



**UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

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

ANNEE UNIVERSITAIRE :

2017-2018

N° D'ORDRE : 008

CANDIDAT

Nom : ALLOUKO

Prénoms : JEAN-RENAUD

THESE

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

Mention : Ecologie, Biodiversité et Evolution

Spécialité : Hydrobiologie

**Diversité des communautés de macroinvertébrés et
contribution à l'évaluation de la qualité des eaux de
la lagune Aghien (Sud-est, Côte d'Ivoire).**

JURY

Président : Mme TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE,
Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. BONY Kotchi Yves, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Rapporteur : M. DIETOA Yéhé Mathieu, Maître de Conférences,
Université Nangui ABROGOUA

Examineurs : M. KOFFI Béné Jean-Claude, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

**Soutenue publiquement
le 03 août 2019**

**M. GOORE BI GOULI, Maître de Conférences,
Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY**

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	I
DEDICACE.....	VI
REMERCIEMENTS.....	VII
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES ANNEXES.....	XVI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES.....	6
1-1 MILIEU D'ETUDE.....	7
1-1-1 Présentation de la lagune Aghien.....	7
1-1-2 Climat.....	8
1-1-3 Végétation et occupation du bassin versant.....	8
1-1-4 Hydrologie et géologie.....	9
1-2 : MACROINVERTEBRES AQUATIQUES.....	9
1-2-1 Définition.....	9
1-2-2 Biologie et écologie.....	10
1-2-2-1 Caractères généraux des macroinvertébrés.....	10
1-2-2-1-1 Arthropodes.....	10
1-2-2-1-2 Mollusques aquatiques.....	12
1-2-2-1-3 Annélides.....	13
1-2-2-2 Cycle biologique des macroinvertébrés.....	13
1-2-2-3 Habitat et écologie.....	15
1-2-2-4 Groupes trophiques des macroinvertébrés aquatiques.....	16
1-2-3 Macroinvertébrés aquatiques et bioindication.....	17
1-3 INDICES BIOTIQUES D'EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX.....	19
1-3-1 Types d'indices et quelques méthodes d'évaluation de la qualité des eaux.....	19
1-3-2 Indice biotique général.....	20
1-3-3 Indice Biologique Global Normalisé (IBGN).....	22
1-3-4 Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie.....	23
1-3-5 Indice Biologique Lacustre (IBL).....	23
1-3-6 Indice malacologique de la qualité des systèmes lacustres (IMOL).....	24

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	25
2-1 MATERIEL.....	26
2-1-1 Appareils de mesure des paramètres physico-chimiques et géographiques.....	26
2-1-2 Matériel de collecte et d'observation des macroinvertébrés	26
2-2 METHODES	28
2-2-1 Choix des sites d'échantillonnage	28
2-2-2- Description des sites d'échantillonnage.....	31
2-2-3 Collecte des données abiotiques et biotiques	37
2-2-3-1 Mesures des paramètres physico-chimiques	37
2-2-3-1-1 Mesures <i>in situ</i> des paramètres physiques	37
2-2-3-1-2 Prélèvement des échantillons d'eau et analyse en laboratoire	38
2-2-3-2 Echantillonnage des macroinvertébrés.....	38
2-2-3-3 Tri et identification des macroinvertébrés récoltés	40
2-2-4 Analyse des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien	41
2-2-4-1 Diversité brute ou richesse taxonomique	41
2-2-4-2 Pourcentage d'occurrence (F)	41
2-2-4-3 Abondances relatives et densité	42
2-2-4-4 Diversité des communautés.....	43
2-2-4-4-1 Indice de diversité de Shannon–Weaver (H').....	43
2-2-4-4-2 Equitabilité J de Piélou	43
2-2-4-5 Similarités taxonomiques entre les stations	44
2-2-4-6 Structuration trophique des communautés	44
2-2-5 Evaluation de la qualité biologique de l'eau.....	44
2-2-5-1 Indices de diversité des peuplements	45
2-2-5-1-1 Indice Chironomidae.....	45
2-2-5-1-2 Indice Oligochètes	45
2-2-5-2 Indice Malacologique de qualité globale des systèmes Lacustres (IMOL) ..	46
2-2-5-2-1 Mode de détermination de l'IMOL.....	46
2-2-5-2-2 Classes de qualité de l'IMOL.....	47
2-2-6 Traitements statistiques des données	47
2-2-6-1 Analyses univariées.....	47
2-2-6-1-1 Boîtes à moustaches.....	47
2-2-6-1-2 Tests statistiques	48

