



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2022-2023

N° D'ORDRE :

.....

CANDIDAT

Nom : Zamblé

Prénoms : Bi Tah Thiolien

THESE DE DOCTORAT

Mention : Ecologie, Biodiversité et Evolution

Spécialité : Hydrobiologie

**Structure du réseau trophique de l'ichtyofaune
du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et
de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord de la
Côte d'Ivoire)**

JURY

Président : M. KOFFI Béné Jean-Claude, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé ; Daloa

Directeur : M. BONY Kotchi Yves, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé ; Daloa

Rapporteur : M. KONAN Kouassi Sylvain, Maître de Recherche,
Centre de Recherches Océanologiques ; Abidjan

Examineurs : M. BERTE Siaka, Maître de Conférences,
Université Félix Houphouët BOIGNY ; Abidjan

M. KOUAME Kouamé Martin, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé ; Daloa

Soutenu publiquement
le 24 juin 2023

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	vii
AVANT-PROPOS	viii
REMERCIEMENTS	ix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xii
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES FIGURES	xv
LISTE DES ANNEXES	xix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITES	6
1.1. MILIEU D'ETUDE	7
1.1.1. Situation géographique de la RFF-HB.....	7
1.1.2. Géologie et géomorphologie	8
1.1.3. Végétation.....	8
1.1.4. Sols.....	9
1.1.5. Climat.....	9
1.1.6. Hydrographie	10
1.1.7. Populations et activités anthropiques environnantes	11
1.2. DONNEES BIOTIQUES DU FLEUVE BANDAMA.....	12
1.2.1. Communautés planctoniques.....	12
1.2.1.1. Phytoplancton	12
1.2.1.2. Zooplancton	12
1.2.2. Périphyton.....	13
1.2.3. Macroinvertébrés.....	13
1.2.3.1. Crustacés	13
1.2.3.2. Insectes	13
1.2.3.3. Mollusques	13
1.2.4. Faune ichtyologique	14
1.3. ECOLOGIE ALIMENTAIRE DES POISSONS ET RESEAU TROPHIQUE.....	16
1.3.1. Ecologie alimentaire des poissons	16
1.3.1.1. Régimes alimentaires.....	16
1.3.1.2. Stratégies alimentaires.....	17

1.3.1.3. Compétitions intra et inter spécifiques	18
1.3.2. Réseaux trophiques	18
1.3.2.1. Contrôle « top-down » du réseau trophique.....	19
1.3.2.2. Contrôle « bottom-up » du réseau trophique	20
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	21
2.1. MATERIEL.....	22
2.1.1. Matériel biologique	22
2.1.2. Appareils de mesure des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques.....	22
2.1.3. Matériel d'échantillonnage de l'ichtyofaune et d'analyse des contenus stomacaux ...	23
2.2. METHODES	24
2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage.....	24
2.2.2. Description des stations d'échantillonnage	26
2.2.2.1. Station BTA	26
2.2.2.2. Station BTB.....	27
2.2.2.3. Stations BSA.....	28
2.2.2.4. Stations BSB	28
2.2.2.5. Stations BYA	29
2.2.2.6. Stations BYB	30
2.2.3. Collecte des données abiotiques et biotiques	31
2.2.3.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau	31
2.2.3.2. Mesure des paramètres hydromorphologiques	31
2.2.3.3. Echantillonnage, identification et mensuration des poissons	32
2.2.3.4. Analyse des contenus stomacaux.....	33
2.2.4. Analyse du peuplement ichtyologique.....	34
2.2.4.1. Richesse spécifique.....	34
2.2.4.2. Fréquence d'occurrence (<i>F</i>)	35
2.2.4.3. Similarités taxonomiques entre les stations	35
2.2.4.4. Profil écologique.....	35
2.2.4.5. Statut de conservation et vulnérabilité	37
2.2.4.6. Abondance relative (<i>N</i>)	38
2.2.4.7. Diversité spécifique	38
2.2.4.7.1. Indice de diversité de Shannon (<i>H'</i>)	38

2.2.4.7.2. Indice d'équitabilité (E) de Piélou	39
2.2.4.8. Détermination des paramètres de croissance du peuplement de poissons	39
2.2.4.8.1. Structures en tailles	39
2.2.4.8.2. Relations longueurs-poids	40
2.2.4.9. Caractérisation du régime alimentaire.....	41
2.2.4.9.1. Pourcentages d'occurrences (F)	41
2.2.4.9.2. Pourcentages pondéraux (P)	41
2.2.4.9.3. Indices de prépondérances (Ip)	42
2.2.4.9.4. Indices de chevauchements alimentaires (C λ)	42
2.2.5. Traitements statistiques.....	43
2.2.5.1. Analyses univariées	43
2.2.5.1.1. Test de normalité.....	43
2.2.5.1.2. Tests paramétriques	43
2.2.5.1.3. Tests non paramétriques	43
2.2.5.2. Analyses multivariées.....	44
2.2.5.2.1. Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)	44
2.2.5.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)	44
2.2.5.2.3. Cartes auto-organisatrices de Kohonen (SOM)	45
2.2.5.2.4. Analyse Factorielle Discriminante (AFD).....	46
2.2.5.2.5. Méthode « Indval »	47
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	49
3.1. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDROMORPHOLOGIQUES DU FLEUVE BANDAMA DANS LA RESERVE DU HAUT-BANDAMA	50
3.1.1. Résultats.....	50
3.1.1.1. Variations spatiales.....	50
3.1.1.1.1. Température	50
3.1.1.1.2. pH.....	50
3.1.1.1.3. Oxygène dissous	51
3.1.1.1.4. Conductivité	52
3.1.1.1.5. Turbidité	53
3.1.1.1.6. Largeur du lit mouillé.....	53
3.1.1.1.7. Vitesse du courant.....	54

3.1.1.1.8. Profondeur	55
3.1.1.2. Variations saisonnières.....	56
3.1.1.2.1. Température	56
3.1.1.2.2. pH.....	56
3.1.1.2.3. Oxygène dissous	57
3.1.1.2.4. Conductivité	57
3.1.1.2.5. Turbidité	61
3.1.1.2.6. Largeur du lit mouillé.....	61
3.1.1.2.7. Vitesse du courant.....	65
3.1.1.2.8. Profondeur	65
3.1.1.3. Typologie des stations en fonction des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques du fleuve Bandama dans la réserve	68
3.1.2. Discussion.....	70
3.1.3. Conclusion partielle	73
3.2. COMPOSITION, STRUCTURE DU PEUPEMENT ET PARAMETRES DE CROISSANCE DE TROIS ESPECES PREPONDERANTES DE LA SECTION DU FLEUVE BANDAMA SITUEE DANS LA RFF-HB	74
3.2.1. Résultats.....	74
3.2.1.1. Composition qualitative du peuplement ichtyologique.....	74
3.2.1.1.1. Composition spécifiques et distribution	74
3.2.1.1.2. Pourcentage d'occurrence des espèces	76
3.2.1.1.3. Similarités spécifiques entre les stations suivant le gradient longitudinal	79
3.2.1.1.4. Variations spatiales de la richesse spécifique.....	79
3.2.1.1.5. Variations saisonnières de la richesse spécifique	80
3.2.1.1.6. Déterminisme de la richesse spécifique.....	82
3.2.1.1.6.1. Profil de distribution de l'ichtyofaune	82
3.2.1.1.6.2. Facteurs déterminant la diversité de l'ichtyofaune.....	86
3.2.1.1.7. Profil écologique des espèces.....	88
3.2.1.1.8. Statut de conservation et vulnérabilité de l'ichtyofaune.....	91
3.2.1.2. Composition quantitative du peuplement ichtyologique.....	93
3.2.1.2.1. Abondance relative des taxons dans l'ensemble du milieu considéré	93

3.2.1.2.2. Abondance relative des taxons suivant le gradient amont-aval du fleuve Bandama dans la RFF-HB	95
3.2.1.2.2.1. Abondance relative des Ordres de poissons	95
3.2.1.2.2.2. Abondance relative des familles de poissons	96
3.2.1.2.2.3. Abondance relative des espèces de poissons	97
3.2.1.2.3. Analyse de la diversité du peuplement ichtyologique	100
3.2.1.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières de l'indice de Shannon (H')	100
3.2.1.2.3.2. Variation spatiale et saisonnière de l'indice d'Équitabilité (E)	102
3.2.1.3. Espèces indicatrices des différents types d'habitats	104
3.2.1.4. Paramètres de croissance de trois espèces prépondérantes de la zone d'étude.....	106
3.2.1.4.1. Structure en tailles des populations des trois espèces prépondérantes	106
3.2.1.4.2. Relations longueur-poids des populations des trois espèces prépondérantes .	107
3.2.2. Discussion	109
3.2.3. Conclusion partielle	114
3.3. GUILDES TROPHIQUES DE L'ICHTYOFAUNE DE LA SECTION DU FLEUVE BANDAMA DANS LA RFF-HB	116
3.3.1. Résultats.....	116
3.3.1.1. Régimes alimentaires et réseau trophique	116
3.3.1.1.1. Régimes alimentaires.....	116
3.3.1.1.1.1. Composition des proies consommées par les poissons	116
3.3.1.1.1.2. Occurrences des proies.....	118
3.3.1.1.1.3. Prépondérance des proies dans le régime alimentaire.....	118
3.3.1.1.2. Réseau trophique.....	120
3.3.1.1.2.1. Guildes trophiques.....	120
3.3.1.1.2.2. Variations spatiales de la structure trophique	121
3.3.1.1.2.3. Chevauchement alimentaire.....	122
3.3.1.1.2.4. Organisation du réseau trophique	124
3.3.2. Discussion.....	125
3.3.3. Conclusion partielle	127
CONCLUSION GENERALE	129
REFERENCES.....	132
ANNEXES	I

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE..... VIII

DEDICACE

A toute ma famille, qui m'a exhorté au travail bien fait et inculqué les bonnes valeurs sociales et morales.

A ma fiancé KONAN Aya Gloire Eudoxie, qui m'a soutenu et m'a aidé à braver toutes les difficultés.

A tous mes enseignants, qui m'ont aidé à comprendre le sens des études.

AVANT-PROPOS

Ce travail a été effectué dans le cadre de la collaboration entre l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) et l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG). Il fait partie du projet de recherche 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 sur 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 représentent 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 avoir autorisé notre inscription en thèse de Doctorat au sein de l'institution qu'elle dirige ;

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 son dévouement au travail bien fait et ses encouragements à la recherche scientifique ;

Au Professeur KOUASSI Kouakou 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 Professeur KOFFI Béné Jean-Claude, Professeur Titulaire, Directeur du Laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale (BioEco-Trop) pour avoir accepté notre admission au sein du dit laboratoire ;

Au Professeur BONY Kotchi Yves, Professeur Titulaire, pour nous avoir fait confiance et avoir 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, sa vision ainsi que ses sages conseils prodigués en vue du bon déroulement de cette thèse ;

Au Professeur feu KONAN Koffi Félix, pour nous avoir accepté au sein de l'Equipe de Recherche sur les Milieux Humides du Laboratoire de Biodiversité et Écologie Tropicale. Nous lui exprimons notre profonde gratitude ;

Nos remerciements vont également à l'endroit des Docteurs ALIKO N'guessan Gustave, BOUSSOU Koffi Charles et ADON Marie Paulette (Maître de Conférences), tous Enseignants-Chercheurs de l'UFR Environnement à l'UJLoG de Daloa, pour les conseils et les encouragements qu'ils nous ont prodigués durant ces années de travaux de recherche ;

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements au Docteur ALLOUKO Jean-Renaud, Maître Assistant, Enseignant-Chercheur de l'UFR Environnement à l'UJLoG de Daloa. Monsieur, nous vous sommes reconnaissants de l'intérêt et la confiance que vous nous

avez témoigné durant cette étude. Tout au long de ce travail, nous avons pu bénéficier de votre expérience, de vos qualités scientifiques et de vos conseils judicieux qui ont été décisifs dans l'aboutissement de cette thèse ;

Au Conservateur Général 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 (RFF-HB) ;

Au Commandant N'DRIN N'drin Ehié Epouse BRÉGA, Chef Secteur (CS) OIPR de Katiola, au Capitaine KAHO 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 ;

Grand merci à nos guides et leurs collaborateurs, au Centre de la Réserve (Sous-préfecture de Bouandougou), à Messieurs LADJI Kamagaté (Dit le Concentré), LASSINE Camara, ABOULAYE Kamagaté et Monsieur OUPO Lassiné gardien de la base OIPR de Sinaïm. Au Nord de la Réserve (Sous-préfecture de Tortiya), à Messieurs feu SILOUE 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 le Docteur KOUASSI N'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 de Bouaké. Nous vous sommes infiniment reconnaissants 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 ;

Aux Docteurs KRESSOU Armand, DJENE Kouakou Roland, KAMAGATE El Hadj Issouf et KOUADIO Atta Léonard, nous sommes reconnaissants pour toute l'aide apportée depuis la collecte des données jusqu'à la rédaction de cette thèse ;

A tous nos amis étudiants inscrits en thèse de Doctorat à l'Université Jean Lorougnon Guédé plus particulièrement Messieurs N'DO Bi Boly Valarie, KOFFI Bakari et AKO Angoran Richmond, pour leurs points de vue et leur amabilité qui nous ont été fort utiles. Nous leurs témoignons notre reconnaissance infinie ;

Merci à Madame KIPRE Ouguimré Hortense Jusèl, Technicienne de Laboratoire à l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), pour ses conseils lors de la réalisation de cette thèse ;

Nous exprimons nos chaleureux remerciements à notre sœur Madame GOURA Zamblé Lou Tra Sylvie (Délégué médical) et à tous nos frères Monsieur ZAMBLE Bi Irié Stéphane Boris (Technicien contrôle qualité café-cacao), Monsieur ZAMBLE Bi Goura Tanguy (Instituteur), Monsieur ZAMBLE Bi Gouéla Henry Joël (Infirmier), Monsieur GOURA Zamblé Bi Tra Martial (Etudiant en informatique), Monsieur ZAMBLE Bi Zamblé Léandre (Marin militaire) et Monsieur GOURA Zamblé Bi Youman Guillaume (Marin militaire), pour leur soutien durant ces années d'études. Nous vous remercions et nous vous sommes infiniment reconnaissants. Dieu vous bénisse pour avoir compris l'importance de ce travail ;

A 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 notre profonde gratitude.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composante Principale
AFD	: Analyse Factorielle Discriminante
BTA	: Bandama Tortiya A
BTB	: Bandama Tortiya B
BSA	: Bandama Sinaïm A
BSB	: Bandama Sinaïm B
BYA	: Bandama Yayakaha A
BYB	: Bandama Yayakaha B
CHA	: Classification Hiérarchique Ascendante
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
MDDEF	: Ministère du Développement Durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
OIPR	: Office Ivoirien des Parcs et Réserves
ppm	: parties pour million
RDA	: ReDundancy Analysis
RFF-HB	: Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama
SODEXAM	: Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique
SOM	: Self Organizing Map
UFR	: Unité de Formation et de Recherche
UICN	: Union International pour la Conservation de la Nature
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Liste des espèces de poissons du bassin du fleuve Bandama, en amont du lac de Kossou et de la RFF-HB.....	15
Tableau II : Codes et coordonnées géographiques des stations d'étude retenues sur le fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	26
Tableau III : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques	65
Tableau IV : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	70
Tableau V : Composition et distribution des espèces de poissons récoltées aux stations d'échantillonnage retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	75
Tableau VI : Proportions (en %) des catégories d'espèces définies sur la base de l'occurrence aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	77
Tableau VII : Répartition des espèces de poissons en fonction de leur fréquence d'occurrence dans les stations étudiées sur la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	78
Tableau VIII : Indices de similarité de Jaccard (%) des espèces communes aux stations prises deux à deux sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	79
Tableau IX : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs de la richesse spécifique.....	80
Tableau X : Différentes tailles de carte de Kohonen et les erreurs de quantification et topographique correspondantes.....	82
Tableau XI : Répartition des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, selon chaque groupe défini par la SOM.....	86
Tableau XII : Répartition des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, en fonction des paramètres environnementaux.....	87
Tableau XIII : Statut de conservation et de vulnérabilité des espèces de poissons échantillonnées sur la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	92
Tableau XIV : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs des indices de Shannon et d'Equitabilité.....	104
Tableau XV : Paramètres des relations longueur-poids des populations d' <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>Brycinus imberi</i> et <i>Synodontis bastiani</i> du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	108

Tableau XVI : Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de quinze (15) espèces de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	117
Tableau XVII : Fréquences corrigées (% Fc) et pourcentages pondéraux (% P) des proies consommées par 15 espèces de poissons de la section du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB.....	119
Tableau XVIII : Indices de prépondérance (% Ip) des proies consommées par 15 espèces de poissons de la section du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB.....	120
Tableau XIX : Indices de chevauchement alimentaire ($C\lambda$) calculés pour les paires formées par sept espèces collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	123

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire).....	7
Figure 2 : Diagramme ombrothermique réalisé à partir des moyennes des données climatiques de la SODEXAM de 2007 à 2018.....	10
Figure 3 : Matériel de mesure des paramètres physico-chimiques.....	23
Figure 4 : Matériel de collecte des poissons et d'analyse des contenus stomacaux.....	24
Figure 5 : Localisation des stations d'étude retenues sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	25
Figure 6 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya A (BTA) dans la partie amont du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	27
Figure 7 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya B (BTB) dans la partie amont du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	27
Figure 8 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm A (BSA) dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	28
Figure 9 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm B (BSB) dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	29
Figure 10 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha A (BYA) dans la partie aval du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	30
Figure 11 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha B (BYB) dans la partie aval du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	30
Figure 12 : Pose des filets maillants et nasses sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	32
Figure 13 : Séance de pêche au filet épervier sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	33
Figure 14 : Illustration des mensurations effectuées sur chaque spécimen de poisson capturé dans la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.....	33
Figure 15 : Structure des catégories de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) version 2023.....	38
Figure 16 : Schéma simplifié de la carte auto organisatrice de Kohonen.....	46
Figure 17 : Variations spatiales de la température des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	50

Figure 18 : Variations spatiales du pH des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	51
Figure 19 : Variations spatiales de l'oxygène dissous des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	52
Figure 20 : Variations spatiales de la conductivité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	53
Figure 21 : Variations spatiales de la turbidité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	53
Figure 22 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillé des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	54
Figure 23 : Variations spatiales de la vitesse du courant des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	55
Figure 24 : Variations spatiales de la profondeur des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	56
Figure 25 : Variations saisonnières de la température des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	58
Figure 26 : Variations saisonnières du pH des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	59
Figure 27 : Variations saisonnières de l'oxygène dissous des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	60
Figure 28 : Variations saisonnières de la conductivité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	62
Figure 29 : Variations saisonnières de la turbidité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	63
Figure 30 : Variations saisonnières de la largeur du lit mouillé des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	64
Figure 31 : Variations saisonnières de la vitesse du courant des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	66
Figure 32 : Variations saisonnières de la profondeur des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	67

Figure 33 : Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des stations à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques mesurés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	69
Figure 34 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des variables physico-chimiques et hydromorphologiques mesurées aux différentes stations d'échantillonnage dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	69
Figure 35 : Contribution des Ordres dans la richesse spécifique du peuplement ichthyologique du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	76
Figure 36 : Répartition des espèces communes et spécifiques aux trois parties du gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	76
Figure 37 : Variations spatiales de la richesse spécifique du peuplement de poissons aux stations d'échantillonnage retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	80
Figure 38 : Variations saisonnières de la richesse spécifique du peuplement de poissons aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	81
Figure 39 : Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la SOM sur la base des espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	83
Figure 40 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence des espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	84
Figure 41 : Patron de distribution de chaque espèce de poissons sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des poissons de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	84
Figure 42 : Carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) montrant les variations des paramètres abiotiques dans les groupes I, II et III.....	87
Figure 43 : Profils écologiques des espèces de poissons rencontrés dans la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	89
Figure 44 : Proportion des différentes catégories de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, selon leur niveau de vulnérabilité établi par l'UICN (2023).....	93
Figure 45 : Abondance relative globale des Ordres de poissons échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	94
Figure 46 : Abondance relative globale des Familles de poissons échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	94

Figure 47 : Abondance relative globale des espèces de poissons échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	95
Figure 48 : Contribution des ordres de poissons dans l'abondance du peuplement ichtyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	96
Figure 49 : Contribution des familles de poissons dans l'abondance du peuplement ichtyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	98
Figure 50 : Contribution des espèces de poissons dans l'abondance du peuplement ichtyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	99
Figure 51 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	100
Figure 52 : Variations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	101
Figure 53 : Variations spatiales de l'indice d'Equitabilité du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	102
Figure 54 : Variations saisonnières de l'indice d'Equitabilité du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	103
Figure 55 : Typologie abiotique des groupes de stations et les espèces indicatrices associées avec les valeurs indicatrices entre parenthèses.....	105
Figure 56 : Distribution globale des fréquences de tailles (Ls) des populations d' <i>Oreochromis niloticus</i> (A), <i>Brycinus imberi</i> (B) et <i>Synodontis bastiani</i> (C) collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	107
Figure 57 : Régressions entre la longueur et le poids des populations d' <i>Oreochromis niloticus</i> (A), <i>Brycinus imberi</i> (B) et <i>Synodontis bastiani</i> (C) collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	108
Figure 58 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des catégories de proies des 15 espèces de poissons collectés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	121
Figure 59 : Variation spatiale de la structure trophique des espèces de poissons récoltées dans les stations du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	122
Figure 60 : Organisation du réseau trophique de quinze espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB.....	124

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte de la situation géographique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama

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

Annexe 3 : Résultats du test de Shapiro-Wilk effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques des différentes stations retenues sur la section du fleuve Bandama située dans la RFF-HB entre janvier 2018 et février 2019

Annexe 4 : Photographies des espèces de poissons récoltées dans la section du fleuve Bandama au sein de la RFF-HB entre janvier 2018 et février 2019

INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques regorgent de nombreuses ressources naturelles et participent au maintien de la vie sur terre. Ces écosystèmes aquatiques forment un vaste réseau hydrographique interdépendant (Aboua, 2012) et assurent également de nombreux services écosystémiques (Naiman *et al.*, 1997). En outre, ces eaux jouent un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité, dans le fonctionnement des organismes et dans les cycles de matière organique (Omernik & Bailey, 1997). Cependant, les activités humaines exercées sur le bassin versant des eaux fluviales entraînent leurs dégradations et la disparition progressive des ressources dulçaquicoles (Bédia *et al.*, 2009).

En Côte d'Ivoire, il existe un vaste et dense réseau hydrographique, dont les ressources halieutiques sont très variées et intensément exploitées par les populations. En effet, à l'instar des cours d'eaux Ouest africains, les eaux ivoiriennes constituent des milieux de haute productivité biologique et halieutique (Albaret, 1994 ; Pombo *et al.*, 2002), qui leur confère une grande importance sociale et économique (Baran, 2000). Les ressources halieutiques que renferment ces cours d'eaux sont la cible des fortes pressions anthropiques comme la pêche et les usages domestiques qui s'y exercent (Karr & Chu, 2000). Ces actions de l'homme associées aux changements climatiques constituent de véritables menaces sur ces milieux (Sala *et al.*, 2000). En outre, la croissance démographique galopante observée dans le pays conduit à l'intensification de l'exploitation des ressources halieutiques et à la dégradation accélérée des cours d'eaux. Cette situation fait planer un risque majeur de raréfaction des ressources halieutiques (Lalèyè *et al.*, 2004).

Face aux menaces qui pèsent sur les ressources biologiques et halieutiques, la création d'aires protégées s'avère être un outil fondamental pour parvenir à la conservation et à la gestion durable de l'environnement en général et de la biodiversité en particulier (OIPR, 2015). En Côte d'Ivoire, les efforts consentis dans ce sens ont abouti à la mise en place d'un vaste réseau d'aires protégées. Actuellement, le pays compte huit (8) parcs nationaux et six (6) réserves naturelles. Ce patrimoine national ne couvre que 6,5 % du territoire national, soit 2,1 millions d'hectares (OIPR, 2015). Située dans le Centre-nord de la Côte d'Ivoire, la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFF-HB), fait partie de ce vaste réseau d'aires protégées. Elle a pour objectif majeur de conserver la biodiversité savanicole du fleuve Bandama et de ses méandres (OIPR, 2015). Par ailleurs, à l'instar des autres aires protégées du pays, la réserve du Haut Bandama connaît une dégradation en raison des activités anthropiques auxquelles s'adonnent les populations riveraines (Veï, 2015). Il s'agit de la

construction de plusieurs petits barrages hydroagricoles et d'industries textiles et agroalimentaires situés en amont de la réserve (Traoré, 1996). Ces infrastructures contribuent à réduire le débit du fleuve Bandama à l'intérieur de la réserve durant la saison sèche (Mul *et al.*, 2015), à modifier la distribution des organismes aquatiques (Yao, 2006) et aux rejets d'effluents industriels dans le fleuve Bandama (Dabalem & Paul, 2014). De plus, le développement de l'agriculture intensive sur le bassin versant a entraîné un accroissement très important des apports en fertilisants et pesticides dans le fleuve Bandama au niveau de la réserve (Veï, 2015). Aussi, le bassin versant et le lit principal du fleuve Bandama dans la réserve sont les lieux d'une importante activité d'orpaillage traditionnel (Carreti & Loyer, 2012). L'ensemble de ces actions constitue une source permanente de pollution du fleuve Bandama dans sa section de la réserve. Cette pollution influence négativement, non seulement la qualité écologique, mais aussi les communautés biologiques qui y vivent (Roux *et al.*, 2008). Par conséquent, cette situation pourrait entraîner la perte de la biodiversité, menacer la stabilité du fleuve Bandama et dégrader la qualité et la quantité de ses services écosystémiques (Tilman, 2005).

Cependant, la surveillance des écosystèmes aquatiques, basée sur la mesure de la concentration de polluants dans l'eau, ne permet pas de déterminer la qualité écologique de l'habitat (Touzin & Roy, 2008 ; Aboua, 2012). Les techniques actuelles intègrent plusieurs groupes taxinomiques tels que les poissons, les diatomées, les amphibiens, les reptiles et les macro-invertébrés benthiques afin de déterminer la qualité écologique des milieux aquatiques. Selon Gooré (2009), les poissons possèdent plusieurs atouts d'un bon bio-indicateur de la qualité écologique des milieux aquatiques. En effet, les poissons sont omniprésents sur l'ensemble des milieux aquatiques. Leurs aires de répartition sont vastes et leurs habitats diversifiés. De plus, ces organismes ont un cycle de vie assez long et sont à différents niveaux trophiques. Ils intègrent également les perturbations physiques, biologiques et chimiques qui surviennent dans leur environnement (Amara, 2003). Par ailleurs, il est moins onéreux de les utiliser comme unité première d'évaluation de la qualité écologique des milieux aquatiques (Guillard *et al.*, 2023). De ce fait, de nombreuses études ont porté sur leur diversité et leur profil de distribution (Whitfield, 1999 ; Blaber, 2002 ; Amara, 2003).

En outre, les relations trophiques constituent un outil essentiel pour évaluer l'organisation des écosystèmes aquatiques. La configuration du réseau trophique dans un écosystème aquatique permet de mettre en évidence les stress subies par le milieu (Cloern *et*

al., 2002). Fox et Olsen (2000), affirment que la structure et la complexité du réseau trophique dans les écosystèmes aquatiques reflètent les effets directs ou indirects des perturbations subies. La théorie des « interactions trophiques en cascade » est avancée pour expliquer le fonctionnement du réseau trophique (Lacroix & Danger, 2008). En effet, la baisse ou l'augmentation d'une espèce cible peut avoir des effets sur les proies, les prédateurs et les compétiteurs, voire sur l'ensemble du réseau trophique et le fonctionnement de l'écosystème (Bax, 1998 ; Polis *et al.*, 2000). La régulation des populations aquatiques relève de deux processus interspécifiques qui sont : le contrôle « top-down » quand l'abondance d'une population est régulée par les prédateurs en haut de la chaîne trophique (Hunter & Price, 1992) et le contrôle « bottom-up » lorsque l'abondance d'une population déterminée est régulée par les ressources trophiques disponibles en bas de la chaîne trophique (Dabbadie, 1996).

Au cours de ces dernières années, plusieurs études basées sur les chaînes alimentaires de la faune ichthyologique ont été utilisées pour décrire les structures trophiques dans les estuaires (Monaco & Ulanowicz, 1997 ; Wolff *et al.*, 2000 ; Samb & Mendy, 2003) et dans les lagunes côtières (Manickchand-Heileman *et al.*, 1998 ; Pauly, 2002 ; Villanueva *et al.*, 2003 ; Heymans *et al.*, 2004) mais aussi dans le fleuve Bandama à l'extérieur de la réserve (Aboua, 2012). De tels modèles sont utiles parce que la vaste complexité des données sur les chaînes alimentaires des milieux aquatiques est récapitulée de façon simplifiée par un réseau des compartiments reliés par des liens trophiques ou des flux de carbone.

Ainsi, face à la pollution du fleuve Bandama dans la réserve et aux énormes problèmes de gestion et de suivi des ressources halieutiques de cette réserve, il est impérieux de faire l'inventaire de la faune ichthyologique qui y vit, afin d'évaluer l'état écologique de ce cours d'eau. Toutefois, l'utilisation de la faune ichthyologique pour établir les réseaux trophiques des milieux aquatiques nécessite la connaissance de leur diversité, de leur structure et de leur régime alimentaire (Allan & Johnson, 1997 ; Samb & Mendy, 2003). Bien que le fleuve Bandama ait fait l'objet de plusieurs études, il n'existe quasiment pas de données sur la faune ichthyologique de sa section située à l'intérieur de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

Cette réserve fait face à certains dysfonctionnements qui l'empêchent de préserver et de sauvegarder sa biodiversité savanicole. Les travailleurs clandestins continuent d'exercer de fortes pressions sur les ressources naturelles provoquant d'énormes problèmes dans la gestion

et le suivi des ressources halieutiques de cette réserve. L'étude de la faune ichtyologique permettra d'acquies les premières données qui serviront de base pour identifier les disfonctionnements qui subsistent dans ce cours d'eau en vue d'une meilleure gestion des ressources naturelles du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

L'objectif général de cette étude est d'établir la structure du réseau trophique de l'ichtyofaune du fleuve Bandama dans la RFF-HB en vue d'une évaluation de sa santé écologique.

De façon spécifique, il s'est agit d'abord de caractériser l'environnement abiotique de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; aussi, de déterminer la composition, la structure du peuplement ichtyologique et les paramètres de croissance de trois espèces prépondérantes de la zone d'étude ; enfin, de caractériser les relations trophiques des espèces de poissons pour établir les guildes trophiques de l'ichtyofaune de la zone afin de décrire son fonctionnement trophique.

Ce présent manuscrit est articulé autour de trois chapitres hormis l'introduction. Le premier chapitre fait référence aux généralités sur la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama, les données biotiques du fleuve Bandama et l'écologie alimentaire des poissons et le réseau trophique. Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés dans la collecte et le traitement des données. Enfin, le troisième chapitre se consacre à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Ce manuscrit s'achève par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I : GENERALITES

1.1. MILIEU D'ETUDE

1.1.1. Situation géographique de la RFF-HB

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFF-HB) a été créée par décret N° 73-133 du 21/03/73. Elle est située dans le Centre-nord de la Côte d'Ivoire 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).

Elle couvre une superficie de 123 000 hectares et s'étant de part et d'autre du fleuve Bandama (Veï, 2015). Selon Lauginie (2007), la RFF-HB est issue des forêts classées du Haut-Bandama (56300 hectares), du Bandama blanc (24000 hectares) et des forêts claires (42700 hectares) préalablement non classées.

La RFF-HB 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).

Le bassin versant du Bandama couvre 37500 km², dont 3,5 % correspondent à l'emprise de la réserve (Bouché, 1996).

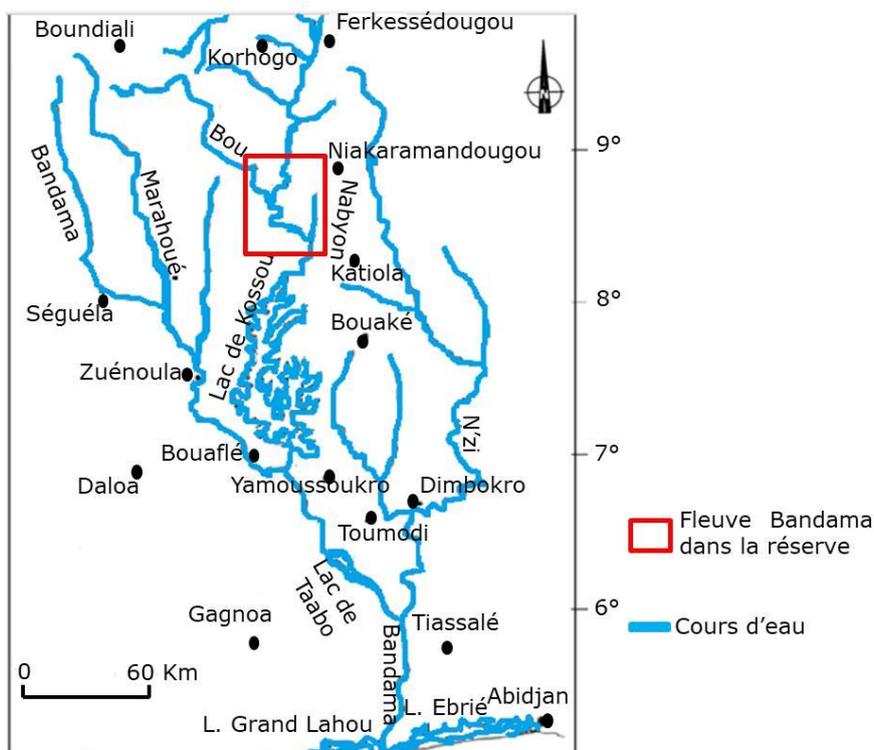


Figure 1 : Situation géographique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire).

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. Il est constitué 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'eaux (Halle & Bruzon, 2006).

Dans la Réserve du Haut-Bandama, le paysage relativement monotone est celui d'un glacis 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 (Kressou, 2020).

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 (Kressou, 2020).

1.1.3. Végétation

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 de forêts denses sèches, surtout dans la partie Sud de la Réserve (Poilecot, 1996 ; Vei, 2015).

Les formations savanicoles de la Réserve comportent un tapis herbacé très dense avec une strate supérieure formée par les Poaceae (*Panicum phragmitoides*) associée aux grandes Andropogoneae comme *Andropogon 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 fleuve Bandama, de la rivière 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. Quant aux formations saxicoles, elles occupent les affleurements et les petits dômes granitiques (inselbergs) localisés dans la partie centrale de la Réserve (Kressou, 2020).

1.1.4. Sols

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama est pour sa grande part composée de sols ferrallitiques moyennement désaturés. Les bas-fonds et les plaines alluviales sont composés de sols hydromorphes ou des sols peu évolués d'apports hydromorphes (Aboua, 2012).

Selon la zonation et le substrat géologique de la réserve, on distingue quatre types de sols ferrallitiques moyennement désaturés. Au Nord-ouest de la réserve, se trouvent les sols ferrallitiques 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 fleuve Bandama, se trouve sur du granite une juxtaposition de sols ferrallitiques 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 distinguent des sols ferrallitiques du groupe remanié, appauvri, avec des horizons supérieurs sableux à sablo-argileux. Enfin, au Centre-ouest et à l'Est de la réserve, se trouvent des sols ferrallitiques du groupe remanié, sous-groupe induré marquées par la formation de carapaces et de cuirasses sur les quelques sommets du Sud-est (Vei, 2015).

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 (Kressou, 2020).

1.1.5. 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 (Lauginie, 2007 ; OIPR, 2015). Elle 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 de 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 entre 35 et 79 % et un débit moyen annuel de 700 m³/s (Fabio *et al.*, 2002).

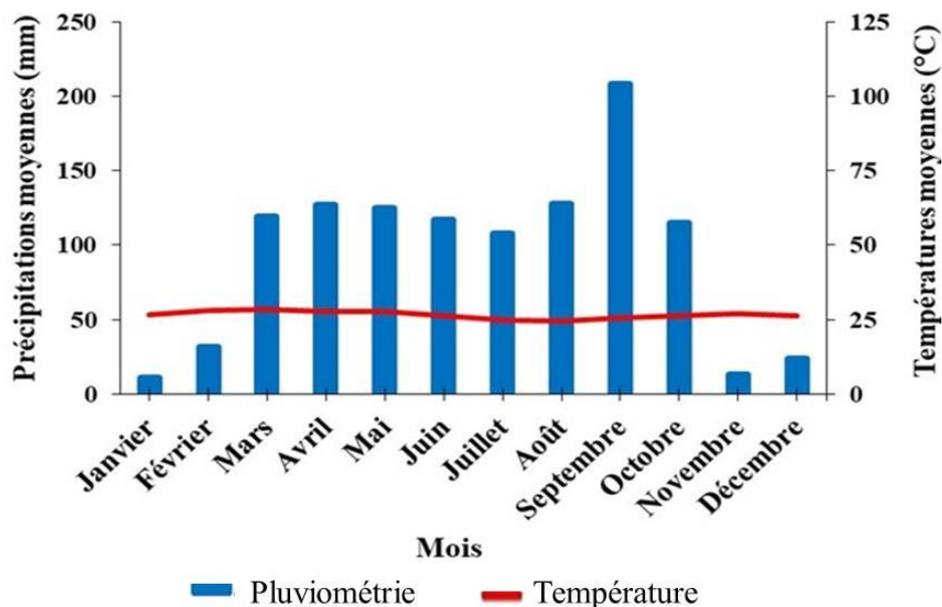


Figure 2: Diagramme ombrothermique réalisé à partir des moyennes des données climatiques de la SODEXAM de 2007 à 2018.

1.1.6. 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 (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 dans la partie amont et la rivière Nambyon en rive gauche dans la partie aval de la réserve se joignent au fleuve Bandama. Ces rivières sont respectivement longues de 180 km et de 160 km. La rivière Bou prend sa source dans le village de Banagakaha dans la sous-préfecture de Bôron. Quant à la rivière Nambyon, elle prend sa source dans le village d'Ourégukaha dans la sous-préfecture de Fronan (Kressou, 2020).

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 (Aboua, 2012).

1.1.7. Populations et activités anthropiques environnantes

Plusieurs populations humaines 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 rencontre ces populations dans les villages de Mogogbrèkaha, Siréfiékaha, Sirikikaha, Kolokaha et Kamoro. Au Nord, dans la sous-préfecture de Tortiya, les populations riveraines de la réserve se retrouvent dans les villages de Fougakaha et de Zanakaha. Au Sud-est, dans les sous-préfectures de Fronan et de Niakaramadougou, les 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 (Kressou, 2020). 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 les cultures perennes. 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 (Vei, 2015). Comme cultures perennes, on peut noter le coton, le tabac, l'anacarde, la canne à sucre et 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 (Kressou, 2020). 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.

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 (Kressou, 2020). Ces animaux sont régulièrement conduits dans la Réserve pour paître et s'abreuver. Cette situation provoque la dégradation des berges.

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).

L'orpaillage clandestin pourrait être l'une des causes de la forte turbidité des milieux aquatiques autour et à l'intérieur de la Réserve (Kressou, 2020). Par ailleurs, les pesticides sont couramment utilisés pour la pêche clandestine, aussi bien dans le fleuve Bandana que dans les rivières (Aboua, 2012).

1.2. DONNEES BIOTIQUES DU FLEUVE BANDAMA

1.2.1. Communautés planctoniques

1.2.1.1. Phytoplancton

L'inventaire des communautés phytoplanctoniques réalisé par Lévêque *et al.* (1983) sur le fleuve Bandama en amont de la retenue de Kossou fait état de ce que les familles des Chlorophyceae, des Euglenophyceae et des Cyanophyceae sont les plus rencontrées. L'une des caractéristiques la plus marquante du phytoplancton sur le bassin du Bandama est la dominance des Diatomées durant la crue.

En outre, les travaux de Kouassi (2018), sur les micro-algues du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama ont révélé que les embranchements des Euglenophytes, des Chlorophytes, des Diatomées et des Cyanobactéries sont les plus diversifiés. Par ailleurs, des taxons indicateurs de la saprobie repartis en 4 embranchements ont été mis en évidence. Il s'agit des Chlorophytes, des Diatomées, des Cyanobactéries et des Euglenophytes.

1.2.1.2. Zooplancton

Les résultats des travaux de Lamoot (1976) réalisés sur les communautés de zooplancton de la retenue du lac de Kossou indiquent la présence des Copépodes, des Cladocères et des Rotifères. Les Copépodes sont représentés par la famille des Cyclopidae. Celui des Cladocères rassemblent les familles des Sididae, Daphnidae, Bosminidae, Ilyocryptidae, Macrothricidae et des Monidae. Quant aux Rotifères, ils regroupent les familles des Testudinellidae, Asplanchnidae, Brachionidae, Synchaetidae, Trichocercidae et des Calanidae.

En outre, les travaux de Soro *et al.* (2019) réalisés entre novembre 2017 et septembre 2018 sur le fleuve Bandama dans la région de Ferkessédougou montre que les rotifères et les cladocères dominent les taxons zooplanctoniques. La population des Rotifères est dominée

par les genres *Polyarthra* et *Anuraeopsis*. Quant aux Cladocères, ils sont représentés par les genres *Diaphanosoma* et *Daphnia*.

1.2.2. Périphyton

La composition qualitative du Périphyton sur le fleuve Bandama en amont de la retenue de Kossou a révélé la présence des Diatomées, des Cyanophyceae et des Rhodophyceae (Lévêque *et al.*, 1983).

1.2.3. Macroinvertébrés

1.2.3.1. Crustacés

Les premiers inventaires réalisés par Corredor (1979) sur le bassin du fleuve Bandama à l'aide de la pêche électrique montre la présence des Atyidae et des Palaemonidae. La famille des Atyidae est représentée par les genres *Caridina* et *Atya*. Quant à la famille des Palaemonidae, elle est représentée par le genre *Macrobrachium*. Par ailleurs, l'inventaire qualitatif du peuplement de crustacés réalisé par N'Zi (2007) fait état de la présence de la famille des Atyidae.

1.2.3.2. Insectes

Les insectes ont été étudiés par Dejoux *et al.* (1981) et Lévêque *et al.* (1983) dans le bassin du Bandama. Ces auteurs ont distingué trois grands ensembles de peuplements (synusies) en fonction de la vitesse du courant et du substrat. Il s'agit des synusies des courants forts, des courants moyens et des courants lents et des eaux stagnantes. Les synusies des courants forts regroupent les Diptères, les Chironomidae, les Éphéméroptères, les Coléoptères et les Trichoptères. Concernant les synusies des courants moyens, ils rassemblent les Trichoptères, les Plécoptères, les Éphéméroptères et les Coléoptères. Quant aux synusies des courants lents et des eaux stagnantes, ils sont représentés par les Éphéméroptères, les Coléoptères, les Hémiptères, les Odonates, les Chironomidae, les Culicidae et les Trichoptères.

1.2.3.3. Mollusques

Les travaux réalisés par Binder (1957) et Sellin *et al.* (1980) sur la macrofaune benthique du bassin du fleuve Bandama indiquent la présence des mollusques de l'ordre des

Mésogastéropodes, Basommatophores et Eulamellibranches. Lévêque *et al.* (1983) signalent une abondance de mollusques gastéropodes dans la partie sud du fleuve. De plus, les mollusques pulmonés sont constants dans les peuplements des hauts bassins et petits affluents du Bandama blanc tant à l'étiage que durant la crue (Brown, 1979). Par ailleurs, les récents inventaires réalisés par Kressou (2020) font état de ce que les Gastéropodes dominent le peuplement de mollusques dans la RFF-HB.

1.2.4. Faune ichtyologique

La faune ichtyologique du fleuve Bandama a fait l'objet de plusieurs études. Ces études ont permis de dresser la liste des espèces en présence et de déterminer, pour certaines d'entre elles, les traits de leur biologie et de leur écologie (Daget *et al.*, 1973). Les travaux d'Aboua (2012), qui ont portés sur la structure et la dynamique spatio-temporelle de l'ichtyofaune du fleuve Bandama ont fortement contribué à leur connaissance. Ces études ont permis d'inventorier 83 espèces de poissons réparties entre 51 genres, 30 familles et 11 ordres dans l'ensemble du bassin du fleuve Bandama. Ces mêmes études ont permis de recenser 47 espèces de poissons en amont du lac de Kossou qui se trouve en aval de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Par ailleurs, les récents travaux de Kressou (2017) réalisés sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB, ont permis de recenser 24 espèces réparties en 13 familles et 5 ordres. Les familles les plus rencontrées sont celles des Alestidae et des Cichlidae. Le tableau I présente les différentes espèces de poissons rencontrés sur l'ensemble du bassin du fleuve Bandama, en amont du lac de Kossou et dans la réserve du Haut-Bandama.

Tableau I : Liste des espèces de poissons du bassin du fleuve Bandama, en amont du lac de Kossou et de la RFF-HB (Aboua, 2012 ; Kressou, 2017).

Ordres	Familles	Espèces	BB	AK	R		
Characiformes	Hepsetidae	<i>Hepsetus odoe</i>	+	+			
		<i>Hepsetus akawo</i>		+	+		
	Alestidae	<i>Alestes baremoze</i>	+	+	+		
		<i>Brycinus imberi</i>	+	+	+		
		<i>Brycinus longipinnis</i>	+	+			
		<i>Brycinus macrolepidotus</i>	+	+	+		
		<i>Brycinus nurse</i>	+				
		<i>Hydrocynus forskalii</i>	+	+	+		
		<i>Micralestes elongatus</i>	+		+		
		<i>Micralestes occidentalis</i>	+	+			
	Distichodontidae	<i>Distichodus rostratus</i>	+	+	+		
		<i>Nannocharax fasciatus</i>	+	+			
		<i>Neolebias unifasciatus</i>	+	+			
	Clupeiformes	Clupeidae	<i>Pellonula leonensis</i> ¹	+	+		
<i>Barbus ablables</i>			+	+			
<i>Barbus guildi</i>			+				
<i>Barbus macrops</i>			+	+			
<i>Barbus punctitaeniatus</i>			+				
<i>Barbus macinensis</i>			+	+			
<i>Barbus perince</i>			+				
<i>Barbus sublineatus</i>			+	+			
<i>Barbus trispilos</i>			+				
<i>Barbus sp.</i>			+				
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Labeo coubie</i>	+	+			
		<i>Labeo parvus</i>	+	+	+		
		<i>Labeo senegalensis</i>			+		
		<i>Labeo sp.</i>	+				
		<i>Raiamas senegalensis</i>	+	+			
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Rhexipanchax schioetzi</i>	+		
			Nothobranchiidae	<i>Epiplatys chaperi</i>	+		
				<i>Epiplatys dageti</i>	+		
				<i>Epiplatys etzeli</i>	+		
		Elopiformes	Elopidae	<i>Elops lacerta</i> ¹	+		
Lepidosireniformes	Protopteridae	<i>Protopterus annectens</i>	+				
	Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i> ²	+	+	+		
	Notopteridae	<i>Papyrocranus afer</i>	+				
Osteoglossiformes	Mormyridae	<i>Marcusenius furcidens</i>	+				
		<i>Marcusenius senegalensis</i>	+	+			
		<i>Marcusenius ussheri</i>	+	+			
		<i>Marcusenius sp.</i>	+				
		<i>Mormyrops anguilloides</i>	+	+			
		<i>Mormyrus rume</i>	+	+			
		<i>Mormyrus hasselquistii</i>	+				
		<i>Petrocephalus bovei</i>	+	+	+		
<i>Pollimyrus isidori</i>	+	+					

BB = Bassin du Bandama ; AK = Amont du lac Kossou ; R = Réserve ; 1 = Espèces estuariennes et/ou marines ; 2 = Espèces introduites ; 3 = Espèce hybride ; + = Présence

Tableau I : (Suite et fin)

Ordres	Familles	Espèces	B B	A K	R
Perciformes	Channidae	<i>Parachanna obscura</i>	+		
	Latidae	<i>Lates niloticus</i>	+	+	+
	Carangidae	<i>Caranx hippos</i> ¹	+		
		<i>Trachinotus teraia</i> ¹	+		
	Gerreidae	<i>Gerres melanopterus</i> ¹	+		
	Cichlidae	<i>Chromidocoptodon guntheri</i>	+	+	+
		<i>Hemichromis bimaculatus</i>	+	+	
		<i>Hemichromis fasciatus</i>	+	+	+
		<i>Oreochromis niloticus</i> ²	+	+	+
		<i>Sarotherodon galilaeus</i> ¹	+	+	
		<i>Sarotherodon melanotheron</i> ¹	+		+
		<i>Thysochromis ansorgii</i>	+		
		<i>Coptodon guineensis</i> × <i>Coptodon zillii</i> ³	+		+
		<i>Coptodon guineensis</i>	+		
		<i>Coptodon mariae</i> ¹	+		
		<i>Coptodon zillii</i>	+	+	
		<i>Coptodon</i> sp.	+		
		<i>Tylochromis jentinki</i> ¹	+		
	Mugilidae	<i>Liza falcipinnis</i> ¹	+		
	Polynemidae	<i>Polydactylus quadrifilis</i> ¹	+		
Gobiidae	<i>Awaous lateristriga</i> ¹	+			
Eleotridae	<i>Eleotris vittata</i> ¹	+			
Anabantidae	<i>Ctenopoma petherici</i>	+	+	+	
Polypteriformes	Polypteridae	<i>Polypterus endlicheri</i>	+	+	
Siluriformes	Claroteidae	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	+	+	+
		<i>Chrysichthys maurus</i>	+		+
		<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	+	+	+
	Schilbeidae	<i>Parailia pellucida</i>	+	+	
		<i>Schilbe intermedius</i>	+	+	
	Amphiliidae	<i>Schilbe mandibularis</i>	+	+	+
		<i>Amphilius atesuensis</i>	+		
	Clariidae	<i>Clarias anguillaris</i>	+	+	+
		<i>Clarias buettikoferi</i>	+		
		<i>Heterobranchus isopterus</i>	+	+	
		<i>Heterobranchus longifilis</i>	+	+	
	Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i>	+	+	
	Mochokidae	<i>Synodontis bastiani</i>	+	+	+
<i>Synodontis punctifer</i>		+	+		
<i>Synodontis schall</i>		+	+		
Synbranchiformes	Mastacembelidae	<i>Mastacembelus nigromarginatus</i>	+	+	
			83	47	24

B B = Bassin du Bandama ; A K = Amont du lac Kossou ; R = Réserve ; 1 = Espèces estuariennes et/ou marines ; 2 = Espèces introduites ; 3 = Espèce hybride ; + = Présence

1.3. ECOLOGIE ALIMENTAIRE DES POISSONS ET RESEAU TROPHIQUE

1.3.1. Ecologie alimentaire des poissons

1.3.1.1. Régimes alimentaires

Selon le régime alimentaire, on distingue de nombreuses catégories trophiques (Paugy & Lévêque, 2006). Les consommateurs primaires qui dominent les milieux aquatiques sont représentés par les phytoplanctonivores qui filtrent et consomment les algues

phytoplanctoniques. Aussi, les macrophytophages et les brouteurs qui consomment la couche superficielle du sédiment composée généralement d'algues sédimentées ou le périphyton poussant sur les substrats rocheux et les détritivores. Les consommateurs secondaires qui dominent les milieux aquatiques sont constitués des zooplanctonivores qui filtrent le zooplancton sur leurs branchies et des benthivores consommant principalement les invertébrés benthiques. Quant aux consommateurs terminaux, ils sont strictement piscivores, se nourrissant exclusivement de poissons vivants ou partiellement piscivores, consommant également des crevettes ou d'autres invertébrés.

Les poissons se nourrissent de ce qu'ils trouvent dans leur milieu de vie (Paugy & Lévêque, 1999). De ce fait, le régime alimentaire d'un poisson est rarement fixe et peut varier en fonction de plusieurs facteurs (Paugy & Lévêque, 1999). Les poissons présentent souvent des changements de régime alimentaire en fonction de la saison, du milieu et/ou de la disponibilité des aliments (Mazzoni & Rezende, 2003 ; Deus & Petrere-Junior, 2003 ; Doumbia, 2003 et Balcombe *et al.*, 2005). Certaines espèces de poissons présentent des changements biologiques et morphologiques selon le régime alimentaire (Paugy & Lévêque, 1999 ; Pusey *et al.*, 2000 et Kouamelan *et al.*, 2000).

Chez les poissons qui sont des macroprédateurs à l'état adulte, les juvéniles sont d'abord zooplanctophages, puis passent par un régime transitoire à base d'insectes et de crevettes avant d'acquérir leur régime définitif essentiellement composé de poissons. En ce qui concerne les poissons microphages mangeurs des particules nutritives du sédiment ou filtreurs du plancton, ils gardent le même régime tout au long de leur vie (Toumi, 2010). La réduction du niveau des cours d'eaux en saison sèche favorise une augmentation de la piscivorie et une diminution de l'omnivorie (Winemiller & Jepsen, 1998).

1.3.1.2. Stratégies alimentaires

Les stratégies alimentaires peuvent être vues comme des systèmes de prise de décision pour répondre à des questions du type : où un individu doit-il se nourrir ? Vers quelles proies doit-il diriger sa recherche (Cezilly *et al.*, 1991) ? Le poisson doit donc décider du moment et du lieu où il va se nourrir, de la durée de la période de nutrition, des proies qui sont les plus adéquates et de la manière dont il va rechercher et capturer ces proies. Il s'agit ici donc de faire efficacement face à différentes contraintes de l'environnement (la prédation, la

compétition, l'indisponibilité de la nourriture) et aux contraintes internes (morphologie et physiologie de la proie et celles du prédateur lui-même).

Selon la théorie de la recherche optimale de nourriture : "Optimal Foraging Theory", les stratégies alimentaires sont définies de telle sorte à optimiser le gain net d'énergie (Cezilly & Benhamou, 1996). Ainsi, la proie la plus profitable (énergétiquement) sera à chaque fois incluse dans l'alimentation du prédateur tandis que les proies les moins bénéfiques ne seront incluses dans le régime que lorsque la densité de la proie la plus bénéfique descendra en dessous d'un seuil critique.

1.3.1.3. Compétitions intra et inter spécifiques

Les interactions biologiques influencent les communautés de poissons dans l'eau (Strange & Foin, 1999). Les espèces ont des possibilités de dispersions et de tolérances différentes vis-à-vis des proies, ce qui leur confère des capacités compétitives diverses (Simberloff & Von Holle, 1999). Dans un milieu aquatique, le nombre d'individus d'une même espèce est limité par les capacités maximales d'accueil (biogéniques). De même, lorsque deux espèces ayant une même niche écologique s'affrontent, l'une élimine l'autre (Forné, 1994).

Une population doit, pour se maintenir, réaliser un certain nombre de fonctions vitales. Les poissons doivent pouvoir grandir et survivre et donc disposer de ressources alimentaires suffisantes. Ils doivent ensuite se reproduire dans les meilleures conditions afin d'assurer la survie des générations suivantes. Selon le principe de l'exclusion compétitive, deux espèces ne peuvent survivre dans le même milieu que si elles ont les mêmes exigences vis-à-vis de ce milieu. En principe, dans une communauté, les différentes espèces devront se répartir les ressources telles que l'espace et la nourriture. Cet état d'équilibre se complique lorsque des facteurs externes imposent des contraintes aux populations (Mérona, 2005).

