar Apport de l'analyse économique, 2012, 12p.
2. OIPR. rapport d'activités trimestriel, Office Ivoirien des Parcs et Réserves. Abidjan, 2015, p21.
3. Halle B, Bruzon V. Profil environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final. Consortium AGRIFOR consult, 2006, 127p.
4. Moisan J, Pelletier L. Guide de surveillance biologique basée sur les macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 2008, 86p.
5. Barbour MT, Gerritsen J. Subsampling of Benthic Samples: A Defense of the Fixed-Count Method. Journal of the North American Benthological Society. 1996; 15(3):386-391pp.
6. Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Polatera P. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS 2^{ème} Editions, Paris, 2006, 588 p.
7. Guillaumet JL, Adjanohoun La végétation E. In : Avenard, J.M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulou, J., Toucheboeuf, P., Guillaumet, J. L., Adjanohoun, E. et Perraud, A. Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mém. ORSTOM n° 50. ORSTOM, Paris, 1971, 156-264.
8. Brown DS. Freshwater Snails of Arica and their Medical Importance. Edition Taylor and Francis Ltd, London, 2005, 673 p.
9. Dejoux C, Elouard JM, Forge P, et Maslin JL. Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. ORSTOM 42, 1981, 178 p.
10. Mary N. Guide d'identification des macro-invertébrés benthiques des rivières de la Nouvelle-Calédonie. Ministère de l'Environnement, Service de l'Eau (Paris), Province Nord et Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 2000, 92p.
11. De Moor IJ, Day JA, De Moor FC. Freshwater invertebrates of southern Africa. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera and Lepidoptera. WRC Report No. TT 214/03. 2003; 8(Insecta II):209p.
12. Forcellini M, Mathieu C, Merigoux S. Atlas des macro-invertébrés des eaux douces de l'Île de la Réunion. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'Île de la Réunion à partir des poissons et macro-crustacés et des invertébrés benthiques. Office de l'Eau de la Réunion – CNRS, 2011, 137 p.
13. Durand JR, Lévêque C. Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne (Tome II). Paris, France: ORSTOM, 1991, 483p.
14. Barbe J, Lafont M, Mouthon J, Philippe M. Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau. Rapport technique Agence de l'Eau RMC-Cemagref, Lyon, 2003,

- 24p.
15. Tachet H, Bournaud M, Richoux P. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). 3ème Edition, 1987, 155p.
 16. Tachet H, Bournaud M, Richoux P, Usseglio-Polatera P. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. Cnrs (Eds), Paris, 2000, 588p.
 17. Tachet H, Richoux P, Bourneaux M, Usseglio-Polatera P. Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. Cnrs (Eds), 2003, 587p.
 18. Mary N, Hytec. Mise en place d'un indice biologique spécifique aux terrains miniers en Nouvelle-Calédonie. Province Sud, Province Nord, Davar Nouvelle-Calédonie, 2007, 120 p.
 19. Mary N. Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Biosédimentaire (IBS) : guide méthodologique et technique, DAVAR NC / OEIL / CNRT Nickel & son environnement, 2015, 78 p.
 20. Edia OE. Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2008, 171 p.
 21. Foto MS, Zebaze TSH, Nyamsi TNL, Ajeegah GA, Njiné T. Evolution Spatiale de la Diversité des Peuplements de Macroinvertébrés Benthiques dans un cours d'eau Anthropisé en Milieu Tropical (Cameroun). European Journal of Scientific Research. 2011 ; 55(2):291-300.
 22. Camara IA. Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 2013, 151 p.
 23. Nyamsi TNL, Foto MS, Zébazé TSH, Onana FM, Adadedjan D, Tchakonté S *et al.* Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) Pour L'évaluation Biologique de la Qualité des Eaux de Cours D'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. European Journal of Scientific Research. 2014; 123:412-430.
 24. Kaboré I, Moog O, Alp M, Guenda W, Koblinger T, Mano K *et al.* Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semi-arid streams of Burkina Faso, Hydrobiologia, 2015, 20 p.
 25. Tchakonté S. Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD. Université de Yaoundé, 2016, 200 p.
 26. Bony KY. Biodiversité et écologie des mollusques gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834). Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2008, 228 p.
 27. Barendregt A, Bio AMF. Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters. Ecological Modelling. 2003; 160:205-17.
 28. Gonçalves Jr, JF, França JS, Medeiros AO, Rosa CA, Callisto M. Leaf Breakdown in a Tropical Stream. International Journal of Hydrobiology. 2006; 91:164-177.
 29. Lalèyé P, Chikou A, Philipart J-C, Teugels GG, Vandewalle P. Étude de la diversité ichthyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'ouest). Cybium. 2004 ; 28(4):329-339.
 30. Oyeneke JA. The Ecology of the genus *Pachymelania* in Lagos lagoon. Archive Hydrobiologie. 1979 ; 86(4):515-522.
 31. Betterton C, Ndifon G, Tan R. Schistosomiasis in Kano State, Nigeria. Field studies on estivation on *Bulinus rohlfsi* (Clessin) and *B. globosus* (Morelet) and their susceptibility to local strains of *Schistosoma haematobium* (Bilharz). Ann Trop. Med. Parasit. 1988; 82:571-579.
 32. Madsen H, Frandsen F. The spread of fresh water snails including those of medical and veterinary importance. Acta Trop. 1989; 46:139-149.