2-2-6-2 Analyses multivariées	48
2-2-6-2-1 Cartes auto-organisatrices (SOM).....	48
2-2-6-2-2 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	50
2-2-6-2-3 Classification Hiérarchique Ascendante (CHA).....	51
2-2-6-2-4 Analyse factorielle discriminante (AFD).....	51
2-2-6-2-5 Analyse de Redondance (RDA).....	52
2-2-6-2-6 Méthode «Indval»	52
 CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	54
3-1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA LAGUNE AGHIEN.....	55
3-1-1 Variations spatiales et saisonnières des paramètres	55
3-1-1-1 Température.....	55
3-1-1-2 Conductivité	56
3-1-1-3 pH	56
3-1-1-4 Oxygène dissous.....	57
3-1-1-5 Turbidité	58
3-1-1-6 Phosphore	59
3-1-1-7 Phosphate.....	60
3-1-1-8 Nitrate.....	61
3-1-1-9 Nitrite.....	62
3-1-1-9-10 Ammonium	63
3-1-1-11 Matières En Suspension	64
3-1-1-12 Demande Chimique en Oxygène.....	65
3-1-1-13 Demande Biologique en Oxygène.....	66
3-1-2 Typologie abiotique des stations	67
3-1-3 Typologie saisonnière des caractéristiques physico-chimiques des eaux	69
3-1-4- Discussion.....	72
 3-2 DIVERSITE TAXONOMIQUE ET STRUCTURE DES MACROINVERTEBRES..	77
3-2-1. Analyse qualitative des communautés	77
3-2-1-1 Composition taxonomique globale	77
3-2-1-2 Analyse des occurrences des taxons de macroinvertébrés.....	84
3-2-1-3 Structure trophique des macroinvertébrés aquatiques.....	85

3-2-1-4 Variations spatiales et saisonnières de la richesse taxonomique	87
3-2-1-5 Similarité taxonomique entre les stations	88
3-2-1-6 Déterminisme de la richesse taxonomique.....	89
3-2-1-6-1 Profil de distribution des macroinvertébrés	89
3-2-1-6-2 Facteurs déterminant la diversité des macroinvertébrés	94
3-2-2 Analyse quantitative des communautés	97
3-2-2-1 Distribution spatiale des abondances	97
3-2-2-1-1 Analyse globale des communautés	97
3-2-2-1-2 Répartition spatiale des abondances relatives des principaux ordres ...	98
3-2-2-1-3 Variations spatiales des abondances relatives des principales familles	98
3-2-2-1-4 Répartition spatiale des abondances relatives des principaux taxons .	100
3-2-2-2 Répartition saisonnière des abondances.....	101
3-2-2-2-1 Variations saisonnières de l'ensemble des communautés.....	101
3-2-2-2-2 Variations saisonnières des abondances relatives des principaux ordres	102
3-2-2-2-3 Variations saisonnières des abondances relatives des principales familles.....	103
3-2-2-2-4 Répartition saisonnière des abondances relatives des principaux taxons	104
3-2-2-3 Analyse des densités des macroinvertébrés	105
3-2-2-3-1 Variations spatiales et saisonnières des densités des principaux ordres	105
3-2-2-3-2 Variations spatiales et saisonnières des densités des principales familles.....	106
3-2-2-4 Analyse de la diversité des communautés.....	108
3-2-2-4-1 Variations spatiales et saisonnières de l'indice de diversité de Shannon	108
3-2-2-4-2 Variations spatiales et saisonnières de l'indice d'équitabilité de Piélou	109
3-2-2-5 Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des macroinvertébrés.....	110
3-2-2-5-1 Corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau et la distribution des principaux ordres des macroinvertébrés	110
3-2-2-5-2 Corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau et la distribution des principaux taxons de macroinvertébrés.....	111

3-2-2-6 Taxons indicateurs des différents types d'habitat	112
3-2-3 Discussion	114
3-3- EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX DE LA LAGUNE AGHIEN.....	124
3-3-1 Analyse de la qualité des eaux à partir des indices de diversité.....	124
3-3-1-1 Indice Chironomidae des berges : Qualité des eaux de surface	124
3-3-1-2 Qualité des eaux à partir des macroinvertébrés du sédiment	124
3-3-1-2-1 Indice Chironomidae du sédiment	124
3-3-1-2-2 Indice Oligochètes du sédiment	125
3-3-2 Analyse de la qualité des eaux à partir de l'Indice malacologique globale des systèmes Lacustres (IMOL).....	126
3-3-3 Corrélation entre les indices étudiés	127
3-3-4 Discussion	128
CONCLUSION	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	135
ANNEXES	i
PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE.....	x