1.3.2. Réseaux trophiques

Dans les écosystèmes aquatiques, trois (3) principales voies trophiques peuvent être distinguées. Il s'agit du réseau trophique herbivore, du réseau trophique détritique et du réseau trophique microbien (Ouéda, 2009). Le réseau trophique herbivore ou classique est dominé par les communautés phytoplanctoniques de grande taille qui assimilent plutôt les nitrates et les phosphates et sont donc impliquées dans la production dite nouvelle. Dans la zone

benthique, les chaînes trophiques tirent leur origine du matériel organique vivant ou mort, qui sédimente du milieu pélagique ou qui est d'origine allochtone (Paugy & Lévêque, 1999). Dans le réseau trophique microbien, la matière organique dissoute produite par l'exsudation phytoplanctonique et l'activité des consommateurs ("sloppy feeding", excréation et production de fèces) est consommée efficacement par les bactéries hétérotrophes. Cette biomasse bactérienne produite est consommée par le nanoplancton hétérotrophe et retourne ainsi dans le réseau trophique. Les éléments minéraux libérés de la matière organique peuvent ainsi connaître une deuxième vie dans la couche euphotique et servir à produire un surcroît de production primaire, dite de régénération (Torreton, 1999).

Un niveau trophique regroupe tous les organismes dont le mode de nutrition est identique ou très similaire du point de vue des aliments ingérés. À la base de l'écosystème, les organismes photosynthétiques et chimio-synthétiques qui croissent à partir d'éléments minéraux et qui représentent les producteurs primaires occupent le niveau I. Les consommateurs primaires se nourrissent aux dépens de ces organismes et occupent le niveau II. Il en est de même des consommateurs secondaires et tertiaires, qui constituent les niveaux III et IV, dont la nutrition repose sur les organismes du niveau trophique immédiatement inférieur (Paugy & Lévêque, 1999).

Dans un milieu donné, la régulation d'une population relève essentiellement de deux processus interspécifiques différents. Ce sont le contrôle par les ressources nutritives disponibles ou régulation "bottom up" et le contrôle par la prédation ou régulation "top down". Les contrôles descendant et ascendant sont deux processus qui structurent les communautés des réseaux trophiques aquatiques de façon interdépendante. Ces interactions peuvent avoir des effets quantitatifs sur les biomasses des communautés et qualitatifs, en modifiant leur diversité. Ainsi, selon le niveau trophique considéré, la réponse des producteurs à la prédation ou à la disponibilité des nutriments est différente (Brett & Goldman, 1996).

1.3.2.1. Contrôle « top-down » du réseau trophique

La position des espèces dans la chaîne alimentaire aquatique permet de déterminer leur niveau trophique (Carpenter & Kitchell, 1993). Le phytoplancton et les algues représentent les producteurs primaires car ils produisent des composés organiques vitaux tels que les acides aminés, sucres et lipides à partir des éléments minéraux (Carpenter & Kitchell, 1993). Le

phytoplancton est une proie pour les herbivores, une grande partie du zooplancton mais également certains poissons. Il constitue le premier maillon du réseau trophique aquatique. On le qualifie ainsi d'espèces basales. Contrairement au phytoplancton, le zooplancton (rotifères, crustacés, larves d'insectes...) appartient à plusieurs niveaux trophiques puisqu'il peut être herbivore, bactériovore ou zooplanctivore (Gliwicz, 2004). Chez les poissons, on distingue les espèces planctivores qui vont se nourrir essentiellement de zooplancton et dans une moindre mesure de phytoplancton et les espèces piscivores qui se situent en sommet de réseau trophique, on parle de prédateurs de sommets de chaînes ou « top-predators » (Lazzaro, 1997).

La structure des réseaux trophiques aquatiques dépend fortement de la pression exercée par les consommateurs sur leurs proies et du régime alimentaire des espèces au sommet du réseau trophique considéré. Ainsi, par un effet en cascade, un réseau trophique peut être dominé soit par les producteurs primaires lorsque la population d'herbivores est contrôlée par la prédation, soit par les herbivores lorsque leurs prédateurs respectifs sont eux-mêmes soumis à la prédation par des espèces d'un niveau trophique supérieur, on parle de cascade trophique ou de contrôle descendant ou « top-down control » (Brett & Goldman, 1996 ; Sommer, 2008).

1.3.2. Contrôle « bottom-up » du réseau trophique

La structure des réseaux trophiques aquatiques est également fortement dépendante de la quantité de ressources disponibles pour les consommateurs, on parle alors de contrôle ascendant ou « bottom-up » (Lampert & Sommer, 2007). La biomasse des consommateurs d'un certain niveau trophique est limitée par la disponibilité de leurs proies d'un niveau trophique inférieur. Si la quantité de ressources disponibles à la base de la chaîne alimentaire augmente, la productivité de tout le réseau devrait également augmenter (Lampert & Sommer, 2007). La productivité des organismes photosynthétiques constituant le phytoplancton est principalement limitée par la concentration des nutriments inorganiques, notamment le phosphore et l'azote dissous dans l'eau (Elser *et al.*, 2007), mais aussi par la quantité de lumière que reçoivent ces organismes photo-autotrophes (Padisak, 2004).

CHAPITRE II : **MATERIEL ET METHODES**

2.1. MATERIEL

2.1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé pour cette étude est constitué de diverses espèces de poissons échantillonnées dans la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama et de 556 estomacs des 15 espèces pour lesquelles le régime alimentaire a été étudié.

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

L'appareillage suivant a été utilisé, pour la mesure des différents paramètres :

- un conductimètre portatif à affichage digital (model *HACH SensION + EC 5*) a servi à la mesure de la conductivité (Figure 3a) ;

- un turbidimètre portatif à affichage digital (model *OAKTon turbidimeter T- 100*) a été utilisé pour la mesure de la turbidité (Figure 3b) ;

- un oxymètre portatif à affichage digital (model *HANNA HI 9146*) a servi à la mesure du taux d'oxygène dissous (Figure 3c) ;

- un pH-mètre portatif à affichage digital avec un thermomètre intégré (model *HANNA instruments HI 8010*) a été utilisé pour la détermination du pH et de la température de l'eau (Figure 3d) ;

- un appareil Global Positioning Systems (GPS) (model *GARMIN Oregon 70*) a permis la détermination des coordonnées géographiques des différentes stations d'échantillonnage (Figure 3e) ;

- un décimètre (model *KAIDA Professional* de 5 m de long) a servi à la mesure de la profondeur et de la largeur de l'eau à chaque station d'échantillonnage (Figure 3f) ;

- cinq flotteurs, un chronomètre et une corde graduée ont servi à la détermination de la vitesse du courant de l'eau.



Figure 3 : Matériel de mesure des paramètres physico-chimiques ; **a** = Conductimètre *HACH SensION + EC 5*; **b** =Turbidimètre *OAKTON T-100*; **c** = Oxymètre *HANNA*; **d** = pH-mètre *HANNA* ; **e** = Global Positioning Systems (GPS) *GARMIN* ; **f** = décamètre *KAIDA*.

2.1.3. Matériel d'échantillonnage de l'ichtyofaune et d'analyse des contenus stomacaux

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage de l'ichtyofaune et l'analyse des échantillons au laboratoire se compose de :

- filets maillants multi-filaments et mono-filaments de mailles 10 à 40 mm de côté, de 100 mètres de long et de 1,5 mètres de hauteur de chute (Figure 4a), de nasses (Figure 4b) et un épervier (Figure 4c) pour l'échantillonnage de l'ichtyofaune ;
- ichtyomètre de précision 0,1 millimètres pour la mesure des longueurs totales et standards des spécimens de poissons ;
- balance électronique (marque *Scout Pro* de portée 600 grammes et de précision de 0,001 grammes) pour les pesées des spécimens de poissons et des contenus stomacaux ;
- trousse à dissection pour le prélèvement des contenus stomacaux (Figure 4d) ;
- piluliers en verre contenant du formaldéhyde 5 % pour la conservation des contenus stomacaux ;
- papier buvard pour l'assèchement des estomacs ;
- tamis de 1000, 500 et 100 μm de vide de maille pour le délayage, le tamissage et la séparation des proies ;

- boîte de pétri en verre à fond quadrié (Figure 4e), une loupe binoculaire (marque *LEICA EZA* au grossissement 40×) (Figure 4f) et un microscope inversé (marque *LEICA CME*) (Figure 4g), pour le tri et l'observation des proies ;

- cellule de bürker (0,0025 mm² x 0,1 mm et renfermant 144 cases), pour le comptage du phytoplancton ;

- appareil photo numérique (marque *SONY* de 20,1 mégapixels de résolution), pour la réalisation des prises de vues des stations d'échantillonnage et des différents spécimens de poissons.

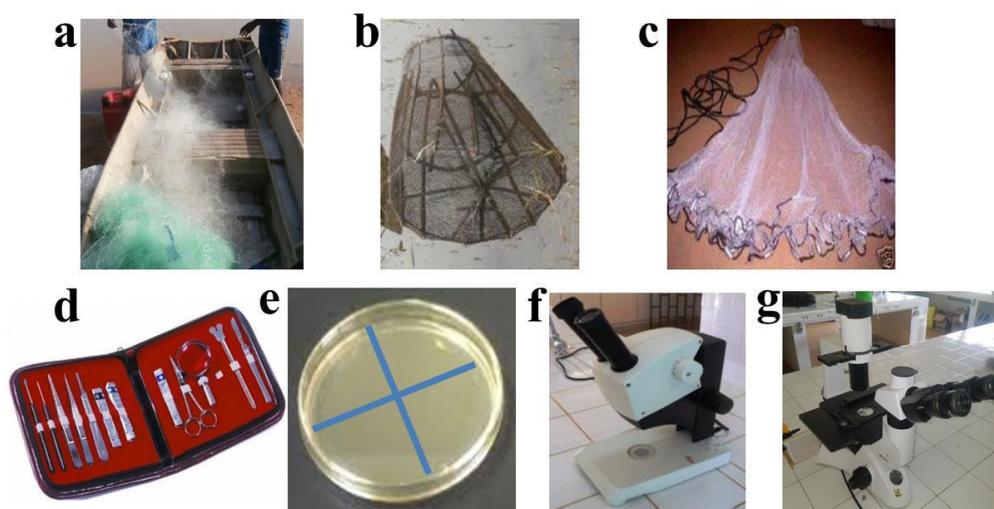


Figure 4 : Matériel de collecte des poissons et d'analyse des contenus stomacaux ; **a** = filet maillant ; **b** = nasse ; **c** = épervier ; **d** = trousse à dissection ; **e** = boîte de pétri ; **f** = loupe binoculaire ; **g** = microscope inversé.

2.2. METHODES

2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage

Cette étude a débuté par une prospection de trois (3) mois (septembre à novembre 2017) sur le fleuve Bandama dans sa section de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama en partant de l'amont (village de Zanakaha) vers l'aval (village de Yayakaha).

Les facteurs qui ont été pris en compte pour la sélection des stations d'échantillonnage sont la zonation hydrologique amont-aval de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB, l'accessibilité du site à toute période de l'année et la proximité d'activités anthropiques.

Un code a été attribué à chaque station (Tableau II). Ainsi, six (6) stations ont été retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB. Les stations Bandama Tortiya A et Bandama

Tortiya B (BTA et BTB) sont situées dans la partie amont, avant la confluence entre le fleuve Bandama et la rivière Bou située à la rive droite. Les stations Bandama Sinaïm A et Bandama Sinaïm B (BSA et BSB) se trouvent dans la partie médiane. Les stations Bandama Yayakaha A et Bandama Yayakaha B (BYA et BYB) sont situées de part et d'autre de la confluence entre le fleuve Bandama et la rivière Nambyon située à la rive gauche, dans la partie aval (Figure 5).

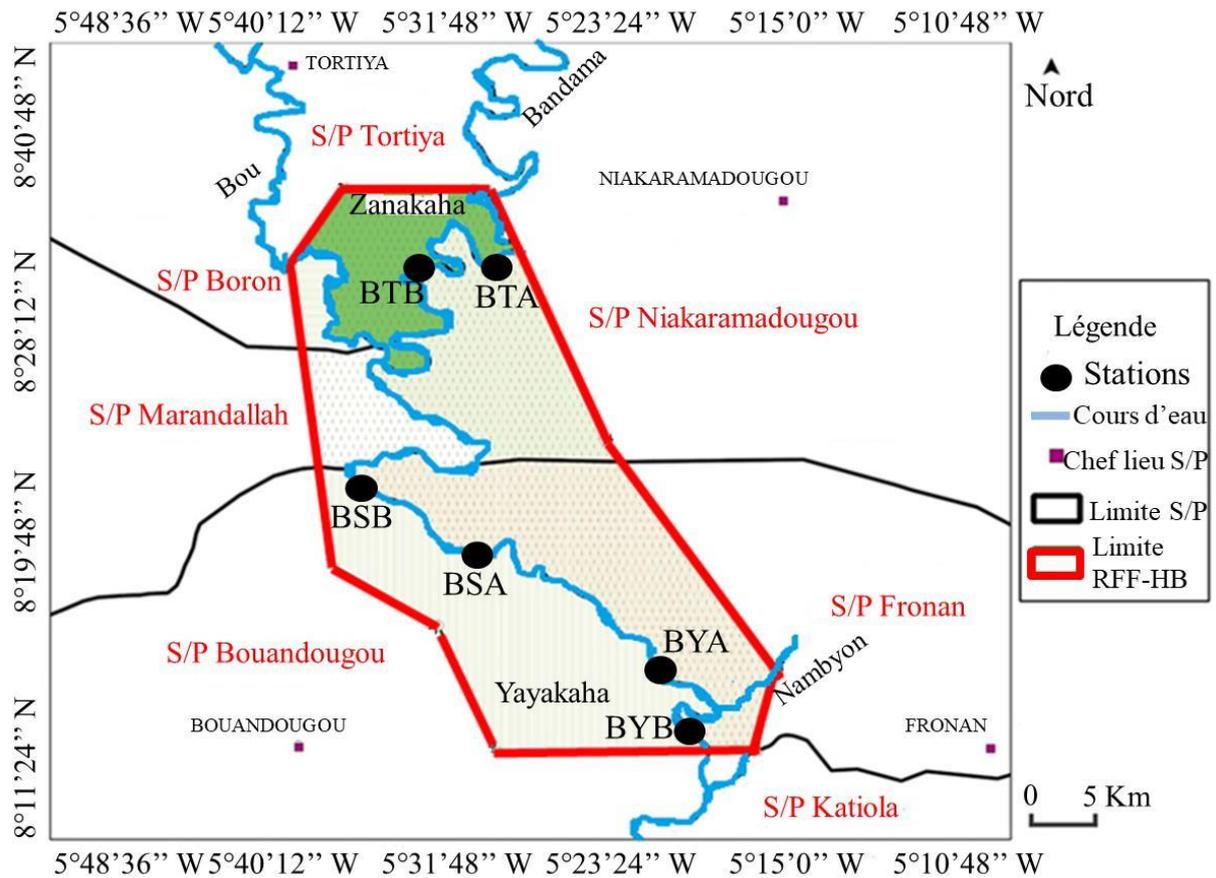


Figure 5 : Localisation des stations d'étude retenues sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

Tableau II : Coordonnées géographiques des stations d'étude retenues sur le fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

Repartition géographique de la Réserve	Gradient longitudinal du fleuve Bandama	Dénomination des stations	Codes des stations	Coordonnées géographiques
Nord de la Réserve	Partie amont	Bandama Tortiya A	BTA	8°16'14'' N 5°21'10'' W
		Bandama Tortiya B	BTB	8°36'12'' N 5°34'21'' W
Centre de la Réserve	Partie médiane	Bandama Sinaïm A	BSA	8°26'36'' N 5°37'57'' W
		Bandama Sinaïm B	BSB	8°27'30'' N 5°36'23'' W
Sud de la Réserve	Partie aval	Bandama Yayakaha A	BYA	8°16'54'' N 5°22'10'' W
		Bandama Yayakaha B	BYB	8°16'14'' N 5°21'10'' W

2.2.2. Description des stations d'échantillonnage

2.2.2.1. Station BTA

Les coordonnées géographiques de la station Bandama Tortiya A (BTA) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire sont : 8°16'14'' N et 5°21'10'' W et d'altitude 927 mètre. La pente à la station est de 0,46 % sur la rive gauche avec une canopée de 1 %. 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'orpillage et d'une plantation d'anacarde sur la rive gauche. La station Bandama Tortiya A présente des signes d'activité de pêche clandestine avec la présence de filets usés et de tentes de pêcheurs sur la rive droite.

L'eau y est claire, avec un fond visible durant la saison sèche et trouble en saison pluvieuse. Le substrat est composé de vase, de sable, de blocs de roches et de débris végétaux. A cette station, le courant est faible et on observe en pleine eau, une abondante présence d'algues (boom d'algue) de couleur verdâtre durant la saison sèche (Figure 6).



Figure 6 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya A (BTA) dans la partie amont du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.2.2. Station BTB

La station Bandama Tortiya B (BTB) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire a pour coordonnées géographiques 8°36'12.4'' N, 5°34'21'' W et 921 mètres d'altitude. Une végétation ripicole borde les rives droite et gauche de cette station. Tout comme la station Bandama Tortiya A, Bandama Tortiya B est située à proximité d'un ancien site d'orpaillage et d'une plantation d'anacarde sur la rive gauche.

L'eau y est légèrement trouble, avec un fond visible en saison sèche et trouble en saison pluvieuse. Le substrat à cette station est constitué de blocs de roche et de débris végétaux. Le courant est fort et la pente à cette station est de 1 % sur la rive gauche avec une canopée de 0 % (Figure 7).



Figure 7 : Vue partielle de la station Bandama Tortiya B (BTB) dans la partie amont du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.2.3. Stations BSA

Les coordonnées géographiques de la station Bandama Sinaïm A (BSA) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire sont : $8^{\circ}26'36''$ N et $5^{\circ}37'57''$ W et d'altitude 894 mètre. La pente à cette station est de 0,2 % sur la rive droite avec une canopée de 0 % et on observe sur les rives droite et gauche la présence de végétation ripicole. La station Bandama Sinaïm A présente des signes d'activité de pêche clandestine avec la présence de pirogues et de filets de pêche usés sur la rive droite.

L'eau a un aspect clair avec un fond visible pendant la saison sèche et trouble en saison pluvieuse. Le substrat est composé de vase et de sable avec un peu de débris végétaux. A cette station, le courant est faible et une importante présence d'algues (boom d'algue) de couleur rougeâtre se remarque en pleine eau pendant la saison sèche. La station BSA est présentée par la figure 8.



Figure 8 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm A (BSA) dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.2.4. Stations BSB

Les coordonnées géographiques de la station Bandama Sinaïm B (BSB) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire sont : $8^{\circ}27'30''$ N, $5^{\circ}36'23''$ W et 889 mètres d'altitude. La pente à cette station est de 0,1 % sur la rive droite avec une canopée de 1 %. Sur les rives droite et gauche, on observe la présence de végétation ripicole. À la station Bandama Sinaïm B, le lit principal du fleuve 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 a un aspect clair, avec un fond visible pendant la saison sèche et trouble en saison pluvieuse. Le substrat est constitué de graviers, de roches et de débris végétaux (Figure 9).



Figure 9 : Vue partielle de la station Bandama Sinaïm B (BSB) dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.2.5. Stations BYA

La station Bandama Yayakaha A (BYA) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire, est située à 8°16'54'' N, 5°22'10'' W et 864 mètre d'altitude. Elle se trouve sur le fleuve Bandama vers l'embouchure avec la rivière Nambyon.

L'eau à Bandama Yayakaha A est trouble sur les deux saisons climatiques avec un courant faible. Une végétation ripicole borde les rives gauche et droite de cette station. Le substrat est constitué de vase, de sable et de débris végétaux. 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 1 % sur la rive gauche avec une canopée de 1 % (Figure 10).



Figure 10 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha A (BYA) dans la partie aval du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.2.6. Stations BYB

La station Bandama Yayakaha B (BYB) retenue sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB en Côte d'Ivoire, est située à $8^{\circ}16'14''$ N, $5^{\circ}21'10''$ W et 857 mètres d'altitude. Cette station était une zone d'approvisionnement en eau pour la population villageoise de Yayakaha qui était un village de clandestins autrefois située à l'intérieur de la Réserve.

L'eau à la station Bandama Yayakaha B est trouble sur les deux saisons climatiques et le courant est faible. Une végétation ripicole borde les rives gauche et droite de la station BYB. Le substrat est constitué de vase, de sable et de débris végétaux. La pente à cette station est de 1 % sur la rive gauche avec une canopée de 2 % (Figure 11).



Figure 11 : Vue partielle de la station Bandama Yayakaha B (BYB) dans la partie aval du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

2.2.3. Collecte des données abiotiques et biotiques

La collecte des données abiotiques et biotiques dans la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama s'est effectuée entre janvier 2018 et février 2019. Huit (08) campagnes d'échantillonnage ont été effectuées durant cette période à raison de quatre (04) campagnes par saison suivant les deux saisons climatiques qui prévalent dans la zone d'étude. Durant la saison sèche, les campagnes ont été réalisées dans les mois de novembre 2018, décembre 2018, janvier 2019 et février 2019. Quant aux campagnes de la saison pluvieuse, elles ont eu lieu pendant les mois de mars 2018, avril 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 des appareils dans l'eau, puis les valeurs stabilisées de ces paramètres sont lues sur l'écran d'affichage.

La turbidité quant à elle a été mesurée sur un échantillon d'eau de 10 ml recueilli dans un récipient spécifique du turbidimètre et placé dans la loge de l'appareil prévue à cet effet. Les valeurs stabilisées de ce paramètre sont lues sur l'écran d'affichage.

2.2.3.2. Mesure des paramètres hydromorphologiques

Tout au long de cette étude, la profondeur, la vitesse du courant et la largeur du lit mouillée ont été mesurés.

Ainsi, 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.

Pour la vitesse du courant, il s'est agi, à l'aide d'un chronomètre, de prendre le temps que met un flotteur lesté pour parcourir une distance de 5 m (Gordon *et al.*, 1994 ; Soldner *et al.*, 2004). Cette opération a été répétée cinq fois et le temps moyen est noté. La vitesse est alors égale à la distance parcourue (5 m) rapportée au temps moyen.

La largeur du lit mouillée a été mesurée en joignant, par pirogue, les deux rives du cours d'eau à l'aide d'une corde graduée (Soldner *et al.*, 2004).

2.2.3.3. Echantillonnage, identification et mensuration des poissons

Les échantillons de la faune ichthyologique sont issus de la pêche expérimentale. Les filets maillants utilisés ont des mailles variant entre 10 et 40 millimètres de côté, et mesurent 100 mètre de long, pour 1,5 mètres de hauteur de chute chacun.

Les filets maillants et les nasses sont posés entre 16 heures et 17 heures et relevés le lendemain entre 06 heures et 07 heures, pour la pêche de nuit. Ils sont reposés entre 07 heures et 08 heures puis relevés entre 15 heures et 16 heures, pour la pêche de jour (Figure 12). Par ailleurs, le filet épervier a aussi été utilisé pour capturer les poissons. Il est lancé à la main depuis une pirogue puis ramené en tirant sur la corde de ramassage (Figure 13).

L'identification des spécimens collectés est effectuée au niveau spécifique à l'aide des clés proposées par Paugy *et al.* (2003a et b) et Froese et Pauly (2012 et 2014).

Les mensurations des spécimens échantillonnés ont été faites au mm près à l'aide d'un ichtyomètre, *in-situ* pour les espèces dont l'identification a été possible sur le terrain et en laboratoire pour les espèces dont l'identification n'a pas été possible sur le terrain. Ces mensurations ont concerné la longueur totale et la longueur standard et sont exprimées en millimètre (Figure 14). La longueur totale correspond à la distance prise de l'extrémité du museau à l'extrémité de la nageoire caudale. La longueur standard des poissons est la distance entre l'extrémité du museau et la base (ou l'articulation) de la nageoire caudale. Le poids total de chaque poisson (non éviscéré) a été déterminé sur le terrain en gramme (g) à l'aide d'une balance électronique de précision 0,1 g près.



Figure 12 : Pose des filets maillants et nasses sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.



Figure 13 : Séance de pêche au filet épervier sur la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

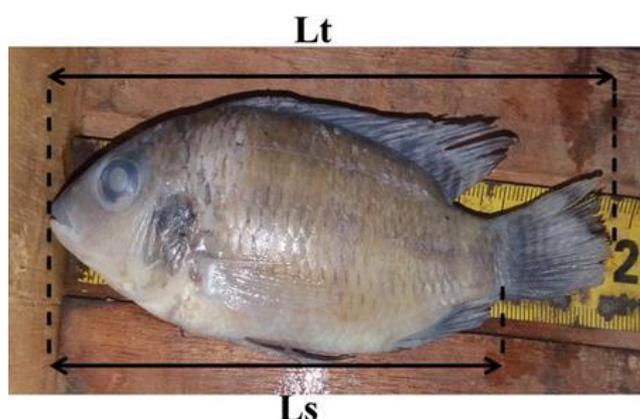


Figure 14 : Illustration des mensurations effectuées sur chaque spécimen de poisson capturé dans la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama ; Lt = longueur totale ; Ls = longueur standard.

2.2.3.4. Analyse des contenus stomacaux

Dans la présente étude, l'analyse des contenus stomacaux a été faite avec les espèces pour lesquelles au moins 30 estomacs pleins ont été disséqués. Ainsi, quinze (15) espèces ont été concernées. Au total 556 estomacs contenant des proies ont été examinés.

Les estomacs examinés ont été prélevés après mesure, pesée et dissection des poissons. Ces estomacs ont ensuite été conservés dans des piluliers contenant du formaldéhyde 5 %. Avant leur examen, au laboratoire, le formaldéhyde contenu dans les piluliers a été remplacé par de l'eau et les contenus ont été mis à égoutter, afin d'éviter une surestimation de leur poids. Chaque estomac a été essoré sur du papier buvard et pesé à 0,001 grammes près.

L'estomac a été ensuite ouvert et son contenu délayé avec de l'eau dans une boîte de pétri. L'enveloppe stomacale a été également pesée. Le contenu stomacal a été filtré à travers une série de tamis de 1000, 500 et 100 μm de diamètre. Les fractions retenues sur les tamis et le filtrat ont été examinés respectivement à la loupe binoculaire et au microscope inversé. Les proies de grandes tailles ont été triées et identifiées à l'œil nu dans des boîtes de pétri. Les catégories de proies ont été triées, comptées et pesées au 0,001 grammes près. L'identification des proies a été faite au niveau taxonomique le plus bas possible à partir des clés de Déjoux *et al.* (1981), Durand et Levêque (1991), Mary (2000), De Moor *et al.* (2003), Barbe *et al.* (2003), Brown (2005), Tachet *et al.* (2006) et Forcellini *et al.* (2011) pour les invertébrés. L'identification des organismes planctoniques a été faite à partir des clés de Komoé (2010) et Lozo *et al.* (2019), quand l'état de digestion n'est pas trop avancé.

Les différents taxons ont été identifiés en tenant compte des observations suivantes :

- les restes d'insectes sont dénombrés en fonctions du nombre de têtes et d'abdomens présents et les autres parties du corps (ailes, pattes, coxa) sont considérés comme des restes d'insectes quand il n'était pas possible d'en donner l'ordre ou la famille ;
- les mollusques dont les coquilles sont endommagées sont dénombrés en tenant compte de l'apex ;
- les racines, tiges, fibres végétales et graines sont classées dans les « débris végétaux » ;
- les écailles, les œufs et les structures sclérifiées sont comptés dans la catégorie « autres proies » ;
- pour le dénombrement des items tels que les restes d'insectes et les débris végétaux, le chiffre 1 a été attribué à leur présence dans un estomac quel que soit leur quantité et leur poids (Aboua, 2012).

2.2.4. Analyse du peuplement ichthyologique

2.2.4.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique ou diversité brute est le nombre total d'espèces rencontrées dans un écosystème donné. Elle permettra de déterminer le nombre total d'espèces auxquelles appartiennent les poissons prélevés à une station d'échantillonnage (Ramade, 2003). Elle renseigne sur la variabilité des niches écologiques d'une station (Alliaume *et al.*, 1990).

2.2.4.2. Fréquence d'occurrence (F)

La fréquence ou pourcentage d'occurrence est le nombre de stations où une espèce est échantillonnée par rapport au nombre total de stations prospectées (Paugy & Lévêque, 1999). Elle renseigne sur les préférences de milieu (habitat) d'une espèce donnée.

La fréquence d'occurrence est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$F = \frac{Si}{St} \times 100 \quad (1)$$

Avec : Si = nombre de stations où l'espèce i a été capturée et St = nombre total de stations prospectées.

La classification de Djakou et Thanon (1988) s'établit comme suit :

- 80 à 100 % = espèces très fréquentes ;
- 60 à 79 % = espèces fréquentes ;
- 40 à 59 % = espèces assez fréquentes ;
- 20 à 39 % = espèces accessoires ;
- moins de 20 % = espèces accidentelles.

2.2.4.3. Similarités taxonomiques entre les stations

La similarité spécifique entre les stations d'échantillonnage a été mise en évidence par l'indice de similarité de Jaccard (1908). Cet indice a été appliqué à toutes les espèces de poissons (Hynes, 1950). Il évalue la ressemblance entre deux relevés en faisant le rapport entre les espèces communes aux deux relevés et celles propres à chaque relevé.

L'indice de similarité 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. Profil écologique

La méthode des profils écologiques a initialement été utilisée en phytoécologie par Godron (1968) et Guillerm (1971). Elle fut ensuite appliquée à des populations animales par

André (1973), Lacroix (1987), Lacroix & Lescher-Moutouré (1991). Selon Gounot (1969) le profil écologique est le diagramme des fréquences relatives d'une espèce en fonction des classes d'un descripteur écologique qui est selon Dajoz (1975) un élément du milieu susceptible d'agir directement sur les être-vivants au moins durant une phase de leur cycle de développement.

Cette méthode permet une représentation simple des relations entre la présence des espèces et les facteurs aussi bien abiotiques que biotiques. Elle permet une appréciation plus aisée des affinités ou des différences entre espèces, indépendamment de leurs fréquences respectives. Dans cette étude, la détermination des profils écologiques de la faune ichtyologique a été effectuée en fonction du nombre d'espèces, afin de vérifier si la compétition joue un rôle important dans l'organisation des peuplements de poissons du lit principal du fleuve Bandama au sein de la RFF-HB. Soit une variable V découpée en k classes. Etant donné N relevés, le profil écologique d'ensemble de V se caractérise par les nombres $N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_k$ de relevés effectués dans chaque modalité de cette variable :

$$\sum_{j=1}^k N_j = N \quad (3)$$

Soit une espèce E_i présente dans N_i échantillons et $N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{ij}, \dots, N_{ik}$, les nombres de relevés caractérisés par la présence de E_i dans chacune des k classes de la variable :

$$\sum_{j=1}^k N_{ij} = N_i \quad (4)$$

Le profil des fréquences relatives $N_{i1}/N_1, N_{i2}/N_2, \dots, N_{ij}/N_j, \dots, N_{ik}/N_k$ permet de caractériser la répartition de l'espèce en fonction des différentes modalités de V . Ce profil est dépendant de la fréquence absolue de l'espèce dans les N échantillons.

Ainsi, le profil écologique de l'espèce E_i se définit par les indices $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{ij}, \dots, C_{ik}$ avec :

$$C_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} \times \frac{N}{N_i}, (j = 1, \dots, k). \quad (5)$$

Les valeurs du profil écologique sont ainsi toutes égales à 1 si les relevés caractérisés par la présence de l'espèce E_i sont uniformément distribués dans les différentes modalités de

la variable. L'allure du profil et l'importance de déviations par rapport à ce chiffre traduisent la nature et l'intensité de la liaison entre l'espèce et le facteur étudié.

2.2.4.5. Statut de conservation et vulnérabilité

Le statut de conservation et la vulnérabilité des différents spécimens de poissons échantillonnés dans la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama ont été déterminés respectivement selon la classification de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) version 2023 et la base de données "fishbase".

Le statut de conservation des poissons est un indicateur permettant d'évaluer l'ampleur du risque d'extinction d'une espèce à un instant donné. Il demeure une source très riche d'informations sur les menaces qui pèsent sur les espèces, sur leurs exigences écologiques, les endroits où elles vivent et sur les actions de conservation auxquelles il est possible de recourir pour empêcher leur extinction. En utilisant les critères UICN les plus récents et suivant une échelle de risque d'extinction croissant, le statut de conservation des poissons est classé selon neuf (9) catégories (Figure 15).

La vulnérabilité à la pêche permet d'évaluer le degré de menaces qui pèsent sur les espèces. Ce degré de menaces s'évalue des espèces à "faible" vulnérabilité aux espèces à vulnérabilité "très élevée".

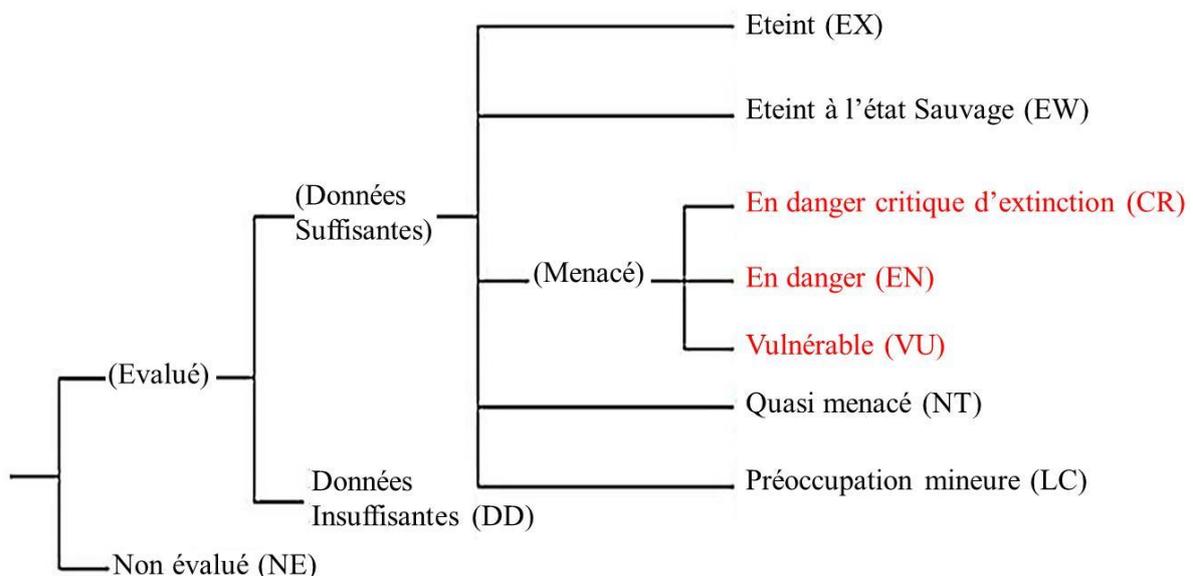


Figure 15 : Structure des catégories de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) version 2023.

2.2.4.6. Abondance relative (N)

L'abondance relative (P_i) est le rapport entre le nombre d'individus d'un groupe taxonomique (espèce, famille et ordre) dans un prélèvement donné et le nombre total d'individus (Ramade, 2003).

L'abondance relative est déterminée par la formule suivante :

$$P_i = \frac{n}{Nt} \times 100 \quad (6)$$

Avec : n = nombre d'individus et Nt = nombre total d'individus.

L'abondance relative a permis de déterminer l'importance des différents ordres, familles et espèces de poissons aux différentes stations d'échantillonnage de la Réserve du Haut-Bandama.

Dans cette étude, les familles et les espèces de poissons pour lesquelles les abondances relatives ont été inférieures à 5 % n'ont pas été pris en compte.

2.2.4.7. Diversité spécifique

2.2.4.7.1. Indice de diversité de Shannon (H')

L'indice de diversité de Shannon (H') est fondé sur le nombre d'espèces de poissons échantillonné sur le fleuve Bandama dans la réserve et la régularité de leur fréquence de distribution. Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité et l'équilibre des communautés d'un milieu (Ramade, 1994). 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 :

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i \quad (-7)$$

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 de poissons présent et de leurs proportions relatives.

H' tend vers zéro quand une espèce est présente en très grand nombre par rapport aux autres espèces. À l'inverse, il est maximal lorsque toutes les espèces de poissons sont équitablement représentées dans l'échantillon, c'est-à-dire que toutes les espèces ont le même effectif.

Généralement, dans les milieux naturels, quel que soit le groupe spécifique étudié, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (communautés les plus diversifiées et réparti équitablement) (Frontier, 1983 ; Frontier & Pichod-Viale, 1998).

2.2.4.7.2. Indice d'équitabilité (E) de Piélou

L'indice de régularité ou d'équitabilité E de Piélou (1969) traduit le degré de diversité atteint pour identifier l'équilibre du peuplement de poissons du fleuve Bandama dans la réserve. 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 :

$$E = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (8)$$

Avec S : nombres d'espèces observées et H' = indice de diversité de Shannon.

L'indice d'équitabilité E de Piélou varie entre 0 et 1.

Lorsqu'il est proche de 0, cela signifie qu'une espèce domine largement le peuplement de poissons et lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces tendent à avoir la même abondance dans un milieu naturel non perturbé.

2.2.4.8. Détermination des paramètres de croissance du peuplement de poissons

La structure en tailles et les relations longueur-poids du peuplement de poissons ont été déterminées pour les espèces ayant une abondance relative élevée dans l'ensemble du peuplement ichthyologique de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

2.2.4.8.1. Structures en tailles

Les distributions des fréquences de tailles des trois espèces retenues ont été déterminées globalement dans le lit principal de la section du fleuve au sein de la réserve et ont été analysées.

A cet effet, les classes de tailles ont été déterminées selon la règle de Sturge (Scherrer, 1984) dont l'équation est la suivante :

$$Nc = 1 + (3,3 \times \text{Log}_{10} N) \quad (9)$$

Avec : **Nc** = nombre de classes et **N** = nombre total des spécimens examinés.

L'intervalle de chaque classe est déterminé selon la formule suivante :

$$Ic = (Ls \max - Ls \min) / Nc \quad (10)$$

Avec : **Ic** = Intervalle de classe, **Ls** = Longueur standard, **max** = maximum, **min** = minimum.

2.2.4.8.2. Relations longueurs-poids

La relation longueur-poids a été définie en utilisant le poids comme une variable dépendante déterminée à partir de la longueur (variable indépendante) (Sidibé, 2013).

Pour établir cette relation, des analyses de régression simples ont été appliquées pour chaque groupe par la relation suivante (Le Cren, 1951 ; Ricker, 1979) :

$$P = a \times Ls^b \quad (11)$$

Avec : **P** = poids corporel en gramme ; **Ls** = longueur standard en mm ; **a** = ordonnée à l'origine ou coefficient de condition ; **b** = pente ou coefficient de régression ou encore coefficient d'allométrie.

Ce coefficient fournit des informations sur le type de croissance des poissons et des variations de densité (Ricker, 1980).

Lorsque **b** est égale à 3, la croissance est dite isométrique, c'est-à-dire que l'individu grossit autant qu'il grandit (La taille et la masse corporelle croissent à la même vitesse). Lorsque **b** est inférieur à 3, l'allométrie est négative c'est-à-dire que l'individu grossit moins vite qu'il ne grandit. Lorsque **b** est supérieur à 3, l'allométrie est positive c'est-à-dire que l'individu grossit plus vite qu'il ne grandit.

Pour réduire la variabilité et homogénéiser les deux variables **P** et **Ls**, l'équation de cette relation a été linéarisée en la mettant sous la forme logarithmique suivante (Chikou, 2007 ; Montcho, 2011) :

$$\text{Log}(P) = \log(a) + b \log(Ls) \quad (12)$$

Afin de tester si les valeurs de **b** diffèrent significativement de 3, le test *t* de Student a été appliqué (Zar, 1999).

2.2.4.9. Caractérisation du régime alimentaire

Les régimes alimentaires des différentes espèces ont été définis à l'aide de l'indice de prépondérance (I_p). Les guildes trophiques vont conduire à identifier la structure trophique.

2.2.4.9.1. Pourcentages d'occurrences (F)

Le pourcentage d'occurrence (F), est le rapport en pourcentage de la fréquence d'une proie (i) par la somme des fréquences de cette proie (i) (Gray *et al.*, 1997 ; Young *et al.*, 1997).

Son équation s'énonce selon la formule suivante :

$$F = \frac{F_i}{\sum F_i} \times 100 \quad (13) \quad \text{Avec : } F_i = \frac{n_i}{n_t}$$

Avec : F_i = fréquence d'une proie (i), n_i = nombre d'estomacs contenant une proie (i), n_t = nombre total d'estomacs pleins examinés.

La classification de Djakou et Thanon (1988) a permis d'identifier l'importance des proies pour chaque espèce :

- 80 à 100 % = proies très fréquentes ;
- 60 à 79 % = proies fréquentes ;
- 40 à 59 % = proies assez fréquentes ;
- 20 à 39 % = proies accessoires ;
- moins de 20 % = proies accidentelles.

2.2. 4.9.2. Pourcentages pondéraux (P)

Le pourcentage pondéral (P) est le rapport en pourcentage du poids total des individus d'une même catégorie de proies d'un groupe taxonomique (famille et ordre) par le poids total des proies inventoriées (Hyslop, 1980).

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

$$P = \frac{P_i}{P_t} \times 100 \quad (14)$$

Avec : P_i = poids total des individus d'une même catégorie de proies (i), P_t = poids total des proies inventoriées.

2.2. 4.9.3. Indices de prépondérances (Ip)

L'indice de prépondérance (Ip) de Natarajan & Jhingran (1961), modifié par Amundsen *et al.* (1996) et combinant les pourcentages d'occurrences (Fc) et pondéraux (P), est le rapport en pourcentage du produit des pourcentages d'occurrences et pondéraux par la somme des produits des pourcentages d'occurrences et pondéraux (King *et al.*, 1991 ; Kouamélan, 1999 ; Yao, 2001).

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

$$I_p = \frac{F_c \times P}{\sum (F_c \times P)} \times 100 \quad (15)$$

L'indice de prépondérance (Ip) varie entre 0 et 100.

Les différentes catégories de proies ont été classées selon l'échelle suivante (Amundsen *et al.*, 1996) :

- Ip < 10 = proies accessoires ;
- 10 ≤ Ip ≤ 25 = proies secondaires ;
- 25 < Ip ≤ 50 = proies importantes ;
- Ip > 50 = proies principales.

Cet indice présente l'avantage de ne pas intégrer de pourcentage numérique car parmi nos espèces-proies figure une importante quantité de débris végétaux qu'on ne peut pas compter.

2.2. 4.9.4. Indices de chevauchements alimentaires (Cλ)

L'indice de chevauchement alimentaire (Cλ) utilisé est l'indice de Morisita-Horn ou encore l'indice simplifié de Morisita proposé par Horn (1966), pour évaluer le degré de similarité entre les régimes alimentaires des différentes espèces.

L'indice de chevauchement alimentaire est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$C_\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^s x_i y_i}{\sum_{i=1}^s x_i^2 + \sum_{i=1}^s y_i^2} \quad (16)$$

Avec : s = nombre total des proies ; x_i = la proportion (Ip) d'une proie (i) consommée par l'espèce x ; y_i = la proportion (Ip) d'une proie (i) consommée par l'espèce y.

Les régimes alimentaires sont considérés significativement chevauchants lorsque la valeur de Cλ est supérieure ou égale à 0,6 (Zaret & Rand, 1971).

2.2.5. Traitements statistiques

2.2.5.1. Analyses univariées

2.2.5.1.1. Test de normalité

La vérification de la normalité des données biotiques et abiotiques a consisté à vérifier la taille des échantillons (n) à l'aide du test de Shapiro-Wilk ($n < 50$) (Shapiro *et al.*, 1968) ou du test de Kolmogorov ($n > 50$). Après la vérification de la normalité, la distribution des observations (P) a été vérifiée et le choix des tests de comparaisons (paramétriques ou non paramétriques) à utiliser a été fait grâce aux résultats de l'homogénéité des variances (P). Lorsque la « P-value » est inférieure à 0,05, les tests non paramétriques sont utilisés. Par contre, pour une « P-value » supérieure à 0,05, les tests paramétriques sont utilisés. Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica v 7.1.

2.2.5.1.2. Tests paramétriques

Le *test-t* est la méthode la plus courante pour évaluer les différences entre les moyennes de deux groupes. Le *test-t* peut être utilisé même sur des échantillons de très petite taille (par exemple $n = 10$). Certains chercheurs affirment même que des échantillons plus petits peuvent être utilisés, 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-t* représente la probabilité d'erreur associée à l'acceptation d'une hypothèse (H_0) quant à l'existence d'une différence. Le *test-t* 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-t* a permis d'évaluer les différences entre les échantillons du gradient amont-aval, afin d'utiliser les échantillons présentant une différence significative comme métrique. Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica v 7.1.

2.2.5.1.3. Tests non paramétriques

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.

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.

Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica v 7.1.

2.2.5.2. Analyses multivariées

2.2.5.2.1. 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 du fleuve Bandama au sein de la Réserve du Haut-Bandama. 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 sorte que l'augmentation de l'inertie interclasse soit maximum (Philippeau, 1992). Le résultat est un dendrogramme arbre de la classification hiérarchique. L'Analyse de Classification Hiérarchique Ascendante a été réalisée à l'aide logiciel PAST version 2.17c.

2.2.5.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP), a permis d'une part de caractériser les différentes stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques et d'autre part d'établir la similarité entre les régimes alimentaires des poissons du fleuve dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Cette technique permet de récapituler en deux ou quelques variables synthétiques les « composantes principales », la majorité de l'information contenue dans les variables initiales (Dufrêne, 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 Statistica version 7.1.

2.2.5.2.3. Cartes auto-organisatrices de Kohonen (SOM)

Pour ordonner les stations étudiées en fonction des variables environnementales et des assemblages d'espèces, nous avons utilisé l'algorithme de la carte auto organisatrice de Kohonen "Self Organizing Maps (SOM)" (Kohonen, 1995 et 2001). Cette méthode de classification non linéaire a déjà prouvé son efficacité dans l'analyse écologique (Lek *et al.*, 2000). Elle a, en outre, l'avantage de représenter visuellement des profils simplifiés à partir des bases de données complexes en identifiant des groupes semblables (Lek *et al.*, 2000 ; Kohonen, 2001 ; Park *et al.*, 2003). Contrairement aux méthodes classiques, la SOM traite avec beaucoup d'aisance les données extrêmes (espèces rares par exemple), très souvent contenues dans les bases de données écologiques (Lek *et al.*, 1996 et 2000 ; Brosse *et al.*, 2001 ; Giraudel & Lek, 2001). La SOM se compose habituellement de deux couches de neurones. La couche d'entrée, constituée de la matrice de données, est directement reliée à la couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen, composée de neurones artificiels de sortie ou noeuds (Figure 16). Le nombre de noeuds est choisi à la suite d'un calcul de l'erreur topographique qui est un indicateur de la façon dont la carte est préservée (Alhoniemi *et al.*, 2000). Cette erreur topographique doit être inférieure à 1 (Park *et al.*, 2003). La SOM estime les intensités de connexion (les poids) entre les couches d'entrée et de sortie en utilisant un procédé concurrentiel dit non supervisé décrit par Kohonen (2001). Cette particularité est liée au fait qu'aucune indication sur les classes résultantes susceptibles d'être obtenues n'est fournie au système. Ce procédé recherche itérativement des similarités entre les données observées et les représente dans la carte de sortie en préservant les voisinages. A la fin de l'apprentissage (processus de mixage des données), 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. Enfin, la SOM produit une matrice de sortie avec les valeurs finales des poids, où les neurones de sortie se trouvent en lignes et les espèces en colonnes. L'interface SOM Toolbox (version 6.1) pour Matlab utilisée dans cette étude a été développée par l'Université de Technologie d'Helsinki et disponible sur le site : <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>.

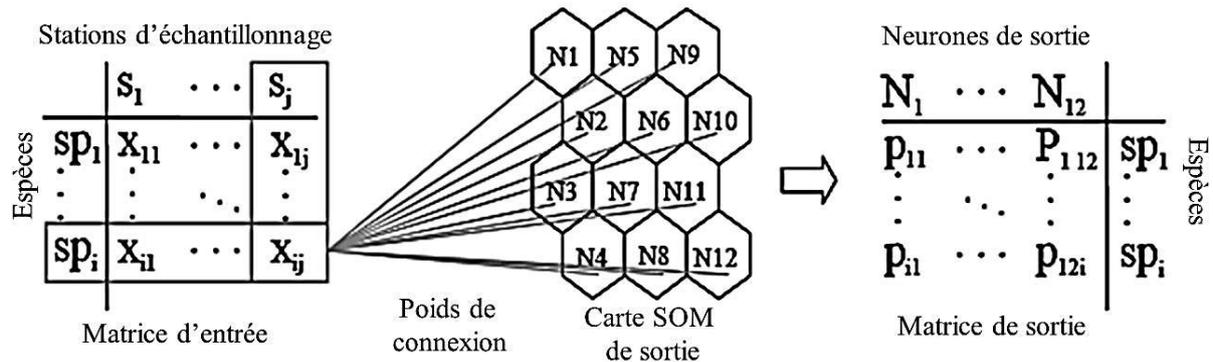


Figure 16 : Schéma simplifié de la carte auto organisatrice de Kohonen ; (Aguilar Ibarra, 2004).

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.

2.2.5.2.4. 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).

2.2.5.2.5. Méthode « Indval »

La méthode des valeurs indicatrices « *Indval* : Indicator value » est une méthode permettant de sélectionner les espèces les plus indicatrices du gradient amont-aval du fleuve Bandama dans la réserve (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'un gradient amont-aval donné. 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 :

$$\text{Ind Val}_{ij} = 100 \times A_{ij} \times B_{ij} \quad (17)$$

Avec : IndVal_{ij} valeur indicatrice de l'espèce i dans le groupe de relevés j ; A_{ij} = Nombre d'individus ij / Nombre d'individus i et B_{ij} = Nombre de sites ij / 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 du gradient amont-aval en fonction de leurs caractéristiques abiotiques. Une espèce est considérée comme indicatrice d'un gradient donné quand le test de permutation appliqué à ses différentes valeurs indicatrices est significatif pour ce gradient (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 de gradient amont-aval ont été également assimilées aux espèces indicatrices de ce gradient (Nahmani & Rossi, 2003). Cette dernière considération signifie que l'espèce caractéristique apparaît au moins à 50 % dans un groupe donné du gradient amont-aval 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 : **RESULTATS ET DISCUSSION**

3.1. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDROMORPHOLOGIQUES DU FLEUVE BANDAMA DANS LA RESERVE DU HAUT-BANDAMA

3.1.1. Résultats

3.1.1.1. Variations spatiales

3.1.1.1.1. Température

La valeur minimale de 23°C a été enregistrée dans toutes les stations (BTA, BTB, BSA, BSB, BYA et BYB). Par contre, la valeur maximale de 26,92°C a été notée uniquement dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la RFF-HB à la station BSB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la température montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la température ne varient pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les variations spatiales de la température des eaux sont représentées par la figure 17.

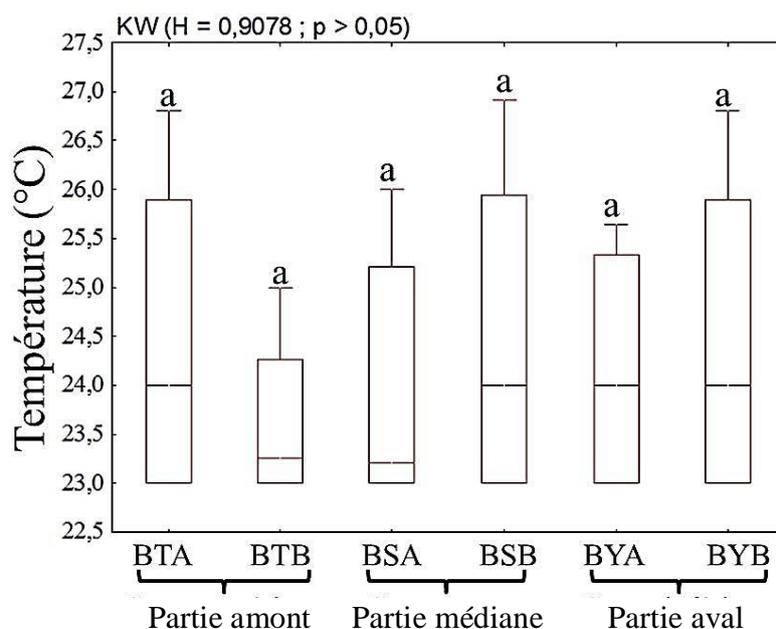


Figure 17 : Variations spatiales de la température des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.1.2. pH

La valeur minimale du pH de 6,70 a été enregistrée dans la partie inférieure à la station BYA, tandis que la valeur maximale de 8,13 est notée dans la partie supérieure de la RFF-HB à la station BTB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs du pH montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes du pH ne varient pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les variations spatiales du pH des eaux sont illustrées par la figure 18.

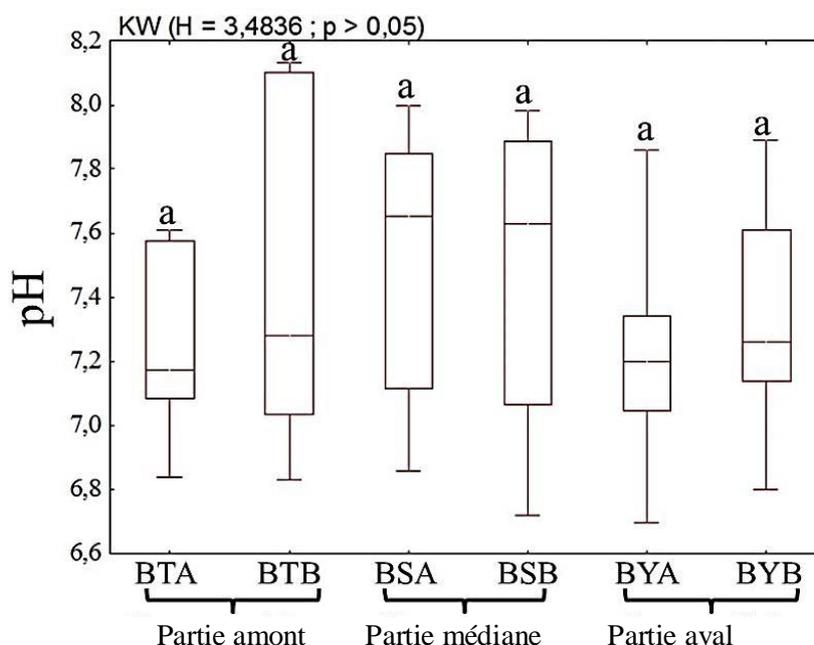


Figure 18 : Variations spatiales du pH des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.1.3. Oxygène dissous

La station BSA, située dans la partie médiane du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB enregistre les valeurs minimales ($O_2 = 2,65$ ppm) et maximales ($O_2 = 16,97$ ppm) de l'oxygène dissous.

Le test de normalité effectué sur les valeurs du taux d'oxygène dissous montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes du taux d'oxygène dissous ne varient pas significativement entre les stations (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). La figure 19 indique les variations spatiales de l'oxygène dissous.