RÉSUMÉ

Les milieux aquatiques de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFFHB), située dans le centre-nord de la Côte d'Ivoire, font face aux impacts d'activités anthropiques (agriculture extensive, orpaillage clandestin et pêche clandestine). La présente étude a pour objectif de déterminer l'état d'intégrité écologique des eaux aux stations d'échantillonnage de la RFFHB. Huit campagnes d'échantillonnage ont été réalisées à un rythme saisonnier entre Janvier 2018 et février 2019, selon le gradient longitudinal du fleuve. Les échantillons ont été récoltés à l'aide d'un filet troubleau (1 m² de surface échantillonnée) et d'une benne Van Veen (0,15 m² de sédiment par échantillon). L'inventaire a permis de dénombrer 199 taxons appartenant à 84 familles, 26 ordres et 8 classes. Les Insectes et les Gastéropodes dominent majoritairement la macrofaune de la Réserve. La composition faunistique des Insectes est dominée par *Anisops* sp. (108 individus). Chez les Gastéropodes, *Melanoides tuberculata* (174 individus) et *Biomphalaria pfeifferi* (145 individus) sont les espèces les plus abondantes. *Ophidonais serpentina* a été enregistré comme espèce constante dans l'ensemble des stations. L'abondance relative des principales espèces indique que *Melanoides tuberculata* domine largement la communauté de macroinvertébrés aquatiques des stations situées dans le fleuve Bandama et de la rivière Nambyon. Tandis que, *Ophidonais serpentina* est numériquement plus élevé dans les mares. L'Analyse de Redondance (RDA) suggère que la conductivité influence significativement la distribution des macroinvertébrés dans les eaux de la Réserve. La qualité écologique des eaux sur les stations d'échantillonnage dans les milieux aquatiques de la Réserve indique des eaux allant de mauvais à bonne qualité. Cependant, la forte corrélation positive significative enregistrée entre les métriques utilisées montre quelles pourraient être adaptées pour évaluer la qualité écologique des milieux aquatiques de la Réserve.

Mots-clés : Inventaire, Diversité, Macroinvertébrés aquatiques, Intégrité écologique, Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The aquatic environments of the Haut-Bandama Fauna and Flora Reserve (RFFHB), located in north-central Côte d'Ivoire, face the impacts of human activities (extensive agriculture, illegal gold panning and illegal fishing). The objective of this study is to determine the state of ecological integrity of the waters at the RFFHB sampling stations. Eight sampling campaigns were carried out on a seasonal basis between January 2018 and February 2019, depending on the longitudinal gradient of the river. Samples were collected using a troubleau net (1 m² of sample area) and a Van Veen grab (0.15 m² of sediment per sample). The inventory identified 199 taxa belonging to 84 families, 26 orders and 8 classes. Insects and Gastropods predominantly dominate the macrofauna of the Reserve. The faunistic composition of Insects is dominated by *Anisops* sp. (108 individuals). Among Gastropods, *Melanoides tuberculata* (174 individuals) and *Biomphalaria pfeifferi* (145 individuals) are the most abundant species. *Ophidonais serpentina* was recorded as a constant species at all stations. The relative abundance of the main species indicates that *Melanoides tuberculata* largely dominates the aquatic macroinvertebrate community of the stations located in the Bandama River and the Nambyon River. While, *Ophidonais serpentina* is numerically higher in ponds. The Redundancy Analysis (RDA) suggests that conductivity significantly influences the distribution of macroinvertebrates in the waters of the Reserve. The ecological quality of the water at the sampling stations in the aquatic environments of the Reserve indicates water ranging from poor to good quality. However, the strong significant positive correlation recorded between the metrics used shows that they could be adapted to assess the ecological quality of the aquatic environments of the Reserve.

Keywords: Inventory, Diversity, Aquatic macroinvertebrates, Ecological integrity, Haut-Bandama Fauna and Flora Reserve, Ivory Coast.