DEDICACE

*Je dédie ce mémoire à ma très chère et courageuse mère **MOUGO Amon** qui depuis son sein avait cru en moi et qui malheureusement n'a pas pu être présente aujourd'hui pour voir le couronnement de tous ses efforts indéfectibles.*

*Egalement à mon père **ALLOUKO A. Georges** pour ses précieux conseils.*

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est l'aboutissement d'activités de recherche sur l'étude de la diversité des macroinvertébrés et leur contribution dans l'évaluation de l'intégrité écologique des eaux de la lagune Aghien. Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet dénommé "Projet Lagune Aghien" qui consistait pour notre part à participer à l'étude de la qualité de l'eau de la lagune Aghien. Ce projet s'inscrivait dans le cadre du Contrat de Désendettement et de Développement (C2D) financé par l'Agence Française de Développement (AFD). Pour la réalisation de ce travail, nous avons bénéficié de l'aide de nombreuses personnes physiques et morales. C'est le lieu de leur exprimer nos vifs remerciements. Nous adressons également notre profonde gratitude à toutes les personnes et institutions du projet qui ont contribué à la réalisation de cette étude. Nous remercions particulièrement :

- le Ministère des Eaux et Forêts de la République de Côte d'Ivoire à travers la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eaux pour leurs appuis institutionnels ;
- l'Agence Française de Développement (AFD) pour le financement du projet lagune Aghien;
- l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire et sa Directrice Professeur DOSSO Mireille pour leurs appuis techniques ;
- la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI) pour son appui institutionnel, technique et logistique ;
- l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) pour son appui technique et logistique ;
- le **Professeur Jean François Humbert** de l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement (EIES) de Paris pour l'opportunité qu'il nous a offerte de participer au projet "Water Sources in Africa" WASAF précurseur du projet Lagune Aghien. Ce fut pour nous une très belle expérience que nous gardons en souvenir. Nous remercions sincèrement tous les autres membres du Comité Scientifique Ivoirien notamment ceux de l'Université Jean Lorougnon Guédé et de l'Université Nangui Abrogoua pour leurs disponibilités et leurs conseils.
- le **Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE, Professeur Titulaire**, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), pour avoir accepté notre inscription en Thèse de Doctorat et pour la formation de qualité dont nous avons bénéficié ;
- le **Professeur KONE 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 (UJLoG) pour sa disponibilité ;

- le **Docteur AKAFFOU Doffou Sélastique; Maître de Conférences**, Vice-Président chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), pour avoir facilité notre inscription en Master des Sciences de la Vie et de la Terre lorsqu'il était le Directeur de l'UFR de l'Agroforesterie ;
- le **Docteur KOUASSI Kouakou Lazare; Maître de Conférences**, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche de l'Environnement (UFR- Environnement), pour avoir accepté notre inscription en Thèse de Doctorat dans l'UFR qu'il dirige. Nous adressons nos remerciements pour ses encouragements et sa sollicitude.
- le **Docteur KOFFI Béné Jean-Claude; Maître de Conférences**, Directeur du Laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale (BioEcoTrop), pour nous avoir acceptés dans son laboratoire. Merci pour son dévouement au travail bien fait et ses encouragements.
- le **Docteur BONY Kotchi Yves, Maître de Conférences** à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour nous avoir fait confiance et avoir accepté d'être notre Directeur de thèse, pour nous avoir initié et éclairé dans le domaine fascinant de l'écologie aquatique ses idées. Merci pour votre soutien inconditionnel, vos encouragements et votre amitié. La rigueur scientifique, le dynamisme et la disponibilité constante déterminent le chercheur que vous êtes. Vos qualités scientifiques et humaines, surtout votre humilité suscitent en nous une admiration et un profond respect. Que Dieu vous accorde longue vie et santé ;
- le **Docteur KONAN Koffi Félix, Maître de Conférences** à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour son soutien indéfectible et ses conseils. Docteur, nous tenons à vous remercier sincèrement pour toute la disponibilité que vous avez manifestée à notre égard aux plans scientifique et humain.
- les membres du jury qui ont accepté de contribuer à l'amélioration de ce travail notamment le Professeur **TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE**, les Docteurs **GOORE Bi Gouli, DIETOUA Yéhé Mathieu, KOFFI Béné Jean-Claude**, et **BONY Kotchi Yves**, soyez assuré de notre infinie reconnaissance pour avoir accepté de juger ce travail.
- les Docteurs **KOUAME Kouamé Martin, ALIKO N'Guessan Gustave, BOUSSOU Koffi Charles, TRA Bi Crolaud**, pour avoir accepté de contribuer à l'amélioration de ce travail par leurs esprits constructifs, leurs conseils et leurs disponibilités.
- le **Docteur EDIA Oi Edia, Maître de Conférences** à l'Université Nangui Abrogoua, pour sa contribution à cette thèse. Vos critiques et commentaires nous ont aidé dans nos réflexions scientifiques et dans l'amélioration de notre travail.
- Nous voudrions également remercier très fortement l'ensemble des enseignants-chercheurs membres de l'Unité Pédagogique Biologie et Ecologie Animale pour leur soutien et pour leur

précieuse contribution sur le plan scientifique. Leurs conseils et compétences scientifiques ainsi que leurs remarques constructives, notamment lors de la rédaction de ce mémoire ont été d'un apport appréciable.