3.1.1.1.4. Conductivité

Sur l'ensemble des stations, les valeurs de la conductivité oscillent entre 71,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 141,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur minimale de la conductivité de 71,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a été enregistrée dans la partie inférieure à la station BYA, tandis que la valeur maximale de 141,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est notée dans la partie supérieure de la RFF-HB à la station BTA.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la conductivité montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la conductivité ne varient pas significativement entre les stations (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les variations spatiales de la conductivité sont présentées par la figure 20.

3.1.1.1.5. Turbidité

La station BYB, située dans la partie inférieure enregistre la valeur minimale (turbidité = 10,15 NTU) alors que la valeur maximale (turbidité = 225,33 NTU) a été obtenue dans la partie supérieure du fleuve Bandama dans la RFF-HB à la station BTB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la turbidité montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la turbidité ne diffèrent pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). La figure 21 montre les variations spatiales de la turbidité.

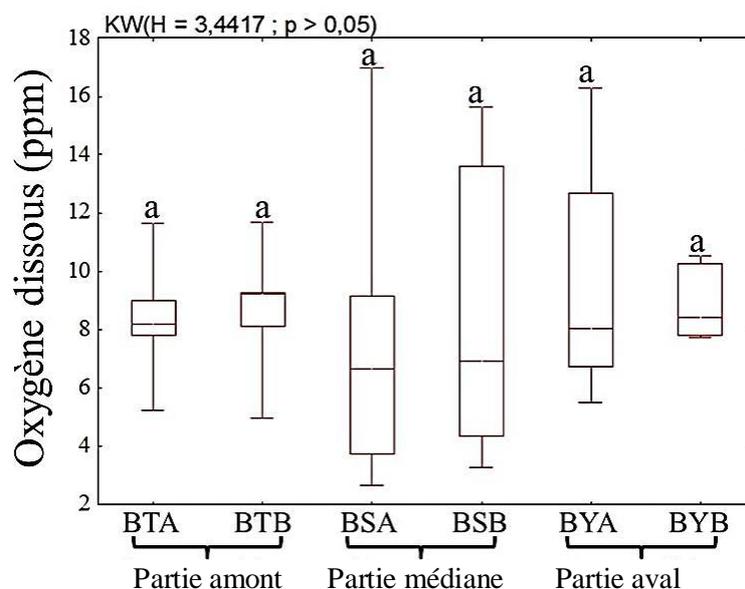


Figure 19 : Variations spatiales de l'oxygène dissous des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

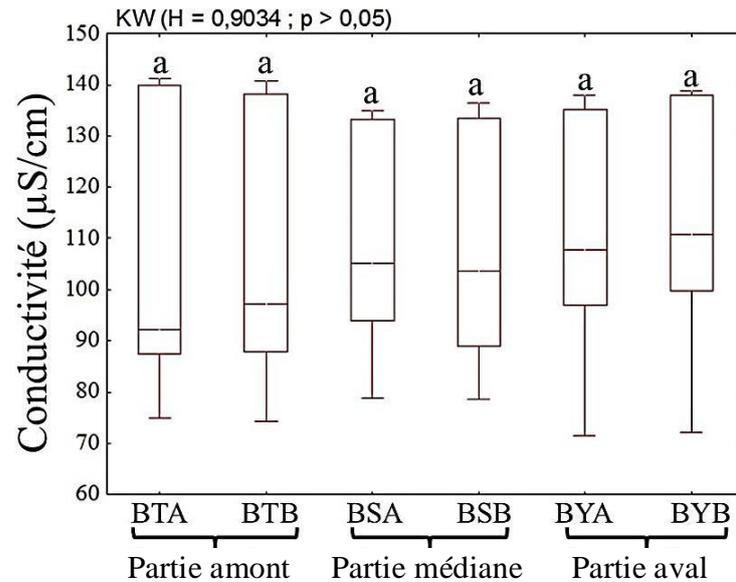


Figure 20 : Variations spatiales de la conductivité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; P = au seuil de significativité de 0,05.

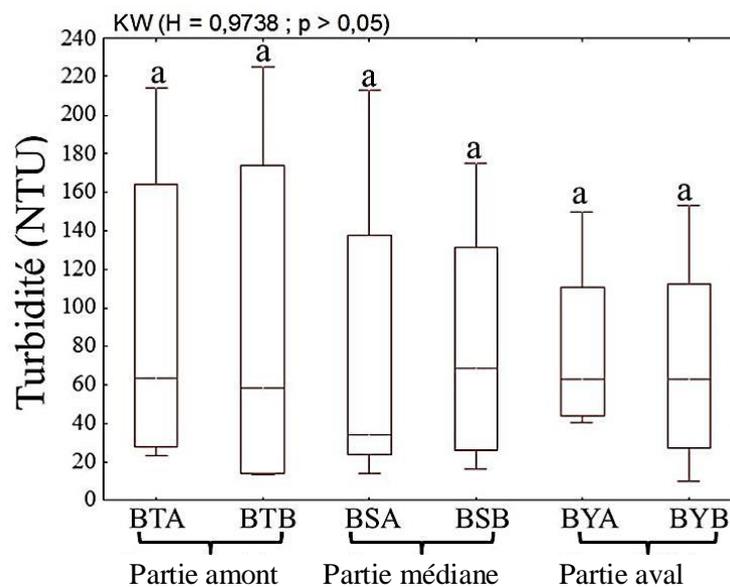


Figure 21 : Variations spatiales de la turbidité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; P = au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.1.6. Largeur du lit mouillé

Dans l'ensemble des stations, les valeurs de la largeur du lit mouillé sont comprises entre 70 m dans la partie médiane à la station BSB et 140 m à la station BYA dans la partie aval du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la largeur du lit mouillé montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé ne varient pas significativement entre les stations (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les variations spatiales de la largeur du lit mouillé sont présentées par la figure 22.

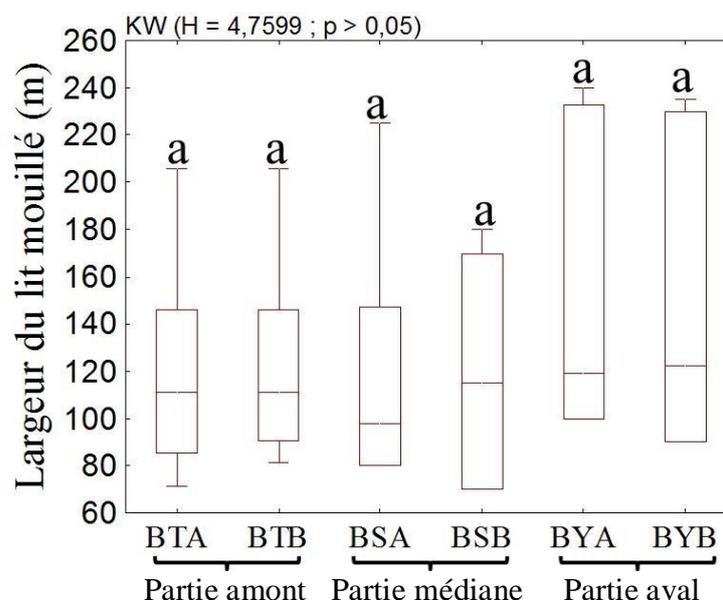


Figure 22 : Variations spatiales de la largeur du lit mouillé des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.1.7. Vitesse du courant

A l'exception de la station BTB dans la partie supérieure, la valeur minimale de la vitesse (vitesse = 0,10 m/s) du courant de l'eau a été enregistrée dans toutes les autres stations (BTA, BSA, BSB, BYA et BYB). Par ailleurs, la valeur maximale de la vitesse (vitesse = 0,50 m/s) du courant de l'eau a été notée dans les stations BTA et BTB de la partie supérieure.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la vitesse du courant de l'eau montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la vitesse du courant varient significativement entre les stations de la partie supérieure (BTA et BTB) et celles des partie médiane et inférieure (BSA, BSB, BYA et BYB) (Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, les valeurs médianes de la vitesse du courant ne diffèrent pas significativement entre les stations du même gradient (Mann-Whitney, $p > 0,05$). La figure 23 montre les variations spatiales de la vitesse du courant des eaux.

3.1.1.1.8. Profondeur

La valeur minimale de la profondeur de 1,5 m a été enregistrée dans la partie médiane à la station BSB, tandis que la valeur maximale de 2,9 m est notée dans la partie inférieure de la RFF-HB à la station BYB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la profondeur montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la profondeur ne varient pas significativement entre les stations (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). La figure 24 indique les variations spatiales de la profondeur aux stations d'échantillonnage.

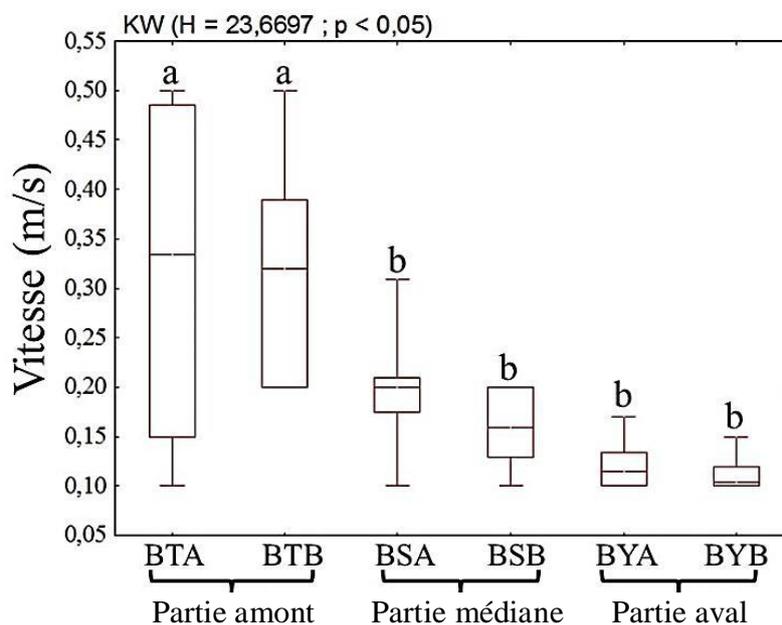


Figure 23 : Variations spatiales de la vitesse du courant des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des stations selon les tests de Kruskal-Wallis (KW) et de Mann-Whitney (MW), $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

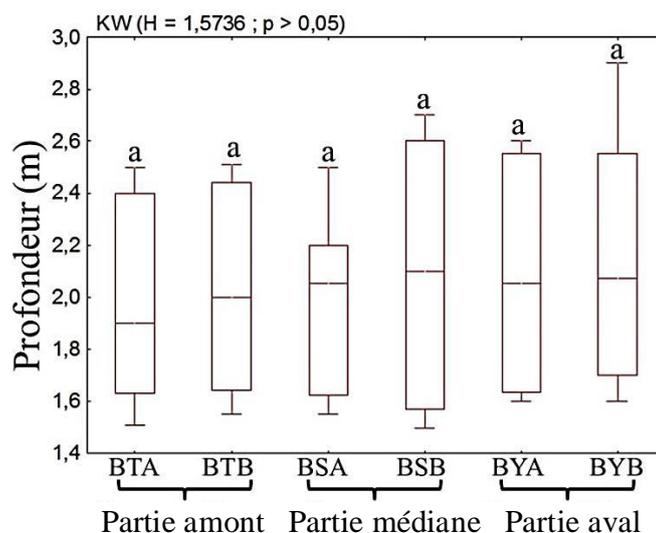


Figure 24 : Variations spatiales de la profondeur des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; P = au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.2. Variations saisonnières

3.1.1.2.1. Température

La plus faible valeur de la température de 23°C a été enregistrée durant les deux saisons climatiques au niveau de toutes les stations dans les trois parties du fleuve Bandama dans la RFF-HB. En revanche, la plus forte valeur (Température = 26,92°C), a été notée pendant la saison sèche à la station BSB dans la partie médiane du fleuve dans la réserve.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la température montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la température ne varient pas significativement entre les deux saisons dans toutes les stations (Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Figure 25).

3.1.1.2.2. pH

Dans l'ensemble des stations retenues sur le fleuve Bandama dans la réserve, les valeurs maximales du pH ont été enregistrées durant la saison sèche et les valeurs minimales pendant la saison pluvieuse. La plus faible valeur du pH (pH = 6,7) a été enregistrée durant la saison pluvieuse à la station BYA alors que la plus forte valeur (pH = 8,13) a été notée pendant la saison sèche à la station BTB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs du pH montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de ce paramètre varient significativement entre les deux saisons climatiques aux stations BTB, BSA et BYA (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, les valeurs médianes du pH ne varient pas significativement entre les deux saisons dans les stations BTA, BSB et BYB (Mann-Whitney, $p > 0,05$). Les variations saisonnières du pH des eaux sont illustrées par la figure 26.

3.1.1.2.3. Oxygène dissous

Les eaux du fleuve Bandama dans la RFF-HB présentent des valeurs minimales de l'oxygène dissous ($O_2 = 2,65$ ppm) durant les deux saisons climatiques à la station BSA dans la partie médiane. Par contre, la valeur maximale ($O_2 = 16,97$ ppm) n'a été notée que pendant la saison sèche à cette même station.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la teneur en oxygène dissous montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la teneur en oxygène dissous ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations (Mann-Whitney, $p > 0,05$). La figure 27 indique les variations saisonnières de l'oxygène dissous.

3.1.1.2.4. Conductivité

Dans l'ensemble des stations retenues sur le fleuve Bandama dans la réserve, les valeurs les plus élevées de la conductivité ont été enregistrées durant la saison sèche et les plus faibles pendant la saison pluvieuse. Par ailleurs, la valeur minimale (conductivité = $71,5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été obtenue durant la saison pluvieuse à la station BYA dans la partie aval. Tandis que la valeur maximale (conductivité = $141,13$ $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été notée en la saison sèche à la station BTA dans la partie aval.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la conductivité montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la conductivité varient significativement entre les deux saisons climatiques dans les stations des parties amont et médiane (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, les valeurs médianes de la conductivité ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les stations de la partie aval (Mann-Whitney, $p > 0,05$). Les variations saisonnières de la conductivité des eaux du fleuve Bandama dans la réserve sont présentées par la figure 28.

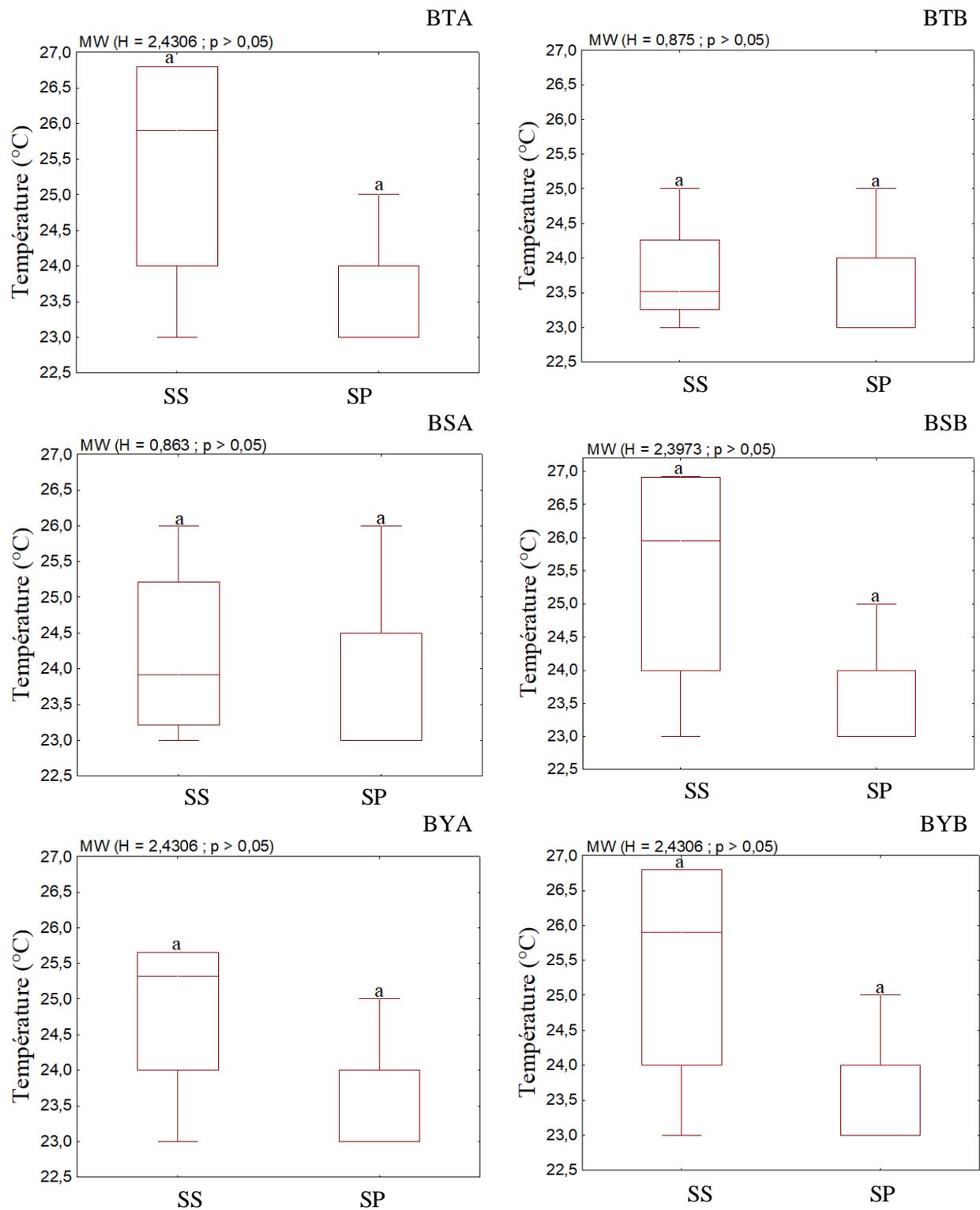


Figure 25 : Variations saisonnières de la température des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; *P* = au seuil de significativité de 0,05.

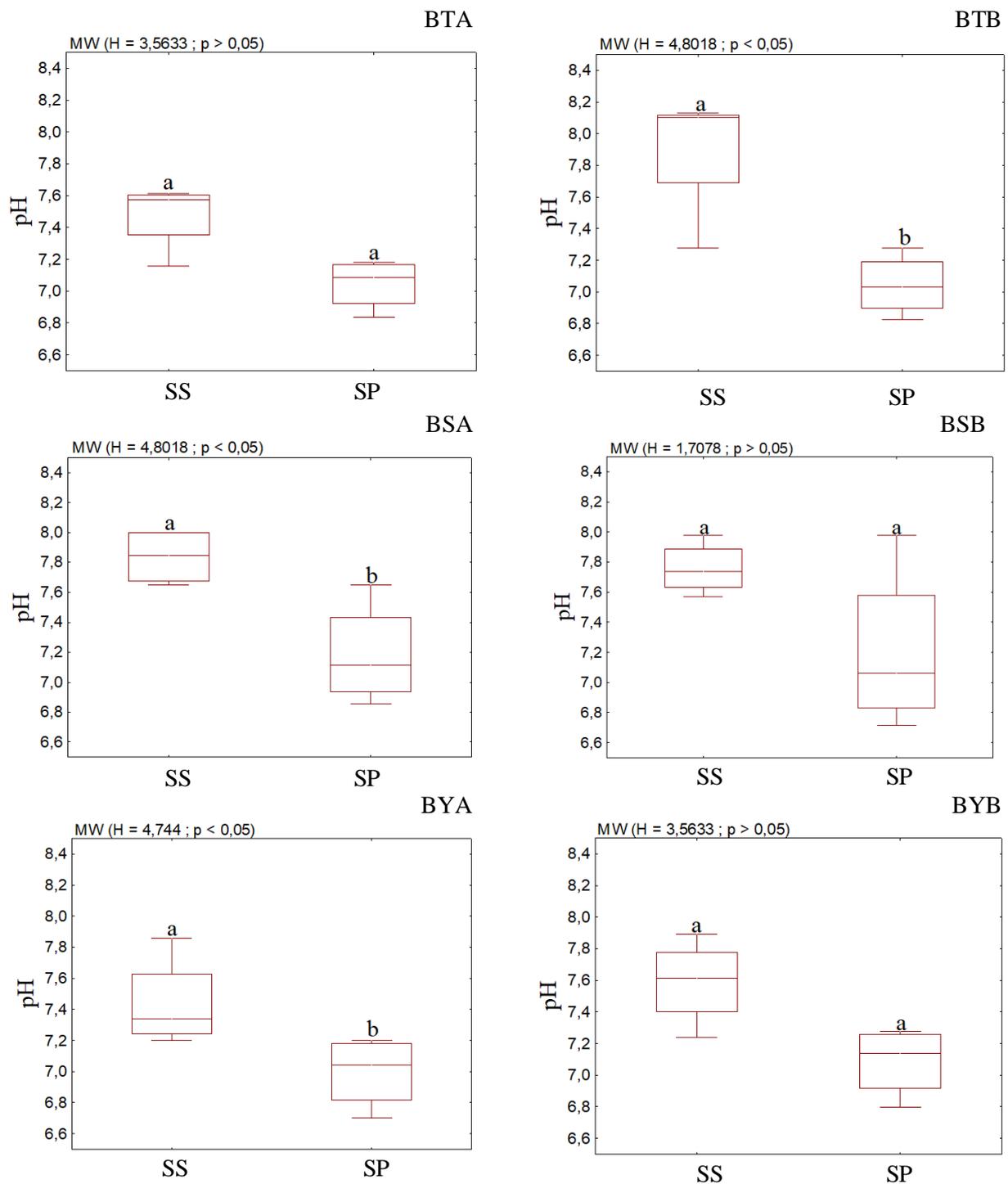


Figure 26 : Variations saisonnières du pH des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), *P* = au seuil de significativité de 0,05.

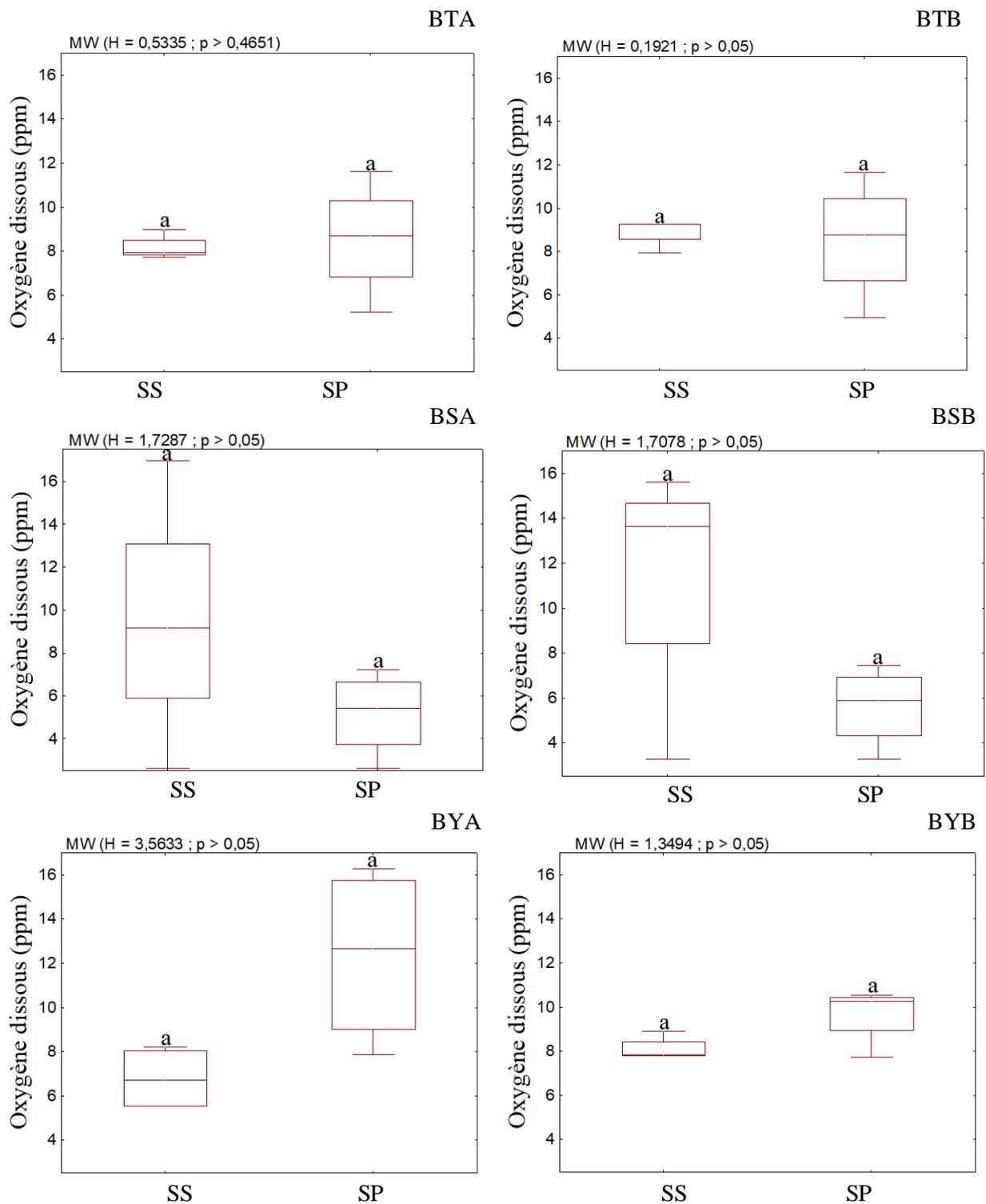


Figure 27 : Variations saisonnières de l’oxygène dissous des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; *P* = au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.2.5. Turbidité

Les valeurs les plus élevées de la turbidité ont été enregistrées durant la saison pluvieuse et les plus faibles pendant la saison sèche au niveau des trois parties du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Par ailleurs, la valeur minimale (turbidité = 10,15 NTU) a été notée durant la saison sèche à la station BYB dans la partie aval alors que la valeur maximale (turbidité = 225,33 NTU) a été mesurée en saison pluvieuse à la station BTB dans la partie amont.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la turbidité montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la turbidité varient significativement entre les deux saisons climatiques dans les stations de la partie amont et aux stations BSB et BYA (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, les valeurs médianes de la turbidité ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans les stations BSA et BYB (Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Figure 29).

3.1.1.2.6. Largeur du lit mouillé

La valeur minimale (largeur = 70 m) a été enregistrée durant la saison sèche dans la partie médiane à la station BSB, tandis que la valeur maximale de 240 m a été notée en saison pluvieuse dans la partie aval à la station BYA.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la largeur du lit mouillé montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la largeur du lit mouillé varient significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations du fleuve Bandama dans la RFF-HB (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les variations saisonnières de la largeur du lit mouillé sont présentées par la figure 30.

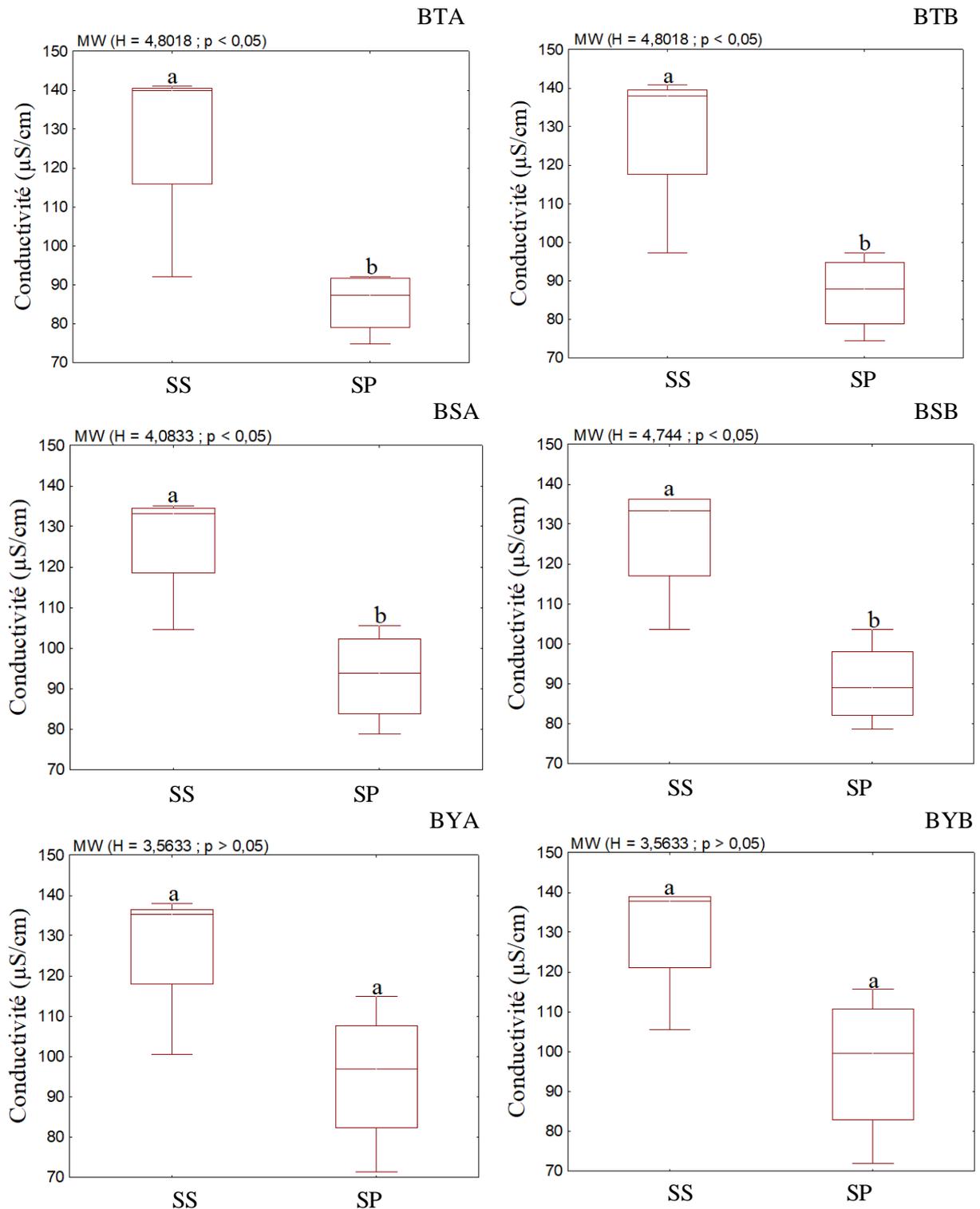


Figure 28 : Variations saisonnières de la conductivité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; SS = saison sèche, SP = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), P = au seuil de significativité de 0,05.

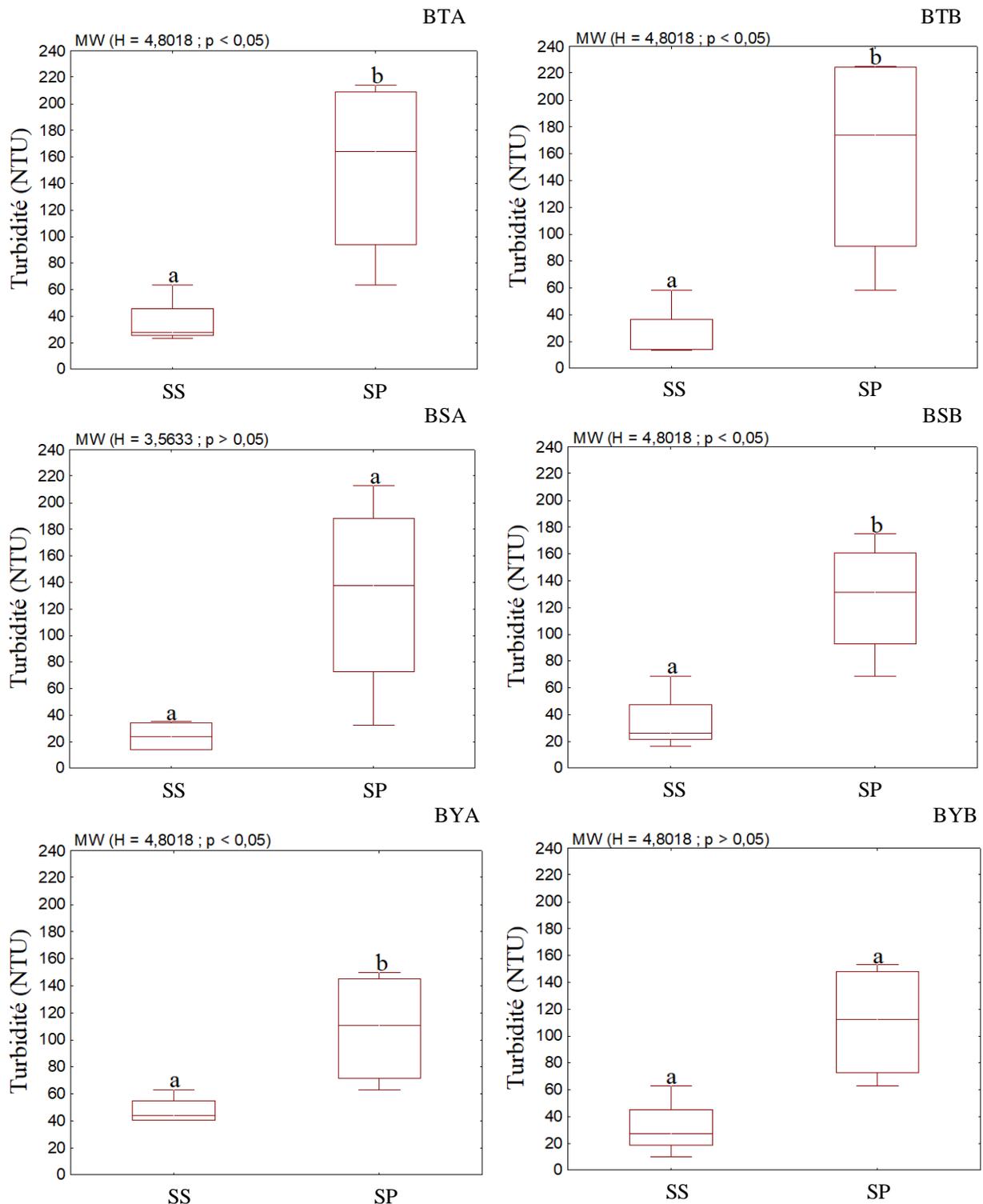


Figure 29 : Variations saisonnières de la turbidité des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), P = au seuil de significativité de 0,05.

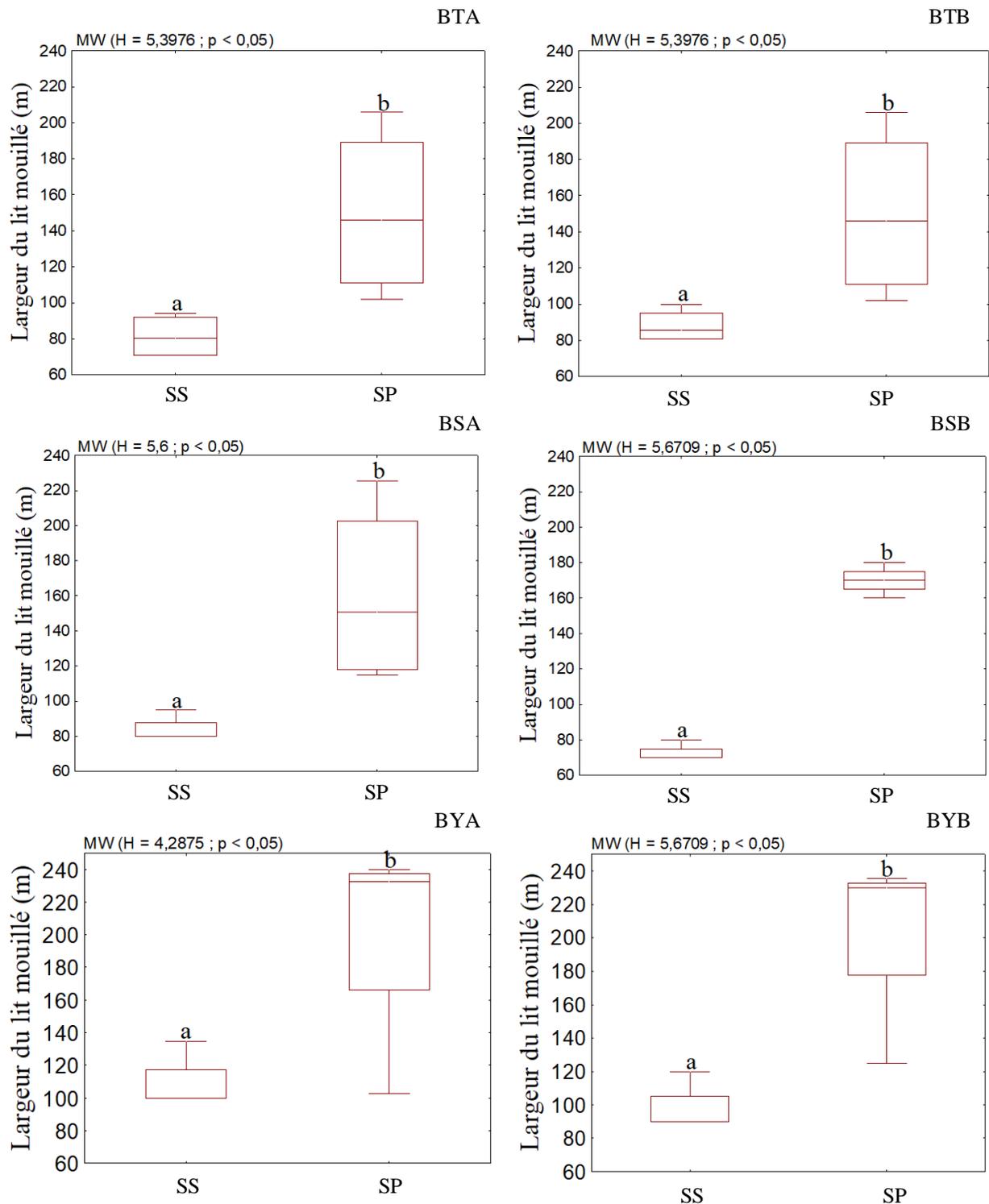


Figure 30 : Variations saisonnières de la largeur du lit mouillé des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), P = au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.2.7. Vitesse du courant

La valeur minimale (vitesse = 0,10 m/s) a été enregistrée durant la saison sèche aux stations BTA, BSA, BYA et BYB et durant la saison pluvieuse à la station BSB. Par contre, la valeur maximale (vitesse = 0,70 m/s) a été notée pendant la saison pluvieuse à la station BYB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la vitesse du courant montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la vitesse du courant varient significativement entre les deux saisons climatiques dans les stations de la partie amont et à la station BSB dans la partie médiane (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, ce paramètre ne varie pas significativement entre les deux saisons climatiques à la station BSA dans la partie médiane et dans les stations de la partie aval (Mann-Whitney, $p > 0,05$). La figure 31 montre les variations saisonnières de la vitesse du courant des eaux.

3.1.1.2.8. Profondeur

La valeur minimale (profondeur = 1,5 m) a été enregistrée durant la saison sèche dans la partie médiane à la station BSB et à la station BYB dans la partie aval, tandis que la valeur maximale de 2,9 m a été notée en saison pluvieuse dans la partie aval à la station BYB.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la profondeur montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau III).

Les valeurs médianes de la profondeur varient significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations du fleuve Bandama dans la RFF-HB (Mann-Whitney, $p < 0,05$). La figure 32 indique les variations saisonnières de la profondeur aux stations d'échantillonnage.

Tableau III : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques.

	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Te ($^{\circ}\text{C}$)	Prof (m)	Oxy (ppm)	Turb (ntu)	Vit (m/s)	Larg (m)
Shapiro-Wilk	0,9156	0,6528	0,7859	0,8739	0,8132	0,8406	0,6485	0,8635
Signif asympt	0,002	$P < 0,001$	$P < 0,001$	0,0001	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$

Cond = conductivité ; Te = Température ; Prof = Profondeur ; Oxy = Oxygène dissous ; Turb = Turbidité ; Vit = Vitesse ; Larg = Largeur du lit mouillé ; Signif asympt = Signification asymptotique.

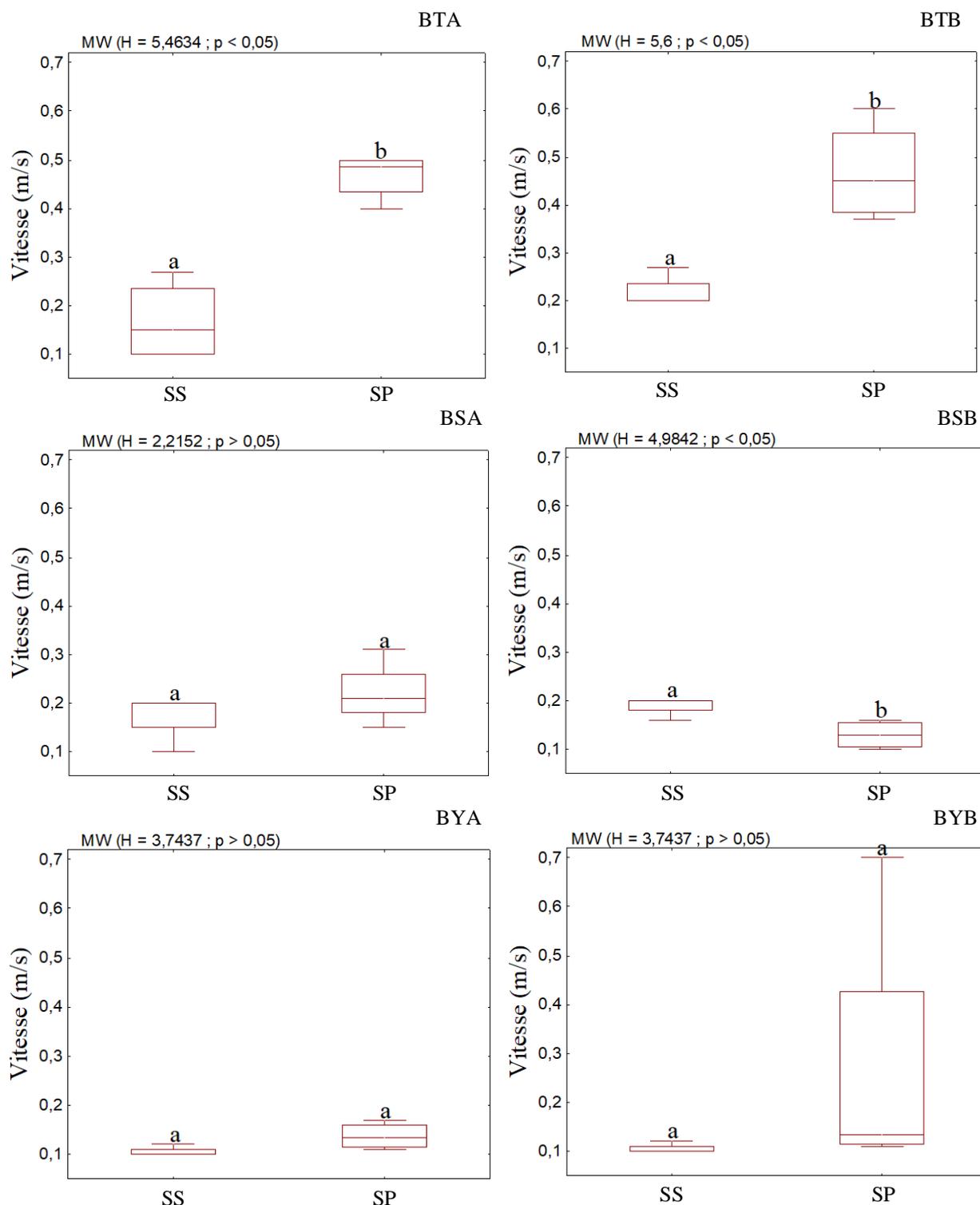


Figure 31 : Variations saisonnières de la vitesse du courant des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), P = au seuil de significativité de 0,05.

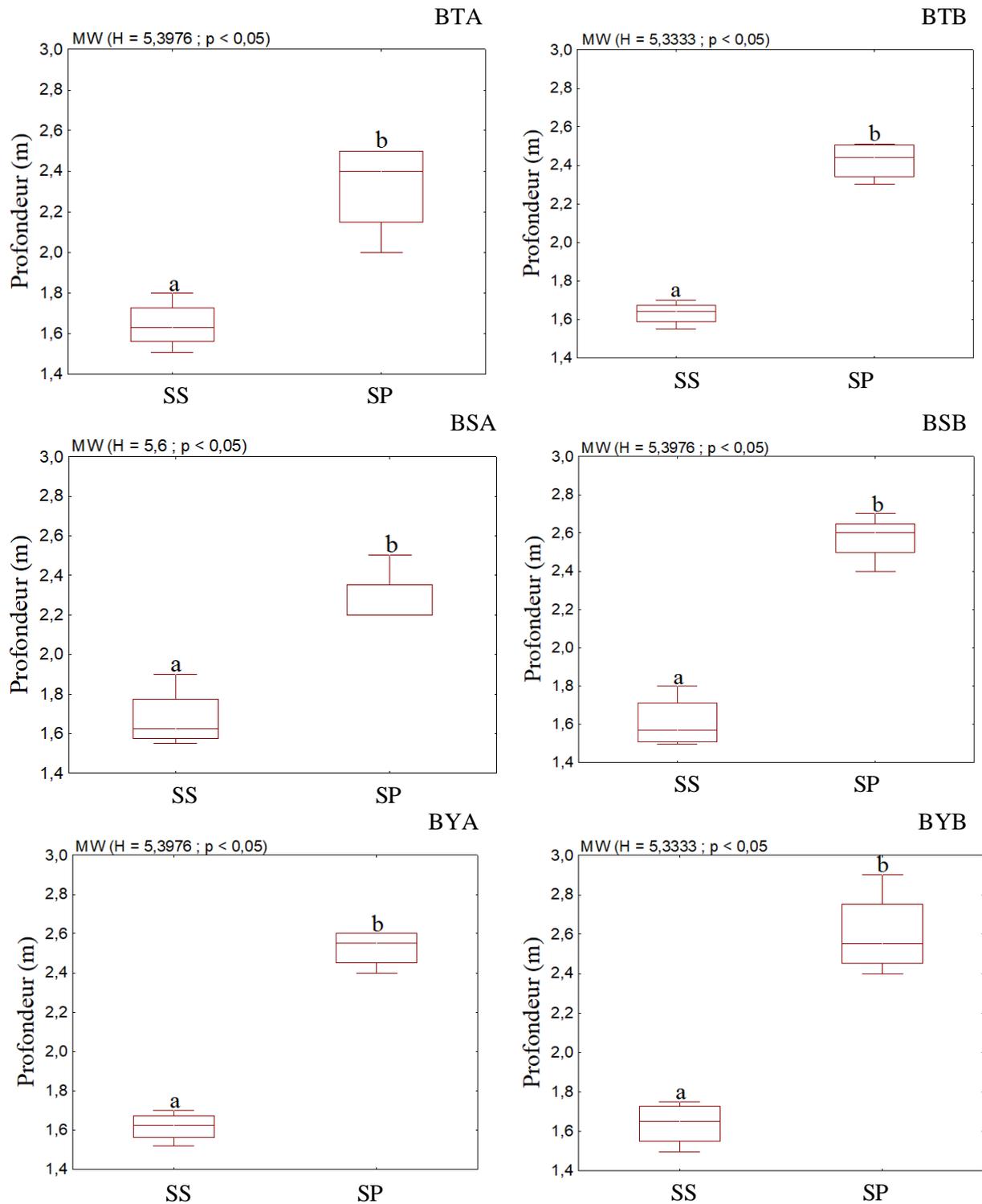


Figure 32 : Variations saisonnières de la profondeur des eaux aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **SS** = saison sèche, **SP** = saison pluvieuse ; a et b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons selon le test de Mann-Whitney (MW), P = au seuil de significativité de 0,05.

3.1.1.3. Typologie des stations en fonction des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques du fleuve Bandama dans la réserve

Une analyse de Classification Hiérarchique Ascendante (CHA), réalisée à partir des données abiotiques a permis de regrouper les stations d'échantillonnage présentant des similarités physico-chimiques et hydromorphologiques. Ainsi, trois groupes de stations, correspondant à différents types de qualités physico-chimiques et hydromorphologiques des eaux sont distingués (Figure 33) :

- le groupe I, regroupe les stations BSA et BSB situées dans le cours moyen du fleuve Bandama dans la réserve ;
- le groupe II, englobe les stations BYA et BYB du cours inférieur ;
- le groupe III, regroupe les stations BTA et BTB localisées dans le cours supérieur.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée à partir des données abiotiques, indique que les deux premiers axes (Axe 1 et Axe 2) expriment respectivement 49,50 % et 30,46 %, soit 79,96 % de l'information contenue dans la matrice des données (Figure 34). Le cercle de corrélation indique une forte corrélation positive de la conductivité, la température, la profondeur et de l'oxygène dissous à l'axe F1, alors que le pH, la turbidité et la vitesse du courant sont négativement corrélées à cet axe. Quant à l'axe F2, il présente une forte corrélation positive avec l'oxygène dissous, la turbidité et la largeur du lit mouillé, tandis que le pH est négativement corrélé à cet axe (Figure 34 A) (Tableau IV).

L'axe F1 discrimine les stations du groupe II (stations BYA et BYB) dans sa partie positive, pendant que les stations du groupe III (stations BTA et BTB) sont situées dans la partie négative de cet axe. L'axe F2 discrimine les stations du groupes I (station BSA et BSB) dans sa partie négative.

La carte factorielle présente une distribution des six (6) stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physico-chimiques et hydromorphologiques (Figure 34B). Selon l'axe F1, les stations du groupe II (stations BYA et BYB) présentent une corrélation positive avec des valeurs élevées de la conductivité, la profondeur et de l'oxygène dissous. Cependant, elles sont négativement corrélées aux valeurs élevées du pH, de la turbidité et de la vitesse du courant. Sur cet axe, les stations BTA et BTB du groupe III présente une corrélation positive avec les valeurs élevées du pH, de la turbidité et de la vitesse du courant. Par ailleurs, sur l'axe F2, les stations BSA et BSB du groupe I sont fortement corrélées avec les valeurs élevées du pH.

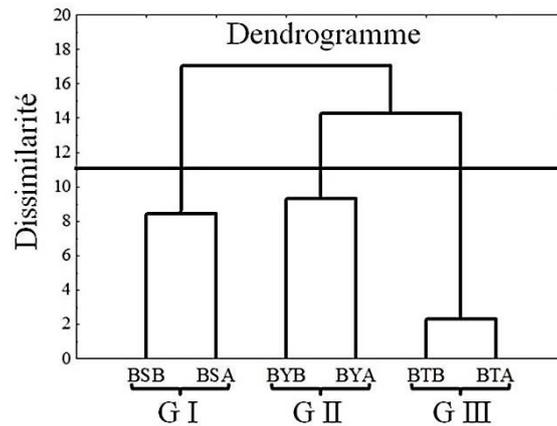


Figure 33 : Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des stations à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques mesurés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; G I, G II et G III = groupes observés.

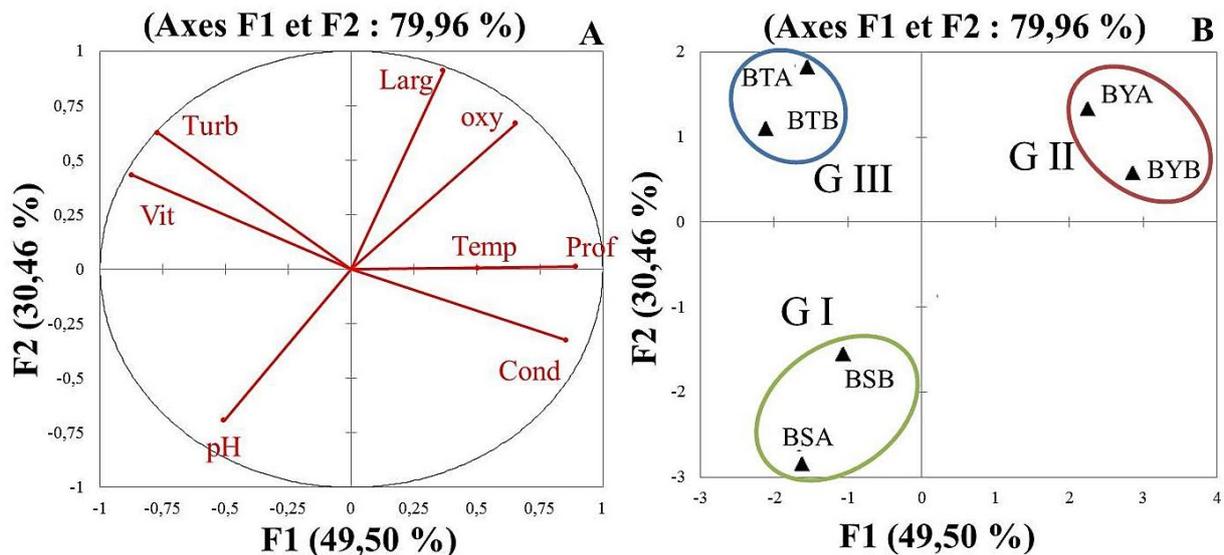


Figure 34 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des variables physico-chimiques et hydromorphologiques mesurées aux différentes stations d'échantillonnage dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **A** = Cercle de corrélation des paramètres abiotiques sur les axes factoriels ; **B** = Carte factorielle présentant la distribution des six stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physico-chimiques et hydromorphologiques ; **Temp** = température ; **Turb** = turbidité ; **Larg** = Largeur du lit mouillé ; **Cond** = Conductivité ; **Oxy** = Oxygène dissous ; **Vit** = vitesse et **Prof** = Profondeur aux stations d'échantillonnage ; G I, G II et G III = groupes observés.

Tableau IV : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Paramètres	Axes factoriels	
	F1	F2
Conductivité	0,856	-0,326
pH	-0,505	-0,692
Température	0,505	0,004
Profondeur	0,895	0,012
oxygène dissous	0,656	0,668
Turbidité	-0,769	0,623
Vitesse du courant	-0,871	0,433
Largeur du lit mouillé	0,367	0,911

Les poids factoriels significatifs sont en gras.

3.1.2. Discussion

L'analyse des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques du fleuve Bandama dans la RFF-HB a montré que pour la majorité de ces paramètres, la variation spatiale n'est pas significative. En revanche, la variation saisonnière pour la majorité de ces paramètres est significative.

Au niveau spatial, à l'exception de la vitesse du courant de l'eau, les autres paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques n'ont pas enregistré de variations significatives le long du lit principal du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que la réserve se situe en zone savanicole. En effet, la végétation environnante le long du lit principal du fleuve Bandama dans la RFF-HB a les mêmes caractéristiques (Durand & Lévêque, 1980). Par ailleurs, la variation spatiale significative de la vitesse du courant de l'eau entre les stations situées dans la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB pourrait être liée à la pente de cette zone qui devient de plus en plus faible du cours supérieur vers les cours moyen et inférieur. En effet, la topographie de la réserve est constituée de plateaux ondulés qui présente des altitudes élevées dans la partie supérieure et de plaines dans les parties moyenne et inférieure. Cela expliquerait les faibles vitesses du courant de l'eau notées aux stations localisées dans les parties moyenne et inférieure. 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 et Camara (2013), dans la rivière Banco, dans le Sud de la Côte d'Ivoire où certaines modifications naturelles influenceraient la vitesse du courant de l'eau.

Les faibles valeurs de la conductivité notées durant la saison des pluies dans toutes les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB seraient attribuables au phénomène de dilution des eaux du fait de l'augmentation considérable de la masse d'eau à cette période (Bengen *et al.*, 1992).

Aussi, les valeurs élevées de la vitesse du courant de l'eau enregistrées durant la saison pluvieuse dans l'ensemble des stations à l'exception de la station BSB dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la RFF-HB serait imputable à la construction de plusieurs petits barrages hydroagricoles sur le lit principal du fleuve, en amont de la réserve. Ces infrastructures contribueraient pendant la période des pluies à l'augmentation de la masse d'eau du fleuve Bandama qui arrive à l'intérieur de la réserve. D'où, les valeurs élevées de la profondeur dans les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la réserve à cette période. Par ailleurs, la pente élevée dans la partie supérieure du fleuve dans la réserve favoriserait l'écoulement plus rapide de l'eau vers la partie inférieure (Camara, 2013).

En outre, les fortes valeurs de la turbidité enregistrées pendant la saison des pluies résulteraient d'une importante accumulation de particules telles que le sable, le limon et les détritiques et de matières organiques par le lessivage des sols nus (Wipfli *et al.*, 2007 ; Berté, 2009). Durant cette période, les matières en suspension dans les eaux du fleuve Bandama seraient importantes (N'Douba, 2000). 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 orpaillages) comme l'a déjà fait remarquer Arfi *et al.* (2001), lors de leurs travaux sur les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire. En effet, le lit principal du fleuve Bandama dans la réserve est le lieu d'une importante activité d'orpaillage clandestine qui favorise l'ouverture de puits, le grattage et le retournement des sols. Cette activité dégrade les berges et favorise durant la saison des pluies un important transport de terre et d'effluents miniers dans le fleuve Bandama dans la réserve. D'où les eaux troubles du fleuve Bandama à cette période. Bamba *et al.* (2013), lors de leurs travaux au Burkina-Faso sur l'impact de l'artisanat minier sur les sols agricoles, rapportent que l'activité d'orpaillage prédispose les sols à des processus d'érosion souvent intenses.

De plus, les plus fortes valeurs du pH et faibles valeurs d'oxygène dissous observées dans la partie supérieure de la réserve en saison sèche seraient la conséquence de la

dégradation de la matière organique accumulée durant la saison pluvieuse. En effet, l'accumulation de matières organiques dans la partie supérieure du fleuve dans la réserve apparaît comme une source potentielle élevée d'azote organique du fait de leur décomposition. Pour Galvez-Cloutier *et al.* (2002), la décomposition de la matière organique 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 entraînant une augmentation du pH (Nakai *et al.*, 1996).

Par ailleurs, la valeur maximale de la largeur du lit mouillé est atteinte durant la saison pluvieuse dans la partie aval du fleuve dans la réserve. Ce résultat serait imputable à la morphologie de ce fleuve. En effet, de la partie supérieure vers la partie inférieure de la réserve, la vitesse du courant diminue tandis que la largeur du lit mouillé augmente à cause de la pente du terrain qui devient faible dans la partie inférieure. La quantité importante d'eau qui tombe en saison pluvieuse, s'accumule donc dans la partie à faible pente.

L'Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée sur la base de l'ensemble des échantillons des différentes stations montre que dans le cours inférieur du fleuve Bandama les stations BYA et BYB présentent les valeurs plus élevées de la conductivité. Ce résultat serait lié à une forte concentration en nutriments et en particules solides provenant des cours supérieur et moyen sous l'action des eaux de ruissellement et sont transportés dans les stations du cours inférieur. 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. 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 urbains. 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.

L'ACP montre également que les stations BTA et BTB, situées dans le cours supérieur du fleuve Bandama dans la réserve présentent des valeurs plus élevées de la vitesse du courant des eaux. L'irrégularité de l'écoulement de l'eau du fleuve Bandama du cours supérieur vers le cours inférieur dans la réserve pourrait expliquer cette variation comme l'ont déjà souligné Lévêque *et al.* (1983) et Kressou (2020). En effet, le fleuve Bandama dans cette partie de la réserve reçoit d'importantes entrées d'eaux douces auxquelles s'ajoute la construction de petits barrages hydroagricoles en amont de la réserve qui augmente la masse d'eau du fleuve Bandama dans la réserve durant la saison pluvieuse. Ces différents facteurs influencerait le

bilan hydrique du fleuve Bandama du cours supérieur vers le cours inférieur dans la réserve (Welcomme, 1985 ; Paugy & Bénech, 1989).

3.1.3. Conclusion partielle

Les paramètres abiotiques étudiés ne varient pas significativement entre les stations à l'exception de la vitesse du courant de l'eau. Au niveau saisonnier, le pH et la conductivité ont des valeurs plus élevées en saison sèche respectivement dans les cours supérieur, médian et inférieur du fleuve dans la réserve. En revanche, durant la saison pluvieuse, les valeurs de la largeur du lit mouillé, la turbidité et la profondeur sont plus importantes dans les cours supérieur, médian et inférieur du fleuve dans la réserve. La typologie des stations en fonction des paramètres étudiés indique que les stations situées dans la partie supérieure (BTA et BTB) sont plus troubles avec de fortes vitesses d'écoulements de l'eau. Quant aux stations BYA et BYB du cours inférieur, elles sont fortement corrélées aux valeurs élevées de la conductivité et de la profondeur. Par ailleurs, les stations du cours moyen (BSA et BSB) enregistrent de fortes valeurs du pH.

3.2. COMPOSITION, STRUCTURE DU PEUPEMENT ET PARAMETRES DE CROISSANCE DE TROIS ESPECES PREPONDERANTES DE LA SECTION DU FLEUVE BANDAMA SITUEE DANS LA RFF-HB

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Composition qualitative du peuplement ichthyologique

3.2.1.1.1. Composition spécifiques et distribution

L'inventaire du peuplement de poissons échantillonnés dans le lit du fleuve Bandama dans la RFF-HB a permis de recenser au total, 33 espèces de poissons réparties entre 17 familles et 8 ordres ont été récoltées sur l'ensemble des stations d'échantillonnage. Il s'agit des ordres des Characiformes, des Clupeiformes, des Cypriniformes, des Osteoglossiformes, des Perciformes, des Polypteriformes, des Siluriformes et des Synbranchiformes. L'ordre le plus représenté en nombre de familles est celui des Siluriformes avec 5 familles. Il est suivi des Perciformes et des Characiformes avec 3 familles chacun. Les Clupeiformes, les Cypriniformes, les Polypteriformes et les Synbranchiformes sont les moins riches en famille avec 01 famille chacun. La famille des Cichlidae (5 espèces) est la plus diversifiée. Elle est suivie de celle des Cyprinidae avec 4 espèces (Tableau V).

Les proportions des ordres de poissons en fonction des espèces capturées indiquent que les Siluriformes avec 31 % de la richesse spécifique, sont les plus diversifiés. Ils sont suivis des Perciformes qui représentent 21 % de la richesse spécifique. Les moins riches en espèces sont les Clupeiformes, les Polypteriformes et les Synbranchiformes qui représentent 3 % des espèces chacun (Figure 35).

Huit (08) espèces sont communes à l'ensemble des trois parties du lit du fleuve Bandama dans la RFF-HB (Figure 36). Il s'agit de *Brycinus imberi* (Alestidae), *Coptodon zillii* et *Oreochromis niloticus* (Cichlidae), *Heterobranchus isopterus* (Clariidae), *Auchenoglanis occidentalis* et *Chrysichthys nigrodigitatus* (Claroteidae), *Synodontis bastiani* (Mochokidae) et *Labeo coubie* (Cyprinidae). Parmi ces espèces, seul *Labeo coubie* est présente dans toutes les stations. Six (06) espèces n'ont été inventoriées que dans les stations de la partie en amont : *Parachanna obscura* (Channidae), *Chrysichthys maurus* (Claroteidae), *Pellonula leonensis* (Clupeidae), *Raiamas senegalensis* (Cyprinidae), *Petrocephalus bovei* (Mormyridae) et *Heterotis niloticus* (Osteoglossidae). Cependant, *Heterotis niloticus* n'est présent qu'à la station BTA et *Parachanna obscura* à la station BTB. Cinq (05) espèces : *Hemichromis fasciatus* (Cichlidae), *Labeo parvus* (Cyprinidae), *Malapterurus electricus*

(Malapteruridae), *Marcusenius senegalensis* (Mormyridae) et *Mastacembelus nigromarginatus* (Mastacembelidae) n'ont été observées que dans les stations de la partie médiane. Par ailleurs, *Labeo parvus* et *Marcusenius senegalensis* sont présents uniquement à la station BSA et *Hemichromis fasciatus* et *Mastacembelus nigromarginatus* à la station BSB. En revanche, *Hepsetus odoe* (Hepsetidae) n'a été retrouvé que dans la partie inférieure du fleuve Bandama dans la RFF-HB à la station BYA (Tableau V).

Tableau V : Composition et distribution des espèces de poissons récoltées aux stations d'échantillonnage retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Ordres	Familles	Espèces	Acro	Stations					
				Partie amont		Partie médiane		Partie aval	
				BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB
Characiformes	Alestidae	<i>Brycinus imber</i>	Bim	*	*	*	*	*	
		<i>Brycinus macrolepidotus</i>	Bma	*	*	*	*		
		<i>Hydrocynus forskalii</i>	Hfo	*		*			
	Distichodontidae	<i>Distichodus rostratus</i>	Dro	*		*	*		
Clupeiformes	Hepsetidae	<i>Hepsetus odoe</i>	Hod						*
	Clupeidae	<i>Pellonula leonensis</i>	Ple	*	*				
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Labeo coubie</i>	Lco	*	*	*	*	*	*
		<i>Labeo parvus</i>	Lpa			*			
		<i>Labeo senegalensis</i>	Lse	*	*		*		
		<i>Raiamas senegalensis</i>	Rse	*	*				
Osteoglossiformes	Mormyridae	<i>Marcusenius senegalensis</i>	Mse			*			
		<i>Mormyrus rume</i>	Mru				*	*	
		<i>Petrocephalus bovei</i>	Pbo	*	*				
	Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i>	Hni	*					
Perciformes	Channidae	<i>Parachanna obscura</i>	Pob		*				
	Cichlidae	<i>Coptodon guineensis</i>	Cgu	*	*	*	*		
		<i>Coptodon zillii</i>	Czi	*			*	*	
		<i>Hemichromis bimaculatus</i>	Hbi				*	*	
		<i>Hemichromis fasciatus</i>	Hfa				*		
		<i>Oreochromis niloticus</i>	Oni	*	*		*	*	*
Latidae	<i>Lates niloticus</i>	Lni	*	*	*				
Polypteriiformes	Polypteridae	<i>Polypterus endlicheri</i>	Pen	*	*		*		
Siluriformes	Clariidae	<i>Clarias anguillaris</i>	Can				*	*	*
		<i>Heterobranchius isopterus</i>	His		*	*	*	*	*
	Claroteidae	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	Aoc		*	*			*
		<i>Chrysichthys maurus</i>	Cma	*	*			*	*
		<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	Cni	*	*		*	*	*
	Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i>	Mel			*	*		
	Mochokidae	<i>Synodontis bastiani</i>	Sba	*		*	*	*	*
		<i>Synodontis punctifer</i>	Spu	*	*	*	*		
<i>Synodontis schall</i>		Scs	*	*			*	*	
Schilbeidae	<i>Schilbe mandibularis</i>	Sma	*		*	*			
Synbranchiformes	Mastacembelidae	<i>Mastacembelus nigromarginatus</i>	Mni				*		
8	17	33		21	18	15	20	13	6
				24		25		13	

* = présence.

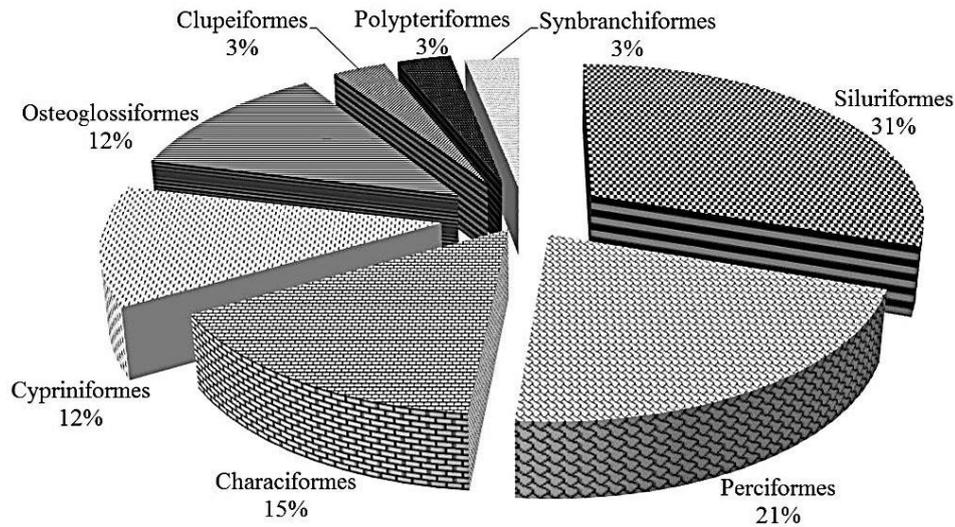


Figure 35 : Contribution des Ordres dans la richesse spécifique du peuplement ichthyologique du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

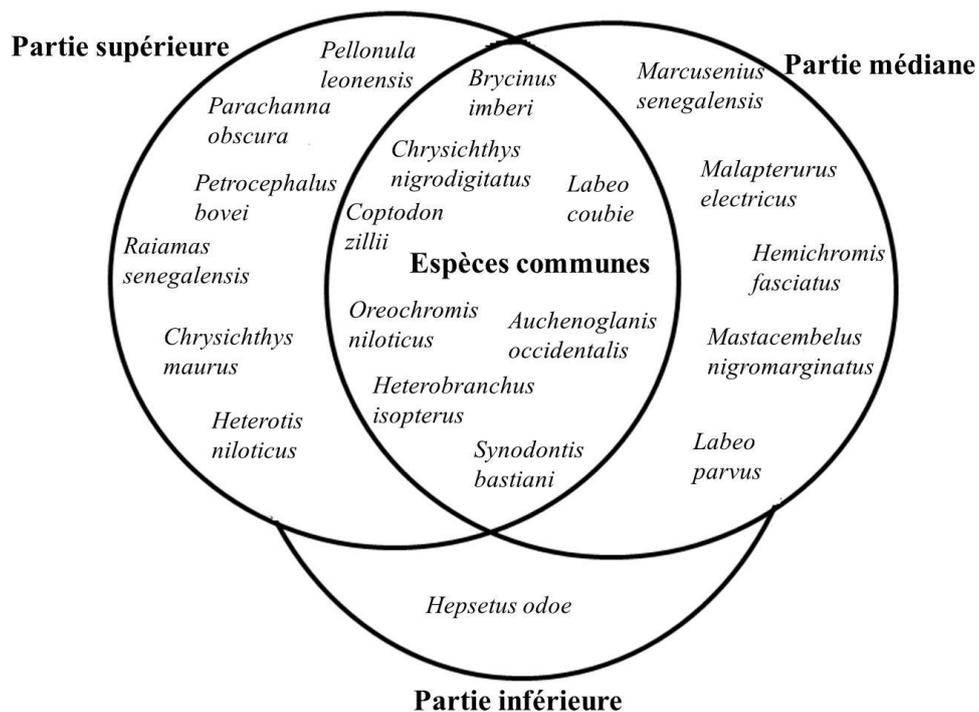


Figure 36 : Répartition des espèces communes et spécifiques aux trois parties du gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.1.2. Pourcentage d'occurrence des espèces

Dans les stations BTA, BTB, BYA et BYB retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB, les espèces très fréquentes dominent la population avec respectivement 31,16 %, 76

43,93 %, 50,79 % et 72,72 % des poissons. Par ailleurs, aux stations BSA et BSB, les espèces fréquentes sont plus représentées dans les captures avec respectivement 38,88 % et 41,41 % des poissons. Cependant, les espèces accidentelles sont en faible proportion dans les stations BTA, BTB, BSA et BSB avec respectivement 2,59 %, 3,03 %, 5,55 % et 2,02 % des poissons. Tandis que les espèces accessoires sont minoritaires à la station BYA avec 4,76 % des poissons. En outre, les espèces accessoires et accidentelles sont absentes des captures à la station BYB. Les proportions de catégories d'espèces de poissons par station sont présentées dans le tableau VI.

Labeo coubie est présente dans toutes les stations avec une fréquence d'occurrence de 100 %. Quant à *Brycinus imberi*, elle est présente dans la majorité des stations à l'exception de la station BYB dans la partie inférieure. *Heterobranchus isopterus* est absente uniquement à la station BTA. Par ailleurs, *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Oreochromis niloticus* sont absentes uniquement à la station BSA. Cependant, aucune espèce accessoire, ni accidentelle n'a été enregistrée à la station BYB dans la partie aval. La répartition des espèces de poissons en fonction de leur fréquence d'occurrence aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la Réserve du Haut-Bandama est présentée par le tableau VII.

Tableau VI : Proportions (en %) des catégories d'espèces définies sur la base de l'occurrence aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Gradient	Stations	Proportions des catégories (%)				
		Espèces très fréquentes	Espèces fréquentes	Espèces assez fréquentes	Espèces accessoires	Espèces accidentelles
Partie amont	BTA	31,16	29,87	19,48	16,88	2,59
	BTB	43,93	24,24	15,15	13,63	3,03
Partie médiane	BSA	27,77	38,88	18,51	9,25	5,55
	BSB	33,33	41,41	18,18	5,05	2,02
Partie aval	BYA	50,79	23,8	11,11	4,76	9,52
	BYB	72,72	13,63	13,63	0	0

Tableau VII : Répartition des espèces de poissons en fonction de leur fréquence d'occurrence dans les stations étudiées sur la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Stations	Espèces très fréquentes [80 – 100 %]	Espèces fréquentes [60 – 79 %]	Espèces assez fréquentes [40 – 59 %]	Espèces Accessoires [20 – 39 %]	Espèces accidentelles [0 – 19 %]
BTA	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>B. imberi</i> (83,3 %), <i>C. nigrodigitatus</i> (83,3 %), <i>O. niloticus</i> (83,3 %)	<i>B. macrolepidotus</i> (66,6 %), <i>C. guineensis</i> (66,6 %), <i>S. bastiani</i> (66,6 %), <i>S. punctifer</i> (66,6 %), <i>S. schall</i> (66,6 %)	<i>C. zillii</i> (50 %), <i>D. rostratus</i> (50 %), <i>L. senegalensis</i> (50 %), <i>L. niloticus</i> (50 %), <i>P. endlicheri</i> (50 %), <i>S. mandibularis</i> (50 %)	<i>C. maurus</i> (33,3 %), <i>H. forskalii</i> (33,3 %), <i>P. leonensis</i> (33,3 %), <i>P. bovei</i> (33,3 %), <i>R. senegalensis</i> (33,3 %)	<i>H. niloticus</i> (16,6 %)
BTB	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>B. imberi</i> (83,3 %), <i>C. nigrodigitatus</i> (83,3 %), <i>O. niloticus</i> (83,3 %), <i>H. isopterus</i> (83,3 %)	<i>B. macrolepidotus</i> (66,6 %), <i>C. guineensis</i> (66,6 %), <i>S. punctifer</i> (66,6 %), <i>S. schall</i> (66,6 %)	<i>A. occidentalis</i> (50 %), <i>L. senegalensis</i> (50 %), <i>L. niloticus</i> (50 %), <i>P. endlicheri</i> (50 %)	<i>C. maurus</i> (33,3 %), <i>P. leonensis</i> (33,3 %), <i>P. bovei</i> (33,3 %), <i>R. senegalensis</i> (33,3 %)	<i>P. obscura</i> (16,6 %)
BSA	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>B. imberi</i> (83,3 %), <i>H. isopterus</i> (83,3 %)	<i>B. macrolepidotus</i> (66,6 %), <i>C. guineensis</i> (66,6 %), <i>S. bastiani</i> (66,6 %), <i>S. punctifer</i> (66,6 %)	<i>A. occidentalis</i> (50 %), <i>D. rostratus</i> (50 %), <i>L. niloticus</i> (50 %), <i>S. mandibularis</i> (50 %)	<i>H. forskalii</i> (33,3 %), <i>M. electricus</i> (33,3 %)	<i>L. parvus</i> (16,6 %), <i>M. senegalensis</i> (16,6 %)
BSB	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>B. imberi</i> (83,3 %), <i>C. nigrodigitatus</i> (83,3 %), <i>O. niloticus</i> (83,3 %), <i>H. isopterus</i> (83,3 %)	<i>B. macrolepidotus</i> (66,6 %), <i>C. guineensis</i> (66,6 %), <i>S. bastiani</i> (66,6 %), <i>S. punctifer</i> (66,6 %)	<i>C. anguillaris</i> (50 %), <i>C. zillii</i> (50 %), <i>D. rostratus</i> (50 %), <i>L. senegalensis</i> (50 %), <i>P. endlicheri</i> (50 %), <i>S. mandibularis</i> (50 %)	<i>H. bimaculatus</i> (33,3 %), <i>M. electricus</i> (33,3 %), <i>M. rume</i> (33,3 %)	<i>H. fasciatus</i> (16,6 %), <i>M. nigromarginatus</i> (16,6 %)
BYA	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>B. imberi</i> (83,3 %), <i>C. nigrodigitatus</i> (83,3 %), <i>O. niloticus</i> (83,3 %), <i>H. isopterus</i> (83,3 %)	<i>S. bastiani</i> (66,6 %), <i>S. schall</i> (66,6 %)	<i>A. occidentalis</i> (50 %), <i>C. anguillaris</i> (50 %), <i>C. zillii</i> (50 %)	<i>H. bimaculatus</i> (33,3 %), <i>M. rume</i> (33,3 %)	<i>H. odoe</i> (16,6 %)
BYB	<i>L. coubie</i> (100 %), <i>C. nigrodigitatus</i> (83,3 %), <i>O. niloticus</i> (83,3 %), <i>H. isopterus</i> (83,3 %)	<i>S. schall</i> (66,6 %)	<i>C. anguillaris</i> (50 %)		

3.2.1.1.3. Similarités spécifiques entre les stations suivant le gradient longitudinal

Une forte similarité spécifique (62,5 %) a été observée entre les communautés de poissons des stations BTA et BTB du cours supérieur du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Par contre, des indices de similarité de Jaccard inférieur à 50 % entre le peuplement de poissons des stations BSA et BSB du cours médian (40 %) et entre le peuplement de poissons de stations BYA et BYB du cours inférieur (46,15 %) sont enregistrés. Les Similarités spécifiques entre les stations du gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la RFF-HB, mises en évidence par les valeurs de l'indice de similarité de Jaccard (J) calculé à partir de la composition spécifique sont présentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Indices de similarité de Jaccard (%) des espèces communes aux stations prises deux à deux sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

	Partie amont		Partie médiane		Partie aval	
	BTA	BTB	BSA	BSB	BYA	BYB
BTA						
BTB	62,5					
BSA	38,462	32				
BSB	46,429	35,714	40			
BYA	25,926	29,167	21,739	43,478		
BYB	17,391	26,316	10,526	23,81	46,154	

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

3.2.1.1.4. Variations spatiales de la richesse spécifique

La station BSB dans la partie médiane du fleuve Bandama dans la RFF-HB enregistre la valeur la plus élevée (richesse spécifique = 11 espèces) alors que la station BSA dans la partie médiane et la station BTA dans la partie amont ont les plus faibles valeurs (richesse spécifique = 1 espèce) de la richesse spécifique.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la richesse spécifique montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau IX).

Les valeurs médianes de la richesse spécifique ne diffèrent pas de manière significative entre les stations de l'amont vers l'aval du fleuve Bandama dans la RFF-HB (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). La figure 37 présente les variations spatiales de la richesse spécifique du peuplement de poissons échantillonnés.

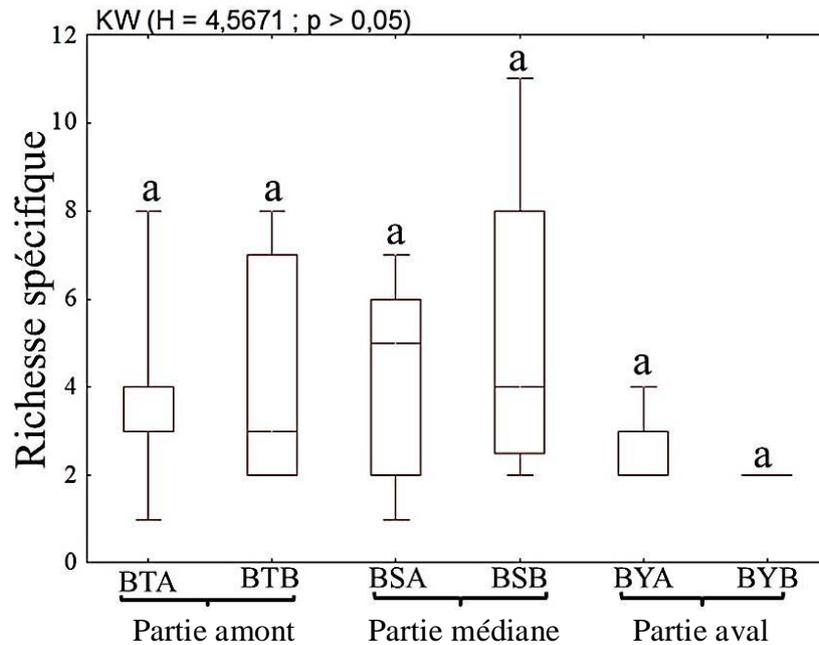


Figure 37 : Variations spatiales de la richesse spécifique du peuplement de poissons aux stations d'échantillonnage retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

3.2.1.1.5. Variations saisonnières de la richesse spécifique

La plus faible valeur (richesse spécifique = 1 espèce) est observée durant la saison pluvieuse dans les stations BTA dans la partie amont et BSA dans la partie médiane. Tandis que, la valeur la plus élevée (richesse spécifique = 11 espèces) est notée pendant la saison sèche à la station BSB dans la partie médiane.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de la richesse spécifique montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau IX).

Les valeurs médianes de la richesse spécifique ne varient pas significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations (Mann Whitney, $p > 0,05$) (Figure 38).

Tableau IX : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs de la richesse spécifique.

	Richesse spécifique
Shapiro-Wilk	0,8332
Signification asymptotique	0,0001

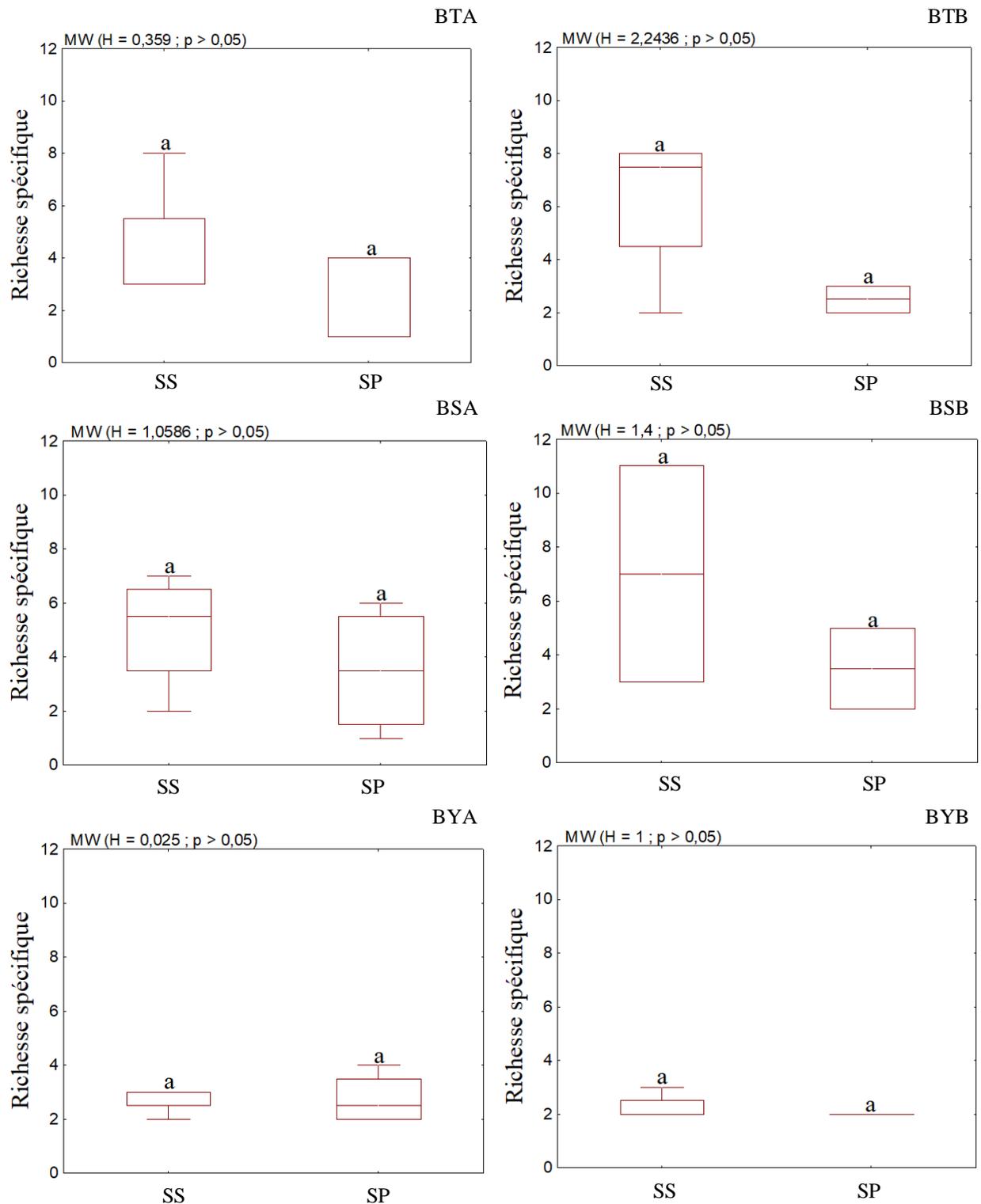


Figure 38 : Variations saisonnières de la richesse spécifique du peuplement de poissons aux différentes stations sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; SS = Saison sèche ; SP = Saison pluvieuse ; P = au seuil de significativité de 0,05.

3.2.1.1.6. Déterminisme de la richesse spécifique

3.2.1.1.6.1. Profil de distribution de l'ichtyofaune

L'apprentissage des SOM (Self-Organizing Map) réalisé sur la matrice présence/absence des espèces de poissons échantillonnées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB a permis de classer les 48 échantillons (6 stations x 8 campagnes). Cette classification s'est faite en fonction de la distribution et de la probabilité d'occurrence des espèces de poissons. La carte de 35 cellules (7 lignes x 5 colonnes) est retenue. Les erreurs de quantification et topographique sont les plus faibles sur cette carte (Tableau X).

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

Taille de la carte	Erreur de quantification	Erreur topographique
6*6	1,140	0,000
7*5	1,131	0,000
8*4	1,166	0,000
9*4	1,125	0,065

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 Ascendante (CHA) avec la méthode Ward et la distance euclidienne (Figures 39A). Les groupes sont illustrés par différentes figurines sur la carte de Kohonen (Figures 39B). Le groupe I rassemble majoritairement les échantillons provenant des stations BYA et BYB situées dans le cours inférieur du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Ce groupe représente 27,27 % de l'ensemble des échantillons. Cette dominance est significative (test G : $p < 0,05$). Le groupe II est majoritairement caractérisé par les échantillons provenant de stations BTA et BTB localisées dans le cours supérieur. Le groupe II représente 30,30 % de l'ensemble des échantillons (test G : $p < 0,05$). Quant au groupe III, il représente 42,42 % de l'ensemble des échantillons. Ce groupe renferme majoritairement les échantillons issus de la partie médiane aux stations BSA et BSB, qui s'associent significativement (test G : $p < 0,05$) (Figure 40).

La distribution de chacune des espèces de poissons dans chaque groupe défini par la SOM est illustrée par la figure 41. Le patron de distribution de chaque espèce de poissons sur la carte de Kohonen (Figure 39B), permet de faire le regroupement des espèces appartenant à

un même groupe défini par la SOM (Tableau XI). Le groupe I qui est moins diversifié comprend 9 espèces qui sont : *Chrysichthys nigrodigitatus* ; *Clarias anguillaris* ; *Hemichromis bimaculatus* ; *Hepsetus odoe* ; *Heterobranchus isopterus* ; *Labeo coubie* ; *Mormyrus rume* ; *Oreochromis niloticus* et *Synodontis schall*. Le groupe II rassemble 10 espèces. Il s'agit de : *Auchenoglanis occidentalis* ; *Chrysichthys maurus* ; *Heterotis niloticus* ; *Labeo senegalensis* ; *Lates niloticus* ; *Parachanna obscura* ; *Pellonula leonensis* ; *Petrocephalus bovei* ; *Polypterus endlicheri* et *Raiamas senegalensis*. Le Groupe III, le plus diversifié avec 14 espèces est caractérisé par : *Brycinus imberi* ; *Brycinus macrolepidotus* ; *Coptodon guineensis* ; *Coptodon zillii* ; *Distichodus rostratus* ; *Hemichromis fasciatus* ; *Hydrocynus forskalii* ; *Malapterurus electricus* ; *Marcusenius senegalensis* ; *Mastacembelus nigromarginatus* ; *Labeo parvus* ; *Schilbe mandibularis* ; *Synodontis bastiani* et *Synodontis punctifer*. Le nombre d'espèces enregistrées dans les différents groupes diffère significativement d'un groupe à un autre (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les groupes I et II sont moins riches en espèces comparativement au groupe III (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

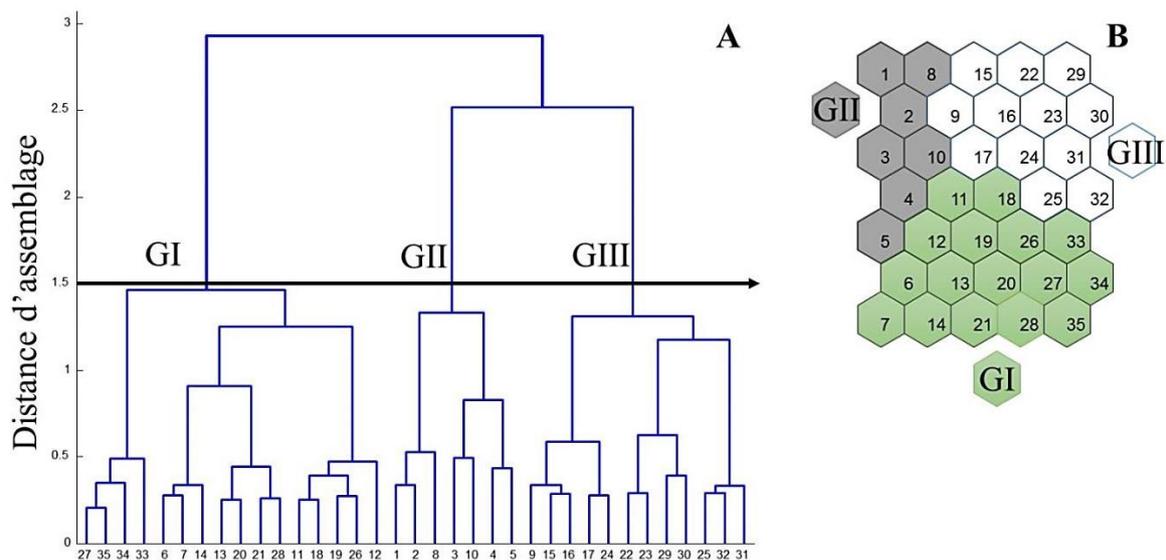


Figure 39 : Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la SOM sur la base des espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; A = Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la carte de Kohonen avec la méthode Ward et la distance Euclidienne comme distance d'assemblage (les nombres [1 à 35] 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 35.

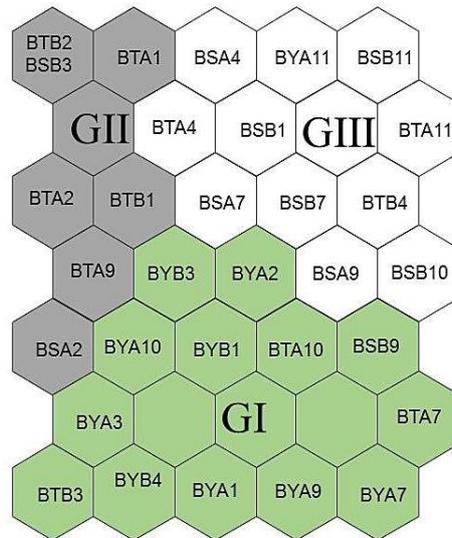


Figure 40 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence des espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; Les chiffres romains (I à III) représentent les groupes définis ; Campagnes réalisées durant la saison sèche (1 = Janvier ; 2 = Février ; 10 = Octobre et 11 = Novembre) ; Campagnes réalisées durant la saison pluvieuse (3= Mars ; 4 = Avril ; 7 = Juillet ; 9 = Septembre).

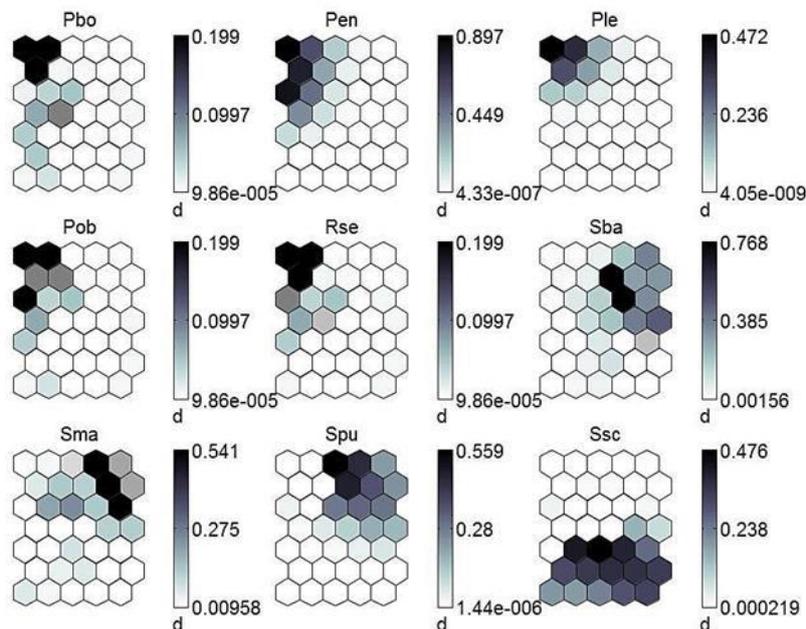


Figure 41 : Patron de distribution de chaque espèce de poissons sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des poissons de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle.

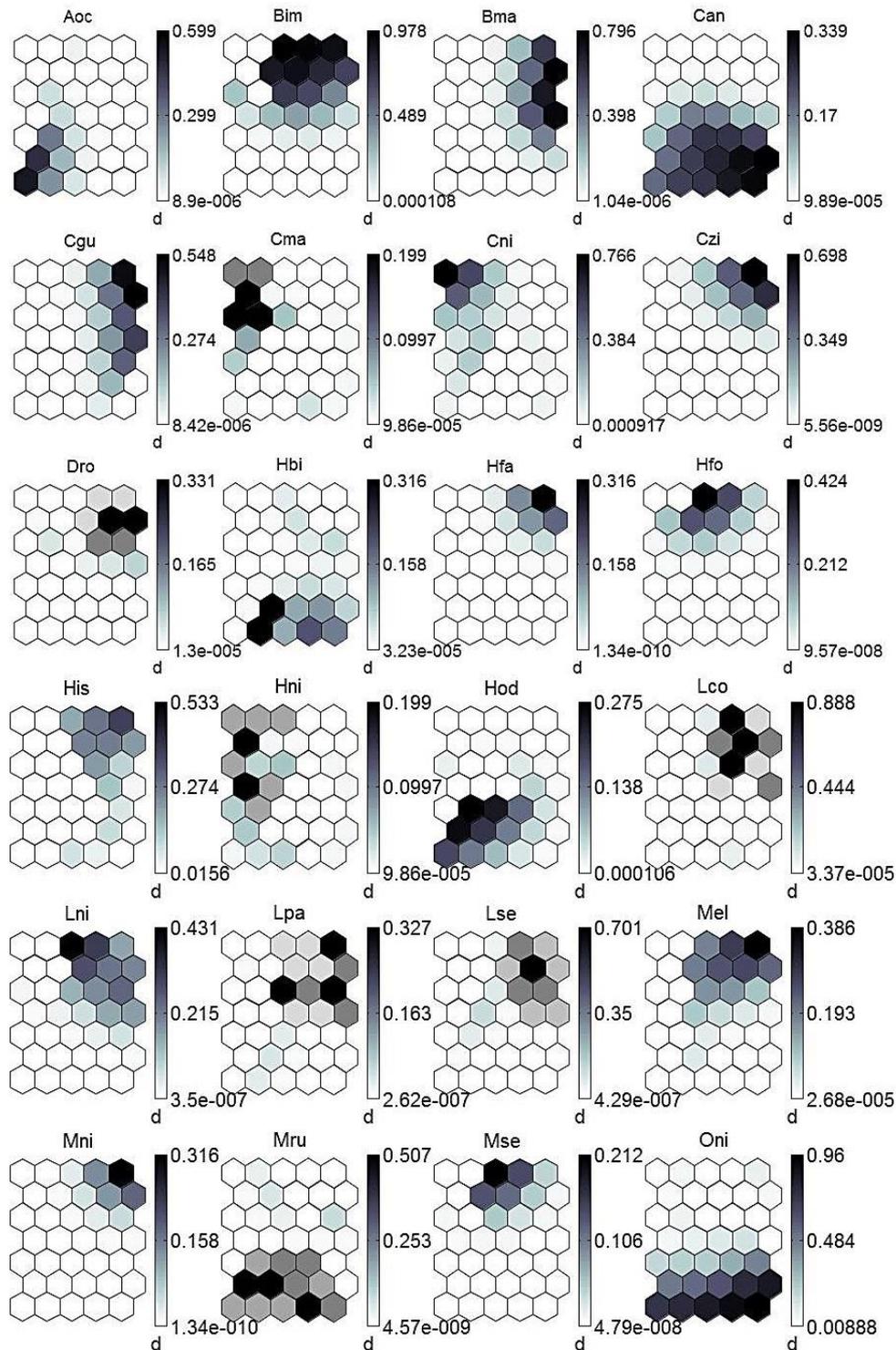


Figure 41 (suite et fin) : Patron de distribution de chaque espèce de poissons sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des poissons de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence ; d = échelle. Pour les acronymes des espèces : voir figure 40.

Tableau XI : Répartition des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, selon chaque groupe défini par la SOM ; Couleur foncée = fréquence élevée ; couleur claire = faible fréquence, voir absence.

<p>Groupe I</p> 	<p><i>Chrysichthys nigrodigitatus</i> (Cni) ; <i>Clarias anguillaris</i> (Can) ; <i>Hemichromis bimaculatus</i> (Hbi) ; <i>Hepsetus odoe</i> (Hod) ; <i>Heterobranchus isopterus</i> (His) ; <i>Labeo coubie</i> (Lco) ; <i>Mormyrus rume</i> (Mru) ; <i>Oreochromis niloticus</i> (Oni) ; <i>Synodontis schall</i> (Ssc).</p>
<p>Groupe II</p> 	<p><i>Auchenoglanis occidentalis</i> (Aoc) ; <i>Chrysichthys maurus</i> (Cma) ; <i>Heterotis niloticus</i> (Hni) ; <i>Labeo senegalensis</i> (Lse) ; <i>Lates niloticus</i> (Lni) ; <i>Parachanna obscura</i> (Pob) ; <i>Pellonula leonensis</i> (Ple) ; <i>Petrocephalus bovei</i> (Pbo) ; <i>Polypterus endlicheri</i> (Pen) ; <i>Raiamas senegalensis</i> (Rse).</p>
<p>Groupe III</p> 	<p><i>Brycinus imberi</i> (Bim) ; <i>Brycinus macrolepidotus</i> (Bma) ; <i>Coptodon guineensis</i> (Cgu) ; <i>Coptodon zillii</i> (Czi) ; <i>Distichodus rostratus</i> (Dro) ; <i>Hemichromis fasciatus</i> (Hfa) ; <i>Hydrocynus forskalii</i> (Hfo) ; <i>Malapterurus electricus</i> (Mel) ; <i>Marcusenius senegalensis</i> (Mse) ; <i>Mastacembelus nigromarginatus</i> (Mni) ; <i>Labeo parvus</i> (Lpa) ; <i>Schilbe mandibularis</i> (Sma) ; <i>Synodontis bastiani</i> (Sba) ; <i>Synodontis punctifer</i> (Spu).</p>

3.2.1.1.6.2. Facteurs déterminant la diversité de l'ichtyofaune

Les variations de la conductivité, du pH, de la température, de la profondeur, de l'oxygène dissous, de la Turbidité, de la vitesse du courant et de la largeur du lit mouillé au niveau des groupes I, II et III définis par la carte auto-organisatrice de Kohonen sont illustrées par la figure 42. La température, la profondeur et la vitesse du courant de l'eau n'influencent pas la repartition des espèces dans les groupes formés par la SOM. La conductivité influence majoritairement les espèces du groupe III. Tandis que le pH influence plus les espèces du groupe II. Quant à l'oxygène dissous, la turbidité et la largeur du lit mouillé, ils caractérisent les espèces du groupe I (Tableau XII).

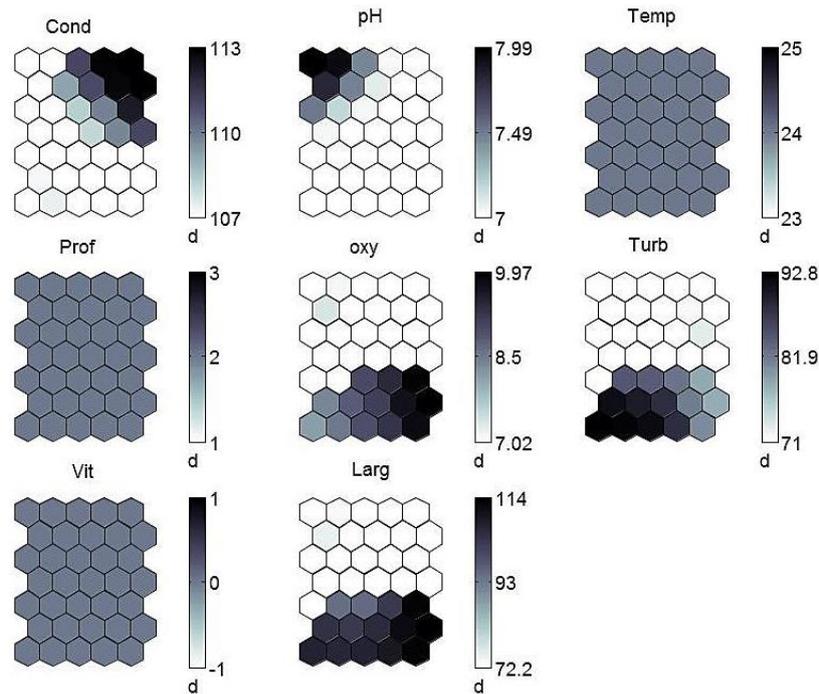


Figure 42 : Carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) montrant les variations des paramètres abiotiques dans les groupes I, II et III ; **Cond** = Conductivité ; **pH** = potentiel hydrogène ; **Temp** = Température ; **Prof** = Profondeur ; **Oxy** = Oxygène dissous ; **Turb** = Turbidité ; **Vit** = Vitesse du courant ; **Larg** = Largeur du lit mouille ; Les polygones noirs correspondent à des sites de gradient très élevé.

Tableau XII : Répartition des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, en fonction des paramètres environnementaux.

Groupes	Espèces	Paramètres abiotiques
Groupe I	<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i> (Cni) ; <i>Clarias anguillaris</i> (Can) ; <i>Hemichromis bimaculatus</i> (Hbi) ; <i>Hepsetus odoe</i> (Hod) ; <i>Heterobranchus isopterus</i> (His) ; <i>Labeo coubie</i> (Lco) ; <i>Mormyrus rume</i> (Mru) ; <i>Oreochromis niloticus</i> (Oni) ; <i>Synodontis schall</i> (Ssc).	Oxygène dissous Turbidité Largeur du lit mouillé
Groupe II	<i>Auchenoglanis occidentalis</i> (Aoc) ; <i>Chrysichthys maurus</i> (Cma) ; <i>Heterotis niloticus</i> (Hni) ; <i>Labeo senegalensis</i> (Lse) ; <i>Lates niloticus</i> (Lni) ; <i>Parachanna obscura</i> (Pob) ; <i>Pellonula leonensis</i> (Ple) ; <i>Petrocephalus bovei</i> (Pbo) ; <i>Polypterus endlicheri</i> (Pen) ; <i>Raiamas senegalensis</i> (Rse).	pH
Groupe III	<i>Brycinus imberi</i> (Bim) ; <i>Brycinus macrolepidotus</i> (Bma) ; <i>Coptodon guineensis</i> (Cgu) ; <i>Coptodon zillii</i> (Czi) ; <i>Distichodus rostratus</i> (Dro) ; <i>Hemichromis fasciatus</i> (Hfa) ; <i>Hydrocynus forskalii</i> (Hfo) ; <i>Malapterurus electricus</i> (Mel) ; <i>Marcusenius senegalensis</i> (Mse) ; <i>Mastacembelus nigromarginatus</i> (Mni) ; <i>Labeo parvus</i> (Lpa) ; <i>Schilbe mandibularis</i> (Sma) ; <i>Synodontis bastiani</i> (Sba) ; <i>Synodontis punctifer</i> (Spu).	Conductivité

3.2.1.1.7. Profil écologique des espèces

Le pas de classe de la richesse spécifique fixé à 3, est choisi à partir du nombre minimum d'espèces rencontrées dans un relevé (6 espèces). Il apparaît globalement cinq grands ensembles selon la topographie des diagrammes. Le premier groupe est constitué par les espèces dont le spectre du profil écologique est constant. Il s'agit de *Auchenoglanis occidentalis*, *Hemichromis bimaculatus*, *Hepsetus odoe* et *Malapterurus electricus*. Cette constance vis-à-vis de la richesse spécifique n'apparaît que dans deux classes sur trois classes de richesse spécifique chez toutes ces espèces. Le second groupe rassemble les espèces qui sont présentes dans les relevés dont la richesse en espèce est croissante. Il s'agit de *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus*, *Labeo senegalensis* et *Polypterus endlicheri*. Le troisième groupe se compose des espèces dont le spectre du profil écologique est décroissant. Ce sont : *Brycinus macrolepidotus*, *Clarias anguillaris*, *Distichodus rostratus*, *Labeo coubie*, *Synodontis bastiani*, *Synodontis punctifer*, *Synodontis schall* et *Coptodon guineensis*. Le quatrième groupe se compose des espèces dont le spectre du profil écologique est irrégulier. Ces espèces dites intermédiaires sont : *Brycinus imberi* et *Oreochromis niloticus*. Le cinquième groupe rassemble les espèces typiques des échantillons à faible, moyenne et forte richesse spécifique. Pour les classes avec de faibles richesses spécifiques, on a : *Hydrocynus forskalii*, *Lates niloticus*, *Marcusenius senegalensis* et *Schilbe mandibularis*. Concernant les classes ayant des richesses spécifiques moyennes, on trouve : *Hemichromis fasciatus*, *Mastacembelus nigromarginatus*, *Mormyrus rume* et *Coptodon zillii*. Quant aux classes présentant les fortes richesses spécifiques, on note les espèces suivantes : *Chrysichthys maurus*, *Heterotis niloticus*, *Labeo parvus*, *Parachanna obscura*, *Pellonula leonensis*, *Petrocephalus bovei* et *Raiamas senegalensis*. La figure 43 illustre la variation des profils écologiques des espèces rencontrées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB en fonction des classes de richesse spécifique.