- le **Professeur GNAKRI Dago, Professeur Titulaire**, pour nous avoir fait confiance et facilité notre insertion au sein de l'Université. Merci « Cher Maître » pour votre sens Managerial et de Leadership, Cela nous reste à l'esprit. Sachez Professeur que vous resterez un modèle pour nous ;
- le **Professeur KOUADIO YATTI Justin, Professeur Titulaire**, pour avoir accepté notre inscription en Master. Merci Professeur pour votre sens du leadership et votre disponibilité ;
- les **Docteurs KOUASSI Kouadio Daniel, YOBOUE N'guessan Lucie, ASSEMIAN N'Guessan Emmanuel, SORO Senan, AYOLIE Koutoua Constant, KOUAME Djaha, KOUASSI Kouadio Henry, N'DEPO Ossey Rorbert, TANOHI Kevin, N'GUESSAN Antoine, N'GUESSAN Sylvain, AHON Dibié Bernard, SANGNE Yao Charles** et tous ceux que nous n'avons pas pu citer. Sachez chers maîtres que nous vous sommes très reconnaissant pour votre accueil et vos encouragements inconditionnels ;
- les enseignants-chercheurs, techniciens membres du laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale (BioEcoTrop) pour leur amitié et leur aide notamment au cours des activités de tris et d'identification.
- **Mme KIPRE Ouguimré Hortense Jusèle, KAMAGATE El Adj Issouf, N'DO Bi Boli Valérie, DJENE Kouakou Roland, N'GUESSAN Konan Serge.**
- Nos parents notamment **ALLOUKO Charles, ALIDA N'Zoré, ALLOUKO Claude** et amis qui nous ont soutenus par leurs encouragements durant ces années de thèse. Que le Seigneur les bénisse et les remplisse de joie et de bonheur.
- Notre Epouse **ACHI Axelle Aurielle Epse ALLOUKO** à qui nous disons un merci particulier à pour sa compréhension, son soutien et ses encouragements.
- Nous sommes aussi très reconnaissant envers toutes ces nombreuses personnes qui n'ont pas pu être citées dans ce document et qui par leurs petits gestes ont contribué à la réalisation de ce travail.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales
AFD	: Agence Française de Développement
AFD	: Analyse Factorielle Discriminante
AFNOR	: Association française de normalisation
DBO	: Demande Biologique en Oxygène
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
EPT	: Ephéméroptère, Plécoptère et Trichoptère
EPTC	: Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GSP	: Grande Saison des Pluies
GSS	: Grande Saison sèche
IBGN	: Indice Biologique Global Normalisé
IBL	: Indice biologique lacustre
IBNC	: Indice Biotique de la Nouvelle Calédonie
IMOL	: Indice malacologique globale des systèmes Lacustres
IndVal	: "Indicator Value" (Valeur Indicatrice)
MES	: Matière en En Suspension
MIB	: MacroInvertébrés Benthiques
PSP	: Petite Saison des Pluies
PSS	: Petite Saison Sèche
SOM	: Self Organizing Mapping
UNT	: Unité Néphélométrique de Turbidité
WASAF	: Water Sources in Africa

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Échelle de tolérance des grands groupes taxonomiques selon Nahmani <i>et al.</i> (2006).	19
Tableau II : Classification des groupes faunistiques en fonction de leur indication sur la qualité de l'eau	21
Tableau III : Liste des 138 taxons utilisés comme bioindicateurs	22
Tableau IV : Coordonnées géographiques et données mésologiques des stations d'échantillonnage	30
Tableau V : Tableau de détermination de l'indice Malacologique de qualité globale des systèmes Lacustres (IMOL)	46
Tableau VI : Classes de qualité de l'indice IMOL.....	47
Tableau VII : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien.....	69
Tableau VIII : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur la variabilité saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien.....	71
Tableau IX : Compositions et occurrences des taxons de macroinvertébrés dans les différentes stations de la lagune Aghien.....	79
Tableau X : Pourcentage par station (en %) des catégories de taxons de macroinvertébrés définies sur la base des occurrences.....	85
Tableau XI : Valeurs de l'indice de Jacard traduisant les similarités taxonomiques entre les stations d'échantillonnage de la lagune Aghien.....	88
Tableau XII : Différentes tailles de la carte de Kohonen et les erreurs de quantification et de topographie correspondantes.....	89
Tableau XIII : Résultats de la classification obtenue par l'analyse factorielle discriminante et le test "leave-one-out" de validation croisée.....	96
Tableau XIV : Récapitulatif des abondances des macroinvertébrés récoltés aux différentes stations étudiées dans la lagune Aghien.....	97
Tableau XV : Abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés aux différentes stations.	99
Tableau XVI : Abondances relatives des principaux taxons de macroinvertébrés aux différentes stations d'échantillonnage.....	101