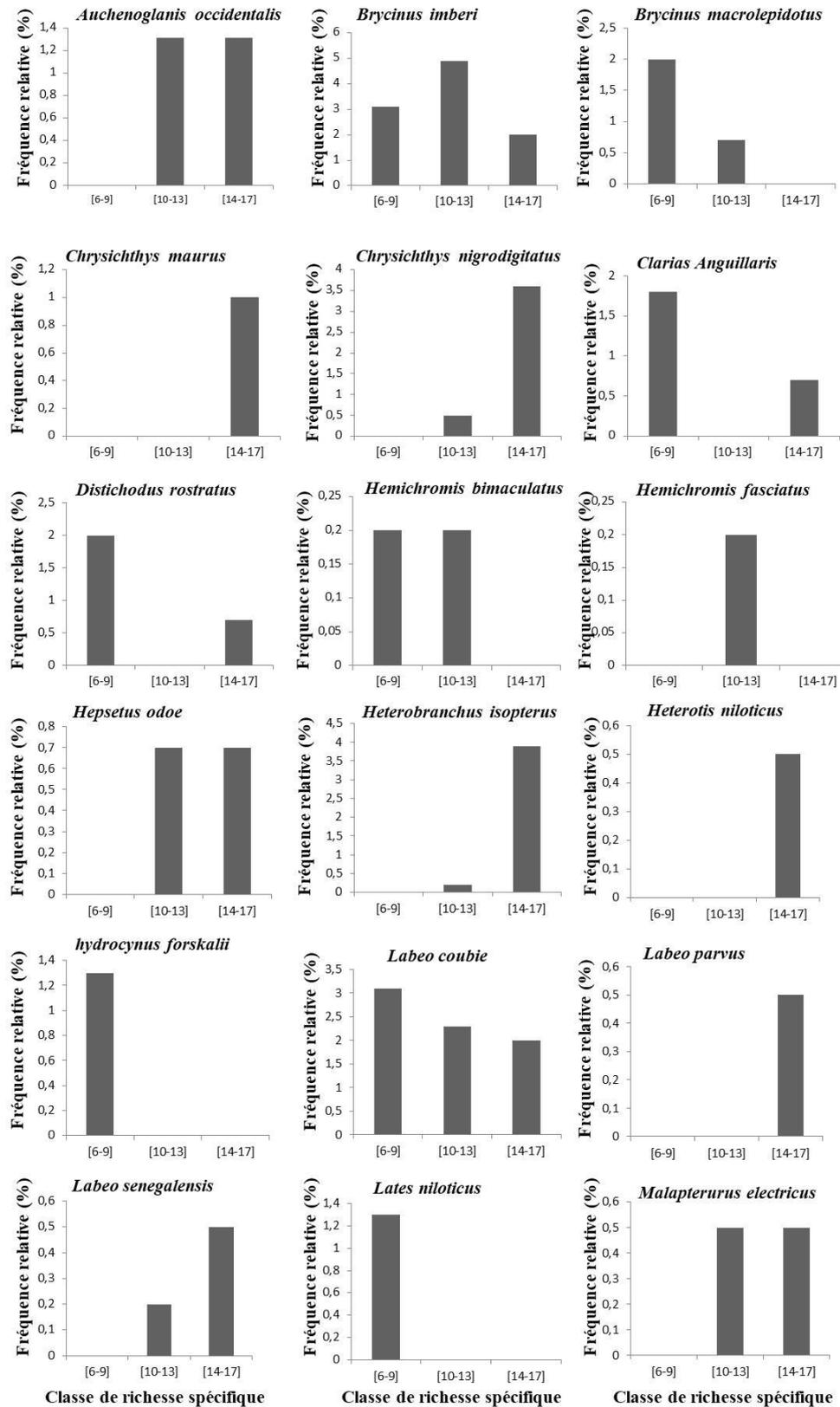


Figure 43 : Profils écologiques des espèces de poissons rencontrés dans la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

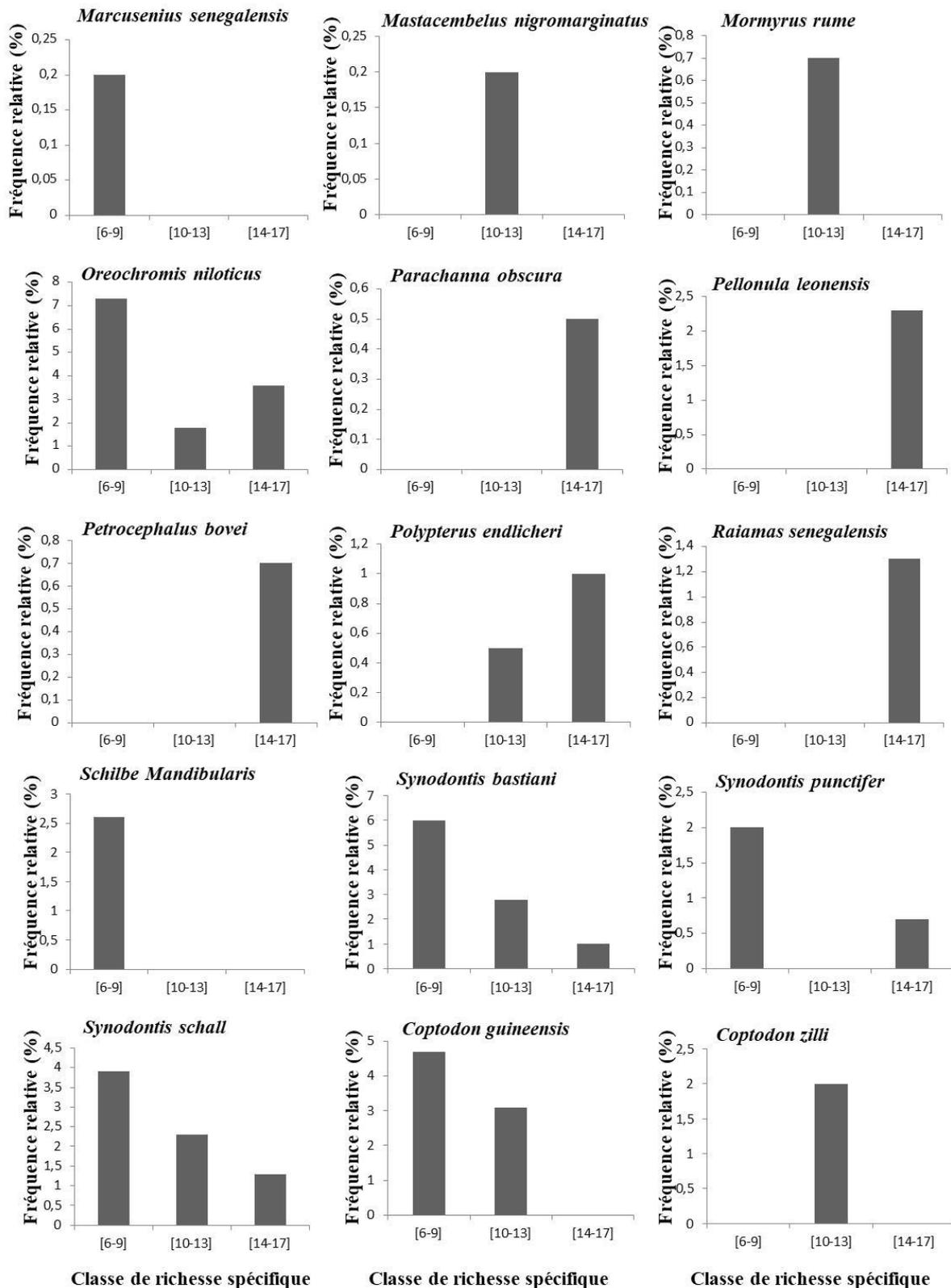


Figure 43 (suite et fin) : Profils écologiques des espèces de poissons rencontrés dans la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.1.8. Statut de conservation et vulnérabilité de l'ichtyofaune

Selon la classification de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 2023), l'ensemble des 33 espèces de poissons échantillonnées sont dans la catégorie "préoccupation mineure".

Quant au niveau de vulnérabilité, il se repartie en sept (7) catégories qui sont : faible ; faible à modérée ; modérée ; modérée à élevée ; élevée, élevée à très élevée et très élevée (Figure 44). Ces espèces sont reparties comme suite :

- 11 espèces à "faible" vulnérabilité (*Brycinus imberi*, *Coptodon guineensis*, *Hemichromis bimaculatus*, *Hemichromis fasciatus*, *Hepsetus odoe*, *Pellonula leonensis*, *Petrocephalus bovei*, *Raiamas senegalensis*, *Synodontis bastiani*, *Synodontis punctifer* et *Synodontis schall*), soit 34 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- 6 espèces ayant une vulnérabilité "faible à modérée" (*Brycinus macrolepidotus*, *Coptodon zillii*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Marcusenius senegalensis*, *Oreochromis niloticus* et *Schilbe mandibularis*), soit 18 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- 8 espèces, à vulnérabilité "modérée" (*Auchenoglanis occidentalis*, *Chrysichthys maurus*, *Hydrocynus forskalii*, *Labeo coubie*, *Labeo parvus*, *Labeo senegalensis*, *Mastacembelus nigromarginatus* et *Parachanna obscura*), soit 24 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- 4 espèces ayant une vulnérabilité "modérée à élevée" (*Distichodus rostratus*, *Heterotis niloticus*, *Lates niloticus* et *Polypterus endlicheri*), soit 12 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- une espèce à vulnérabilité "élevée" (*Clarias anguillaris*), soit 3 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- une espèce à vulnérabilité "élevée a très élevée" (*Mormyrus rume*), soit 3 % de la richesse spécifique totale enregistrée ;
- et 2 espèces à vulnérabilité "très élevée" (*Heterobranchus isopterus* et *Malapterurus electricus*), soit 6 % de la richesse spécifique totale enregistrée.

Le statut de conservation et la vulnérabilité des espèces de poissons collectées sur le fleuve Bandama dans la réserve sont consignés dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Statut de conservation et de vulnérabilité des espèces de poissons échantillonnées sur la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Ordres	Familles	Espèces	Vulnérabilité	Statut UICN (2023)
Polypteriformes	Polypteridae	<i>Polypterus endlicheri</i>	Modérée à élevée (52 %)	Préoccupation mineure
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Pellonula leonensis</i>	Faible (12 %)	Préoccupation mineure
Osteoglossiformes	Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i>	Modérée à élevée (55%)	Préoccupation mineure
	Mormyridae	<i>Marcusenius senegalensis</i>	Faible a modérée (29 %)	Préoccupation mineure
		<i>Mormyrus rume</i>	Élevée à très élevée (73 %)	Préoccupation mineure
		<i>Petrocephalus bovei</i>	Faible (13 %)	Préoccupation mineure
Characiformes	Hepsetidae	<i>Hepsetus odoe</i>	Faible (21 %)	Préoccupation mineure
	Alestidae	<i>Brycinus imberi</i>	Faible (10 %)	Préoccupation mineure
		<i>Brycinus macrolepidotus</i>	Faible a modérée (31 %)	Préoccupation mineure
		<i>Hydrocynus forskalii</i>	Modérée (39 %)	Préoccupation mineure
Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Distichodus rostratus</i>	Modérée à élevée (52%)	Préoccupation mineure
		<i>Labeo coubie</i>	Modérée (39%)	Préoccupation mineure
		<i>Labeo parvus</i>	Modérée (36 %)	Préoccupation mineure
		<i>Labeo senegalensis</i>	Modérée (45 %)	Préoccupation mineure
		<i>Raiamas senegalensis</i>	Faible (15 %)	Préoccupation mineure
Siluriformes	Claroteidae	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	Modérée (38 %)	Préoccupation mineure
		<i>Chrysichthys maurus</i>	Modérée (45 %)	Préoccupation mineure
		<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	Faible à modérée (32 %)	Préoccupation mineure
	Schilbeidae	<i>Schilbe mandibularis</i>	Faible à modérée (29 %)	Préoccupation mineure
	Clariidae	<i>Clarias anguillaris</i>	Elevée (60 %)	Préoccupation mineure
		<i>Heterobranchus isopterus</i>	Très élevée (90 %)	Préoccupation mineure
	Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i>	Très élevée (89 %)	Préoccupation mineure
		<i>Synodontis bastiani</i>	Faible (16 %)	Préoccupation mineure
		Mochokidae	<i>Synodontis punctifer</i>	Faible (24 %)
	<i>Synodontis schall</i>		Faible (21 %)	Préoccupation mineure
Perciformes	Channidae	<i>Parachanna obscura</i>	Modérée (44 %)	Préoccupation mineure
	Latidae	<i>Lates niloticus</i>	Modérée à élevée (47 %)	Préoccupation mineure
		<i>Hemichromis bimaculatus</i>	Faible (14 %)	Préoccupation mineure
		<i>Hemichromis fasciatus</i>	Faible (14 %)	Préoccupation mineure
		<i>Oreochromis niloticus</i>	Faible à modérée (30 %)	Préoccupation mineure
		<i>Coptodon guineensis</i>	Faible (19 %)	Préoccupation mineure
	<i>Coptodon zillii</i>	Faible à modérée (27 %)	Préoccupation mineure	
Synbranchiformes	Mastacembelidae	<i>Mastacembelus nigromarginatus</i>	Modérée (43 %)	Préoccupation mineure

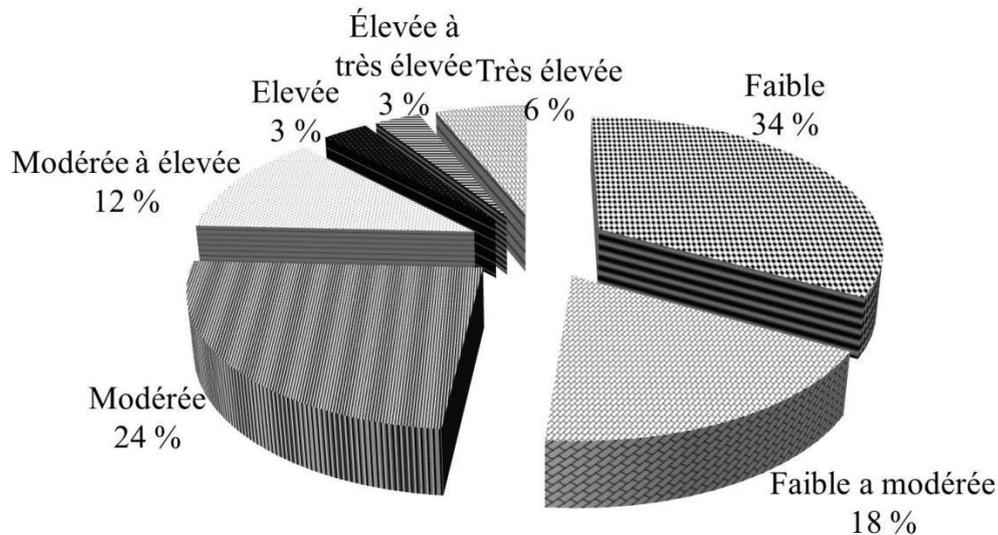


Figure 44 : Proportion des différentes catégories de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, selon leur niveau de vulnérabilité établi par l'UICN (2023).

3.2.1.2. Composition quantitative du peuplement ichthyologique

3.2.1.2.1. Abondance relative des taxons dans l'ensemble du milieu considéré

Sur l'ensemble des stations prospectées, les Siluriformes sont les plus abondants. Ils représentent 39 % de l'abondance globale des poissons échantillonnés. Les Siluriformes sont suivis des Perciformes avec 25 % et des Characiformes 19 % de l'abondance des poissons. Quant aux Cypriniformes, ils représentent 10 % de l'ensemble des poissons échantillonnés. Les 04 autres Ordres (Clupeiformes, Osteoglossiformes, Polypteriformes et Synbranchiformes) ne représentent que 7 % des captures. La figure 45 illustre l'abondance relative des Ordres de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

Les Cichlidae et les Mochokidae sont les familles les plus abondantes avec respectivement 28 % et 25 % de l'abondance des poissons collectés. Par ailleurs, les familles des Claroteidae et des Clariidae représentent respectivement 10 % et 8 % de l'ensemble des poissons échantillonnés. Les abondances relatives des familles de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB sont indiquées dans la figure 46.

Concernant les abondances relatives des espèces de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB, *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* dominent l'ensemble des captures avec respectivement 23 %, 19 % et 17 % de l'abondance du

peuplement de poissons. En outre, *Synodontis schall* ne représente que 13 % de l'ensemble des poissons échantillonnés (Figure 47).

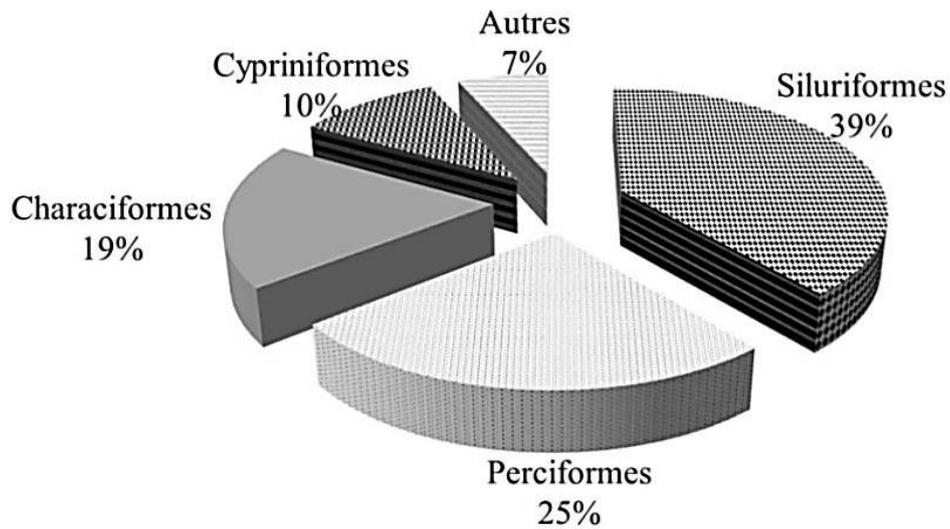


Figure 45 : Abondance relative globale des Ordres de poissons échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

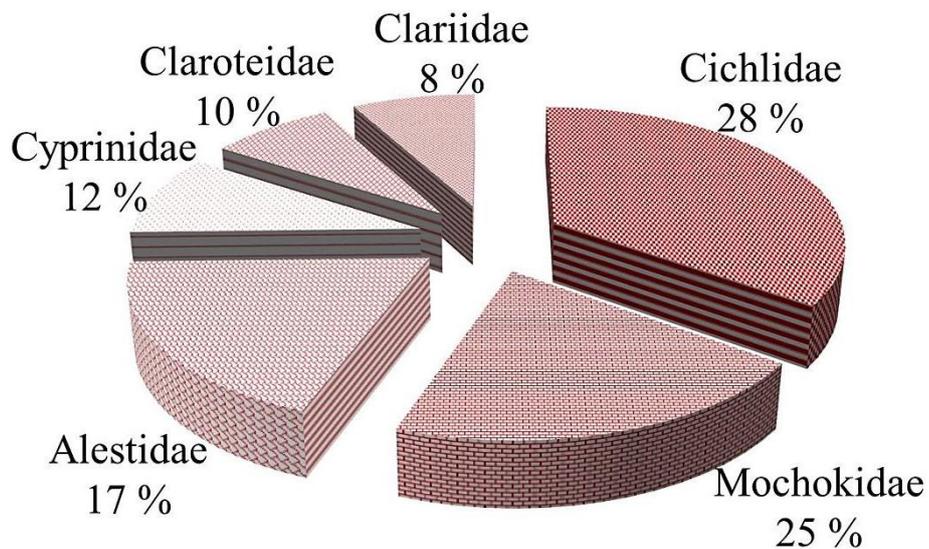


Figure 46 : Abondance relative globale des Familles de poissons échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

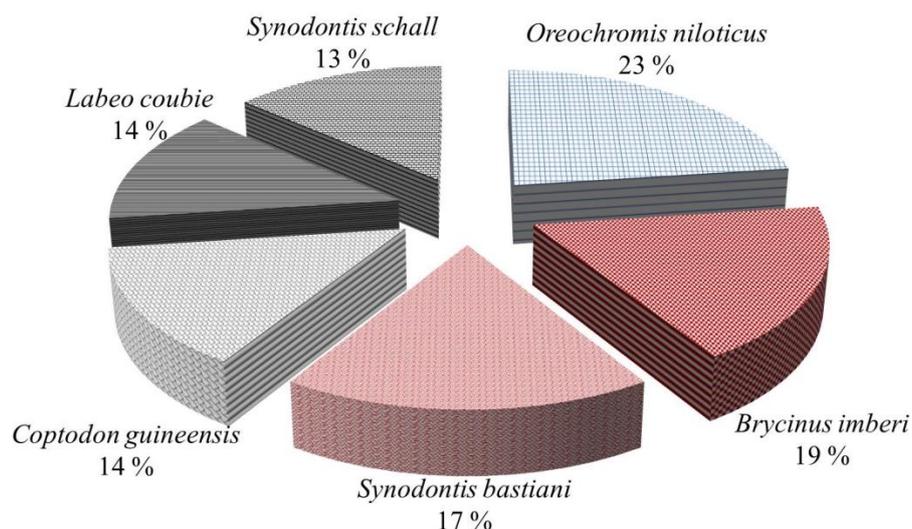


Figure 47 : Abondance relative globale des espèces de poissons échantillonnées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.2.2. Abondance relative des taxons suivant le gradient amont-aval du fleuve Bandama dans la RFF-HB

3.2.1.2.2.1. Abondance relative des ordres de poissons

Les Siluriformes et les Perciformes sont les ordres qui dominent l'ichtyofaune dans la partie amont. Ils représentent respectivement 26 % et 32 % de l'abondance des poissons à la station BTA et 42 % et 23 % de l'abondance à la station BTB.

En outre, dans la partie médiane, ces ordres représentent respectivement 33 % et 19 % de l'abondance à la station BSA puis 45 % et 25 % de l'abondance des poissons à la station BSB. A ces ordres, s'ajoute les Characiformes qui dominent les captures avec 37 % de l'abondance des poissons à la station BSA. Les Characiformes font 24 % de l'abondance des poissons à la station BSB dans cette partie du fleuve Bandama dans la réserve.

Les Siluriformes et les Perciformes dominent également les captures dans la partie aval avec respectivement 44 % et 27 % de l'abondance des poissons à la station BYA. Cependant, aux Siluriformes avec 45 %, s'ajoutent les Cypriniformes avec 32 % de l'abondance des poissons à la station BYB.

En revanche, les Osteoglossiformes sont les moins abondants dans les stations BTA, BTB, BSA, BSB et BYA représentant respectivement 5 %, 1 %, 2 %, 1 % et 3 % de l'abondance des poissons. Par ailleurs, ils sont absents à la station BYB dans la partie aval. La

figure 48 présente les abondances des ordres de poissons récoltés dans les différentes parties du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

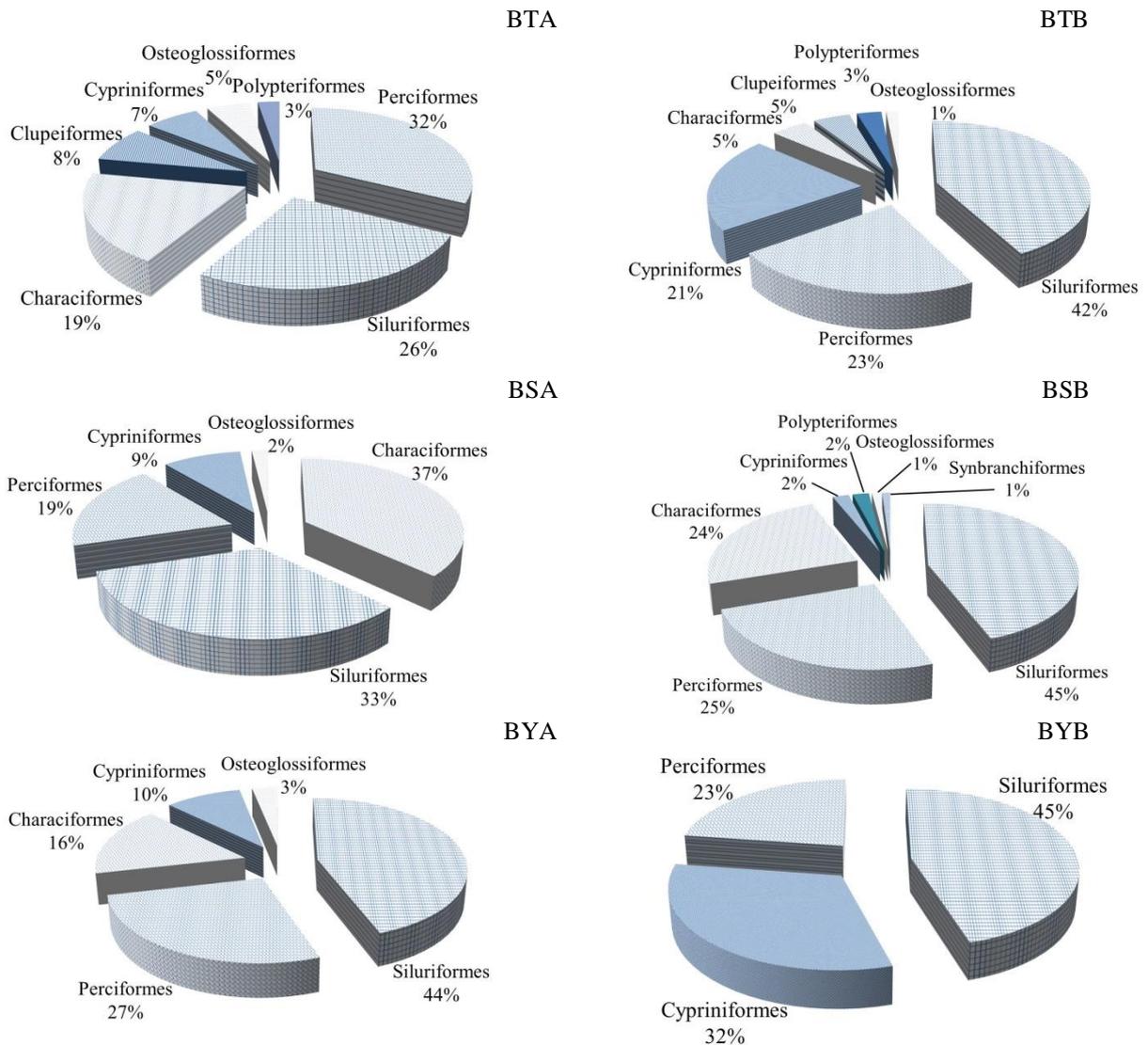


Figure 48 : Contribution des ordres de poissons dans l'abondance du peuplement ichthyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.2.2.2. Abondance relative des familles de poissons

Dans la partie supérieure du fleuve Bandama dans la réserve, les Cichlidae et les Mochokidae dominent les captures avec respectivement 35 % et 21 % de l'abondance à la station BTA alors que les Cyprinidae avec 26 % de l'abondance et les Claroteidae avec 24 % de l'abondance dominent les captures à la station BTB.

Quant à la partie médiane, les familles des Alestidae, Cichlidae et Mochokidae sont les plus abondants avec respectivement 44 %, 23 % et 20 % de l'abondance des poissons à la station BSA et 22 %, 30 % et 34 % de l'abondance à la station BSB.

Concernant la partie inférieure, elle est dominée par les familles des Cichlidae et Mochokidae qui représentent respectivement 30 % et 26 % de l'abondance des captures à la station BYA. Tandis que les familles des Cyprinidae avec 39 % de l'abondance, Clariidae avec 33 % de l'abondance et Cichlidae avec 14 % de l'abondance, sont les plus importantes dans les captures à la station BYB. La figure 49 montre les abondances relatives des familles de poissons récoltés aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.2.2.3. Abondance relative des espèces de poissons

Oreochromis niloticus, *Brycinus imberi* et *Coptodon guineensis* abondent dans les captures au niveau de la partie supérieure du fleuve Bandama dans la réserve à la station BTA avec respectivement 24 %, 22 % et 20 % de l'abondance des poissons. Tandis qu'à la station BTB de cette même partie, les espèces *Labeo coubie* avec 29 % de l'abondance des poissons, *Oreochromis niloticus* et *Synodontis schall* avec 20 % de l'abondance chacune, dominent dans les captures.

Cependant, dans la partie médiane, *Coptodon guineensis* et *Brycinus imberi* avec 50 % de l'abondance chacune dominent l'ichtyofaune à la station BSA alors que *Synodonyis bastiani* avec 43 % de l'abondance, *Brycinus imberi* avec 24 % de l'abondance et *Oreochromis niloticus* avec 20 % de l'abondance sont les plus importants à la station BSB.

Par ailleurs, les espèces *Oreochromis niloticus* avec 39 % de l'abondance des poissons, *Synodontis schall* avec 29 % de l'abondance et *Labeo coubie* avec 17 % de l'abondance des poissons sont prédominantes dans les captures à la station BYA tandis qu'à la station BYB, *Labeo coubie* avec 58 % de l'abondance des poissons et *Oreochromis niloticus* avec 42 % de l'abondance sont en proportion élevée dans la partie inférieure du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Dans l'ensemble des captures, *Oreochromis niloticus* prédomine l'ichtyofaune (Figure 50).

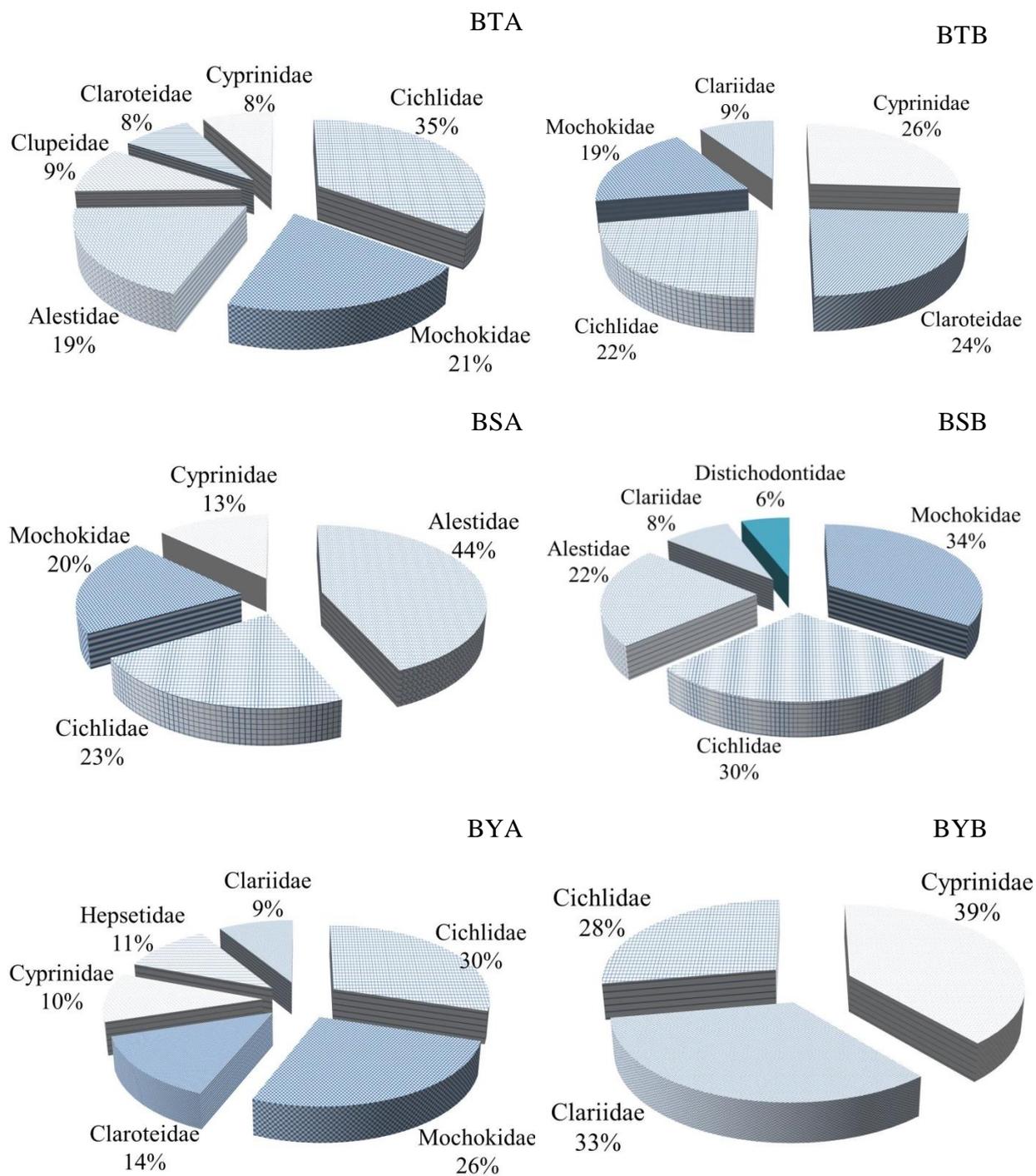


Figure 49 : Contribution des familles de poissons dans l'abondance du peuplement ichtyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

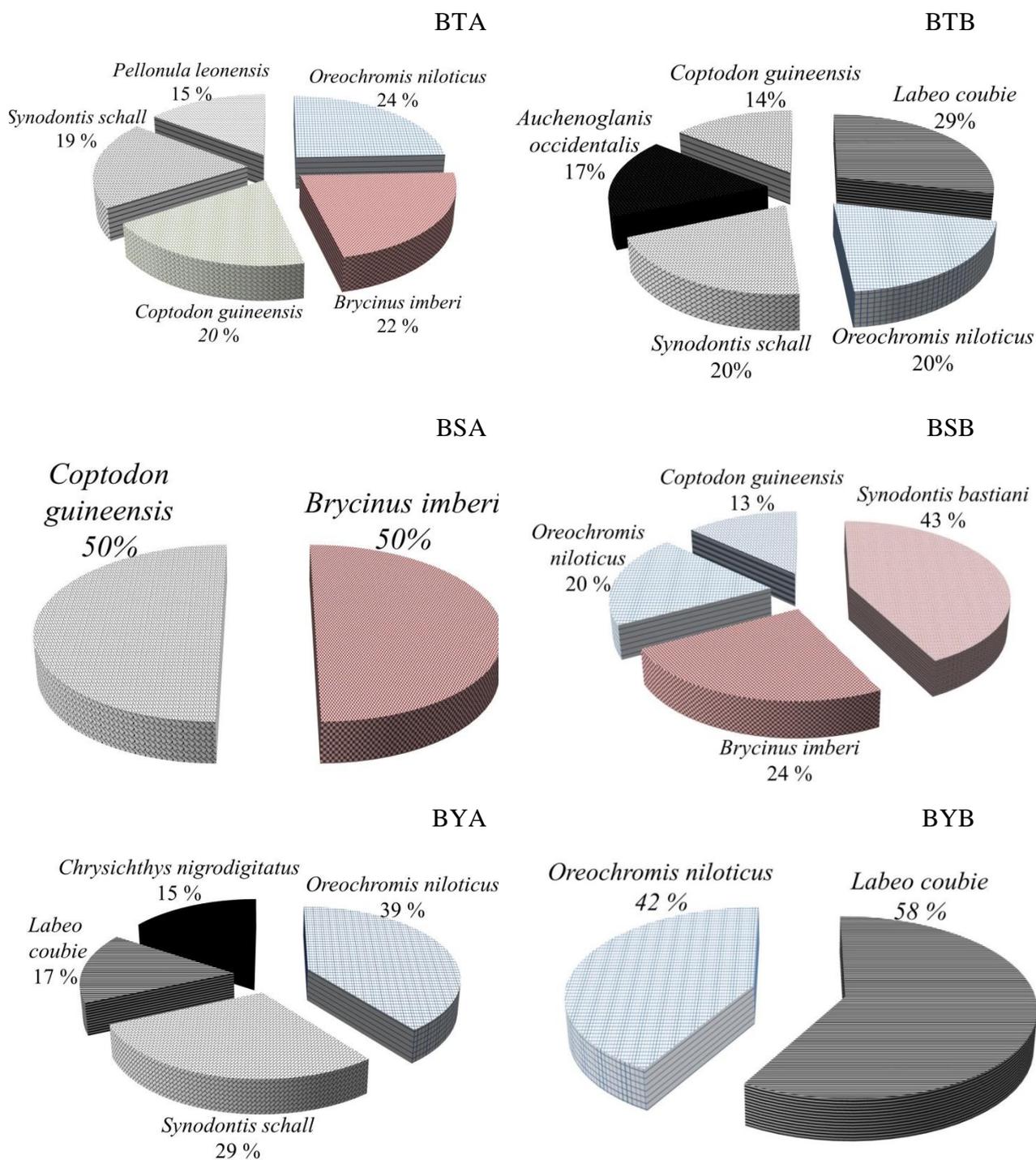


Figure 50 : Contribution des espèces de poissons dans l'abondance du peuplement ichtyologique aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.2.3. Analyse de la diversité du peuplement ichthyologique

3.2.1.2.3.1. Variations spatiales et saisonnières de l'indice de Shannon (H')

Sur l'ensemble des stations prospectées, l'indice de Shannon oscille entre 0,562 et 2,008. A l'exception de la station BYA dans la partie aval, la plus faible valeur de l'indice de Shannon ($H' = 0,562$ bit) a été enregistrée dans toutes les autres stations. Par contre, la valeur la plus élevée ($H' = 2,008$ bit) a été notée à la station BTB dans la partie amont.

Le test de normalité effectué sur les valeurs de l'indice de Shannon montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau XIV).

Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne diffèrent pas significativement entre les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). La figure 51 présente les variations spatiales de l'indice de Shannon aux différentes stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Au niveau saisonnier, la valeur minimale de l'indice de Shannon ($H' = 0,562$ bit) a été enregistrée durant la saison pluvieuse dans les stations BTA dans la partie amont, BSA et BSB dans la partie médiane et BYB dans la partie aval du fleuve Bandama dans la réserve. Par ailleurs, cette valeur a aussi été trouvée pendant la saison sèche aux stations BTB et BSA respectivement dans les parties amont et médiane. Cependant, la valeur maximale ($H' = 2,008$ bit) est observée pendant la saison sèche à la station BTB dans la partie amont. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne diffèrent pas significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations (Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Figure 52).

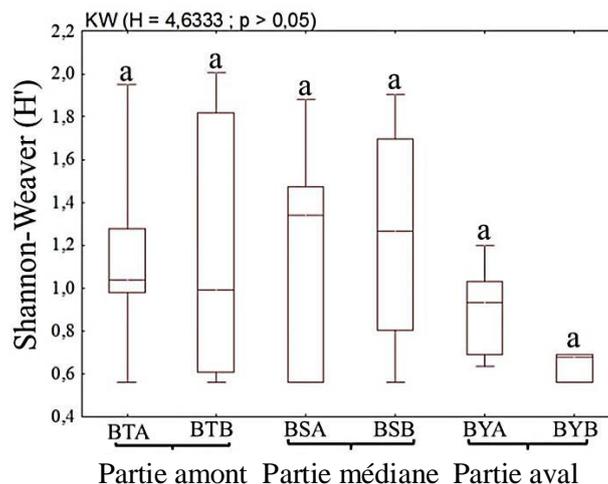


Figure 51 : Variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

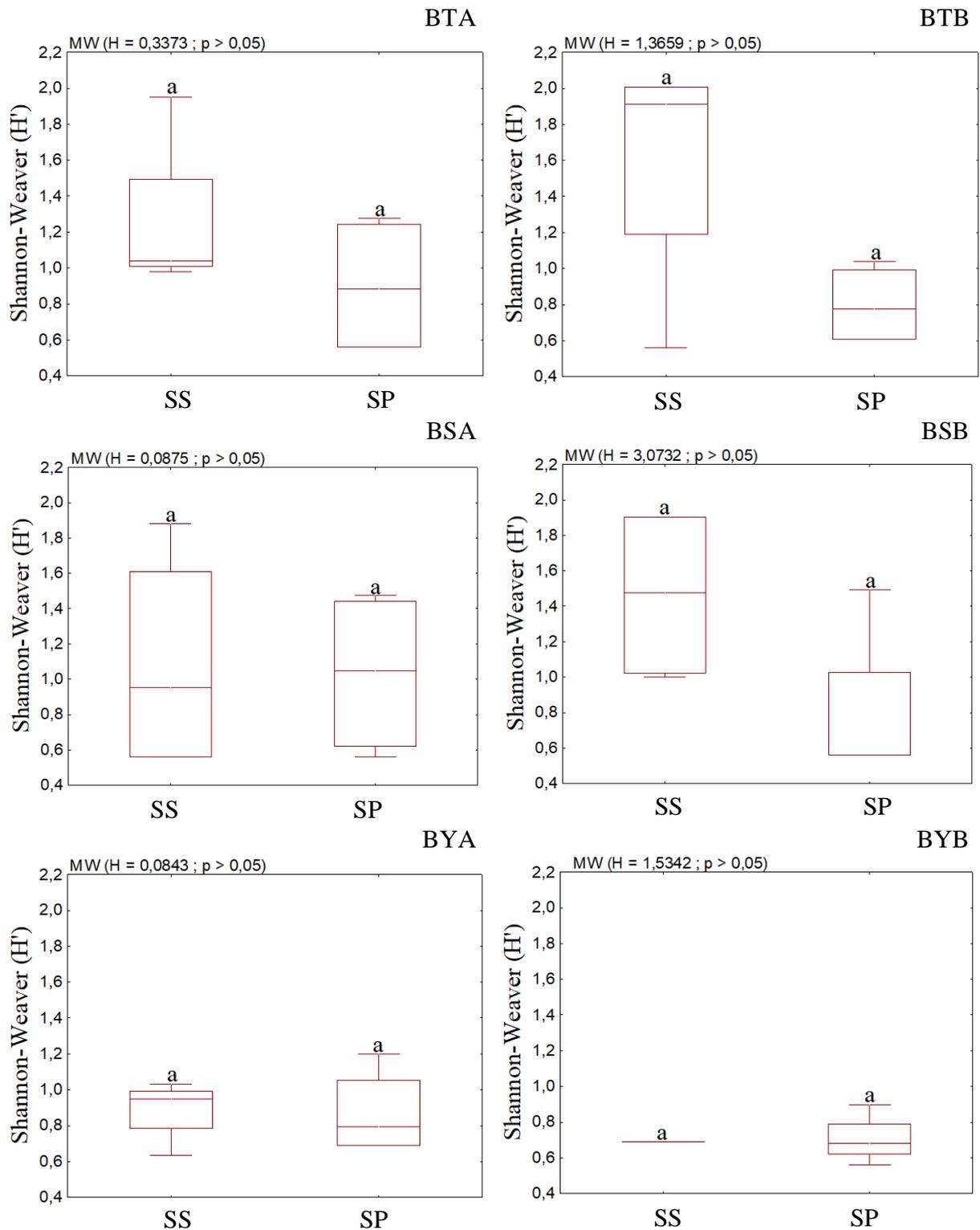


Figure 52 : Variations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; SP = Saison Pluvieuse, SS = Saison Sèche ; P = au seuil de significativité de 0,05.

3.2.1.2.3.2. Variation spatiale et saisonnière de l'indice d'Équitabilité (E)

L'indice d'équitabilité est compris entre 0,793 dans les stations de la partie amont (BTA et BTB) et médiane (BSA et BSB) et 1 dans les stations de la partie aval (BYA et BYB).

Le test de normalité effectué sur les valeurs de l'indice d'équitabilité montre que la signification asymptotique est inférieure à 0,05 (Tableau XIV).

Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement entre les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les variations spatiales de l'indice d'équitabilité du peuplement ichthyologique sont indiquées par la figure 53.

Concernant les variations saisonnières de l'indice d'équitabilité du peuplement ichthyologique, la valeur minimale de 0,793 est enregistrée pendant la saison pluvieuse à la station BTA dans la partie amont et BSA dans la partie médiane. Cette valeur a également été trouvée durant la saison sèche à la station BTB dans la partie amont et aux stations BSA et BSB dans la partie médiane. Quant à la valeur maximale (équitabilité = 1), elle est notée durant la saison pluvieuse à la station BYA et la saison sèche à la station BYB dans la partie aval. Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement entre les deux saisons climatiques dans toutes les stations (Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Figure 54).

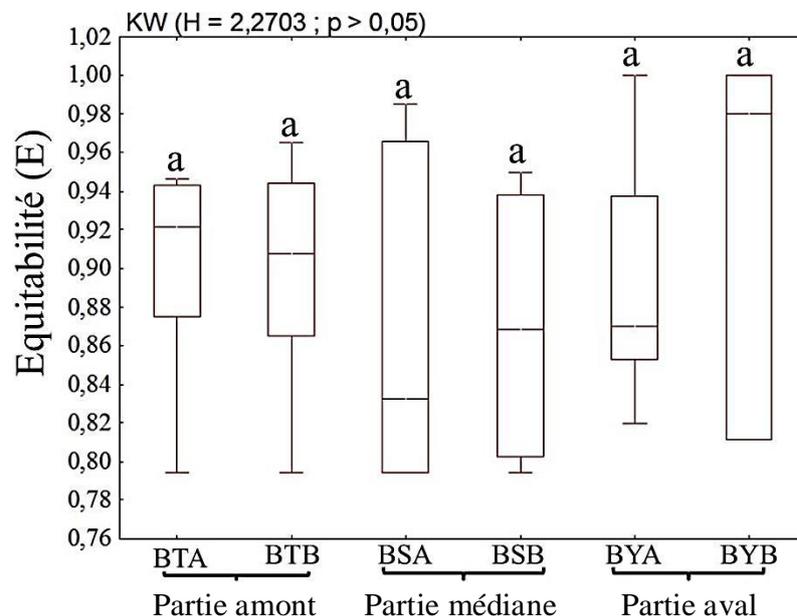


Figure 53 : Variations spatiales de l'indice d'Équitabilité du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; $P =$ au seuil de significativité de 0,05.

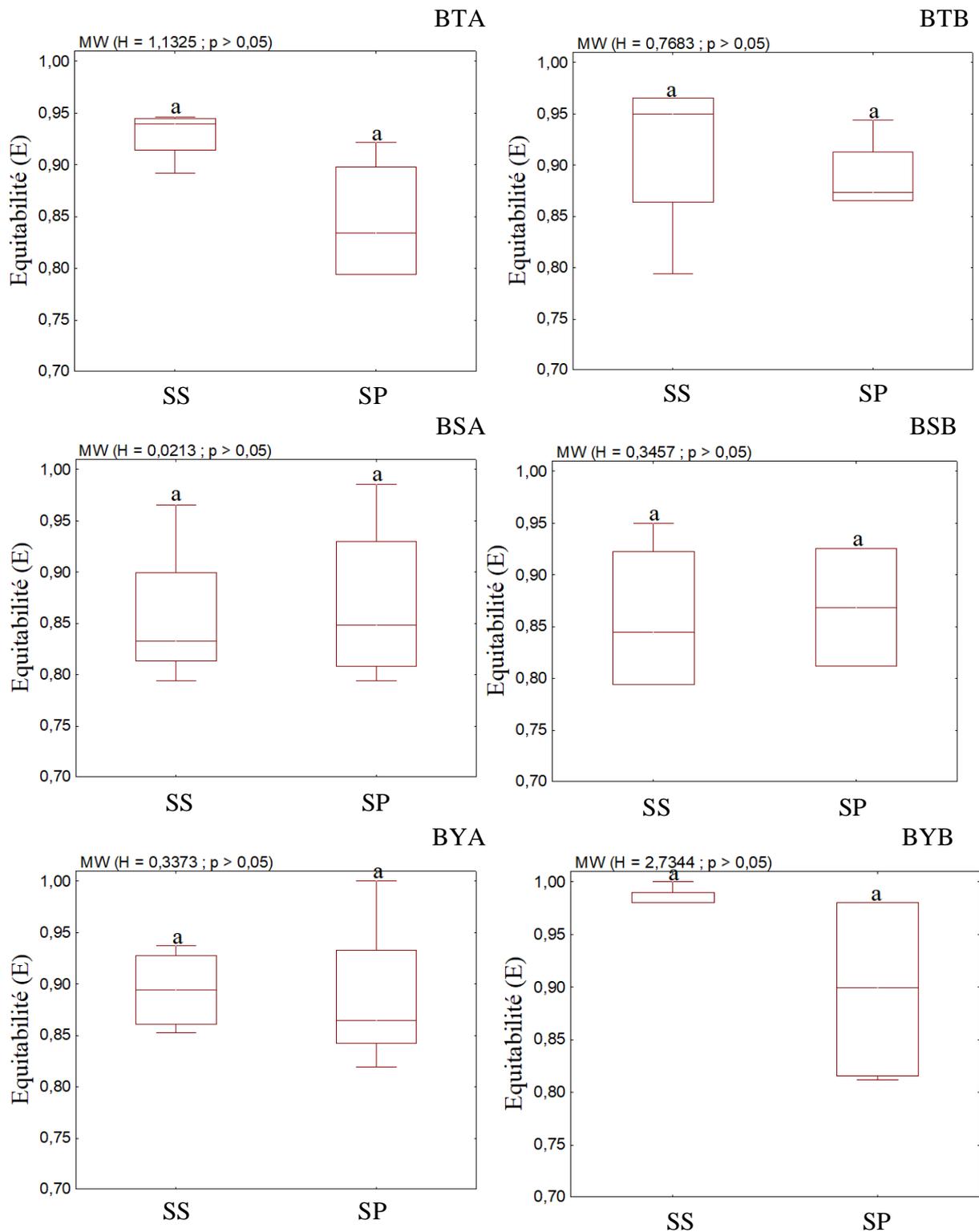


Figure 54 : Variations saisonnières de l'indice d'Equitabilité du peuplement de poissons collectés aux stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; SP = Saison Pluvieuse, SS = Saison Sèche ; P = au seuil de significativité de 0,05.

Tableau XIV : Résultats du test de Shapiro-Wilk à un échantillon effectué sur les valeurs des indices de Shannon et d'Equitabilité.

	Shannon (H')	Equitabilité (E)
Shapiro-Wilk	0,8913	0,9281
Signification asymptotique	0,002	0,02

3.2.1.3. Espèces indicatrices des différents types d'habitats

La méthode Indval a été utilisée pour déterminer les espèces ayant une valeur indicatrice significative suivant le gradient amont-aval du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB. La classification, à partir des caractéristiques environnementales, regroupe les stations en fonction du gradient longitudinal. Cette classification donne trois niveaux d'hierarchisation. Le premier niveau renferme toutes les stations d'échantillonnages. Quant au second niveau, il distingue les stations minéralisées (BYA et BYB) de celles qui sont faiblement minéralisées (BTA, BTB, BSA et BSB). Quant au troisième niveau, il subdivise les stations faiblement minéralisés en deux sous-groupes selon les groupes définis par l'ACP et la SOM. Le test Indval a été réalisé avec l'ensemble des 33 espèces récoltées. Dans l'ensemble, toutes les 33 espèces se sont révélées indicatrices d'au moins un niveau de la classification (Figure 55).

Le premier niveau de la typologie rassemble toutes les 33 espèces qui se sont montrées indicatrices. Au second niveau, *Clarias anguillaris* (90,7), *Hepsetus odoe* (70,7), *Mormyrus rume* (63,2) et *Hemichromis bimaculatus* (57,7), ont été identifiées comme indicatrices des stations minéralisées (BYA et BYB) situées dans le cours inférieur. Quant aux stations faiblement minéralisés (BTA, BTB, BSA et BSB), ils se caractérisent par *Brycinus macrolepidotus* (100). *Coptodon guineensis* (100). *Synodontis punctifer* (100). *Distichodus rostratus* (86,6) *Lates niloticus* (86,6) *Labeo senegalensis* (86,6) *Polypterus endlicheri* (86,6) *Schilbe mandibularis* (86,6) *Chrysichthys maurus* (70,7) *Malapterurus electricus* (70,7) *Petrocephalus bovei* (70,7) *Pellonula leonensis* (70,7) *Raiamas senegalensis* (70,7) *Hydrocynus forskalii* (70,7) *Hemichromis fasciatus* (50) *Heterotis niloticus* (50) *Labeo parvus* (50) *Mastacembelus nigromarginatus* (50) *Marcusenius senegalensis* (50) et *Parachanna obscura* (50). Au troisième niveau de la classification, les stations minéralisées conservent leurs quatre espèces du deuxième niveau. Quant aux stations faiblement minéralisés, celles du cours supérieur se caractérisent par *Chrysichthys maurus* (100), *Petrocephalus bovei* (100),

Pellonula leonensis (100), *Raiamas senegalensis* (100), *Lates niloticus* (89,4), *Heterotis niloticus* (70,7), *Parachanna obscura* (70,7). Par ailleurs, celles du cours moyen (BSA et BSB) s'associent à *Malapterurus electricus* (100), *Schilbe mandibularis* (89,4), *Synodontis bastiani* (88,9), *Hemichromis fasciatus* (70,7), *Labeo parvus* (70,7), *Marcusenius senegalensis* (70,7), *Mastacembelus nigromarginatus* (70,7) (Figure 55).

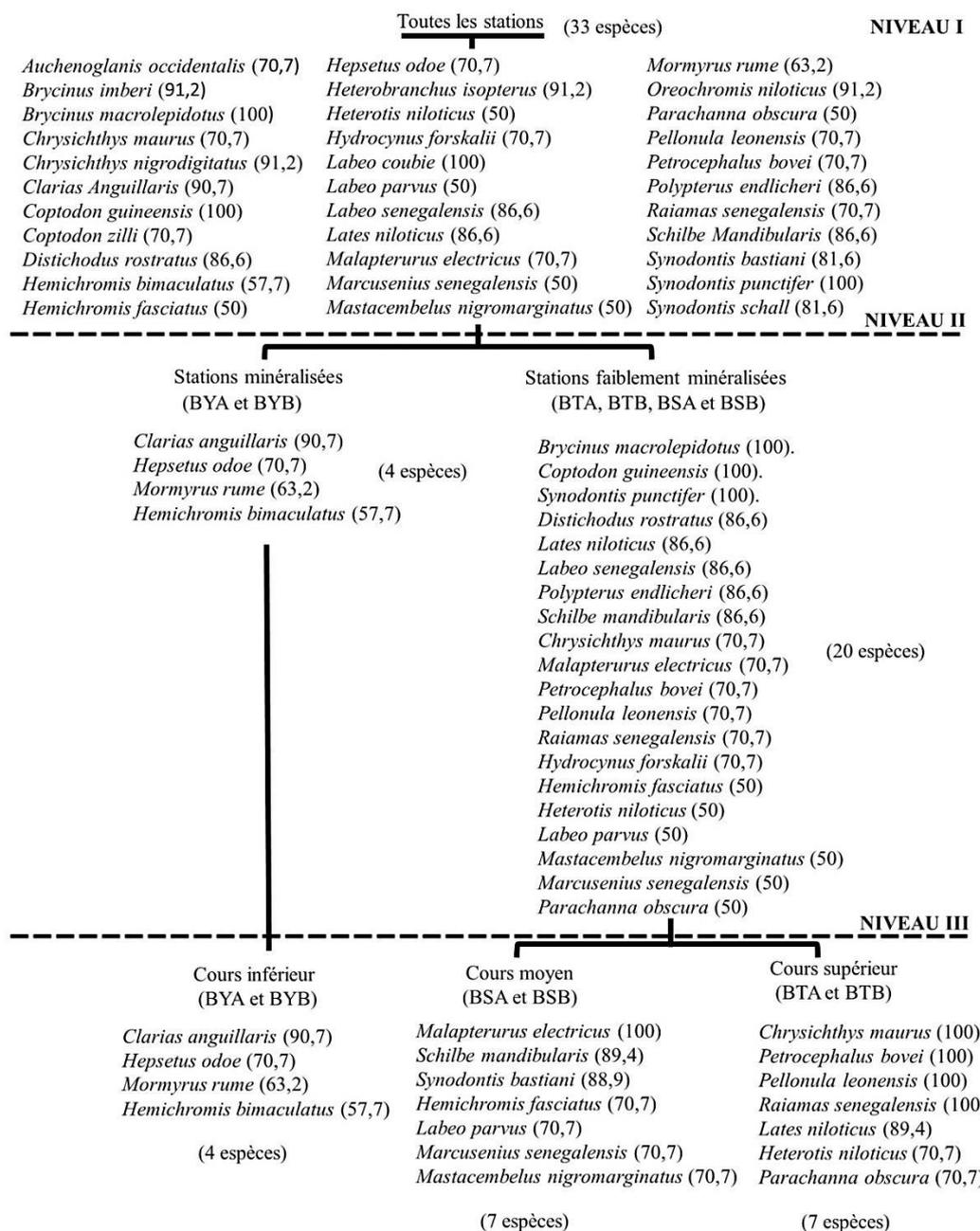


Figure 55 : Typologie abiotique des groupes de stations et les espèces indicatrices associées avec les valeurs indicatrices entre parenthèses ; $0,1 < ^{\circ} < 1$ = Test de student très faiblement significatif ; $0,05 < ^{\circ} < 0,1$ = Test de student non significatif.

3.2.1.4. Paramètres de croissance de trois espèces prépondérantes de la zone d'étude

Les espèces *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* ont fait l'objet d'une étude de leurs structures en tailles et relations longueur-poids. Le choix de ces espèces s'est fait en tenant compte de leur abondance élevée dans le peuplement ichtyologique de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB dans l'ensemble des captures.

3.2.1.4.1. Structure en tailles des populations des trois espèces prépondérantes

Chez *Oreochromis niloticus*, les analyses ont portées sur 35 spécimens. Les longueurs standards des poissons chez cette espèce varient entre 8,7 et 17 cm LS avec une moyenne (\pm écart type) de $12,25 \pm 2,02$ cm LS. Globalement, la structure de la population d'*Oreochromis niloticus* a une distribution bimodale et les échantillons récoltés présentent un plus grand nombre de spécimens pour les tailles comprises entre 8,7 et 10,08 cm LS puis entre 11,46 et 12,84 cm LS.

Concernant *Brycinus imberi*, 33 spécimens de longueurs standards variant entre 5,3 et 13,5 cm LS avec une moyenne (\pm écart type) de $9,89 \pm 2,36$ cm LS ont été échantillonnés. Il est apparu, deux modes dans la distribution des fréquences de taille de cette espèce. La classe de taille [8,02-9,38 cm] constitue la première classe modale et la classe de taille [12,1-13,46 cm] est la seconde classe modale.

Par ailleurs, 55 spécimens de taille variant entre 9 et 20 cm LS avec une moyenne (\pm écart type) de $13,12 \pm 2,23$ cm LS ont été pris en compte chez *Labeo coubie*. La distribution des fréquences de taille de cette espèce est de type bimodal et la classe de taille [10,57 et 12,14 cm] constitue la première classe modale puis la classe de taille [18,42 et 19,99 cm] est la seconde classe modale.

Ces deux classes modales observées au niveau des structures en tailles de ces trois espèces sont représentatives de deux groupes de spécimens assimilables à deux cohortes. Les distributions des fréquences en tailles de l'ensemble des individus d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* considérés dans cette analyse sont présentées par la figure 56.

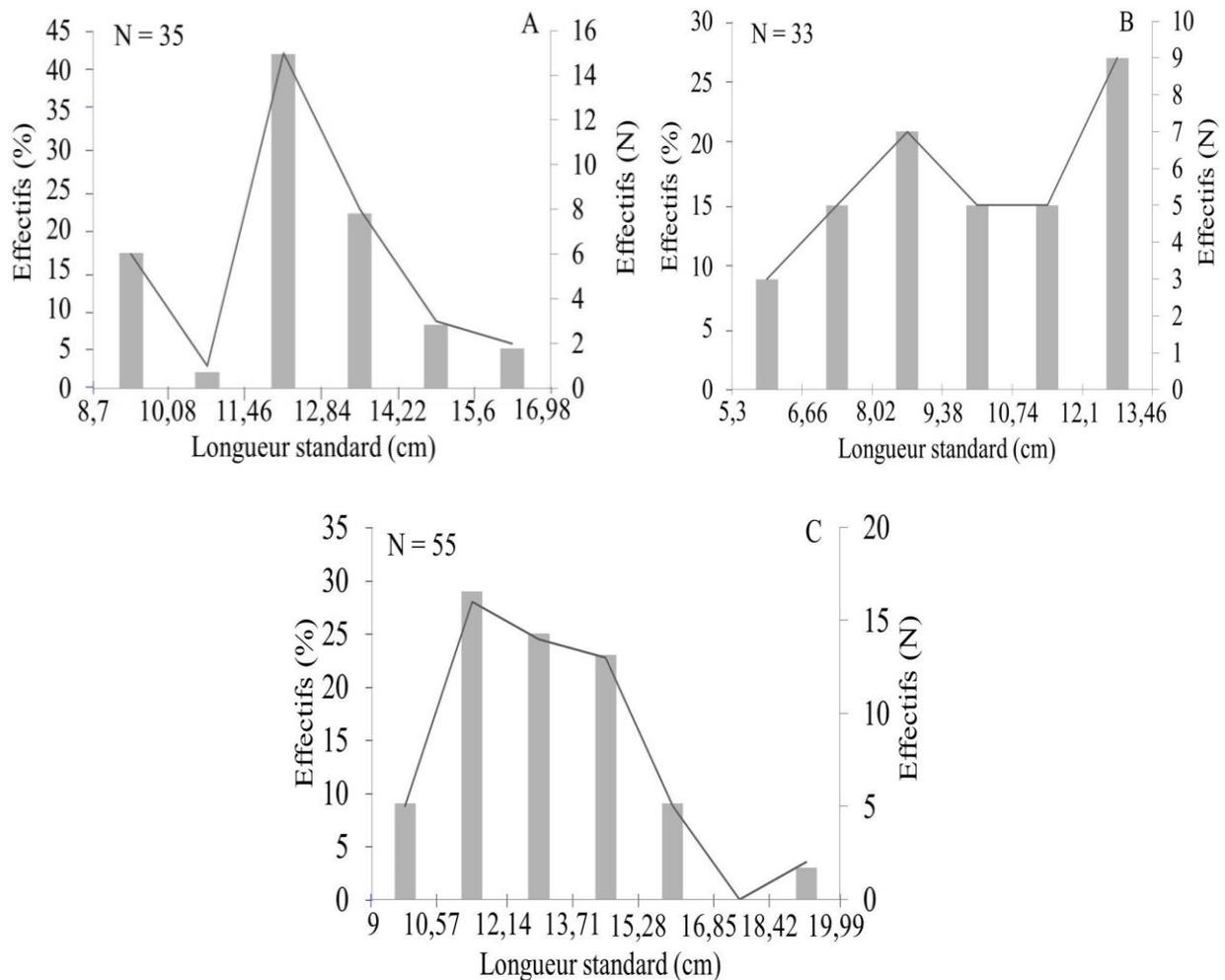


Figure 56 : Distribution globale des fréquences de tailles (Ls) des populations d'*Oreochromis niloticus* (A), *Brycinus imberi* (B) et *Synodontis bastiani* (C) collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.2.1.4.2. Relations longueur-poids des populations des trois espèces prépondérantes

Les régressions sont hautement significatives avec un coefficient de corrélation $r = 0,94$, $r = 0,92$ et $r = 0,66$ respectivement pour ces trois espèces. La valeur du coefficient d'allométrie (b) est de 2,51 pour *Oreochromis niloticus*, 2,70 pour *Brycinus imberi* et 1,84 chez *Synodontis bastiani*. Ces valeurs sont significativement différentes de 3 (valeur seuil) (Test t de Student ; $p < 0,05$). La figure 57 présente les relations longueur-poids des populations d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani*.

Les paramètres des relations longueur-poids de ces trois espèces sont résumés dans le tableau XV.

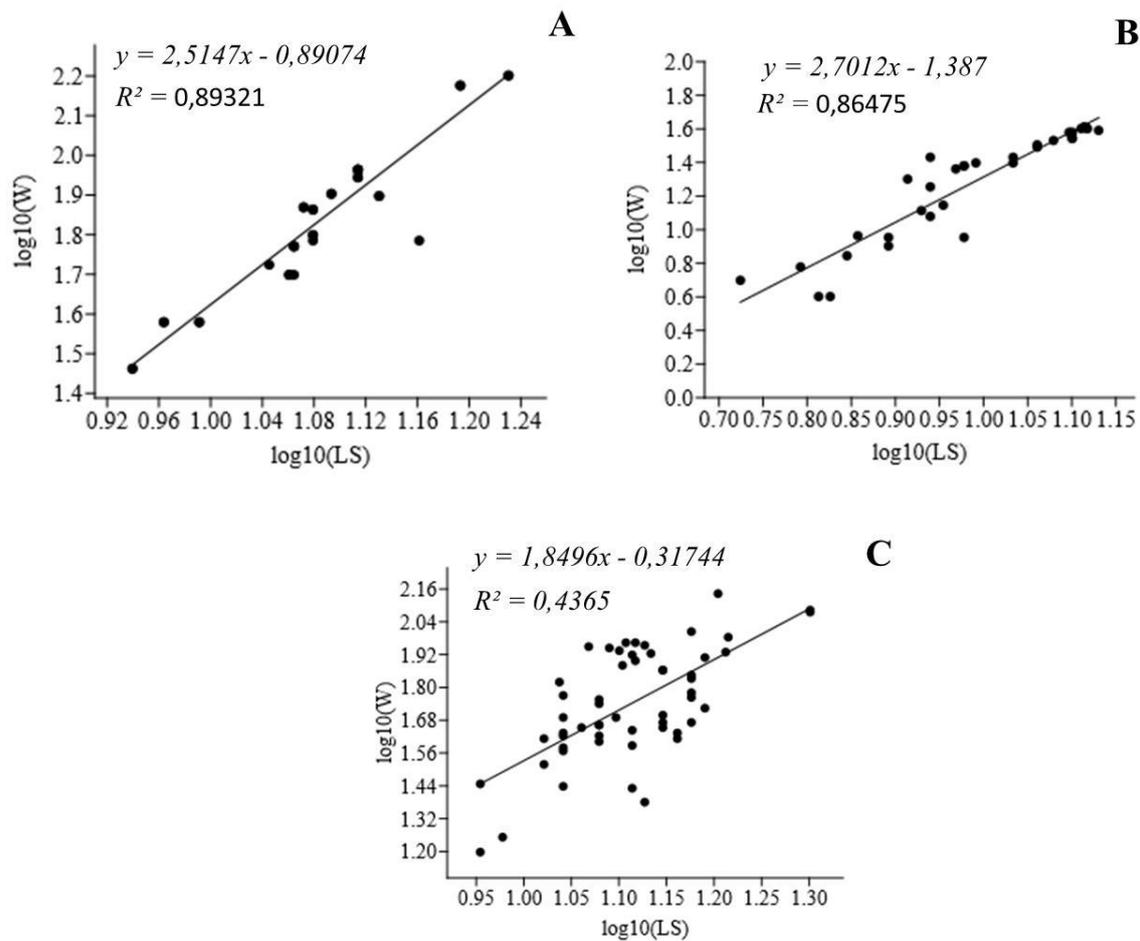


Figure 57 : Régressions entre la longueur et le poids des populations d'*Oreochromis niloticus* (A), *Brycinus imberi* (B) et *Synodontis bastiani* (C) collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; log10 = logarithme à base 10, LS = longueur standard, W = poids.

Tableau XV : Paramètres des relations longueur-poids des populations d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Espèces	Nbr	Longueurs (cm)			Poids (g)			a	b	ES (b)	r	Cr
		Min	Moy	Max	Min	Moy	Max					
<i>Oreochromis niloticus</i>	35	8,7	12,1	17	29	74,62	159	-0,89	2,51	0,15	0,94	A-
<i>Brycinus imberi</i>	33	5,3	9,89	13,5	4	22,91	41	-1,38	2,70	0,19	0,92	A-
<i>Synodontis bastiani</i>	55	9	13,12	20	15,7	60,73	139	-0,31	1,84	0,28	0,66	A-

Nbr = Nombre de spécimens, **Min** = minimum, **Max** = maximum, **Moy** = moyenne, **a** = constance de proportionnalité, **b** = Coefficient d'allométrie, **ES** = erreur standard, **r** = Coefficient de corrélation, **Cr** = type de croissance et **A-** = allométrie négative.

3.2.2. Discussion

L'inventaire de l'ichtyofaune de la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama a révélé 33 espèces de poissons réparties entre 8 Ordres et 17 Familles. Cette richesse spécifique est inférieure à celles rapportées par les travaux de Konan *et al.* (2015) (36 espèces dans le lac Kossou) et Aboua (2012) (47 espèces en amont de la retenue de Kossou). Plusieurs raisons pourraient expliquer cette différence observée au niveau de la richesse spécifique. Il s'agirait entre autres, du matériel d'échantillonnage et de l'intensification des activités anthropiques dans la réserve (Gourène *et al.*, 1999 ; Kouamélan *et al.*, 2003 ; Yao *et al.*, 2005 ; Yao, 2006).

En ce qui concerne le matériel de pêche, Aboua (2012), a utilisé lors de ses travaux plusieurs engins de pêches parmi lesquels ; les filets monofilaments, les filets de dérive, les engins de pêche à l'électricité et les ichtyotoxines. L'utilisation conjuguée de ces outils expliquerait la richesse spécifique supérieure enregistrée en amont du lac de Kossou par cet auteur.

Quant aux activités anthropiques recensées dans la réserve, on note la pêche clandestine, l'agriculture extensive, l'orpaillage clandestin et la construction de petits barrages hydroagricoles en amont de la réserve. Ces activités entraînent non seulement la dégradation et la pollution de l'eau du fleuve Bandama dans la réserve, mais aussi, la perturbation du débit du fleuve par l'ouverture et la fermeture des barrages qui influenceraient le déplacement des espèces de poissons, ce qui limiterait leur reproduction. À cet effet, Gourène *et al.* (1999) avaient fait remarquer la disparition de *Citharinus eburneensis* du bassin de la Bia, des fleuves Sassandra et Bandama, suite à la construction de barrages de retenue d'Ayamé, de Buyo, de Kossou et de Taabo. Par ailleurs, la présente richesse spécifique étant inférieure à celles recensées en amont du lac de Kossou, dans cette même zone par Aboua (2012), justifierait l'intensification des activités anthropiques dans la réserve. Cette situation expliquerait l'absence de certaines familles de poissons telles que les Amphiliidae, les Anabantidae, les Carangidae, les Eleotridae, les Elopidae, les Gerreidae, les Gobiidae, les Mugilidae, les Notopteridae, les Nothobranchiidae, les Poeciliidae, les Polynemidae, les Protopteridae et les Syngnathidae dans les échantillons collectés.

Les inventaires qualitatifs et quantitatifs de la présente étude, ont permis de constater que les les Siluriformes et les Perciformes sont les Ordres les plus diversifiés et les plus abondants. Par ailleurs, le peuplement ichtyologique est dominé par la famille des Cichlidae,

des Mochokidae, des Alestidae et des Cyprinidae. Des résultats similaires ont également été observés par Da Costa *et al.* (2000), sur les rivières Bia et Agnéby ; Yao *et al.* (2005), sur le fleuve Comoé ; Kouadio *et al.* (2006), sur la Mé ; Kouamé *et al.* (2008), sur le fleuve Sassandra ; Konan *et al.* (2006), sur les rivières Soumié, Eholié, Ehania et Noé et Aboua (2012), sur le bassin du fleuve Bandama. De plus, la même tendance a été déjà observée par Teugels *et al.* (1988), Lévêque *et al.* (1991 et 1992), Lévêque et Paugy (1999), Paugy *et al.* (1994) et Paugy *et al.* (2003a et b) en Afrique de l'Ouest, sur le bassin du fleuve Sénégal et en Afrique centrale, au Nord-ouest et Nord-est du bassin tchadien. Selon Lévêque *et al.* (1991), ces similitudes observées seraient due au fait que ces bassins appartiennent à la même province ichtyo-géographique, c'est-à-dire la province Nilo-Soudanienne.

L'analyse de la variation de la richesse spécifique suivant le gradient amont-aval de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB indique une diminution de la richesse spécifique des cours supérieurs vers le cours inférieur. Cette observation corrobore celle de Yao (2006). Cet auteur, indique dans ses travaux menés sur le bassin du fleuve Comoé que le nombre d'espèces diminue du cours supérieur au cours inférieur. En revanche, ce résultat nuance ceux d'Ibarra et Stewart (1989) et de Paugy et Benech (1989). Ces auteurs, lors de leurs travaux ont mis en évidence un accroissement de la richesse spécifique du cours supérieur vers le cours inférieur. Ce résultat serait lié à l'obstruction du lit principal de ce fleuve dans sa partie médiane où l'activité d'orpaillage est plus pratiquée dans le lit du fleuve. Cette situation empêcherait la migration des espèces de la partie supérieure vers la partie inférieure. En outre, les fortes diversités de l'ichtyofaune dans les parties supérieure et moyenne du fleuve Bandama dans la RFF-HB seraient liées à la présence de nombreux macroinvertébrés, comme l'indique les récents travaux de Kressou *et al.* (2019) réalisés dans cette réserve. Ces organismes représentent un maillon essentiel des chaînes trophiques de la faune dulçaquicole (Tachet *et al.*, 2003). Par ailleurs, la richesse spécifique élevée dans le cours moyen s'expliquerait par l'hétérogénéité des habitats et le faible apport d'éléments minéraux provenant du lessivage du sol. En effet, l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires pour la maintenance des plantations d'anacardes dans ce secteur atteignent les eaux du fleuve Bandama par lessivage et ruissellement dans le cours inférieur (Lévêque *et al.*, 1983 ; Balk & Koeman, 1984 ; Calamari, 1985). Ainsi, les principes actifs de ces produits (endosulfan, deltaméthrine, carbofuran et chlorpyrifos-éthyl) sont transportés vers la partie inférieure et peuvent être très rémanents et toxiques pour les poissons qui s'y trouvent (Lévêque & Paugy,

1999). Aussi, la faible richesse spécifique obtenue dans le cours inférieur serait la résultante de la forte pression exercée par les pêcheurs clandestins. En effet, il existe dans cette partie du fleuve un village de pêcheurs clandestins. Selon Christensen et Pauly (1998), l'intensité de la pêche peut modifier la capacité d'accueil ou « carrying capacity » d'un écosystème en altérant la structure des flux trophiques et leur productivité potentielle.

Le pourcentage d'occurrence indique que *Labeo coubie*, *Brycinus imberi*, *Oreochromis niloticus*, *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Heterobranchus isopterus* sont très fréquemment rencontrés dans la réserve. Ce résultat montre que ces espèces seraient aptes à vivre dans différents type de biotopes et auraient une grande marge de tolérance vis-à-vis de divers facteurs environnementaux (Yao, 2006).

Aussi, l'analyse de la Carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) en fonction des variations environnementales dans les groupes I, II et III montre que ces groupes de poissons sont influencés par différentes variables environnementales. En Côte d'Ivoire, plusieurs études réalisées sur différents hydrosystèmes ont établi des relations entre espèces et variables environnementales (Da Costa *et al.*, 2000 ; Kouamélan *et al.*, 2003 ; Yao *et al.*, 2005 ; Kouadio *et al.*, 2006 ; Kouamé *et al.*, 2008). Chacune de ces variables jouent directement ou indirectement un rôle important sur la faune ichthyologique. Par ailleurs, l'importance de la taille du cours d'eau dans la détermination de la composition du peuplement de poissons a été soulignée par Gorman et Karr (1978) et Hugueny (1990). Dans la présente étude, les espèces du groupe I sont influencées par la largeur du lit mouillé. En Afrique de l'Ouest, Hugueny (1990) et Kouamélan *et al.* (2003), ont mis en évidence une relation significative entre la taille des rivières et la distribution des espèces de poissons respectivement dans la partie amont du fleuve Niandan au Niger et dans la rivière Boubo en Côte d'Ivoire. En outre, dans cette étude, la conductivité est l'un des facteurs qui agit favorablement sur la répartition des espèces du groupe III. Selon les travaux de Da Costa *et al.* (2000), réalisés sur les rivières Agnéby et Bia, au Sud-est de la Côte d'Ivoire, la conductivité est l'un des principaux facteurs discriminants la répartition du peuplement de poissons. Nos résultats indiquent que la conductivité est le principal facteur discriminant dans la distribution de *Brycinus imberi*, *Coptodon guineensis*, *Hydrocynus forskalii*, *Labeo parvus* et *Synodontis bastiani*. Cette observation n'a pas été faite par Aboua (2012), sur le bassin du fleuve Bandama en Côte d'Ivoire où ce paramètre influence plutôt la répartition de *Auchenoglanis occidentalis*, *Chrysichthys maurus* et *Clarias anguillaris*.

Relativement à l'analyse des profils écologiques du peuplement, il ressort que des espèces sont typiques des échantillons à faible, moyenne et forte richesse spécifique. Ces observations ne plaident pas en faveur d'une coexistence des espèces. La compétition est donc un facteur structurant majeur des communautés piscicoles de la section du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Nos résultats sont contraires aux observations de Lacroix (1987), Lacroix et Lescher-Moutoué (1991) et Konan (2008) qui montrent que la compétition n'est pas un facteur structurant majeur du peuplement piscicole des rivières Soumié, Eholié, Ehania et Noé.

Concernant la vulnérabilité de l'ichtyofaune du fleuve Bandama dans la RFF-HB, *Mormyrus rume* a été identifiée comme étant une espèce avec une vulnérabilité allant d'élévée à très élevée (73 %) et *Heterobranchus isopterus* (90 %) et *Malapterurus electricus* (89 %) sont identifiées comme des espèces avec une vulnérabilité très élevée. Pour Kouamélan *et al.* (2003), la persistance des pressions anthropiques exercées sur les milieux aquatiques pourrait entraîner la disparition des espèces.

Les analyses des abondances du peuplement ichtyologique du fleuve Bandama à l'intérieur de la réserve du Haut-Bandama ont montrées une faible abondance de *Hemichromis bimaculatus*, *Hemichromis fasciatus*, *Heterotis niloticus*, *Malapterurus electricus*, *Marcusenius senegalensis*, *Mastacembelus nigromarginatus*, *Mormyrus rume*, *Parachanna obscura*, *Pellonula leonensis*, *Petrocephalus bovei*, *Polypterus endlicheri* et *Raiamas senegalensis*. Cette situation serait liée aux migrations de reproduction de ces espèces (Froese & Pauly, 2012). A cela, il faudrait ajouter les variations importantes liées à l'hydrologie du fleuve Bandama dans la réserve (Lévêque *et al.*, 1983). En outre, les modifications induites par des pollutions et la dégradation des habitats des poissons motivent diverses réponses biologiques telles que l'épuisement par compétition sur la nourriture et l'espace, qui éliminent progressivement plusieurs espèces (Pombo *et al.* 2002). Ainsi, ces espèces, autrefois abondantes sur le fleuve Bandama en amont de la retenue de Kossou ont vues leurs populations décroître. D'où l'absence de certaines espèces collectées en amont de la retenue de Kossou, dans la RFF-HB qui est située en amont de cette retenue. Cependant, la forte abondance d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* sur le fleuve Bandama dans la réserve serait dû à une fécondité élevée (plus de 150000 œufs par kg de femelle) chez ces espèces (Lévêque *et al.*, 1983).

Les résultats relatifs aux indices de diversité du peuplement piscicole du fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama indiquent des valeurs comprises entre 0,562 et 2,008 bit, pour l'indice de Shannon et entre 0,793 et 1, pour l'équitabilité. Ces valeurs montrent que le peuplement ichtyologique du fleuve Bandama dans la RFF-HB est peu diversifié. Cependant, il est stable et équilibré. Ce constat résulterait de l'intensité des activités anthropiques observées dans la réserve. Il s'agit entre autre de l'orpaillage clandestin pratiqué sur le bassin versant et en pleine eau, de la pêche clandestine pratiquée à l'aide de filets non appropriés (moustiquaires) et de produits toxiques et de l'utilisation de pesticides agricoles dans les plantations d'anacardes qui se retrouve par ruissellement dans le fleuve Bandama (Véi, 2015).

L'analyse des structures en tailles d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* a montré une distribution de type bimodal chez ces trois espèces. Les tailles maximales enregistrées dans cette étude pour *Oreochromis niloticus* (17 cm), *Brycinus imberi* (13.5 cm) et *Synodontis bastiani* (20 cm) sont beaucoup plus petites que celles rapportées par Tah *et al.* (2012) pour *Oreochromis niloticus* (27.5 cm) et *Brycinus imberi* (15 cm) dans le réservoir d'Ayame I et par Koné *et al.* (2022) pour *Synodontis bastiani* (33 cm) dans le fleuve Bandama en aval du barrage de Taabo. En outre, ces valeurs enregistrées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB sont largement inférieures aux tailles maximales enregistrées dans d'autres eaux africaines indiquées dans la littérature, lesquelles sont de 60 cm pour *O. niloticus* (Eccles, 1992), 19,8 cm pour *B. imberi* (Paugy, 1990) et 28,1 cm pour *Synodontis bastiani* (Paugy & Roberts, 2003). Ces différences de tailles seraient une conséquence des disparités de facteurs écologiques des milieux d'études. En effet, la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB subirait une dégradation de son intégrité écologique liée aux activités anthropiques dominées par l'orpaillage. Cette partie du fleuve Bandama présenterait donc des conditions écologiques peu favorables à la croissance des poissons. Boussou (2013), a relevé lors de ses travaux sur les bassins du Banco, de la Comoé, de la Bia et de la Tanoé, qu'à cause des disparités spatiales, pour les taxons habitant ces hydrosystèmes, la croissance et la taille maximale observée peuvent être différentes. Dans cette zone, la pêche clandestine pratiquée à l'aide de filets moustiquaires est l'une des activités à laquelle s'adonnent les pêcheurs clandestins pour approvisionner les marchés locaux autour de la RFF-HB en poissons (OIPR, 2015).

La valeur calculée du coefficient d'allométrie b (2,51) est inférieure à 3, ce qui suggère qu'*Oreochromis niloticus* à une croissance allométrique négative dans la section du fleuve Bandama située au sein de la réserve. Nos résultats sont conformes avec ceux obtenus par Froese *et al.* (2014) qui note une allométrie négative pour cette espèce (2,97), mais sont différents de ceux de Sirima *et al.* (2009) qui ont noté une allométrie positive ($b > 3$) pour *Oreochromis niloticus* dans le bassin de la Comoé au Burkina Faso. Concernant le genre *Brycinus*, l'indice du coefficient d'allométrie enregistré est inférieur à 3 pour *Brycinus imberi* ($b = 2,70$), indiquant une croissance allométrique négative. Ce résultat corrobore ceux de Sirima *et al.* (2009) pour ce genre dans le bassin de la Comoé au Burkina Faso où b est inférieure à 3, traduisant une allométrie de croissance négative. Nos données sont également similaires aux valeurs enregistrées dans la littérature par Froese *et al.* (2014) qui indiquent une allométrie de croissance négative ($b = 2,97$) pour le genre *Brycinus*. Par ailleurs, l'indice du coefficient d'allométrie enregistré est inférieur à 3 ($b = 1,84$), indiquant une croissance allométrique négative pour *Synodontis bastiani*. Nos résultats sont conformes avec ceux obtenus par Koné *et al.* (2022) pour *Synodontis bastiani* ($b = 2,71$) dans le fleuve Bandama en aval du barrage de Taabo. Chez toutes les espèces considérées dans cette analyse, la pente de l'équation liant le poids et la longueur révèle des valeurs de (b) inférieures à 3, ce qui traduit que ces poissons croissent plus en taille qu'en poids dans l'ensemble du lit principal de la section du fleuve Bandama au sein de la réserve de faune et de flore du Haut-Bandama. La faible valeur ($b = 1,84$) observée chez *Synodontis bastiani* pourrait être liée à l'étroitesse des classes de tailles et du nombre d'individus. L'allométrie de croissance négative relevée dans cette étude confirmerait l'impact des pressions anthropiques exercées sur ces espèces (Torcu-Koc *et al.*, (2006 ; 2007) ; Esmaili & Ebrahimi, 2006). Ces espèces semblent subir d'énormes pressions et seraient dans des conditions de vie difficiles dans la RFF-HB (Lizama *et al.*, 2002).

3.2.3. Conclusion partielle

La composition taxonomique de l'ichtyofaune du fleuve Bandama dans la RFF-HB fait état de la présence de 33 espèces soit 39,75 % de la richesse spécifique inventoriée sur le bassin du fleuve Bandama. Ces espèces se répartissent entre 17 familles et 8 ordres. Dans l'ensemble des captures, l'ordre des Siluriformes est le plus diversifié (31 % de la richesse spécifique) et abondant (39 % de l'abondance). *Labeo coubie* est la seule espèce rencontrée

dans toutes les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB. *Malapterurus electricus* inventoriée uniquement dans les stations de la partie médiane et *Heterobranchus isopterus* ont une vulnérabilité "très élevée", respectivement de 89 % et 90 %. *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* dominent numériquement l'ensemble des captures. En outre, *Oreochromis niloticus* est plus abondante dans les captures dans le cours supérieur à la station BTA (24 % de l'abondance) et dans le cours inférieur à la station BYA (39 % de l'abondance). En revanche, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* prédominent les captures dans la partie médiane respectivement à la station BSA (50 % de l'abondance) et à la station BSB (43 % de l'abondance). Le peuplement de poissons est peu diversifié pour des valeurs de l'indice de Shannon comprises entre 0,562 et 2,008 bit mais stable et équilibré pour des valeurs de l'indice d'équitabilité allant de 0,793 à 1. Les structures en tailles des spécimens d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB mettent en évidence des populations aux tailles moyennes. En outre, les relations longueurs-poids indiquent que les spécimens de ces espèces subissent d'énormes pressions liées aux activités anthropiques.

3.3. GUILDES TROPHIQUES DE L'ICHTYOFAUNE DE LA SECTION DU FLEUVE BANDAMA DANS LA RFF-HB

3.3.1. Résultats

3.3.1.1. Régimes alimentaires et réseau trophique

La présente étude a pris en compte quinze (15) espèces (*Auchenoglanis occidentalis*, *Brycinus imbéri*, *Brycinus macrolepidotus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Clarias anguillaris*, *Coptodon guineensis*, *Distichodus rostratus*, *Hydrocynus forskalii*, *Labeo coubie*, *Lates niloticus*, *Oreochromis niloticus*, *Pellonula leonensis*, *Schilbe mandibularis*, *Synodontis bastiani* et *Synodontis schall*) pour lesquelles au moins 30 estomacs pleins ont été disséqués. Au total 556 estomacs contenant des proies ont été examinés.

3.3.1.1.1. Régimes alimentaires

3.3.1.1.1.1. Composition des proies consommées par les poissons

Les proies identifiées dans les contenus stomacaux ont permis d'identifier cinq catégories alimentaires : poissons, macroinvertébrés, macrophytes, plancton et autres. Les poissons proies sont constitués de poissons de petite taille et d'écaillés de poissons. Les macroinvertébrés sont représentés par les insectes aquatiques (Blattoptères, Hémiptères, Orthoptères, Lépidoptères, Diptères, Coléoptères, Ephéméroptères, Trichoptères et Odonates), les insectes terrestres (Hyménoptères), les arachnides (Trombidiformes), les clitellates (Canalipalpa, Haplotaxida et Rhynchobdellida), les larves d'insectes et les Mollusques (Bivalves et Gastéropodes). Dans la catégorie des macrophytes, les fragments de feuilles et de bois, les graines, les fruits et les débris végétaux ont été identifiés. Le plancton est constitué essentiellement du phytoplancton (Chlorophytes, Cyanobactéries, Diatomées, Euglenophytes et Pyrrophytes) et du zooplancton (Rotifères).

Les autres proies prennent en compte une partie des macroinvertébrés dont la digestion est avancée. On y retrouve les détritiques.

La nourriture de chaque espèce est variée. Elle englobe principalement des composantes animales et végétales. La présence de proies zooplanctoniques et phytoplanctoniques a été notée. Le phytoplancton constitue l'un des principaux aliments consommés par *Labeo coubie* et *Oreochromis niloticus*. Les insectes, les clitellates, les bivalves, les graines et les débris végétaux occupent une grande place dans le bol alimentaire des espèces de poissons de la section du fleuve Bandama au sein de la RFF-HB. Le poisson proie est important dans le

régime alimentaire de *Hydrocynus forskalii*. Le régime alimentaire de *Synodontis bastiani* est plus diversifié que celui des autres espèces de poissons. Le tableau XVI montre les différentes proies identifiées dans les contenus stomacaux des quinze (15) espèces.

Tableau XVI : Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de quinze (15) espèces de poissons récoltés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Acronyme	Aoc	Bim	Bma	Cni	Can	Cgu	Dro	Hfo	Lco	Lni	Oni	Ple	Sma	Sba	Ssc
PROIES															
POISSONS															
Petits poissons								+							+
Ecailles de poissons														+	
MACROINVERTEBRES															
Insectes															
Blattoptères	+	+	+		+	+						+			+
Coléoptères			+		+	+	+	+				+	+	+	+
Diptères		+	+		+		+			+		+	+	+	
Ephéméroptères															+
Hémiptères		+										+	+	+	
Lépidoptères							+			+		+			
Odonates	+												+	+	
Orthoptères							+					+	+		
Trichoptères		+	+		+			+					+	+	
Hyménoptères		+	+	+	+					+	+	+	+	+	
Larves d'insectes															
Arachnides															
Trombidiformes													+		
Clitellates															
Canalipalpata	+	+	+		+					+		+	+	+	+
Haplotaxida	+	+	+		+		+			+	+	+	+	+	
Rhynchobdellida	+	+	+											+	
Bivalves															
Gastéropodes															
MACROPHYTES															
Frag. de feuilles et de bois															+
Fruits		+	+		+		+								
Graines		+	+		+	+			+	+	+	+			
Débris végétaux		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
PHYTOPLANCTON															
Chlorophytes									+		+				+
Cyanobactéries											+				
Diatomées					+				+		+			+	+
Euglenophytes									+						
Pyrrhophytes									+		+				
ZOOPLANCTON															
Rotifères	+														
AUTRES															
Détritus	+		+	+	+	+	+	+				+	+	+	+

Aoc = *Auchenoglanis occidentalis* ; **Bim** = *Brycinus imbéri* ; **Bma** = *Brycinus macrolepidotis* ; **Cni** = *Chrysichthys nigrodigitatus* ; **Can** = *Clarias Anguillaris* ; **Cgu** = *Coptodon guineensis* ; **Dro** = *Distichodus rostratus* ; **Hfo** = *Hydrocynus forskalii* ; **Lco** = *Labeo coubie* ; **Lni** = *Lates niloticus* ; **Oni** = *Oreochromis niloticus* ; **Ple** = *Pellonula leonensis* ; **Sma** = *Shilbe Mandibularis* ; **Sba** = *Synodontis bastiani* ; **Ssc** = *Synodontis schall* ; **Frag** = Fragments.

3.3.1.1.1.2. Occurrences des proies

Les poissons sont des proies très fréquentes chez *Hydrocynus forskalii* (Fc = 86,5 %) et accessoires chez *Synodontis schall* (Fc = 23 %). Les macroinvertébrés constituent des proies généralement très fréquentes chez *Pellonula leonensis* (Fc = 93,4 %), *Shilbe Mandibularis* (Fc = 92,1%), *Synodontis bastiani* (Fc = 83,91 %), *Auchenoglanis occidentalis* (Fc = 83,75 %), *Chrysichthys nigrodigitatus* (Fc = 82,19 %), *Distichodus rostratus* (Fc = 82,7%) et *Clarias anguillaris* (Fc = 81,33 %) et des proies fréquentes chez *Brycinus macrolepidotis* (Fc = 72,5 %) et *Lates niloticus* (Fc = 60,35 %). Ils sont assez fréquents chez *Synodontis schall* (Fc = 55,93 %). Par contre, ce sont des proies accidentelles chez *Oreochromis niloticus* (Fc = 15,35 %) et *Hydrocynus forskalii* (Fc = 7,23 %). Les macrophytes représentent les proies fréquentes chez *Brycinus imbéri* (Fc = 64,4 %), *Oreochromis niloticus* (Fc = 61,4 %) et *Coptodon guineensis* (Fc = 60,34 %). Elles sont accidentelles chez *Distichodus rostratus* (Fc = 15,1 %), *Chrysichthys nigrodigitatus* (Fc = 13,31 %), *Synodontis bastiani* (Fc = 9,46 %), *Clarias anguillaris* (Fc = 8,4 %), *Synodontis schall* (Fc = 7 %) et *Shilbe Mandibularis* (Fc = 6 %), *Pellonula leonensis* (Fc = 4,98 %). Quant au phytoplancton, il constitue une proie assez fréquente chez *Labeo coubie* (Fc = 49,4 %) et une proie accessoire chez *Oreochromis niloticus* (Fc = 23,25 %). Par ailleurs, le zooplancton est une proie accidentelle chez *Auchenoglanis occidentalis* (Fc = 9,64 %) (Tableau XVII).

3.3.1.1.1.3. Prépondérance des proies dans le régime alimentaire

Les poissons sont les proies principales de *Hydrocynus forskalii* (IP = 99,14 %) et des proies importantes chez *Synodontis schall* (IP = 29,46 %). Les macroinvertébrés sont les principales proies consommées par *Shilbe Mandibularis* (IP = 99,50 %), *Pellonula leonensis* (IP = 99,47 %), *Clarias anguillaris* (IP = 98,59 %), *Auchenoglanis occidentalis* (IP = 97,14 %), *Distichodus rostratus* (IP = 97,02 %), *Chrysichthys nigrodigitatus* (IP = 95,37 %), *Brycinus macrolepidotis* (IP = 88,80 %), *Lates niloticus* (IP = 88,43 %), *Synodontis bastiani* (IP = 88,09 %) et *S. schall* (IP = 58,25 %). Ces proies sont secondaires chez *Brycinus imbéri* (IP = 12,42 %) et accessoires chez *Coptodon guineensis* (IP = 5,98 %), *Oreochromis niloticus* (IP = 0,89 %) et *Hydrocynus forskalii* (IP = 0,47 %). Chez *Coptodon guineensis* (IP = 93,51 %) et *Brycinus imbéri* (IP = 87,57 %), les macrophytes représentent les proies principales dans le régime alimentaire. En revanche, chez *Oreochromis niloticus* (IP = 22,25 %), *Labeo coubie* (IP = 15,43 %), *Lates niloticus* (IP = 11,56 %) et *Brycinus macrolepidotis* (IP = 10,57

%), les macrophytes sont des proies secondaires et des proies accessoires chez *Synodontis bastiani* (IP = 9,51 %), *Chrysichthys nigrodigitatus* (IP = 4,44 %), *Distichodus rostratus* (IP = 2,72 %), *S. schall* (IP = 1,29 %), *Clarias anguillaris* (IP = 0,88 %), *Pellonula leonensis* (IP = 0,51 %) et *Shilbe Mandibularis* (IP = 0,38 %). Par ailleurs, le phytoplancton est la proie principale dans l'alimentation de *Labeo coubie* (IP = 84,56 %) et *Oreochromis niloticus* (IP = 76,84 %) et est accessoire chez *Synodontis bastiani* (IP = 2,38 %) et *Clarias Anguillaris* (IP = 0,48 %). Quant au zooplancton, il est une proie accessoire chez *Auchenoglanis occidentalis* (IP = 0,47 %). L'importance des proies dans le régime alimentaire des espèces étudiées est illustrée par le tableau XVIII.

Tableau XVII : Fréquences corrigées (% Fc) et pourcentages pondéraux (% P) des proies consommées par 15 espèces de poissons de la section du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB.

	Poissons		Macroinvertébrés		Macrophytes		Planctons		Autres	
	Fc	P	Fc	P	Fc	P	Fc	P	Fc	P
<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	0	0	83,75	80,2	0	0	9,64	3,4	6,61	16,4
<i>Brycinus imbéri</i>	0	0	35,6	20,42	64,4	79,58	0	0	0	0
<i>Brycinus macrolepidotis</i>	0	0	72,5	67,2	21,1	27,5	0	0	6,4	5,3
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	0	0	82,19	75,6	13,31	21,77	0	0	4,5	2,63
<i>Clarias Anguillaris</i>	0	0	81,33	87,1	8,4	7,6	8,3	4,2	1,97	1,1
<i>Coptodon guineensis</i>	0	0	32,1	10,35	60,34	86,01	0	0	7,56	3,64
<i>Distichodus rostratus</i>	0	0	82,7	80	15,1	12,3	0	0	2,2	7,7
<i>Hydrocynus forskallii</i>	86,5	90,1	7,23	5,2	0	0	0	0	6,27	4,7
<i>Labeo coubie</i>	0	0	0	0	50,6	15,12	49,4	84,88	0	0
<i>Lates niloticus</i>	0	0	60,35	83,4	39,65	16,6	0	0	0	0
<i>Oreochromis niloticus</i>	0	0	15,35	1,56	61,4	9,73	23,25	88,71	0	0
<i>Pellonula leonensis</i>	0	0	93,4	90,35	4,98	8,71	0	0	1,62	0,94
<i>Shilbe Mandibularis</i>	0	0	83,91	40,5	9,46	38,8	4,47	20,55	2,16	0,15
<i>Synodontis bastiani</i>	0	0	92,1	90	6	5,4	0	0	1,9	4,6
<i>Synodontis schall</i>	23	34	55,93	27,64	7	4,9	8,93	31,53	5,14	1,93

Tableau XVIII : Indices de prépondérance (% Ip) des proies consommées par 15 espèces de poissons de la section du fleuve Bandama localisée dans la RFF-HB.

	Poissons	Macroinvertébrés	Macrophytes	Planctons	Autres
<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	0	97,14	0	0,47	1,58
<i>Brycinus imbéri</i>	0	12,42	87,57	0	0
<i>Brycinus macrolepidotis</i>	0	88,8	10,57	0	0,61
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	0	95,37	4,44	0	0,18
<i>Clarias Anguillaris</i>	0	98,59	0,88	0,48	0,03
<i>Coptodon guineensis</i>	0	5,98	93,51	0	0,49
<i>Distichodus rostratus</i>	0	97,02	2,72	0	0,24
<i>Hydrocynus forskallii</i>	99,14	0,47	0	0	0,37
<i>Labeo coubie</i>	0	0	15,43	84,56	0
<i>Lates niloticus</i>	0	88,43	11,56	0	0
<i>Oreochromis niloticus</i>	0	0,89	22,25	76,84	0
<i>Pellonula leonensis</i>	0	99,47	0,51	0	0,01
<i>Shilbe Mandibularis</i>	0	99,5	0,38	0	0,1
<i>Synodontis bastiani</i>	0	88,09	9,51	2,38	*
<i>Synodontis schall</i>	29,46	58,25	1,29	10,61	0,3

* = valeur inférieure à 0,01.

3.3.1.1.2. Réseau trophique

3.3.1.1.2.1. Guildes trophiques

Pour caractériser les guildes trophiques des différentes espèces, une analyse en composantes principales a été effectuée à partir de la matrice “importance relative des catégories de proies (Ip)/espèce”. Cette ACP montre les groupements d’espèces à régimes alimentaires proches. Quatre grands groupes peuvent être distingués (Figure 58) :

- Le groupe I comprend les espèces piscivores. Il prend en compte uniquement l’espèce *Hydrocynus forskalii* pour laquelle les poissons constituent les aliments principaux. Les mollusques complètent son alimentation.
- Le groupe II représente les invertivores. Il comprend les espèces *Auchenoglanis occidentalis*, *Brycinus macrolepidotus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Clarias anguillaris*, *Distichodus rostratus*, *Lates niloticus*, *Pellonula leonensis*, *Schilbe mandibularis*, *Synodontis bastiani* et *Synodontis schall*. Ces espèces se nourrissent de macroinvertébrés. Chez celles-ci, les invertébrés constituent les proies principales surtout les insectes aquatiques. Cependant chez l’espèce *Auchenoglanis occidentalis*, les Rotifères sont présents mais en quantité négligeable.

- Le groupe III est constitué des macrophytophages. Il concerne les espèces *Brycinus imbéri* et *Coptodon guineensis*. Chez ces poissons, les macrophytes représentent la plus grande partie dans les contenus stomacaux.

- Le groupe IV se compose des phytoplanctonophages. Ce sont les espèces *Labeo coubie* et *Oreochromis niloticus*. Chez ces poissons, le phytoplancton constitue la proie principale dans les contenus stomacaux.

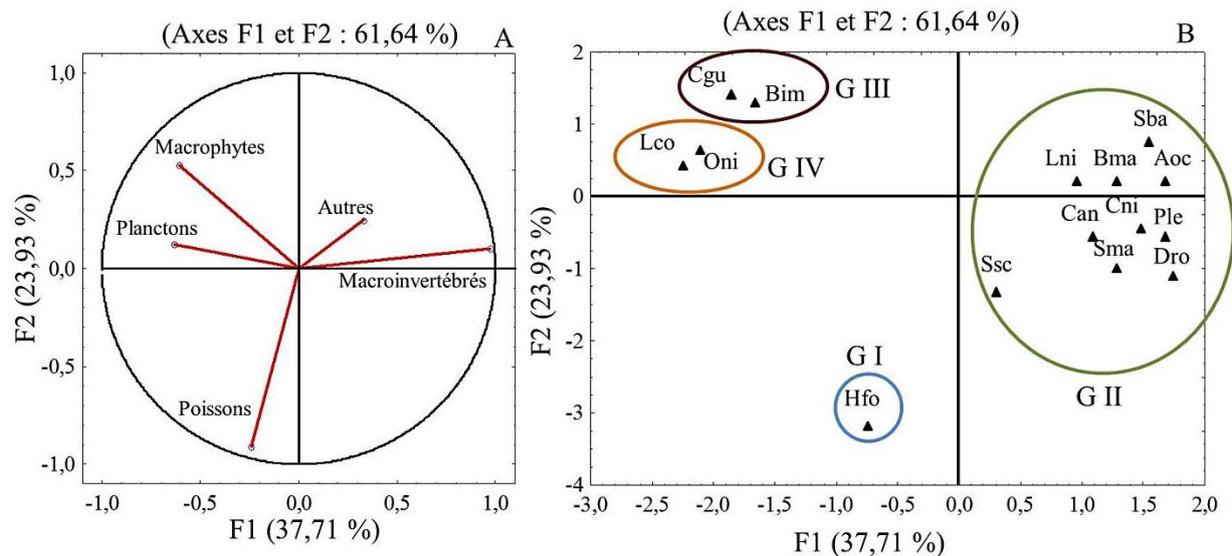


Figure 58 : Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur la base des catégories de proies des 15 espèces de poissons collectés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB ; **A** = Cercle de corrélation des proies sur les axes factoriels ; **B** = Carte factorielle présentant la distribution des quinze espèces de poissons selon leurs proies.

3.3.1.1.2.2. Variations spatiales de la structure trophique

La structure trophique est dominée par les espèces invertivores sur l'ensemble des stations du fleuve Bandama dans la RFF-HB à l'exception de la station BYB. Les espèces invertivores et macrophytophages sont plus représentées dans le cours supérieur à la station BTA avec respectivement 50,81 % et 27,86 % de l'abondance, puis dans le cours médian avec 41,86 % de l'abondance chacune à la station BSA et respectivement 54,43 % et 29,11 % de l'abondance à la station BSB. Les espèces phytoplanctonophages s'ajoutent aux espèces invertivores dans le cours supérieur à la station BTB avec respectivement 48,93 % et 36,17 % de l'abondance, puis dans le cours inférieur à la station BYA avec respectivement 51,92 % et 40,38 % de l'abondance des poissons. Tandis que dans le cours inférieur, à la station BYB, les

espèces phytoplanctonophages avec 61,15 % de l'abondance dominant les captures. Elles sont suivies par les espèces invertivores à cette même station avec 36,84 % de l'abondance des poissons. Quant aux espèces piscivores, elles sont rencontrées uniquement à la station BTA dans le cours supérieur en faible quantité (1,63 % de l'abondance) et à la station BSA dans le cours médian (9,30 % de l'abondance). Les variations spatiales de la structure trophique de quinze espèces de poissons collectés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB sont illustrées par la figure 59.

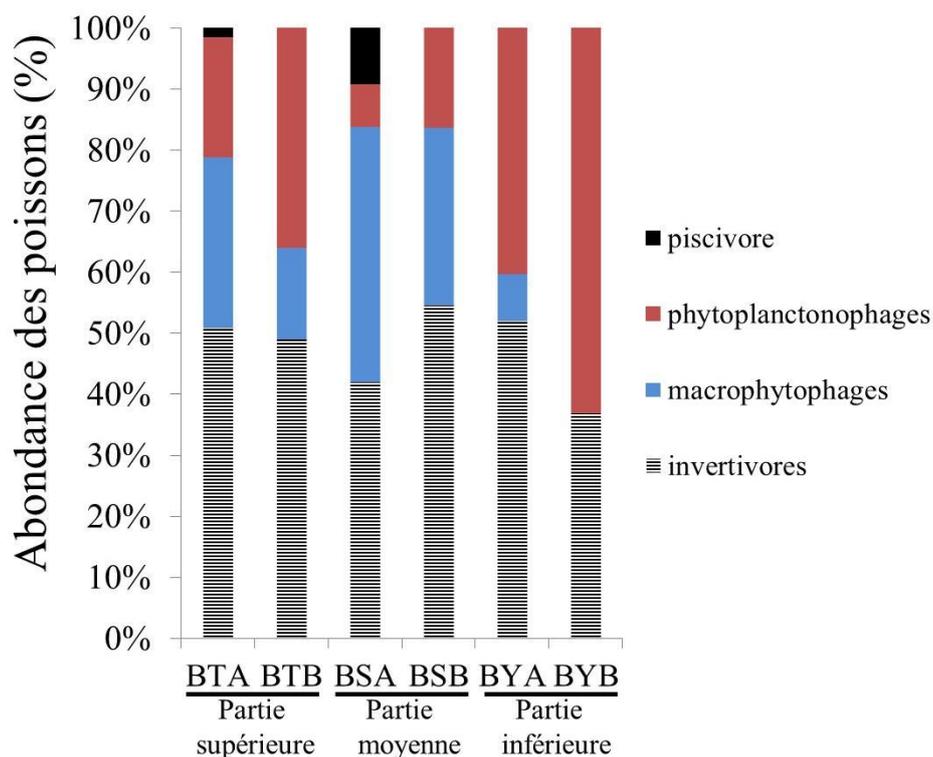


Figure 59 : Variation spatiale de la structure trophique des espèces de poissons récoltées dans les stations du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

3.3.1.1.2.3. Chevauchement alimentaire

Les espèces *Auchenoglanis occidentalis*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Clarias Anguillaris*, *Coptodon guineensis*, *Distichodus rostratus*, *Hydrocynus forskalii*, *Pellonula leonensis* et *Shilbe Mandibularis* ont été exclues du calcul de l'indice de chevauchement.

Ces espèces ont un régime alimentaire strict ($I_p > 93\%$). Elles appartiennent à la même guildes trophique, par exemple entre *Pellonula leonensis* et *Schilbe mandibularis* ou n'appartiennent pas à la même guildes trophique, par exemple entre *Hydrocynus forskalii* et *Distichodus rostratus*.

Pour les sept autres espèces, les régimes alimentaires sont significativement chevauchants ($C\lambda \geq 0,6$) pour sept couples d'espèces. Il s'agit des couples :

- *Oreochromis niloticus* et *Labeo coubie* ; les principales ressources partagées sont les phytoplanctons dont les Euglenophytes, Euglenaceae (Euglenales), Phacaceae (Euglenales), les Chlorophytes, Oedogoniaceae (Oedogoniales), Desmidiaceae (Desmidiales), les Diatomées, Eunotiaceae (Eunotiales), les Cyanobactéries, Microcystaceae (Chroococcales), Oscillatoriaceae (Oscillatoriales), les graines et les débris végétaux.

- *Brycinus macrolepidotis* et *Lates niloticus* ; *Brycinus macrolepidotis* et *Synodontis bastiani* ; *Brycinus macrolepidotis* et *Synodontis schall* ; *Lates niloticus* et *Synodontis bastiani* ; *Lates niloticus* et *Synodontis schall* ; *Synodontis bastiani* et *Synodontis schall*, qui ont pour principales ressources partagées des insectes (Blattoptères) ; des Mollusques (Bivalves) ; Sphaeriidae (Vénérida) ; des Mollusques (Gastéropodes) ; Thiaridae (Neotaenioglossa) ; des graines et des débris végétaux.

L'indice de chevauchement alimentaire ($C\lambda$) a été calculé à partir des valeurs de l'indice de prépondérance (Tableau XIX). Les valeurs de l'indice de chevauchement obtenues pour les espèces sont toutes supérieures à 0.

Tableau XIX : Indices de chevauchement alimentaire ($C\lambda$) calculés pour les paires formées par sept espèces collectées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB.

	Bim	Bma	Lco	Lni	Oni	Sba	Ssc
Bim		0,25644	0,17766	0,26757	0,27554	0,24579	0,13717
Bma			0,0212	0,99991	0,043648	0,99952	0,83853
Lco				0,023253	0,99225	0,045655	0,15595
Lni					0,046805	0,99937	0,83823
Oni						0,06634	0,16629
Sba							0,84534
Ssc							

Bim = *Brycinus imbéri* ; **Bma** = *Brycinus macrolepidotis* ; **Lco** = *Labeo coubie* ; **Lni** = *Lates niloticus* ; **Oni** = *Oreochromis niloticus* ; **Sba** = *Synodontis bastiani* ; **Ssc** = *Synodontis schall* ; Les indices de chevauchement alimentaire significatifs ($C\lambda \geq 0,6$) sont en gras.

3.3.1.1.2.4. Organisation du réseau trophique

Les résultats obtenus à partir des régimes alimentaires, ont permis d'élaborer un schéma synthétique du réseau trophique. Ils ont permis de décrire l'importance relative des différentes voies de transfert d'énergie au sein des populations ichthyologiques de la section du fleuve Bandama située dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Les voies indirectes de transfert d'énergie ont également été représentées bien qu'il ne soit pas possible de quantifier l'importance relative des flux d'énergie véhiculés. Le réseau trophique de la section du fleuve Bandama dans la réserve comprend 4 niveaux trophiques : les producteurs, les consommateurs primaires, les consommateurs secondaires et les consommateurs terminaux (Figure 60).

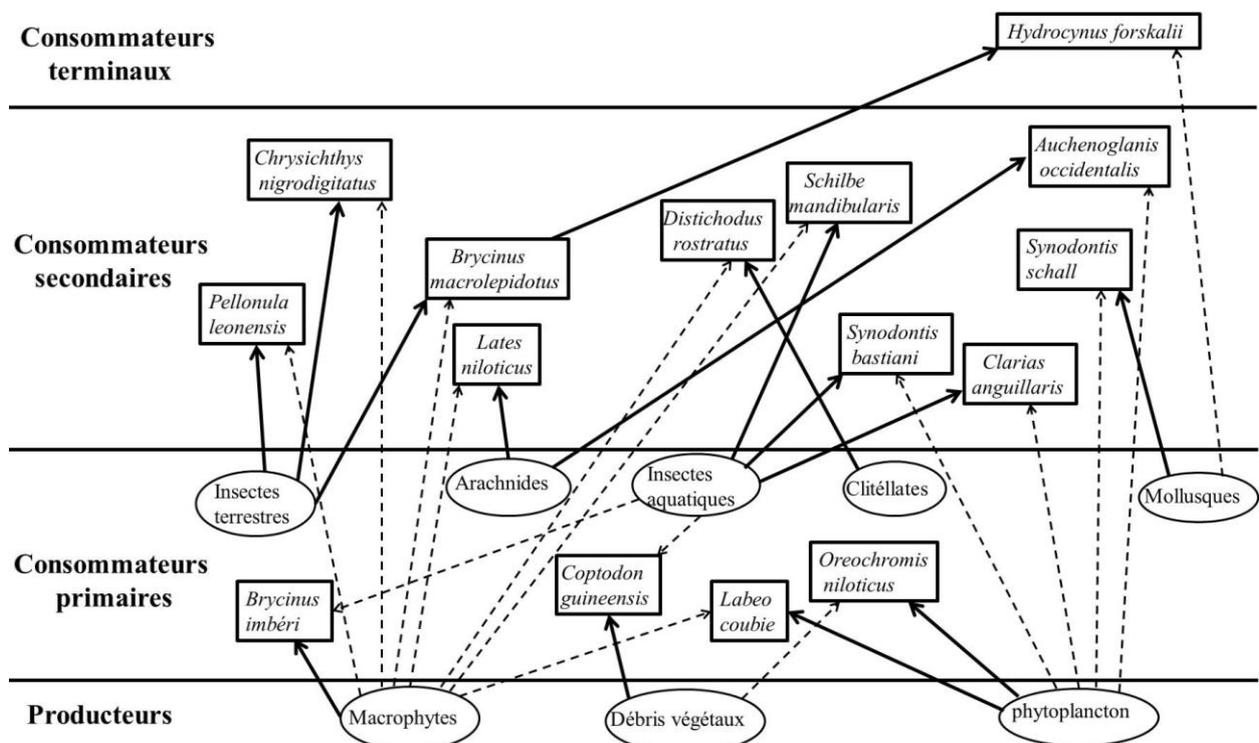


Figure 60 : Organisation du réseau trophique de quinze espèces de poissons du fleuve Bandama dans la RFF-HB ; La flèche signifie “ est mangé par ” → = Proies importantes ; ---> = Proies moins importantes.

3.3.2. Discussion

Il ressort de l'analyse du réseau trophique que les consommateurs secondaires sont largement majoritaires dans la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB. En effet, les ichtyophages, malacophages, consommateurs de Clitellates et insectivores confondus représentent plus de 90 % des espèces étudiées. Les consommateurs forment le principal groupe trophique du peuplement de poissons du fleuve Bandama dans la réserve. Ces résultats sont caractéristiques de la majorité des espèces de poissons des eaux de Côte d'Ivoire et d'Afrique (Lévêque & Paugy, 2006 ; Yao, 2006 ; Gooré, 2009 ; Kamelan, 2010). Les poissons qui consomment la matière organique de la base du réseau trophique (phytoplancton, macrophytes et détritus) sont moins abondants. Les phytoplanctonophages sont moins nombreux dans la section du fleuve Bandama située au sein de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama. Bowen (1988) a, à cet effet, souligné que la majorité des poissons africains ne consommait pas directement du matériel végétal, mais utilisait de préférence du zooplancton ou des invertébrés benthiques. En effet, le phytoplancton est généralement de petite taille et nécessite une certaine spécialisation de la part des poissons pour pouvoir être assimilés (Bowen, 1988). Les Rotifères sont en faible quantité dans le régime alimentaire d'*Auchenoglanis occidentalis*. Ce résultat, corrobore ceux de Lévêque et Paugy (2006), qui concluent que le zooplancton est peu représenté dans les milieux fluviaux. Ce qui expliquerait l'absence de poissons zooplanctonophages dans notre étude. Les macrophytophages sont quant à eux des brouteurs qui consomment des feuilles, fruits, graines, tiges, racines, etc. Les véritables consommateurs primaires sont représentés par les espèces telles que *Brycinus imbéri*, *Coptodon guineensis*, *Labeo coubie* et *Oreochromis niloticus*. Il semblerait en effet que les poissons soient capables d'élargir leurs préférences alimentaires en fonction de la plus ou moins grande disponibilité des proies qu'ils consomment habituellement (Lévêque & Paugy, 2006). Bowen (1988) a relevé un degré d'opportunisme très élevé chez *Oreochromis niloticus*. Cependant, nos données concordent avec les résultats des travaux de Lauzane (1988), qui ont permis de classer cette espèce parmi les espèces microphytophages capables d'ingérer et de digérer de grandes quantités d'algues phytoplanctoniques et de cyanobactéries.

Les résultats obtenus indiquent également que *Hydrocynus forskalii* se nourrit principalement de poissons et de très peu de mollusques. Ce régime est presque semblable à celui décrit par Aboua (2012) dans le fleuve Bandama, Yao (2006) dans la Comoé, Traoré (1996) dans les écosystèmes fluviolacustres de Côte d'Ivoire et Paugy (1994) dans le Sénégal,

où cette espèce se nourrit principalement de poissons, très peu de crevettes et d'insectes. Lauzanne (1976) a mis en évidence deux types de comportement trophique en relation avec le type de biotope et la disponibilité des proies dans la partie Sud-est du lac Tchad.

La présente étude a révélé le même comportement trophique chez *Auchenoglanis occidentalis*, *Brycinus macrolepidotus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Clarias anguillaris*, *Distichodus rostratus*, *Lates niloticus*, *Pellonula leonensis*, *Schilbe mandibularis*, *Synodontis bastiani* et *Synodontis schall*. Pour *Synodontis bastiani*, nos résultats concordent avec les données fournies par Aboua (2012) dans le fleuve Bandama qui note un régime invertivore pour cette espèce, contrairement aux travaux de Yao (2006) qui note une tendance phytophage. Concernant *S. schall*, nos résultats ne correspondent pas au régime omnivore déjà mentionné par Aboua (2012), Diomandé *et al.* (2009) et Yao (2006). Nos données sont en grande partie comparables à celles qui ont été obtenues pour le genre *Synodontis* en général. En effet, Lauzanne (1988) indique que les *Synodontis* exploitent les invertébrés benthiques, divers débris végétaux et animaux, surtout des larves d'insectes et des mollusques, mais aussi des oligochètes, des ostracodes, des insectes terrestres, et même des grosses écailles. Les études menées par Hopson (1982) et Kouamélan *et al.* (2000), montrent un régime piscivore pour *Lates niloticus*. Contrairement à ces résultats, le régime invertivore constaté dans cette étude serait le fait de la taille des spécimens échantillonnés. En effet, de nombreux auteurs ont mis en évidence la variation du régime alimentaire de *Bagrus domack*, dans le lac Victoria (Okach & Dadzie, 1988), de *Trachinotus teraia* (Trébaol, 1990) dans la lagune Ebrié et de *Docimodus evelynae* (Ribbink, 1990), dans le lac Malawi en fonction de leurs tailles.

Le régime alimentaire de *Brycinus macrolepidotus* mentionné dans ce travail est similaire à celui trouvé par Paugy (1994) qui a noté un apport plutôt négligeable des végétaux au profit des insectes aquatiques dans le fleuve Sénégal. Cependant, d'autres études ont montrés que cette espèce se nourrit majoritairement de macrophytes et le complément d'aliments proviendrait surtout des insectes terrestres (Yao, 2006). L'importance des organismes (animaux et végétaux) d'origine terrestre (organismes allochtones) dans l'alimentation des poissons a été discutée par plusieurs auteurs tels que Karr (1981), Angermeier et Karr (1983) et Lowe-McConnell (1987 ; 1988). Ces items proviennent de la végétation riveraine et sont entraînés dans le fleuve sous l'effet du vent, des eaux de ruissellement, des inondations ou à la faveur de l'essaimage (cas des termites et des fourmis ailés).

Chez les spécimens de *Brycinus imberi* étudiés, les macrophytes sont les proies importantes et les insectes aquatiques sont moins importants. Ce profil général du régime de cette espèce ne correspond pas à celui obtenu dans plusieurs autres bassins de Côte d'Ivoire (Planquette & Lemasson, 1975 ; Vidy, 1976) et dans la rivière Mono (Paugy & Bénech, 1989) où cette espèce consomme les insectes de manière préférentielle. Cette espèce subirait donc une forte concurrence pour les insectes vu le nombre important d'espèces invertivores.

Le calcul des indices de chevauchement alimentaire a permis de mettre en évidence sept cas de régimes chevauchants. Ces cas concernent aussi bien des espèces du même genre ou pas. Aussi, les indices calculés pour les espèces sont tous supérieures à 0. Ce résultat traduit le fait que les espèces concernées se nourrissent des mêmes aliments ou qu'elles partagent une quantité minimale de nourriture. L'une des conséquences écologiques des chevauchements alimentaires est l'entrée des espèces en compétition pour se procurer les proies préférentielles (Greenberg, 1991). Par ailleurs, lorsque deux populations exploitent les mêmes ressources, l'une finit par exclure l'autre (Forné, 1994). Dès lors, l'existence d'espèces à régimes chevauchants enregistrées dans la présente étude suppose que des facteurs favorisent une compétition entre ces espèces pour l'accès aux ressources (Goldschmidt *et al.*, 1990 ; Lévêque, 1997). Selon Zaret et Rand (1971) les variations saisonnières des ressources alimentaires influent également sur l'intensité de la compétition interspécifique. Dans la présente étude, l'abondance de certaines proies dans le milieu peut être évoquée pour expliquer leur partage par quelques espèces de poissons. Il s'agit des insectes et des Mollusques. En effet, les données de Kressou *et al.* (2019) sur les macroinvertébrés aquatiques indiquent que ces proies sont les organismes les plus importants au plan quantitatif dans le fleuve Bandama au sein de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

3.3.3. Conclusion partielle

Le régime alimentaire a été étudié chez 15 espèces de poissons. Sur la base des indices de prépondérance, quatre guildes trophiques ont été déterminées. Il s'agit des piscivores, des invertivores, des macrophytophages et des phytoplanctonophages. Le chevauchement des régimes alimentaires de certaines espèces montre que les ressources trophiques disponibles ne sont pas diversifiées du fait de la dégradation de l'intégrité écologique du fleuve Bandama dans la réserve qui entraîne une compétition entre les espèces. Les consommateurs secondaires dominent la structure trophique dans les trois parties du fleuve Bandama dans la

RFF-HB indiquant un contrôle « top-down » qui montre le mauvais état écologique du fleuve Bandama dans la réserve.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a permis d'établir la structure du réseau trophique de l'ichtyofaune du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama.

L'analyse des paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques a montré qu'au niveau spatial, la majorité des paramètres mesurés ne diffèrent pas significativement entre les stations. Les valeurs du pH sont plus élevées dans le cours supérieur, l'oxygène dissous dans le cours moyen et la conductivité dans le cours inférieur durant la saison sèche. Cependant, durant la saison pluvieuse, la profondeur, la turbidité et la vitesse du courant de l'eau ont des valeurs élevées dans la partie supérieure du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Quant à la largeur du lit mouillé, elle présente des valeurs élevées dans le cours moyen. La typologie abiotique des stations montre que les eaux du fleuve Bandama dans la partie inférieure de la RFF-HB sont plus minéralisées. Cependant, elles sont plus troubles avec de fortes vitesses d'écoulements de l'eau dans la partie supérieure de la RFF-HB.

L'inventaire de l'ichtyofaune du fleuve Bandama dans la RFF-HB fait état de la présence de 33 espèces répartis entre 17 familles et 8 ordres. Ces espèces représentent 39,75 % de la richesse spécifique du bassin de ce fleuve. L'ordre des Siluriformes est le plus diversifié et domine les captures aussi bien en termes d'espèces (31 % de la richesse spécifique) que d'individus (39 % de l'abondance). *Labeo coubie* est la seule espèce rencontrée dans toutes les stations retenues sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB. *Malapterurus electricus* inventoriée uniquement dans les stations de la partie médiane et *Heterobranchus isopterus* ont une vulnérabilité "très élevée", respectivement de 89 % et 90 %. *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* dominent numériquement l'ensemble des captures. En outre, *Oreochromis niloticus* est plus abondante dans les captures dans le cours supérieur à la station BTA (24 % de l'abondance) et dans le cours inférieur à la station BYA (39 % de l'abondance). En revanche, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* prédominent les captures dans la partie médiane respectivement à la station BSA (50 % de l'abondance) et à la station BSB (43 % de l'abondance). Les valeurs de l'indice de Shannon montre que le peuplement de poissons est peu diversifié (0,562 et 2,008 bit). Cependant, il est stable et équilibré (0,793 à 1). Les spécimens d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* échantillonnés dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB ont des tailles moyennes dans l'ensemble. En outre, les relations longueurs-poids indiquent que ces espèces vivent dans des conditions difficiles dans ce milieu.

Le régime alimentaire des poissons étudié chez 15 espèces a mis en évidence quatre guildes trophiques (piscivores, invertivores, macrophytophages et phytoplanctonophages). Le chevauchement des régimes alimentaires de certaines espèces indique une invariabilité des ressources trophiques disponibles favorisant une compétition entre ces espèces dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB. La structure trophique est dominée par les consommateurs secondaires indiquant un contrôle « top-down » qui montre le mauvais état écologique du fleuve Bandama dans la RFF-HB.

Pour une meilleure compréhension de la dynamique des abondances du peuplement de poissons de la RFF-HB, il est nécessaire d'intégrer d'autres techniques de pêche telles que la pêche électrique qui permettrait d'échantillonner les espèces de petite taille. Par ailleurs, le suivi à long terme du peuplement de poissons intégré aux facteurs environnementaux permettrait de maîtriser les impacts des activités anthropiques. En outre, le développement d'un Indice d'Intégrité Biotique-Poisson (IIB-P) du fleuve Bandama dans la RFF-HB contribuerait à identifier les sites dégradés qui devront être restaurés. Ainsi, pour mieux préserver la biodiversité de ce fleuve dans la RFF-HB, il serait judicieux d'associer tous les acteurs à la gestion de cette aire protégée.

RÉFÉRENCES

- 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 Bioscience, Université Félix-Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 227 p.
- Aguilar Ibarra A. (2004). Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de doctorat ès sciences, Institut National Polytechnique de Toulouse (France), 178p.
- Albaret J.J. (1994). Les poissons, biologie et peuplements. *In*: Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome 2 : Les milieux lagunaires. Durand J.R., Dufour P., Guiral D. & Zabi S.G.F. (Eds.), ORSTOM (Abidjan), pp 239-279.
- Alhoniemi E., Himberg J., Parhankangas J. & Vesanto J. (2000). Som toolbox. Disponible à <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox> (dernière consultation, janvier 2007).
- Allan J.D. & Johnson L.B. (1997). Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37: 107-111.
- Alliaume C., Lasserre G. & Louis M. (1990). Organisation spatiale des peuplements ichtyologiques des herbiers à *Thalassia* du Grand Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe. *Revue d'Hydrobiologie tropicale*, 23 (3) : 231 - 250.
- Amanieu M. & Lasserre G. (1982). Organisation et évolution des communautés lagunaires. *Oceanologica Acta* : 201-213.
- Amara R. (2003) Seasonal ichthyodiversity and growth patterns of juvenile flatfish on a nursery ground in the Southern Bight of the North Sea (France). *Environmental Biology of Fishes*, 67: 191-201.
- Amundsen P.A., Gabler H.M. & Staldvik J.J. (1996). A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data. Modification of the Castello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48: 607-614.
- André J. (1973). Recherches écologiques sur les populations de *Cepea normalis* L. du Languedoc et du Roussillon. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université Paris VI (France), 73p.
- Angermeier P.L. & Karr J.R. (1983). Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environmental Biology of Fishes* 9: 117-135.
- Arfi R., Bouvy M., Cecchi P., Pagano M. & Thomas S. (2001). Factors limiting phytoplankton productivity in 49 shallow reservoirs of North Côte d'Ivoire (West Africa). *Aquatic Ecosystem Health and Management Society*, 4: 123 - 138.

- Balcombe S.R., Bunn S.E., Mckenzie Smith F.J. & Davies P.M. (2005). Variability of fish diets between dry and flood periods in an arid zone floodplain river. *Journal of Fish Biology* 67 : 1552-1567.
- Balk I.F. & Koeman J.H. (1984). Future hazards from pesticide use, with special reference to West Africa and Southeast Asia. Commission of Ecology Papers N°6. IUCN, Gland, 100 p.
- Bamba O., Pelede S., Sako A., Kagambega N. & Miningou M.Y.W. (2013). Impact de l'artisanat minier sur les sols d'un environnement agricole aménagé au Burkina Faso. *Journal des sciences*, 13 (1) : 1-11.
- Baran E. (2000). Biodiversity of estuarine fish fauna in West Africa. Naga, The ICLARM Quarterly, 23 (4) : 4 - 9.
- 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 (France), 24 p.
- Bax N.J. (1998). The significance and prediction of predation in marine fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 55: 997-1030.
- Bédia A.T., N'Zi K.G., Yao S.S., Kouamelan E.P., N'douba V. & Kouassi N.J. (2009). Typologie de la pêche en lagune Aghien-Potou (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest): acteurs et engins de pêche. *Agronomie Africaine*, 21 (2) : 197-204.
- 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.
- Berté S. (2009). Biologie et écologie de *Distichodus rostratus* (Günther, 1864) dans un hydrosystème particulier en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 180 p.
- Binder E. (1957). Mollusques aquatiques de Côte d'Ivoire. I-Gastéropodes. *Bulletin de l'Institut Fondamental de l'Afrique Noire*, Série A, 19 (1) : 97-125.
- Blaber S.J.M. (2002). Fish in hot water : the challenges facing fish and fisheries research in tropical estuaries. *Journal of Fish Biology*, 62: 1-20.
- 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.
- Boussou K.C. (2013). Variations morphométriques, biologie et écologie du Cichlidae *Chromidotilapia guntheri* (Sauvage, 1882) dans des hydrosystèmes de l'Est et du Sud de la Côte d'Ivoire. Thèse unique de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 163 p.
- Bowen H.S. (1988). Detritivory and herbivory. *In: Biology and ecology of African freshwater fishes.* Leveque C., Bruton M.N. & Ssentongo G.W. (Eds.), Travaux et documents ORSTOM, Paris (France), pp. 243-247.
- Brett M.T. & Goldman C.R. (1996). A metaanalysis of the freshwater trophic cascade. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 93, 7723-7726.
- 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.* Edition Taylor and Francis Ltd, London (England), 673 p.
- Calamari D. (1985). Situation de la pollution dans les eaux intérieures de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Document occasionnel du CPCA N°12, FAO, Rome (Italie), 6 p.
- Camara A.I. (2013). Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco ; Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 138 p.
- Carpenter S.R. & Kitchell J.F. (1993). The trophic cascade in Lakes. *Cambridge Studies in Ecology.* 385 p.
- Carreti J.C. & Loyer D. (2012) : Comment financer durablement le réseau d'aires protégées terrestres à Madagascar apport de l'analyse économique, 12 p.
- Cezilly F. & Benhamou S. (1996). Les stratégies optimales d'approvisionnement. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 51 (1), 43-86.
- Cezilly F., Brun B. & Hafner H. (1991). Foraging and fitness. *Acta Oecologica* 12 : 683-696.

- Chikou A. (2007). Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 241p.
- Christensen V. & Pauly D. (1998). Changes in models of aquatic ecosystems approaching carrying capacity. *Ecological Applications*, 8 (1) : 104–109.
- Cloern J.E., Canuel E.A. & Harris D. (2002). Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, 47: 713-729.
- Corredor L. (1979). Identification, distribution et aperçu écologique des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire. Rapport DEA Océanographie Biologique, Paris 6 (France), 37 p.
- Da Costa K.S., Gourene G., Tito De Morais L. & Thys Van Den Audenaerde D.F.E. (2000). Caractérisation des peuplements ichtyologiques de deux fleuves côtiers ouest africains soumis à des aménagements hydroagricoles et hydroélectriques. *Vie et milieu*, 50: 65-77.
- Dabalem A.L. & Paul S. (2014). Effect of conflict on Dietary Diversity: Evidence from Côte d'Ivoire. *World Development*, 58:143-158.
- Dabbadie L. (1996). Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrant dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire: approche du réseau trophique (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Daget J., Planquette N. & Planquette P. (1973). Premières données sur la dynamique des peuplements de poisson du Bandama (Côte d'Ivoire). Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, *Écologie générale*, 3^{ème} série n°151: 131-142.
- Dajoz R. (1975). Précis d'écologie. Paris : Gauthier-Villars (Collection d'écologie fondamentale et appliquée), 545 p.
- Dajoz R. (2000). Précis d'Ecologie. Ecologie fondamentale et appliquée 7ème édition, Dunod, Paris (France), 615 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.
- Déjoux C., Elouard J.M., Forge P. & Maslin J.L. (1981). Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, Bouaké (Côte d'Ivoire) 42 : 178 p.

- Deus C.P. & Petrere-Junior M. (2003). Seasonal diet shifts of seven fish species in an Atlantic rainforest stream in southeastern Brazil. *Brazil Journal Biology*, 63 (4) : 579-588.
- Diomandé D., Doumbia L. & Gourène G. (2009). Stratégies Alimentaires de Deux Espèces de Poissons-Chats dans L'hydrosystème Fluvio-Lacustre de la Bia: *Synodontis Bastiani* et *Synodontis Schall* (Bloch & Schneider, 1801) *European Journal of Scientific Research*, 27 (1): 66-76.
- Djakou R. & Thanon S. Y. (1988). *Écologie Afrique intertropicale*. Editions Bordas, Paris, 191 p.
- Doumbia L. (2003). Variations spatio-temporelles des peuplements et stratégies alimentaires de deux poissons-chats africains : *Schilbe mandibularis* (Güther, 1867) et *Schilbe intermedius* Rüppell, 1832 (Bassins Bia et Agnébi ; Côte d'Ivoire). Thèse unique, Université Abobo-Adjamé, 188 p.
- Dufrêne M. (1992). Biogéographie et écologie des communautés de Caradidae en 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 (3) : 345-366.
- Durand J.R. & Lévêque C. (Eds.). (1980). *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne* (Vol. 2). Ed. de l'Office de la recherche scientifique et technique d'Outre-Mer.
- Durand J.R. & Lévêque C. (1991). *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne* (Tome II). ORSTOM, Paris (France), 483 p.
- Eccles D.H. (1992). Fiches FAO d'identification des espèces à des fins de pêche. Guide de terrain sur les poissons d'eau douce de Tanzanie. Préparé et publié avec le soutien du Programme des Nations Unies pour le développement (projet URT/87/016). FAO, Rome (Italie), 145 p.
- Edia O. E. (2008). Diversité taxonomique 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.
- Elser J.J., Bracken M.E.S., Cleland E.E., Gruner D.S., Harpole W.S., Hillebrand H., Ngai J.T., Seabloom E.W., Shurin J.B. & Smith J.E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10, 1135-1142.

- Esmaeili H.R. & Ebrahimi M. (2006). Length– weight relationships of some freshwater fishes of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 328-329.
- 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.
- 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.
- Forné J. (1994). Les nationalismes identitaires en Europe: les deux faces de Janus. *Les nationalismes identitaires en Europe*, 1-240.
- Fox J.W. & Olsen E. (2000). Food web structure and the strength of transient indirect effects. *Oikos* 90: 219-226.
- Froese R. & Pauly D. (2012). FishBase. www.fishbase.org, version (10/2012).
- Froese R. & Pauly D. (2014). FishBase. Version (2/2014). World Wide Web electronic publication. Available at: <http://www.fishbase.org> (accessed 30 May 2014).
- Froese R., Thorson J. & Reyes Jr R.B. (2014). Une approche bayésienne pour estimer les relations longueur poids chez les poissons. *J. Appl. Ichtyol* .30(1) : 7885
- Frontier S. (1983). Stratégies d’Echantillonnage en Ecologie. Masson, Paris (France), 494 p.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. (1998). Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Dunod, Paris (France), 447 p.
- 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*
- 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.
- Gliwicz Z. (2004). Zooplankton. In: The Lakes Handbook: *Limnology and Limnetic Ecology*. (Ed^Eds P.E. O'sullivan & C.S. Reynolds), pp. 461-516. Blackwell Publishing, Oxford.
- Godron M. (1968). Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. *Oecologia Plantarum*, 3 : 185-212.
- Goldschmidt T., Witte F. & Visser J. (1990). Ecological segregation in zooplanktivorous haplochromine species (Pisces, Cichlidae) from Lake Victoria. *Oikos*, 58: 343-355.

- Gooré B.G. (2009). Impact des activités humaines sur les communautés de poissons dans les systèmes aquatiques de la zone côtière ivoirienne (Côte d'Ivoire) : Établissement d'un indice d'intégrité biotique (IIB). Thèse de Doctorat d'État, UFR Bioscience, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire) 177 p.
- Gordon N.D., McMahon T.A. & Finlayson B.L. (1994). Stream Hydrology, an Introduction for Ecologists. *Wiley & Sons*, New York (USA), 526 p.
- Gorman O.T. & Karr J.R. (1978). Habitat structure and stream fish communities. *Ecology*, 59: 507-515.
- Gounot M. (1969). Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Paris : Masson, 314 p.
- Gourène G., Teugels G.G., Hugueny B. & Thys Van Den Audenaerde D.F.E. (1999). Évaluation de la diversité ichtyologique d'un bassin ouest africain après la construction d'un barrage. *Cybium*, 23 (2): 147-160.
- Gray A.E., Mulligan T.J. & Hannah R.W. (1997). Food habits, occurrence and population structure of the bat ray, *Myliobatis californica*, in Humboldt Bay, California. *Environmental Biology of Fishes*, 49: 227-238.
- Greenberg L.A. (1991). Habitat use and feeding behavior of thirteen species of benthic stream fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 31: 389-401.
- Guillard J., Baudoin J.M. & Goulon C. (2023). Optimisation d'une méthode non intrusive de l'étude des populations de poissons en lac: l'hydro-acoustique. *Sciences Eaux & Territoires*, (42), 49-54.
- Guillerm J. (1971). Profils écologiques et information mutuelle entre espèces et facteurs écologiques. *Oecologia Plantarum*, 6 : 209-225.
- Halle B. & Bruzon V. (2006). Profil environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final. Consortium AGRIFOR consult, 127 p.
- Heymans J.J., Shannon L.J. & Jarre A. (2004). Changes in the northern Benguela ecosystem over three decades: 1970s, 1980s and 1990s. *Ecological Modelling* 172: 175-195.
- Hopson A.J. (Eds) (1982). Lake Turkana. In: A report on the findings of Lake Turkana Project 1972-1975. Overseas Development administration, London 6 (England), pp. 16-14.
- Horn H.S. (1966). Measurement of «overlap» in comparative ecological studies. *The American Naturalist*, 100: 419-424.

- Hugueny B. (1990). Richesse des peuplements de poissons dans le Niandan (Haut Niger, Afrique) en fonction de la taille de la rivière et de la diversité du milieu. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 23: 351-364.
- Hunter M.D. & Price P.W. (1992) Playing chutes and ladders : heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*, 73: 724-732.
- Hynes H.B.N. (1950). The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of Animal Ecology*, 19: 36-58.
- Hyslop E.J. (1980). Stomach contents analysis, a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17: 411-429.
- Ibarra M. & Stewart D.J. (1989). Longitudinal zonation of sandy beach fishes in the Napo river basin, Eastern Ecuador. *Copeia* 2 : 364-381.
- Jaccard P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 44: 223-270.
- Kamelan T.M. (2010). Biodiversité des poissons de la rivière Dodo et d'étude des relations trophiques entre les différentes espèces (Côte d'Ivoire). Mémoire de DEA. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire) 75 p.
- Karr J.R. (1981). Assessing of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6: 21-27.
- Karr J.R. & Chu E.W. (2000). Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 422/423 : 1-14.
- King R.P., Udoidiong O.M., Egwali E.C. & Nkanta N.A. (1991). Some aspects of the trophic biology of *Ilisha africana* (Teleostei, Pristigasteridae) in Qua Iboe estuary, Nigeria. *Journal of African Zoology*, 105: 261-274.
- Kinncar P. & Gray. C. (2005). SPSS facile appliqué à la psychologie et aux sciences sociales ; maîtriser le traitement de données. De Boeck, 432 p.
- Kohonen T. (1995). Self Organizing Maps. Springer-Verlag, Heindelberg, Berlin (Germany), 362 p.
- Kohonen T. (2001). Self Organizing Maps (3rd Edition). Springer-Verlag, Berlin (Germany), 501 p.
- Komoé K. (2010). Distribution du phytoplancton dans le complexe lagunaire de GrandLahou, en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université d'Abidjan-Cocody (Côte d'Ivoire). 270 p.

- Konan K.F. (2008). Composition, structure et déterminisme de la diversité ichthyologique 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.
- Konan K.F., Leprieur F., Ouattara A., Brosse S., Grenuillet G., Gourène G., Winterton P. & Lek S. (2006). Spatio-temporal patterns of fish assemblages in coastal West African rivers: a Self-Organizing Map approach. *Aquatic Living Resources*, 19: 361-370.
- Koné N., N'da A.S., Boguhé G.F.H. & Berté S. (2022). Relation longueur-masse et paramètres de population de *Synodontis bastiani* Daget, 1948 (Mochokidae) dans le fleuve Bandama en aval du barrage de Taabo (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024) Vol.51 (3) : 9284-9296*
<https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v51-3.2>
- Kouadio N.F., Kouamélan E.P., N'Douba V., Koné T., Snoeks J. & Ollevier F. (2006). Update of fish biodiversity and impact of human activities on the community structure, Mé River (Ivory Coast). *Journal of Biological Sciences*, 6: 805-814.
- Kouamé K.A., Yao S.S., Gooré B.G., Kouamélan E.P., N'Douba V. & Kouassi N.J. (2008). Influential environmental gradients and patterns of fish assemblages in a West African basin. *Hydrobiologia*, 603: 159-169.
- 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.
- Kouamélan E.P. (1999). L'effet du lac de barrage Ayamé (Côte d'Ivoire) sur la distribution et l'écologie alimentaire des poissons Mormyridae (Teleostei, Osteoglossiformes). Thèse de Doctorat. Katholieke Universiteit Leuven (Belgique), 221 p.
- Kouamélan E.P., Teugels G.G., Gourène G., Thys Van Den Audenaerde D.F.E. & Ollevier F. (2000). Habitudes alimentaires de Mormyrops anguilloïdes (Mormyridae) en milieux lacustre et fluvial d'un bassin Ouest-africain. *Cybium* 24 (1) : 67-79.

- Kouamélan E.P., Teugels G.G., N'Douba V., Gooré B.G. & Koné T. (2003). Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia*, 505: 139-146.
- Kouassi Y.S. (2018). Dynamique spatio-temporelle des communautés de microalgues du fleuve Bandama : section dans la réserve de faune et de flore du haut-bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire). Mémoire de Master. UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 72 p.
- Kressou A. (2017). Inventaire et statut de conservation de la faune ichtyologique de la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama puis périphérique (Centre-nord, Côte d'Ivoire). Mémoire de master en Biodiversité et Gestion Durable des Ecosystèmes. UFR Environnement. Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 44p.
- Kressou A. (2020). 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). Thèse de doctorat en Hydrobiologie. UFR Environnement. Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 155 p.
- Kressou A., Bony K.Y., Allouko J-R., and Konan K.F. (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*, 3(4) : 378-382.
- Lacroix G. (1987). Ecologie des peuplements de Cladocères des gravières en eau. Thèse de doctorat ès sciences, Université Paris 6 (France), 294 p.
- Lacroix G. & Danger M. (2008). Des réseaux trophiques au fonctionnement des écosystèmes lacustres: vers une intégration de l'hétérogénéité et de la complexité. *Revue des Sciences de l'Eau*, 21(2), 155-172.
- Lacroix G. & Lescher-Moutoué F. (1991). Specific composition of microcrustacean planktonic communities in various sand pit lakes : Is competition able to explain the observed patterns ? *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie Stuttgart*, 24 : 1530-1535.
- 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.

- Lamoot E. (1976). Observation sur le développement du Zooplancton dans le lac de Kossou. Rapport Université Nationale de Côte d'Ivoire. Institut Universitaire d'Étude Tropicale, 4: 16 p.
- Lampert W. & Sommer U. (2007). Limnoecology, Oxford University Press, Oxford.
- Lauginie F. (2007) : Conservation de la nature et des aires protégées en Côte d'Ivoire. Abidjan, NEI/ Hachette et Afrique Nature, 668 p.
- Lauzanne L. (1976). Régimes alimentaires et relations trophiques des poissons du lac Tchad. Cahiers ORSTOM, *Série Hydrobiologie*, 10 (4): 267-310.
- Lauzanne L. (1988). Les habitudes alimentaires des poissons d'eau douce africains. In: Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains. Lévêque C., Bruton M.N. & Ssentongo G.W. (Eds.). Travaux et Documents ORSTOM Paris (France) : pp. 221-242.
- Lazzaro X. (1997). Do the trophic cascade hypothesis and classical biomanipulation approaches apply to tropical lakes and réservoirs? Verh. Internat. Verein. Limnol., sous presse.
- Le Cren E.D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal Animal Ecology*, 20: 201-219.
- 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.
- Lévêque C. (1997). Biodiversity dynamics and conservation: the freshwater fish of tropical Africa. Cambridge university press (USA), 438 p.
- Lévêque C., Dejoux C. & Iltis A. (1983). Limnologie du fleuve Bandama, Côte d'Ivoire. *Hydrobiologia*, 100: 113-141.
- Lévêque C. & Paugy D. (1999). Les poissons des eaux continentales africaines *In* : Diversité, écologie, utilisation par l'homme. Éditions IRD, Paris (France) : 521 p.
- Lévêque C. & Paugy D. (2006). Impact des activités humaines. *In*: Lévêque C., Paugy D. (Eds.). Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD, Paris (France), pp. 365-383.

- Lévêque C., Paugy D. & Teugels G.G. (1991). Annotated checklist of the freshwater fishes of the Nilo-Sudan river basins in Africa. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 24: 131-154.
- Lévêque C., Paugy D. & Teugels G.G. (1992). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 2. MRAC (Tervuren), ORSTOM (Paris) : 385-902.
- Lizama M., de Los A.P. & Ambrósio A.M. (2002). Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Brazil Journal of Biology*, 62 (1): 113-124.
- Lowe-McConnell R.H. (1987). Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom, 382 p.
- Lowe-McConnell R.H. (1988). Caractéristiques générales de l'ichtyofaune. In: Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains. Lévêque C., Bruton M.N. & Ssentongo G. W. (Eds.), Travaux et Documents ORSTOM 216 pp. 93-110.
- Lozo R.N., Berté S., Kouassi B.A.T., Ouattara A. & Kouamélan E.P. (2019). Chlorophyceae (chlorophyta) du fleuve bandama (côte d'ivoire). *International Journal of Innovation and Applied*, Studies ISSN 2028-9324 Vol. 26 No. 2 Mai 2019, pp. 633-651.
- Manickchand-Heileman S., Arreguín-Sánchez F., Lara-Domínguez A. & Soto L.A. (1998). Energy flow and network analysis of Terminos Lagoon, SW Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 53: 179-197.
- Manly B.F.J. (1994). Multivariate Statistical Methods. A primer. Second edition. Chapman & Hall, London (England), 215 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.
- Mazzoni R. & Rezende C.F. (2003). Seasonal diet shift in a tetragonopterinae (osteichthyes, characidae) from the Ubatiba River, Rio de Janeiro (Brazil). *Brazil Journal Biologie*, 63(1) : 69-74.
- Mérona B. (2005). La diversité des poissons In : Le fleuve, le barrage et les poissons : Le Sinnamary et le barrage de Petit-Saut en guyane française. Marseille : IRD Editions, 2005. < <http://books.openedition.org/irdeditions/22784>>.ISBN.
- Monaco M.E. & Ulanowicz R.E. (1997). Comparative ecosystem trophic structure of three U.S. midatlantic estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 161: 239-254.

- Montcho S.A. (2011). Diversité et Exploitation des poissons de la rivière Pendjari (Bénin, Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 201p.
- Mul M., Obuobie E., Appoh R., Kankam-Yeboah K., Bekoe-Obeng E., Amisigo B. & McCartney M. (2015). Evaluation des ressources en eau du bassin de la Volta. *International Water Management Institute (IWMI)*. In French (Vol. 166).
- 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, UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 250 p.
- N'Zi K.G. (2007). Diversité biologique des peuplements de crevettes des eaux douces de Côte d'Ivoire en relation avec les variables environnementales. Thèse de Doctorat, UFR Bioscience, Université d'Abidjan-Cocody (Côte d'Ivoire). 178 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.
- Natarajan A.V. & Jhingran A.G. (1961). Index of preponderance - a method of grading the food elements in the stomach analysis of fishes. *Indian Journal of Fisheries*, 8: 54-59.
- OIPR (2015). Rapport d'activités trimestriel, Office Ivoirien des Parcs et Réserves. Abidjan (Côte d'Ivoire), 21p.
- Okach J.O. & Dadzie S. (1988). The food, feeding habits and distribution of a siluroid catfish, *Bagrus Domack* (Forsk.) in the Kenya waters of Lake Victoria. *Journal of Fish Biology*, 32: 85-94.
- Omernik J.M. & Bailey R.G. (1997). Distinguishing between watersheds and ecoregions. *Journal of the American Water Resources Association*, 33: 935-949.
- Ouéda A. (2009). Zooplancton et alimentation des poissons des lacs artificiels de bagre et de loubila. Thèse Unique de l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 156 p.
- Padisak J. (2004). Phytoplankton. In : *The Lakes Handbook: Limnology and Limnetic Ecology*. (Ed Eds P.E. O'sullivan & C.S. Reynolds), pp. 251-308. Blackwell Publishing, Oxford.

- Park Y.S., Chang J., Lek S., Cao W. & Brosse S. (2003). Conservation strategies for endemic fish threatened by the three Gorges Dam. *Conservation Biology*, 17 : 1748-1758.
- Paugy D. (1990). Characidae. *In* : Lévêque C., Paugy D. & Teugels GG (Eds.) Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome I. Coll. Faune Tropicale n°XXVIII. Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren et ORSTOM, Paris (France) : pp. 195-236.
- Paugy D. (1994). Écologie des poissons tropicaux d'un cours d'eau temporaire (Baoulé, haut bassin du Sénégal au Mali): adaptation au milieu et plasticité du régime alimentaire. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 27: 157-172.
- Paugy D. & Bénech V. (1989). Poissons d'eau douce des bassins côtiers du Togo (Afrique de l'Ouest). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 22: 295-316.
- Paugy D. & Lévêque C. (1999). Régimes alimentaires et réseaux trophiques. *In* : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme. Lévêque C. et Paugy D. (Eds.), Editions IRD, ISBN/ 2-7099-1432-8, pp. 167-190.
- Paugy D. & Lévêque C. (2006). Régimes alimentaires et réseaux trophiques. *Les poissons des eaux continentales africaines: diversité, écologie, utilisation par l'homme*, Éditions de l'IRD, Paris, 191-215.
- Paugy D., Lévêque C. & Teugels G.G. (2003a). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 1. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 457 p.
- Paugy D., Lévêque C. & Teugels G.G. (2003b). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 2. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 815 p.
- Paugy D. & Roberts T.R. (2003). Mochokidae p.195-268. *In* C. Lévêque, D. Paugy and G. G. Teugels (eds.) Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, Tome 2. Col 1. Faune et Flore tropicales 40. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, France and Institut de Recherche pour le Développement, Paris, France. 815p
- Paugy D., Traoré K. & Diouf P.S. (1994). Faune ichtyologique des eaux douces d'Afrique de l'Ouest. *In*: Diversité biologique des poissons des eaux douces et saumâtres d'Afrique. Teugels G.G., Guégan J.F. & Albaret J.J. (Eds.). Annales du Musée Royal de l'Afrique Centrale : pp. 35-47.
- Pauly D. (2002). The spatial modelling of trophic interactions and fishery impacts in coastal ecosystems: A case study of Sakumo lagoon, Ghana. *In* : McGlade J.M, Cury P.,

- Koranteng K.A. & Hardman-Mountford N.J. (Eds.), *The Gulf of Guinea large marine ecosystem : environmental forcing and sustainable development of marine resources*, Accra (Ghana), pp. 289-296.
- 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 (USA), 285 p.
- Planquette P. & Lemasson J. (1975). Le peuplement de poissons du Bandama blanc en pays baoulé. *Annales de l'Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, série E (Ecologie)*, tome VIII, fascicule 1. 8(1) : 77-121.
- 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 (Côte d'Ivoire), 72 p.
- Polis G.A., Sears A.L.W., Huxel G.R., Strong D.R. & Maron J. (2000) When is a trophic cascade a trophic cascade? *Trends in Ecology & Evolution*, 15 : 473-475.
- Pombo L., Elliot M. & Rebelo J.E. (2002). Changes in the fish fauna of the Rio de Aveiro estuarine lagoon (Portugal) during the twentieth century. *Journal of Fish Biology*, 61: 167-181.
- Pusey B.J., Arthington A.H. & Read M.G. (2000). The dry-season diet of freshwater fishes in monsoonal tropical rivers of Cape York Peninsula, Australia. *Ecology of Freshwater Fish*, 9 : 177-190.
- Ramade F. (1994). *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*. 2ème Edition. Ediscience, Paris (France), 579 p.
- Ramade F. (Eds.) (2003). *Elément d'écologie In : Ecologie fondamentale*. Edition Dunos, Paris (France) : pp. 21-90.
- Ribbink A.J. (1990). Alternative life-history styles of some African cichlids fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 28: 87-100.
- Ricker W.E. (1979). Growth rates and Models. *In: Hoar W.S., Randall D.J., Brett J.R. (Eds.). Fish Physiology. Bioenergetics and Growth*, Academic Press, pp. 677- 743.

- Ricker W.E. (1980). Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. Bulletins de l'office des recherches sur les pêcheries du Canada, 191F : 409 p.
- Roux D.J., Nel J.L., Ashton P.J., Deacon A.R., de Moor F., Hardwick D., Hill L., Kleynhans C.J., Maree G.A., Moolman J. & Scholes R.J. (2008). Designing protected areas to conserve riverine biodiversity: Lessons from a hypothetical redesign of the Kruger National Park. *Biological Conservation*, 141: 100-117.
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfeld J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Po N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. & Wall D.H. (2000). Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287(5459) : 1770-1774.
- Samb B. & Mendy A. (2003). Dynamique du réseau trophique de l'écosystème sénégalais en 1990. In : Pauly, D., Palomares M.L. & J.M. Vakily E. (Eds.), Trophic Models of Northwest African Marine Ecosystems. SIAP/EP/DT/03 Op, pp. 35-53
- Scherrer B. (1984). Biostatistique. Québec, Boucherville. Gaëtan Morin Éditions, 850 p.
- 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.
- 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.
- Sidibé A. (2013). Les ressources halieutiques démersales côtières de la Guinée: exploitation, biologie et dynamique des principales espèces de la communauté à Sciaenidés. Thèse de Doctorat Halieutique, Ensa-Rennes (France), 320 p.
- Simberloff D. & Von Holle B. (1999). Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? *Biological Invasions*, 1: 21-32.
- Sirima O., Toguyeni A. & Kabore-Zoungana C. Y. (2009). Faune piscicole du bassin de la Comoé et paramètres de croissance de quelques espèces d'intérêt économique. International Formulae Group. All rights reserved. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*. 3(1): 95-106.

- 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.
- Sommer U. (2008). Trophic Cascades in Marine and Freshwater Plankton. *International Review of Hydrobiology*, 93, 506-516.
- Soro T.A., Etilé R.N., Gooré B.G. & Aboua B.R.D. (2019). Etude préliminaire du peuplement zooplanctonique dans le bassin du Haut-Banadama (Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine* 31(3) : 305-319.
- Strange E.M. & Foin T.C. (1999). Interaction of physical and biological processes in the assembly of stream fish communities. *In* : Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats. Weiher E. and Keddy P. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge (England), pp. 311-337.
- Tachet H., Richoux P., Bourneaux M. & Usseglio-Polatera P. (2003). Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS, Paris (France), 587 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS 2^{ème} Edition, Paris (France), 588 p.
- Tah L., Gouli, Goore B.G. & Da Costa K.S. (2012). Length-weight relationships for 36 freshwater fish species from two tropical reservoirs: Ayamé I and Buyo, Côte d'Ivoire, *Revista de Biología Tropical*. 60(4): 1847-1856.
- Teugels G.G., Lévêque C., Paugy D. & Traoré K., (1988). État des connaissances sur la faune ichtyologique des bassins côtiers de Côte d'Ivoire et de l'Ouest du Ghana. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 21: 221-237.
- 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. (Eds.) (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. Edition MNHN, Paris (France) : pp.102-110.
- Tomassone R. Dervin C. & Masson J.P. (1993). Biométrie : Modélisation des phénomènes biologiques. Masson, Paris (France), 553 p.

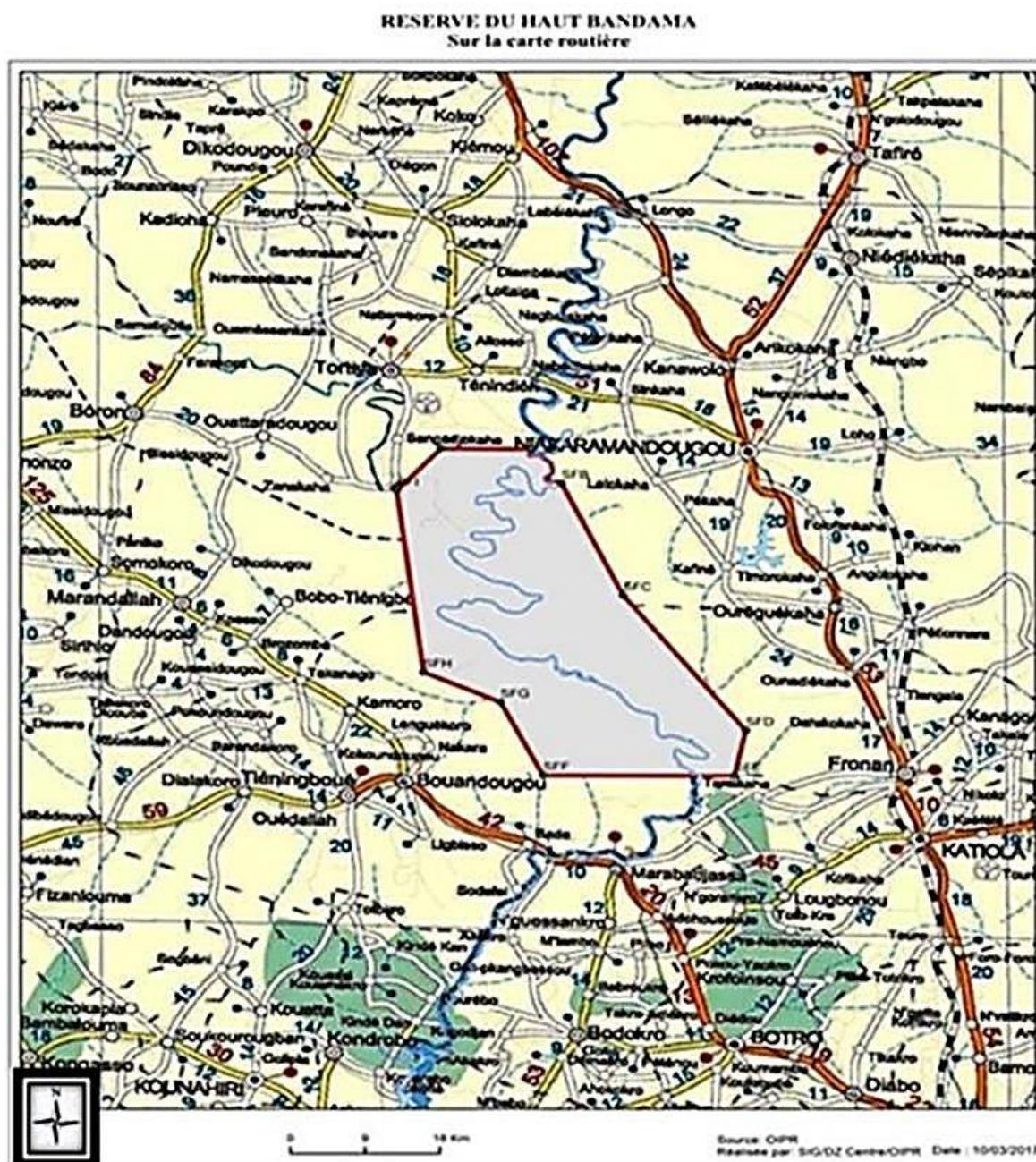
- Torcu-Koc H., Erdogan Z., Tinkci M. & Treer T. (2007). Age, growth and reproductive characteristics of chub, *Leuciscus cephalus* (Linné, 1758) in the _Ikizcetepeler dam lake (Balikesir), Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 23: 19-24.
- Torcu-Koc H., Erdogan Z. & Treer T. (2006). A review of length-weight relationships of fishes from freshwaters of Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 264-270.
- Torretton (1999). Intervention du bactérioplancton dans les réseaux trophiques. Université Montpellier II (France), Habilitation à diriger des recherches, 52 p.
- Toumi I. (2010). *Contribution à l'étude bio-écologique du peuplement ichtyologique de la région du Souf* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Touzin D. & Roy M. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval. Quebec, Canada. 40p.
- Traoré K. (1996). Etat de connaissance sur les pêcheries continentales ivoiriennes. Rapport de consultation, Projet FAO TPC/IVC/4553, IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 131 p.
- Trébaol L. (1990). Biologie et potentialités du Carangidé *Trachinotus teraia* en milieu lagunaire ivoirien. Thèse de Doctorat, IAPG, 314 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.
- UICN. (2023). La liste rouge des espèces menacées. Edition 2022-2. <<https://www.iucnredlist.org>>. ISSN 2307-8235.
- Vei K.N. (2015). Dynamique spatio-temporelle de la réserve du Haut Bandama en Côte d'Ivoire. *Germivoire*, 2 : 2411-6750.
- Vidy G. (1976). Étude du régime alimentaire de quelques poissons insectivores dans les rivières de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM 2, 29 p.
- Villanueva P., Lalèyè R., Laë J.J., Albaret L., Tito de Morais M., Simier G. & Moreau J. (2003). Preliminary trophic models of two West African Coastal Lagoons, Lagoon Ébrié (Ivory Coast) and Lake Nokoué (Benin). Abstract. 3rd International Conference of the Pan African Fisheries Society, Cotonou (Bénin), 10-14 Novembre 2003. *In* : Studies in Afrotropical Zoology, 2005. PICARTS (Eds.), Belgium (Bénin), pp. 153-155.
- Welcomme R.L. (1985). River fisheries. FAO fisheries technical paper, 262, 330 p.

- Whitfield A.K. (1999). Ichthyofaunal assemblages in estuaries : A South African case study. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 9: 151-186.
- Winemiller K.O. & Jepsen D.B. (1998). Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Journal of Fish Biology* 53 : 267-296.
- 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.
- Wolff M., Koch V. & Isaac V. (2000) A Trophic Flow Model of the Caeté Mangrove Estuary (North Brazil) with Considerations for the Sustainable Use of its Resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 789-803.
- 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. (2001). Etude du régime alimentaire de trois poissons Clariidae *Clarias anguillaris* (Linné, 1758), *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) et *Heterobranchus isopterus* (Bleeker, 1863) de la rivière Agnébi (Côte d'Ivoire). DEA. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 55 p.
- Yao S.S. (2006). Contribution à 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).Thèse de Doctorat, UFR Bioscience, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire) 280 p.
- Yao S.S., Kouamélan E.P., Koné T., N'Douba V., Gooré B.G., Ollevier F. & Thys Van Den Audenaerde D.F.E. (2005). Fish communities along environmental gradients within the Comoé River basin, Côte d'Ivoire. *African Journal of Aquatic Science*, 30 (2): 185-194.
- Young J.W., Duyet T.D., Bradford R.W. & Whitelaw A.W. (1997). Feeding ecology and interannual variations in diet of southern bluefin tuna, *Thynnus maccoyii* in relation to coastal and oceanic waters of eastern Tasmania, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 50: 275-291.
- Zar J.H. (1999). Biostatistical Analysis. 414. th Edition. Prentice–Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 662 p.

Zaret T.M. & Rand A.S. (1971). Competition in tropical stream fishes: support for the competitive exclusive principle. *Ecology*, 52: 336-342.

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 (Côte d'Ivoire), 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"/> Vase (0-20µm) <input type="checkbox"/> boue/vers grossiers (2-60µm) <input type="checkbox"/> boue/vers fins (60-200µm) <input type="checkbox"/> sables (200-600µm) <input type="checkbox"/> Argiles (>600)		
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"/> péniophyton <input type="checkbox"/> autre, à préciser	Débris végétaux <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"/> croissance d'algues excessives <input type="checkbox"/> autre, à préciser :	<input type="checkbox"/> poissons morts <input type="checkbox"/> feux de forêt	

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"/> nuageux <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 retenues sur la section du fleuve Bandama située dans la RFF-HB (Côte d'Ivoire), 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 des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB (Côte d'Ivoire), entre janvier 2018 et février 2019.



Auchenoglanis occidentalis



Brycinus imberi



Brycinus macrolepidotus



Chrysichthys maurus



Chrysichthys nigrodigitatus



Clarias anguillaris



Distichodus rostratus



Hemichromis bimaculatus



Hemichromis fasciatus



Hepsetus odoe



Hétérobranchus isopterus



Heterotis niloticus



Hydrocynus forskalii



Labeo coubie



Labeo parvus

Annexe 4 (suite) : Photographies des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB (Côte d'Ivoire), entre janvier 2018 et février 2019.



Labeo senegalensis



Lates niloticus



Malapterurus electricus



Marcusenius senegalensis



Mastacembelus nigromarginatus



Mormyrus rume



Oreochromis niloticus



Parachanna obscura



Pellonula leonensis



Petrocephalus bovei



Polypterus endlicheri



Raiamas senegalensis

Annexe 4 (suite et fin) : Photographies des espèces de poissons récoltées dans le fleuve Bandama dans la RFF-HB (Côte d'Ivoire), entre janvier 2018 et février 2019.



Schilbe mandibularis



Synodontis bastiani



Synodontis punctifer



Synodontis schall



Coptodon guineensis



Coptodon zillii

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THÈSE

Zamblé Bi Tah Thiolien, Allouko Jean-Renaud, Kressou Armand, and Bony Kotchi Yves, **2021**. “Composition and structure of ichthyological populations of the Bandama River in the Haut-Bandama Wildlife Reserve (Centre-North, Côte d'Ivoire),” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Volume 34, pp. 888-895.

Bi Tah Thiolien Zamblé, Kouakou Roland Djéné, Jean-Renaud Allouko *, Armand Kressou and Kotchi Yves Bony, **2022**. “Size structures and length-weight relationships of three freshwater fish, *Brycinus imberi*, *Labeo coubie*, *Oreochromis niloticus*, from the Bandama river section located in Haut-Bandama Wildlife Reserve (North Central, Côte d'Ivoire),” *GSC Advanced Research and Reviews*, 2022, 13(02), 221–226.

Publication N° 1

Zamblé Bi Tah Thirolien, Allouko Jean-Renaud, Kressou Armand, and Bony Kotchi Yves, **2021**. “Composition and structure of ichthyological populations of the Bandama River in the Haut-Bandama Wildlife Reserve (Centre-North, Côte d'Ivoire),” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Volume 34, pp. 888-895.

Composition et structure des peuplements ichthyologiques du fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (Centre-nord, Côte d'Ivoire)

[Composition and structure of ichthyological populations of the Bandama River in the Haut-Bandama Wildlife Reserve (Centre-North, Côte d'Ivoire)]

Zamblé Bi Tah Thiolien, Allouko Jean-Renaud, Kressou Armand, and Bony Kotchi Yves

Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Unité de Formation et de Recherche de l'Environnement (UFR-Environnement), BP 150, Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study aims to evaluate the diversity of ichthyological populations in the section of the Bandama River located in the Upper Bandama Fauna and Flora Reserve (RFF-HB). This study was carried out, following the longitudinal gradient (upstream-downstream) of the section of the Bandama River in the reserve, on 06 stations and during 08 sampling campaigns between January 2018 and February 2019. The collection of fish from the experimental fishery was carried out using gill nets, creels and hawks. The ichthyofauna inventory identified 33 fish species divided into 17 families and 8 orders. The fish populations are more diversified in the middle course (25 species) and upstream (24 species) of the reserve. The frequencies of occurrence of the ichthyofauna show that *Labeo coubie*, *Brycinus imberi*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus* and *Oreochromis niloticus* are very frequently encountered on the Bandama river in the reserve. The analysis of the diversity of the ichthyological populations of the reserve shows that the fish populations are less diversified but more stable and balanced.

KEYWORDS: Ichthyofaunal diversity, structure, Haut Bandama Fauna and Flora Reserve, Bandama River, Côte d'Ivoire.

RESUME: La présente étude vise à évaluer la diversité des peuplements ichthyologiques de la section du fleuve Bandama située dans la Réserve de Faune et flore du Haut-Bandama (RFF-HB). Cette étude a été réalisée, suivant le gradient longitudinal (amont-aval) de la section du fleuve Bandama dans la réserve, sur 06 stations et durant 08 campagnes d'échantillonnage entre janvier 2018 et février 2019. La collecte des poissons issue de la pêche expérimentale a été réalisée à l'aide de filets maillants, de nasses et d'éperviers. L'inventaire de l'ichthyofaune a permis d'identifier 33 espèces de poissons réparties en 17 familles et 8 ordres. Les peuplements de poissons sont plus diversifiés dans le cours médian (25 espèces) et en amont (24 espèces) de la réserve. Les fréquences d'occurrences de l'ichthyofaune montrent que *Labeo coubie*, *Brycinus imberi*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus* et *Oreochromis niloticus* sont très fréquemment rencontrés sur le fleuve Bandama dans la réserve. L'analyse de la diversité des peuplements ichthyologiques de la réserve montre que les peuplements de poissons sont moins diversifiés mais plus stables et équilibrés.

MOTS-CLEFS: Diversité de l'ichthyofaune, Structure, Réserve de Faunes et Flores du Haut-Bandama, Fleuve Bandama, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Le fleuve Bandama dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFF-HB) est soumis à de fortes pressions anthropiques. Il s'agit de la localisation d'industries agroalimentaires en amont de la réserve, l'agriculture intensive, la pêche clandestine pratiquée à l'aide de pesticide et de l'orpaillage clandestin [1]. L'une des conséquences de ces actions humaines dans la réserve est la pollution des eaux du fleuve Bandama due au drainage d'effluents miniers, à l'accroissement des apports en fertilisants et en pesticides [1]. Cette

pollution induit son enrichissement en matières en suspension et en produits chimiques de toutes sortes. Cette situation est perceptible par la prolifération des végétaux aquatiques et les algues [2]. Les impacts de ces activités anthropiques sont susceptibles d'influencer négativement la qualité écologique des eaux de ce fleuve dans la réserve et la dégradation des habitats naturels des communautés biologiques aquatiques, particulièrement l'ichtyofaune [3]. Actuellement, vu le plan d'aménagement et les objectifs de conservation de cette réserve, la connaissance de l'état des peuplements ichthyologiques du fleuve Bandama dans la réserve est une préoccupation majeure. Ainsi, la présente étude a pour objectif de déterminer la diversité ichthyologique du fleuve Bandama dans la réserve.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFF-HB) est située dans le Centre-nord de la Côte d'Ivoire 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. Avec une superficie de 123000 hectares, cet espace protégé a été créée par décret N° 73-133 du 21/03/73 [1]. Elle appartient au secteur soudano-guinéen et se distingue par la présence d'îlots de forêts denses sèches surtout dans la partie Sud. Elle est soumise à deux (02) saisons climatiques. L'une sèche, qui s'étend de novembre à février accentuée par l'harmattan entre janvier et février et l'autre pluvieuse, couvrant la période de mars à octobre, avec des grandes précipitations en septembre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1230 millimètres, avec des amplitudes thermiques quotidiennes et annuelles de l'ordre de 26,6 °C, un taux d'humidité variant d'entre 35 et 79 % et un débit moyen annuel de 700m³/s [1].

3 METHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Six (06) stations d'échantillonnage (BTA, BTB, BSA, BSB, BYA et BYB) ont été retenues selon la zonation longitudinale (amont-aval) du fleuve Bandama dans la réserve, leur accessibilité et les activités anthropiques qui s'y déroulent. Ainsi, les stations BTA et BTB sont situées en amont, les stations BSA et BSB au cours médian et les stations BYA et BYB en aval du fleuve Bandama dans la réserve. L'échantillonnage de l'ichtyofaune dans la réserve s'est déroulé en huit (08) campagnes saisonniers entre janvier 2018 et février 2019.

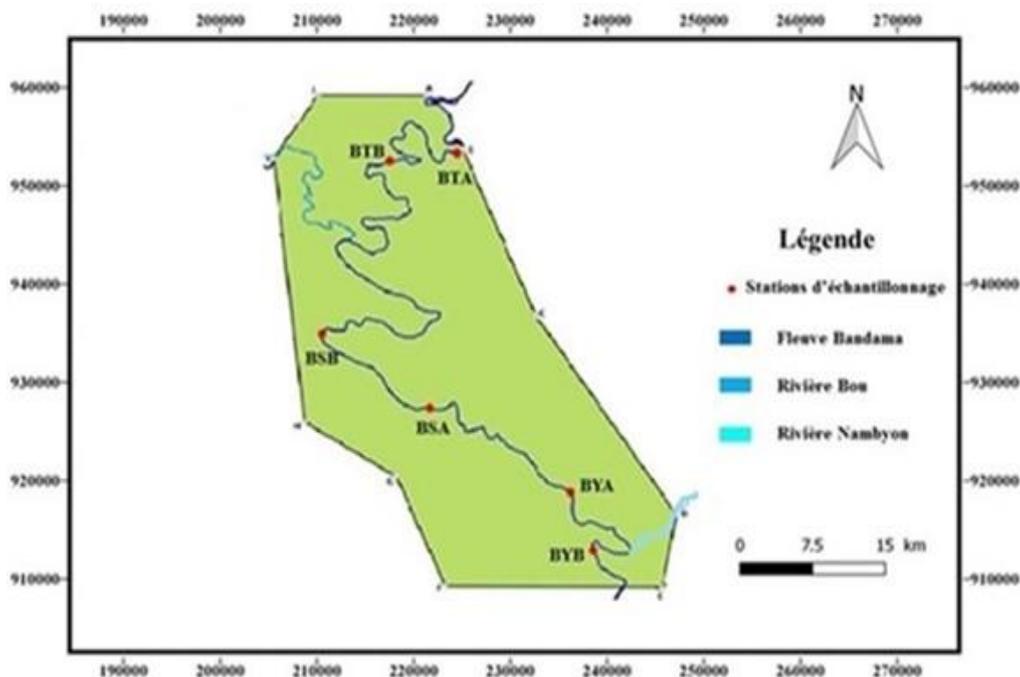


Fig. 1. Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Bandama dans RFF-HB

Les filets maillants (10 à 40 mm de côté, de 30 à 40 m de longueurs et de 2 à 2,5 m de hauteurs de chute) et les nasses appâtées avec du manioc ou du savon dans les zones de faible courant ont été utilisés pour la pêche nocturne et la pêche de jour. Par ailleurs, l'épervier a été utilisé pour capturer les poissons à l'aide de ces appâts. Les différents spécimens ont été photographiés puis les échantillons ont été conservés dans du formaldéhyde à 5 %. Au laboratoire, ils ont été rincés et identifiés au niveau spécifique le plus bas possible à l'aide des clés proposées par [4], [5] et [6].

3.1 ANALYSE DES DONNEES

Pour l'analyse de la diversité des peuplements de poissons, divers indices ont été utilisés:

- La richesse spécifique (R_s) qui permet de déterminer le nombre total des diverses espèces de poissons prélevés à une station [7].
- La fréquence d'occurrence (F) renseigne sur les préférences de milieu (habitat) d'une espèce donnée [8]. Elle s'obtient selon la formule $F = (F_i \times 100) / F_t$.

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

Selon la valeur de F , les classifications suivantes est adoptées: $80\% \leq F \leq 100\%$: Espèces très fréquentes, $60\% \leq F \leq 79\%$: Espèces fréquentes, $40\% \leq F \leq 59\%$: Espèces assez fréquentes, $20\% \leq F \leq 39\%$: Espèces accessoires, $0\% \leq F \leq 20\%$: Espèces accidentelles.

- L'indice de similarité de Jaccard (J) a été utilisé, pour évaluer les ressemblances spécifiques des sites deux à deux [9]. Il a pour formule: $J = j / (a + b - j)$.

Avec: J = nombre d'espèces communes aux deux sites, a = le nombre de taxons propres au site 1, b = le nombre de taxons propres au site 2. Deux groupes sont semblables, si $J > 0,5$ et dissemblables si $J < 0,5$.

- L'indice de diversité de Shannon (H') a permis de quantifier la diversité des peuplements [10]. Son équation est la suivante: $H = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i$.

Avec: p_i représente l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon ($p_i = n_i/N$).

- L'indice d'équitabilité de Pielou (E), traduit le degré d'équilibre des peuplements ichthyologiques [8]. Son équation est la suivante: $J = H' / \log_2 S$.

Avec: S = nombres d'espèces observées

4 RESULTATS

4.1 COMPOSITION SPECIFIQUES DE L'ICHTYOFAUNE

Le tableau I présente la distribution des espèces de poissons capturées dans la section fleuve située dans la RFF-HB. Au total, 33 espèces de poissons répartis entre 17 familles et 8 ordres ont été récoltées. Il s'agit des ordres des Polypteriformes, des Clupeiformes, des Osteoglossiformes, des Characiformes, des Cypriniformes, des Siluriformes, des Perciformes et des Synbranchiformes. Parmi les espèces inventoriées, 32 espèces sont dulçaquicoles, dont deux espèces introduites (*Heterotis niloticus* et *Oreochromis niloticus*) et 01 espèce estuarienne et/ou marine (*Pellonula leonensis*). Les familles des Cichidae (5 espèces) et des Cyprinidae (4 espèces) sont les plus diversifiées. Les plus fortes richesses spécifiques ont été recensées au cours médian (25 espèces) et en amont (24 espèces), alors que la plus faible (13 espèces) est enregistrée en aval.

Les espèces *Tilapia zillii*, *Oreochromis niloticus*, *Synodontis bastiani*, *Heterobranchus isopterus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Auchenoglanis occidentalis*, *Labeo coubie* et *Brycinus imberi*, ont été rencontrées sur l'ensemble du gradient longitudinal (amont-aval) du fleuve Bandama dans la réserve.

Tableau 1. Distribution spatiale des espèces de poissons suivant le gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la RFF-HB

Familles	Espèces	Gradient longitudinal		
		Amont	Médian	Aval
Polypteridae	<i>Polypterus endlicheri</i>	+	+	-
Clupeidae	<i>Pellonula leonensis</i> *	+	-	-
Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i> **	+	-	-
Mormyridae	<i>Marcusenius senegalensis</i>	-	+	-
	<i>Mormyrus rume</i>	-	+	+
	<i>Petrocephalus bovei</i>	+	-	-
Hepsetidae	<i>Hepsetus odoe</i>	-	-	+
Alestidae	<i>Brycinus imberi</i>	+	+	+
	<i>Brycinus macrolepidotus</i>	+	+	-
	<i>Hydrocynus forskalii</i>	+	+	-
Distichodontidae	<i>Distichodus rostratus</i>	+	+	-
Cyprinidae	<i>Labeo coubie</i>	+	+	+
	<i>Labeo parvus</i>	-	+	-
	<i>Labeo senegalensis</i>	+	+	-
	<i>Raiamas senegalensis</i>	+	-	-
Claroteidae	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	+	+	+
	<i>Chrysichthys maurus</i>	+	-	-
	<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	+	+	+
Schilbeidae	<i>Schilbe mandibularis</i>	+	+	-
Clariidae	<i>Clarias anguillaris</i>	-	+	+
	<i>Heterobranchus isopterus</i>	+	+	+
Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i>	-	+	-
Mochokidae	<i>Synodontis bastiani</i>	+	+	+
	<i>Synodontis punctifer</i>	+	+	-
	<i>Synodontis schall</i>	+	-	+
Channidae	<i>Parachanna obscura</i>	+	-	-
Latidae	<i>Lates niloticus</i>	+	+	-
Cichlidae	<i>Hemichromis bimaculatus</i>	-	+	+
	<i>Hemichromis fasciatus</i>	-	+	-
	<i>Oreochromis niloticus</i> **	+	+	+
	<i>Tilapia guineensis</i>	+	+	-
	<i>Tilapia zillii</i>	+	+	+
Mastacembelidae	<i>Mastacembelus nigromarginatus</i>	-	+	-
Richesse spécifique	33	24	25	13

+ = Présence; - = Absence; * = Espèces estuariennes et/ou marines; ** = Espèces introduites

La figure 2 montre les proportions des ordres de poissons en fonction des espèces capturées sur le fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama. Les Siluriformes (10 espèces) sont les plus diversités. Ils représentent 31 % de l'ensemble des espèces inventoriées. Ils sont suivies des Perciformes qui avec 7 espèces représentent 21 % de la richesse spécifique. Les moins riches en espèces sont les Polypteriformes, les Clupeiformes et les Synbranchiformes qui avec 01 espèce chacun représentent 3 % des espèces capturées.

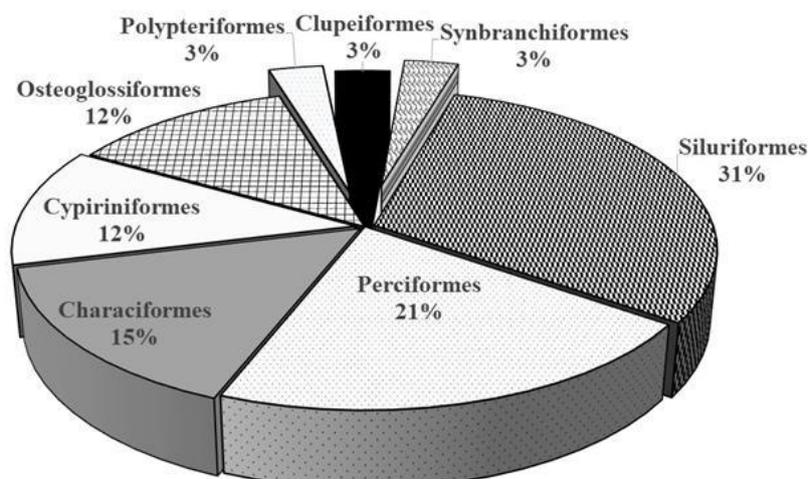


Fig. 2. Importance relative, en nombre d'espèces, des ordres de poissons capturés

4.2 OCCURRENCE DES ESPECES

Le tableau II présente la classification des espèces de poissons capturés en fonction de leur fréquence d'occurrence. *Labeo coubie* (100 %), *Brycinus imberi*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus* et *Oreochromis niloticus* qui représentent chacun 83,3 %, sont très fréquemment rencontrées dans la réserve. Par contre, *Marcusenius senegalensis*, *Hepsetus odoe*, *Labeo parvus*, *Hemichromis fasciatus*, *Mastacembelus nigromarginatus*, *Heterotis niloticus* et *Parachanna obscura*, avec une fréquence d'occurrence de 16,6 % sont des espèces accidentellement rencontrées dans la réserve.

Tableau 2. Occurrence des espèces de poissons capturées sur le fleuve Bandama

Espèces très fréquentes	Espèces fréquentes	Espèces assez fréquentes	Espèces accessoires	Espèces accidentelles
<i>L. coubie</i> (100%)	<i>B. macrolepidotus</i> (66,6%)	<i>P. endlicheri</i> (50%)	<i>P. leonensis</i> (33,3%)	<i>M. senegalensis</i> (16,6%)
<i>B. imberi</i> (83,3%)	<i>S. bastiani</i> (66,6%)	<i>D. rostratus</i> (50%)	<i>M. rume</i> (33,3%)	<i>H. odoe</i> (16,6%)
<i>C. nigrodigitatus</i> (83,3%)	<i>S. punctifer</i> (66,6%)	<i>L. senegalensis</i> (50%)	<i>H. forskalii</i> (33,3%)	<i>L. parvus</i> (16,6%)
<i>H. isopterus</i> (83,3%)	<i>S. schall</i> (66,6%)	<i>A. occidentalis</i> (50%)	<i>M. electricus</i> (33,3%)	<i>H. fasciatus</i> (16,6%)
<i>O. niloticus</i> (83,3%)	<i>T. guineensis</i> (66,6%)	<i>S. mandibularis</i> (50%)	<i>H. bimaculatus</i> (33,3%)	<i>M. nigromarginatus</i> (16,6%)
		<i>C. anguillaris</i> (50%)	<i>C. maurus</i> (33,3%)	<i>H. niloticus</i> (16,6%)
		<i>L. niloticus</i> (50%)	<i>P. bovei</i> (33,3%)	<i>P. obscura</i> (16,6%)
		<i>T. zillii</i> (50%)	<i>R. senegalensis</i> (33,3%)	

4.3 SIMILARITES SPECIFIQUES ENTRE LES SECTION DU GRADIENT LONGITUDINAL

Les Similarités spécifiques entre les sections du fleuve Bandama sont présentées dans le tableau III. Les peuplements de poissons rencontrés en amont et dans le cours médian du fleuve Bandama sont fortement similaires à (62,96 %). Par contre, on note une faible similarité spécifique d'une part entre les peuplements de poissons de l'amont et celles de l'aval (39,13 %) et entre celles de l'aval et du cours médian (40,74 %) d'autre part.

Tableau 3. Résultats du test de similarité de Jaccard des espèces communes aux sections du fleuve

Gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la réserve	Indices de Jaccard (%)
Amont Cours médian	62,96
Amont Aval	39,13
Cours médian Aval	40,74

La valeur significative est en gras.

4.4 ANALYSE DE LA DIVERSITE DU PEUPLEMENT ICTHYOLOGIQUE

4.4.1 VARIATIONS SPATIALES ET SAISONNIERES DE L'INDICE DE SHANNON (H)

La figure 4 présente les variations spatiales et saisonnières de l'indice de Shannon des peuplements ichtyologiques suivant le gradient longitudinal (amont-aval) du fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama. Les peuplements ichtyologiques sont moins diversifiées (0 bit) et plus diversifiées (2,372 bit) en amont du fleuve Bandama dans la réserve. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne diffèrent pas significativement de l'amont vers l'aval du fleuve Bandama dans la réserve (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Au niveau saisonnier, les peuplements ichtyologiques sont moins diversifiées (0 bit) durant la saison pluvieuse et plus diversifiées (2,372 bits) pendant la saison sèche. Les valeurs médianes de l'indice de Shannon ne diffèrent pas significativement entre les deux saisons climatiques dans la réserve (test de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

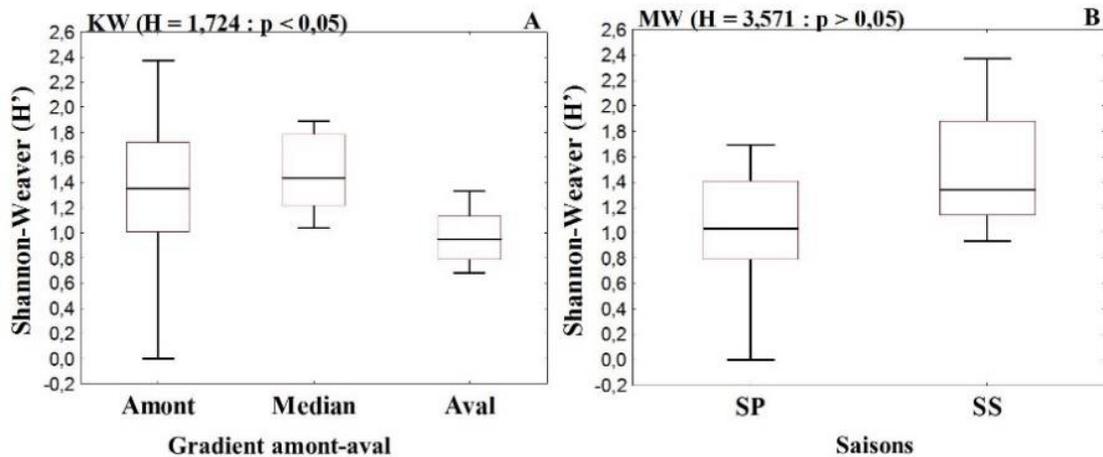


Fig. 3. Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de l'indice de diversité de Shannon des peuplements de poissons collectés suivant du fleuve Bandama

SP = Saison Pluvieuse, SS = Saison Sèche; P = au seuil de significativité de 0,05.

4.4.2 VARIATIONS SPATIALES ET SAISONNIERES DE L'INDICE D'ÉQUITABILITE (E)

La figure 5 indique les variations spatiales et saisonnières de l'indice d'équitabilité des peuplements ichtyologiques suivant le gradient longitudinal (amont-aval) du fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama. Les peuplements ichtyologiques sont moins stables et équilibrées (0) en amont et plus stables et équilibrées (1) au cours médian du fleuve Bandama dans la réserve. Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement suivant le gradient amont-aval du fleuve Bandama dans la réserve (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Les valeurs médianes de l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement entre les deux saisons climatiques dans la réserve (test de, Mann-Whitney, $p > 0,05$).

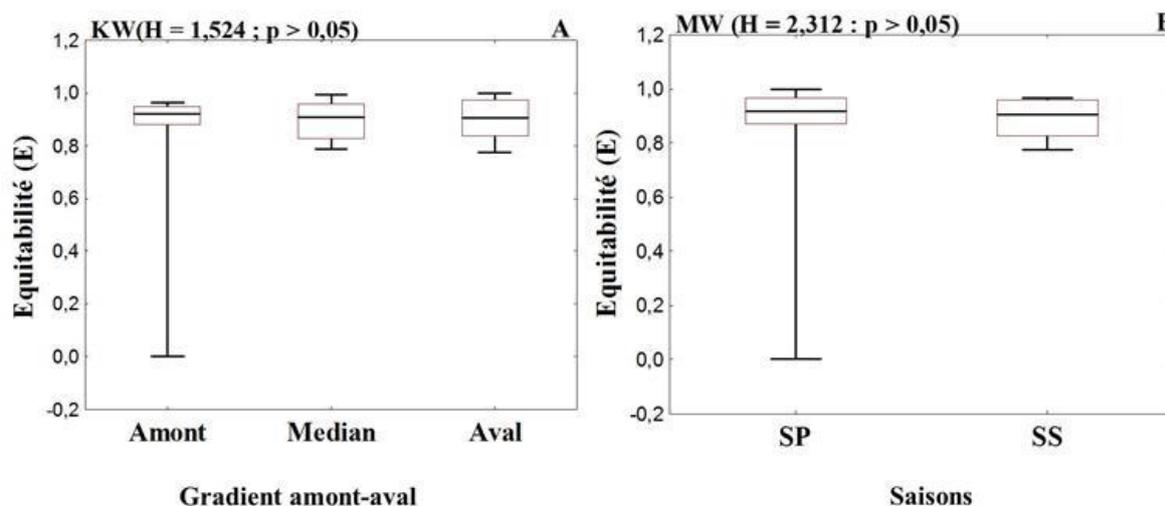


Fig. 4. Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de l'indice d'équitabilité des peuplements de poissons collectés du fleuve Bandama

SP = Saison Pluvieuse, SS = Saison Sèche; P = au seuil de significativité de 0,05.

5 DISCUSSION

La composition spécifique de l'ichtyofaune récoltée sur le fleuve Bandama dans la RFF-HB est inférieure à celles rapportées par [11] (96 espèces) et [12], qui ont recensé 47 espèces de poissons dans la même zone (en amont de la retenue de Kossou). Cette différence spécifique serait liée au matériel d'échantillonnage, la disparition d'espèces due aux altérations environnementales causées par les activités anthropiques et la zone prospectée. En effet, en ce qui concerne le matériel de pêche, [12] ont utilisés les filets monofilaments et multifilaments, les filets de dérive, les engins de pêche à l'électricité et de pêche aux ichtyotoxines. Par conséquent, l'utilisation conjuguée de ces outils ont favorisé une pêche plus diversifiée de l'ichtyofaune dans cette partie du fleuve Bandama. Par ailleurs, les activités anthropiques auraient entraîné une dégradation des habitats et une pollution de l'eau du fleuve Bandama qui influencerait le déplacement des espèces de poissons.

L'analyse relatif aux fréquences d'occurrence des espèces de poissons indique que *Labeo coubie*, *Brycinus imberi*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus* et *Oreochromis niloticus* sont très fréquemment rencontrées dans la réserve. Ce résultat montre que ces espèces seraient aptes à vivre dans différents types de biotopes et auraient une grande marge de tolérance vis-à-vis de divers facteurs environnementaux [13].

Le résultat relatif à l'organisation des peuplements piscicole du fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama indique des valeurs comprises entre 0 et 2,372 bit, pour l'indice de Shannon et entre 0 et 1, pour l'équitabilité. Ceci traduit que les peuplements ichthyologiques du fleuve Bandama dans la réserve sont relativement peu diversifiés. Cependant, elles sont stables et équilibrés. Ce constat résulterait des impacts de l'intensité des activités anthropiques observées dans la réserve.

6 CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer la diversité des peuplements ichthyologiques de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB. L'inventaire a permis de recenser 33 espèces de poissons réparties entre 17 familles et 8 ordres. *Tilapia zillii*, *Oreochromis niloticus*, *Synodontis bastiani*, *Heterobranchus isopterus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Auchenoglanis occidentalis*, *Labeo coubie* et *Brycinus imberi*, ont été rencontrées sur l'ensemble du gradient longitudinal du fleuve Bandama dans la réserve. En ce qui concerne les fréquences d'occurrences de l'ichtyofaune, *Labeo coubie*, *Brycinus imberi*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus isopterus* et *Oreochromis niloticus* sont très fréquemment rencontrées dans cette section du fleuve. L'analyse de la diversité montre que les peuplements de poissons sont moins diversifiés, cependant, elles sont plus stables et équilibrés. Vu la faible diversité de la faune ichthyologique sur le fleuve Bandama dans la réserve du Haut-Bandama, un suivi de la faune ichthyologique de cette réserve et une rationalisation des activités anthropiques permettra de mieux maîtriser les différents impacts des pollutions.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes les institutions qui ont permis la réussite de cette étude notamment l'OIPR (Office Ivoirienne des Parcs et Réserves) et l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

REFERENCES

- [1] Office Ivoirien des Parcs et Réserves, Rapport d'activités trimestriel. Abidjan, pp. 18-21, 2015.
- [2] B. Halle and V. Bruzon, Profil environnemental de la Côte d'Ivoire, Rapport final-Consortium AGRIFOR consult. 127 p., 2006.
- [3] G. Gourène, G. G. Teugels, B. Hugueny and D. F. E. Thys Van Den Audenaerde, "Évaluation de la diversité ichthyologique d'un bassin ouest africain après la construction d'un barrage," *Cybium*, 2 vol.3 no. 2, pp. 147-160, 1999.
- [4] Paugy D., Lévêque C. and Teugels G. G. (eds), Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 1. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 457 p, 2003a.
- [5] D. Paugy, C. Lévêque and G. G. Teugels (eds). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 2. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 815 p, 2003b.
- [6] R. Froese and D. Pauly, FishBase, 2012. [Online] Available: <http://www.fishbase.org>, (October 10 /2012).
- [7] F. Ramade, *Éléments d'écologie. Ecologie fondamentale*. 2ème Ed. Ediscience, Paris, 579 p., 1994.
- [8] R. Dajoz, *Précis d'écologie*. 7ième Ed. Dunod, Paris, 615 p, 2000.
- [9] P. Jaccard, *Nouvelles recherches sur la distribution florale*. Bulletin de la société. Vaudoise des Sciences Naturelles, vol.44, pp. 223-270, 1908.
- [10] C. E. Shannon, & W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, p- 44-57, 1963.
- [11] G. G. Teugels., C. Lévêque., D. Paugy. and K. Traoré, "État des connaissances sur la faune ichthyologique des bassins côtiers de Côte d'Ivoire et de l'Ouest du Ghana," *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, vol. 21, pp. 221-237, 1988.
- [12] B.R.D. Aboua, *Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama*. Thèse de Doctorat, Université Félix-Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 227p, 2012.
- [13] S. S. Yao, E. P. Kouamélan, T. Koné, V. N'douba, G. Gooré BI, F. Ollevier and D. F. E. Thys Van Den Audenaerde, "Fish communities along environmental gradients within the Comoé River basin, Côte d'Ivoire," *African Journal of Aquatic Science*, vol. 30, no. 2, pp. 185-194, 2005.

Publication N° 2

Bi Tah Thiolien Zamblé, Kouakou Roland Djéné, Jean-Renaud Allouko *, Armand Kressou and Kotchi Yves Bony, **2022**. “Size structures and length-weight relationships of three freshwater fish, *Brycinus imberi*, *Labeo coubie*, *Oreochromis niloticus*, from the Bandama river section located in Haut-Bandama Wildlife Reserve (North Central, Côte d'Ivoire),” *GSC Advanced Research and Reviews*, 2022, 13(02), 221–226.



(RESEARCH ARTICLE)



Size structures and length-weight relationships of three freshwater fish, *Brycinus imberi*, *Labeo coubie*, *Oreochromis niloticus*, from the Bandama river section located in Haut-Bandama Wildlife Reserve (North Central, Côte d'Ivoire)

Bi Tah Thirolien Zamblé, Kouakou Roland Djéné, Jean-Renaud Allouko *, Armand Kressou and Kotchi Yves Bony

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

GSC Advanced Research and Reviews, 2022, 13(02), 221–226

Publication history: Received on 02 October 2022; revised on 21 November 2022; accepted on 23 November 2022

Article DOI: <https://doi.org/10.30574/gscarr.2022.13.2.0305>

Abstract

The needs induced by the galloping demography and urbanization in the north-central part of Côte d'Ivoire have provoked strong anthropic pressures on the Bandama River, particularly its section located in the Haut-Bandama Wildlife reserve. This is reflected in the increased invasion of this watercourse by aquatic plants and algae, its enrichment in suspended matter and chemicals of all kinds. This state of the river could have repercussions on the development of biological organisms such as fish. Thus, the study aimed to determine the size structures and length-weight relationships of *Brycinus imberi*, *Labeo coubie* and *Oreochromis niloticus* from the Bandama River located in the Haut-Bandama wildlife Reserve. It was carried out along the longitudinal gradient (upstream-downstream) of the Bandama River, on 06 stations and during 08 sampling campaigns between January 2018 and February 2019. Fish specimens' lengths measurements were made with an ichthyometer, and with an electronic scale, for the weights. The analysis focused on the size structure and length-weight relationships. Length-weight Relationship (LWR) was described by the equation: $W = aL^b$. *Brycinus imberi* specimens' sizes varied from 5.3 to 13.5 cm SL. At *Labeo coubie*, the specimens have sizes that oscillate between 7.6 and 51.2 cm SL. As for *Oreochromis niloticus*, the sizes were between 8.7 and 17 cm SL. Growth appeared allometric negative with b values of 2.70 for *Brycinus imberi*, 1.08 for *Labeo coubie*, and 2.51 for *Oreochromis niloticus*.

Keywords: Size structure; Length-weight relationships; Haut-Bandama Wildlife Reserve; Bandama River; Côte d'Ivoire

1. Introduction

The galloping demographic growth and urbanization in the north-central part of Côte d'Ivoire have caused strong anthropic pressures on the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve. Indeed, the location of agribusiness industries upstream of the Haut-Bandama Wildlife Reserve, intensive agriculture, clandestine fishing using pesticides, and clandestine gold illegal panning have led to the permanent discharge of fertilizers, pesticides, and mining effluents into the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve [1, 2]. This situation has caused this watercourse to become more invaded by aquatic plants and algae, which induces its enrichment in suspended matter and chemicals of all kinds [3]. Furthermore, *Brycinus imberi*, *Labeo coubie* and *Oreochromis niloticus* are the main species encountered in the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve. However, the population highly prizes these three (03) species'. Despite the high fecundity of these species, this phenomenon would be likely to influence them negatively through the degradation of their natural habitats [4] and the reduction of the populations of these fishes in the part of the Bandama River [5]. But, like all the other species harvested in this part of the Bandama

* Corresponding author: Allouko Jean-Renaud

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

River located in this wildlife reserve, the issue of conservation and sustainable management of these species remains. Faced with this concern, determining the state of biological health and making management decisions necessary to ensure the survival of these species requires knowledge of the biology of fish populations. This knowledge can be achieved by studying these species' population structure and length-weight relationships. Thus, the study aimed to determine these species' size structures and length-weight relationships in the part of the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve.

2. Material and methods

2.1. Study site

Created in 1973, the Haut-Bandama wildlife Reserve is located between 8°10'25.3" and 8°38'25.01" north latitude and 5° 12'14.1" and 5°37'55.3" West longitude, with an area of 123,000 hectares [6]. This reserve belongs to the Sudano-Guinean sector, with an average annual rainfall of 1230 mm, daily and annual thermal amplitudes of the order of 26.6°C and a humidity rate of 35 to 79% [7].

2.2. Methodology

This seasonal study was carried out between January 2018 and February 2019, on six (06) sampling stations following the longitudinal gradient of the Bandama River in the RFF-HB. These are stations BTA and BTB in the upper course, stations BSA and BSB in the middle course and stations BYA and BYB in the lower course o (Figure 1).

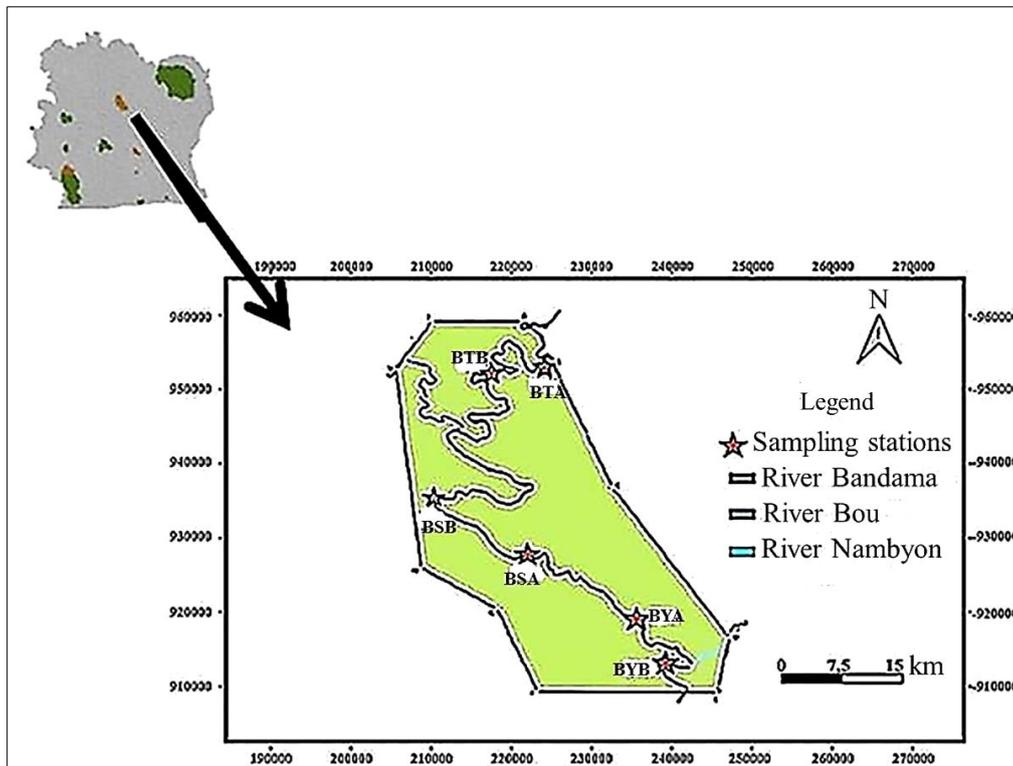


Figure 1 Study sampling stations location on the Bandama River

For ichthyofauna sampling, gillnets (10 to 40 mm square, 30 to 40 m long and 2 to 2.5 m high) and pots baited with pieces of cassava or soap in areas of weak current, were set between 17:00 and 18:00 and visited the next day between 06:00 and 07:00, for night fishing. Then, they were rested between 07:00 and 08:00 and then lifted between 15:00 and 16:00, for the daytime fishing. In addition, the hawk was used to capture the fish with these baits.

Fish specimens' measurements were made with an ichthyometer, for total and standard lengths, and with an electronic scale of precision 0.1 grams, for the weights.

The size frequency distribution was determined globally for the populations of each species collected in the main bed of the Bandama River. Length-weight Relationship (LWR) was described following Le Cren [8] equation, $P = aL^b$ where L , is the standard length of the fish in centimeters and P , the total weight of the fish in grams, the parameters a and b , representing the intercept and the allometry coefficient respectively were deduced by logarithmic linearization. The value of b gives information on the type of growth of the species considered. Growth is said to be isometric if $b= 3$ (growth in weight is equal to growth in height) and allometric if $b \neq 3$ (if $b < 3$ growth is negative allometric i.e. growth in weight is less than growth in height; if $b > 3$ growth is positive allometric or growth in weight is greater than growth in height). To test whether the values of b differ significantly from 3, Student's t test was applied.

3. Results

3.1. Size structures

The size frequency distribution expressed from the standard length (SL) of all specimens of *Labeo coubie*, *Brycinus imberi* and *Oreochromis niloticus* sampled in this part of the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve is presented in Figure 2.

The sizes of *Brycinus imberi* specimens varied from 5.3 to 13.5 cm with a median value of 9.89 cm. For this species, the specimen's size frequencies analysis indicated two modes. The size class [8.02-9.38 cm] was the first modal class and the size class [12.1-13.46 cm] was the second modal class. These two classes were representative of two groups of specimens that can be likened to two cohorts.

Concerning *Labeo coubie*, the collected specimens had sizes that varied between 7.6 and 51.2 cm with a median value of 18.82 cm. The size frequency distribution of this species was unimodal and the sizes most encountered in the captures are between 7.6 and 13.82 cm.

For *Oreochromis niloticus*, the sizes varied between 8.7 and 17 cm with a median value of 12.25 cm. Overall, the population structure of *Oreochromis niloticus* had a bimodal distribution and the collected samples had a greater number of specimens for sizes between 8.7 and 10.08 cm and between 11.46 and 12.84 cm.

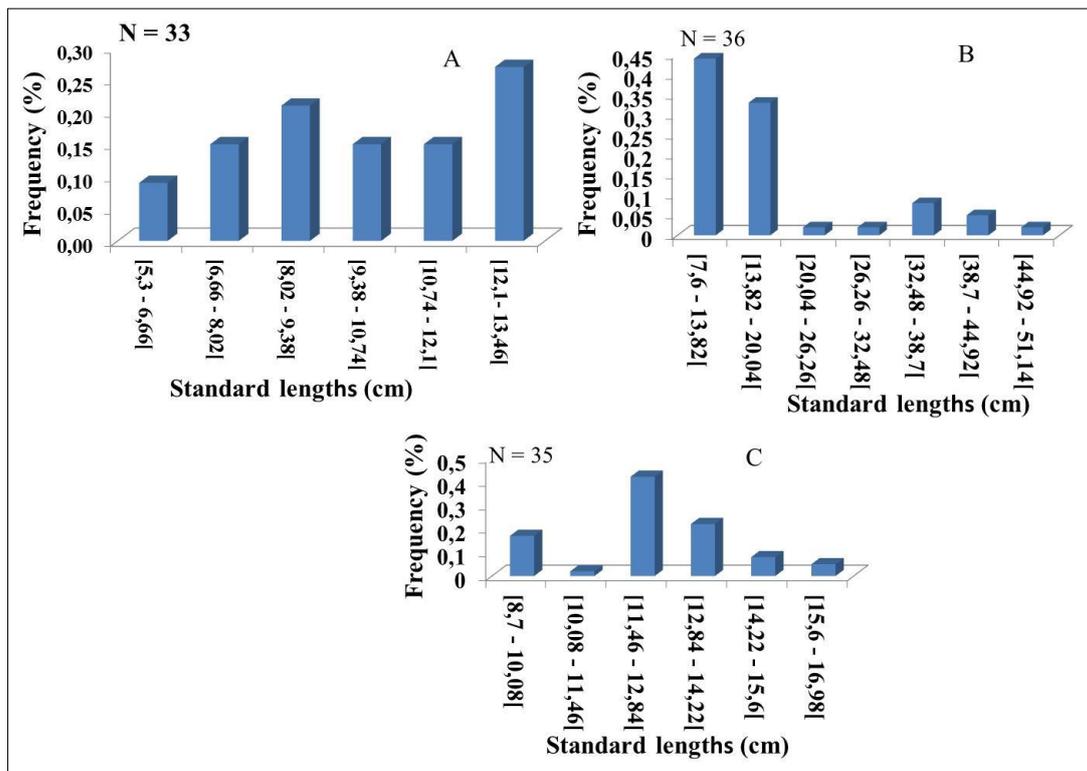


Figure 2 Size frequency distribution (SF) of *B. imberi* (A), *L. coubie* (B) and *O. niloticus* (C) populations collected in the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve

3.2. Length-weight relationships

Figure 3 shows the length-weight relationships of the populations of *Brycinus imberi*, *Labeo coubie* and *Oreochromis niloticus*. The regressions were highly significant with correlation coefficients $r = 0.92$, $r = 0.85$ and $r = 0.94$ respectively for these three species. The value of the allometry coefficient (b) was 2.70 for *Brycinus imberi*, 1.08 for *Labeo coubie* and 2.51 for *Oreochromis niloticus*. These values are lower than 3 and significantly different from 3 (threshold value) (Student's t test; $p < 0.05$). The length-weight relationship parameters of these three species were summarized in Table I.

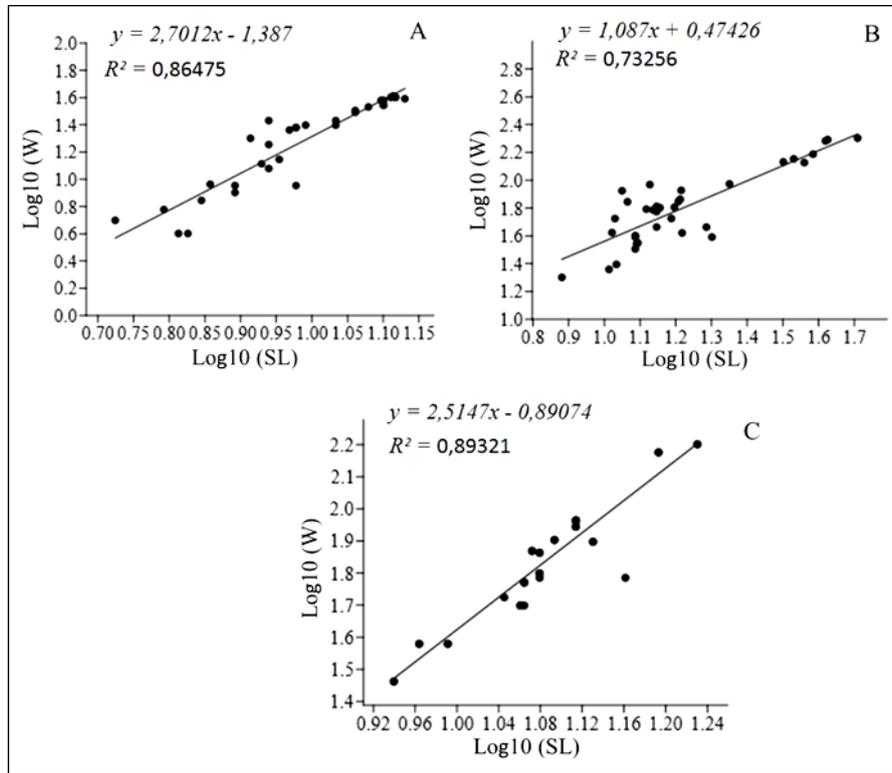


Figure 3 Regressions between length and weight of *B. imberi* (A), *L. coubie* (B) and *O. niloticus* (C) populations collected in the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve

Table 1 Length-weight relationship parameters of *B. imberi*, *L. coubie* and *O. niloticus* populations of the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve

Species	Nbr	Lengths (LS, cm)			Weights (g)			a	b	ES (b)	r	Cr
		Min	Avg	Max	Min	Avg	Max					
<i>Brycinus imberi</i>	33	5.3	9.89	13.5	4	22.91	41	-1.38	2.70	0.19	0.92	A-
<i>Labeo coubie</i>	36	7.6	19.14	51.2	20	75.84	201	0.47	1.08	0.11	0.85	A-
<i>Oreochromis niloticus</i>	35	8.7	12.1	17	29	74.62	159	-0.89	2.51	0.15	0.94	A-

Nbr = Number of specimens, Min = minimum, Max = maximum, Avg = average, a = constancy of proportionality, b = Allometry coefficient, ES = standard error, r = Correlation coefficient, Cr = type of growth and A- = negative allometry.

4. Discussion

The maximum sizes recorded in this study for *Brycinus imberi* (13.5 cm), *Labeo coubie* (51.2 cm) and *Oreochromis niloticus* (17 cm) were much smaller than the maximum sizes reported by Tal *et al.* [9], for *Brycinus imberi* (15 cm) and for *Oreochromis niloticus* (27.5 cm) in Ayame I reservoir and in Buyo reservoir (33 cm), but better than the maximum sizes reported for *Labeo coubie* (50 cm) in Buyo reservoir by these authors. However, these values recorded in this part of the Bandama River are largely lower than the maximum sizes recorded in other African waters indicated in the

literature for these fish species, which are 19.8 cm for *B. imberi* [10] ; 75 cm for *L. coubie* [11], and 60 cm for *O. niloticus* [12]. These size differences would be a consequence of the disparities in ecological factors of the study environments. In fact, the section of the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve was said to be suffering from a degradation of its ecological integrity linked to anthropic activities dominated by gold panning. This section of the Bandama River would therefore present ecological conditions that were not very favorable for fish growth. Boussou [13], in his work on the Banco, Comoé, Bia and Tanoé basins, noted that due to spatial disparities, for the taxa inhabiting these hydrosystems, the growth and maximum size observed may be different. In this area, clandestine fishing was one of the activities that clandestine fishers engage in to supply the local markets around the Haut-Bandama Wildlife Reserve with fish [1].

The calculated value of the allometric coefficient b (2.51) was less than 3, suggesting that *O. niloticus* had negative allometric growth in this section of Bandama River. Our results were consistent with those obtained by Froese & Pauly [14] who noted a negative allometry for this species (2.97), but were different from those of Sirima *et al.* [15] who noted a positive allometry ($b > 3$) for *O. niloticus* in the Comoé River basin in Burkina Faso. Concerning the genus *Brycinus*, the index of allometry coefficient recorded was less than 3 for *B. imberi* ($b = 2.70$), indicating a negative allometric growth. This result corroborates those of Sirima *et al.* [15] for this genus in the Comoé basin in Burkina Faso where b was less than 3, reflecting negative allometric growth. Our data were also similar to the values recorded in the literature by Froese & Pauly [14] who indicated a negative growth allometry ($b = 2.97$) for the genus *Brycinus*. In all species considered in this analysis, the slope of the equation relating weight and length revealed values of b less than 3. This reflecting that these fish had grown more in size than in weight throughout the main bed of the Bandama River section located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve. The low values ($b < 2.5$) observed in *Labeo coubie* could be related to the narrowness of the size classes and the number of individuals. The negative growth allometry found in this study would confirm the impact of anthropogenic pressures on these species [16, 17]: These species seem to be under enormous pressure and would be in difficult living conditions in the Haut-Bandama Wildlife Reserve [18].

5. Conclusion

This study determined the size structures and length-weight relationships of *Brycinus imberi*, *Labeo coubie* and *Oreochromis niloticus* populations from the Bandama River located in the Haut-Bandama Wildlife Reserve. On the whole, these species specimens' were smaller than those reported in the literature. In general, these species shown a negative allometric growth. These results constitute preliminary data for the study of this fish species in the Bandama River located in this Wildlife Reserve, which should help develop strategies for conservation and sustainable management of the resources of this reserve.

Compliance with ethical standards

Acknowledgments

The authors would like to thank all the institutions that made this study possible, in particular the OIPR (Ivorian Office of Parks and Reserves) and the University Jean Lorougnon Guédé of Daloa.

Disclosure of conflict of interest

No conflict of interest.

References

- [1] OIPR. Quarterly Activity Report, Ivorian Office of Parks and Reserves. Abidjan (Côte d'Ivoire). 2015, 21 p.
- [2] Kressou A., Bony K.Y., Allouko J-R. & Djene R. 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. 2019, 7(6): 330-335.
- [3] Halle B. & Bruzon V. Environmental profile of Côte d'Ivoire. AGRIFOR Consult Consortium, Framework Contract EuropeAid/119860/C/SV/Multi, Final Report, Isnes Belgium, 133 p. 2006, 127 p.
- [4] Gourène G., Teugels G.G., Hugueny B. & Thys Van den Audenaerde DFE. Evaluation of the ichthyological diversity of a West African basin after the construction of a dam. Cybium. 1999, 23(2): 147-160.

- [5] N'da D.H., N'Guessan K.E., Wajda E.M. & Affian K. Contribution of remote sensing to monitoring deforestation in the Marahoué National Park (Côte d'Ivoire). *Remote Sensing Review*. 2008, 8(1):17-34.
- [6] Lauginie F. Nature conservation and protected areas in Côte d'Ivoire. *Nouvelles Editions Ivoirienne / Hachette and Afrique Nature*, Abidjan (Ivory Coast). 2007, 668 p.
- [7] Fabio P., Njifonjou O., Assienan J., Kodjo A., Ndia Y., Salvati N. & Seghieri C. Poverty profile of communities bordering Lake Kossou in Côte d'Ivoire, Cotonou, Means of 'Sustainable Livelihoods in Fisheries in West Africa, SFLP/RT/17. 2002, 90 p.
- [8] Le Cren E.D. The length-weight relationships and seasonal cycle in gonad weight and condition in perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*. 1951, 20(2): 201-219.
- [9] Tah L., Gouli, Goore B.G. & Da Costa K.S. Length-weight relationships for 36 freshwater fish species from two tropical reservoirs: Ayamé I and Buyo, Côte d'Ivoire, *Revista de Biología Tropical*. 2012, 60(4): 1847-1856.
- [10] Paugy D. Characidae. In: Lévêque C., Paugy D. & Teugels GG (Eds.) *Fresh and brackish water fish fauna of West Africa. Volume I. Coll. Tropical Fauna No. XXVIII*. Royal Museum for Central Africa, Tervuren and ORSTOM, Paris (France). 1990, p. 195-236.
- [11] Lévêque C. & Daget J. Cyprinidae. In: Gosse J.-P and D.F.E. (Eds.). *Thys van den Audenaerde Check-list of the freshwater fishes of Africa (CLOFFA)*. ORSTOM, Paris and MRAC, Tervuren. Vol 1. 1984, p. 217-342.
- [12] Eccles D.H. *FAO species identification sheets for fishing purposes. Field guide to the freshwater fishes of Tanzania*. Prepared and published with the support of the United Nations Development Program (project URT/87/016). FAO, Rome (Italy). 1992, 145 p.
- [13] Boussou K.C. *Morphometric variations, biology and ecology of the Cichlidae Chromidotilapia guntheri (Sauvage, 1882) in the hydrosystems of eastern and southern Côte d'Ivoire*. Single doctoral thesis, University of Abobo-Adjamé, Abidjan, Ivory Coast. 2013, 163 p.
- [14] Froese R. & Pauly D. *Fish Base*. World Wide Web electronic publication. (www.fishbase.org). Electronic version (06/2014). 2014.
- [15] Sirima O., Toguyeni A. & Kabore-Zoungrana C. Y. Fish fauna of the Comoé basin and growth parameters of some species of economic interest. *International Formula Group*. All rights reserved. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*. 2009, 3(1): 95-106.
- [16] Esmaeili H.R. & Ebrahimi M. Length- weight relationships of some freshwater fishes of Iran. *Journal of Applied Ichthyology*. 2006, 22: 328-329.
- [17] Torcu-Koc H., Erdogan Z., Tinkci M. & Treer T. Age, growth and reproductive characteristics of chub, *Leuciscus cephalus* (Linné, 1758) in the Ikizcetepeler dam lake (Balikesir), Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*. 2007, 23: 19-24.
- [18] Lizama M., de Los A.P. & Ambrósio A.M. Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Brazil Journal of Biology*. 2002, 62(1): 113-124.

RESUME :

Le peuplement ichtyologique et les contenus stomacaux des poissons échantillonnés dans la section du fleuve Bandama située dans la Réserve de Faune et de Flore du Haut-Bandama (RFF-HB) ont permis d'établir la structure du réseau trophique des poissons dans cette réserve. Cette étude a été réalisée, suivant le gradient longitudinal (amont-aval) de la section du fleuve Bandama dans la réserve, sur 06 stations et durant 08 campagnes d'échantillonnage entre janvier 2018 et février 2019. La collecte des poissons issue de la pêche expérimentale a été réalisée à l'aide de filets maillants, de nasses et d'éperviers. L'inventaire de l'ichtyofaune a permis d'identifier 33 espèces réparties en 17 familles et 8 ordres. Les peuplements de poissons sont plus diversifiés dans la partie médiane (25 espèces) et dans la partie amont (24 espèces) de la réserve. Les fréquences d'occurrences de l'ichtyofaune montrent que *Labeo coubie*, *Brycinus imberi* et *Oreochromis niloticus* sont très fréquemment rencontrées sur le fleuve Bandama dans la réserve. Le statut de conservation et de vulnérabilité de l'ichtyofaune récolté sur le fleuve Bandama dans la réserve indique que *Heterobranchus isopterus* et *Malapterurus electricus* ont une vulnérabilité très élevée, respectivement de 90 % et 89 %. Quant à l'analyse de la diversité des peuplements ichtyologiques de la réserve, elle montre que les peuplements de poissons sont moins diversifiés mais plus stables et équilibrés. Les structures en tailles et les relations longueurs-poids d'*Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Synodontis bastiani* révèlent que ces espèces gagnent plus en tailles qu'en poids indiquant leurs mauvaises conditions dans le fleuve Bandama au sein de la réserve. Par ailleurs, les contenus stomacaux de quinze espèces de poissons échantillonnés ont permis de donner leurs régimes alimentaires. A travers les régimes alimentaires de ces poissons, quatre guildes trophiques ont été enregistrées. Il s'agit des piscivores, des invertivores, des macrophytophages et des phytoplanctonophages. Ainsi, il ressort de cette analyse que les espèces invertivores dominent l'ensemble de la section du fleuve Bandama dans la RFF-HB. Cependant, l'abondance des espèces invertivores aux régimes chevauchants et l'insuffisance des ressources trophiques partagées augmentent la compétition interspécifique. En outre, le réseau trophique du fleuve Bandama dans la réserve comprend quatre (4) niveaux trophiques, qui sont les producteurs, les consommateurs primaires, les consommateurs secondaires et les consommateurs terminaux. Cette structure dominée par les consommateurs indique un contrôle « top-down », montrant le mauvais état écologique du fleuve Bandama dans la réserve.

MOTS CLES : Diversité de l'ichtyofaune, composition et structure, régime alimentaire, réseau trophique, Réserve de Faune et flore du Haut-Bandama, fleuve Bandama, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT :

The fish population and the stomach contents sampled fishes in the section of the Bandama River located in the Haut-Bandama Fauna and Flora Reserve (RFF-HB) made it possible to establish the structure of the food web of fish in the reserve. This study was carried out, following the longitudinal gradient (upstream-downstream) of the section of the Bandama river in the reserve, on 06 stations and during 08 sampling campaigns between January 2018 and February 2019. The collection of fish from experimental fishing was carried out using gillnets, traps and cast nets. The inventory of ichthyofauna identified 33 species divided into 17 families and 8 orders. The fish populations are more diverse in the middle (25 species) and upstream (24 species) of the reserve. The frequencies of ichthyofauna occurrences show that *Labeo coubie*, *Brycinus imberi* and *Oreochromis niloticus* are very frequently encountered on the Bandama River in the reserve. The conservation and vulnerability status of the ichthyofauna collected from the Bandama River in the reserve indicates that *Heterobranchus isopterus* and *Malapterurus electricus* have a very high vulnerability, respectively 90 % and 89 %. As for the analysis of the diversity of fish populations in the reserve, it shows that the fish populations are less diversified but more stable and balanced. The size structures and length-weight relationships of *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* and *Synodontis bastiani* reveal that these species are gaining more in size than in weight, indicating their poor conditions in the Bandama River within the reserve. In addition, the stomach contents of fifteen species of sampled fish made it possible to give their diets. Through the diet of these fish, four trophic guilds have been recorded. These are the piscivores, invertivores, macrophytophages and phytoplanktonophages. Thus, it appears from this analysis that invertivorous species dominate the entire section of the Bandama River in the RFF-HB. However, the abundance of invertivorous species with overlapping diets and the lack of shared trophic resources increase interspecific competition. Further, the Bandama River food web comprises (4) four trophic levels, which are producers, primary consumers, secondary consumers, and terminal consumers. This consumer-dominated structure indicates top-down control, showing the poor ecological state of the Bandama River in the reserve.

KEYWORDS : Ichthyofauna diversity, composition and structure, diet, food web, Haut Bandama Fauna and Flora Reserve, Bandama River, Ivory Coast.