Tableau XVII : Variations saisonnières des abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien.....	102
Tableau XVIII : Variations saisonnières des abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien.....	103
Tableau XIX : Variations saisonnières de l'abondance des principaux taxons macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien.....	104
Tableau XX : Variations spatiales des densités surfaciques des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien. ...	105
Tableau XXI : Variations spatiales des densités surfaciques principales familles de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des stations de la lagune Aghien.	107
Tableau XXII : Données relatives à l'indice Chironomidae des macroinvertébrés collectés sur les substrats immergés des stations situées sur les berges.....	124
Tableau XXIII : Données relatives aux indices Chironomidae et de diversité des macroinvertébrés collectés dans le sédiment des stations d'échantillonnage.	125
Tableau XXIV : Données relatives à l'indice Oligochètes des macroinvertébrés collectés dans le sédiment des stations d'échantillonnage.	125
Tableau XXV : Mollusques du sédiment des stations pris en compte par l'IMOL	126
Tableau XXVI : Variations spatiales de l'indice IMOL et des états biologiques	127
Tableau XXVII : Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les indices étudiés dans le sédiment des stations d'échantillonnage	127

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la lagune Aghien (en gris clair) au sud-est de la Côte d'Ivoire.....	7
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Bingerville à partir des moyennes des données de 2006 à 2015	8
Figure 3 : Photographies du matériel utilisé pour la mesure des paramètres physico-chimiques de la lagune Aghien.....	27
Figure 4 : Photographies du matériel utilisé pour la mesure des paramètres physico-chimiques et l'échantillonnage des macroinvertébrés de la lagune Aghien	28
Figure 5 : Localisation des stations d'échantillonnage sur la lagune Aghien.....	29
Figure 6 : Vue partielle de la Station P1 à proximité de l'embouchure de la rivière Bété.....	31
Figure 7 : Vue partielle de la Station P2 proche du village Débarcadère	32
Figure 8 : Vue partielle de la Station P3 à proximité de l'embouchure de la rivière Djibi.....	32
Figure 9 : Vue partielle de la Station P4 proche du village Eleis	33
Figure 10 : Vue partielle de la Station P5 sur l'axe reliant les villages Eleis et Akandjé.....	33
Figure 11 : Vue partielle de la Station P6 à proximité du village Akandjé.....	34
Figure 12 : Vue partielle de la Station P7 P7 entre les villages Aguien et Akandjé	34
Figure 13 : Vue partielle de la Station P8 à proximité du village Aguien	35
Figure 14 : Vue partielle de la Station P9 entre les villages Aguien et Aguien Télégraphe	36
Figure 15 : Vue partielle de la Station P10 à proximité du village AguienTélégraphe	36
Figure 16 : Vue partielle de la Station P11 proche de l'embouchure de la rivière Mé	37
Figure 17 : Echantillonnage des macroinvertébrés aquatiques à l'aide d'un filet troubleau.....	39
Figure 18 : Echantillonnage des macroinvertébrés aquatiques à l'aide de la benne Van Veen	39
Figure 19: Schéma annoté d'une boîte à moustaches ou "Boxplot"	48
Figure 20 : Schéma simplifié de la carte auto organisatrice de Kohonen	49
Figure 21 : Variations spatiales et saisonnières de la température des eaux de la lagune Aghien.	55
Figure 22 : Variations spatiales et saisonnières de la conductivité des eaux de la lagune Aghien.	56
Figure 23 : Variations spatiales et saisonnières du pH des eaux de la lagune Aghien.....	57
Figure 24 : Variations spatiales et saisonnières de l'oxygène dissous des eaux de la lagune Aghien	58
Figure 25 : Variations spatiales et saisonnières de la turbidité des eaux de la lagune Aghien.	59

Figure 26 : Variations spatiales et saisonnières de la teneur en phosphore des eaux de la lagune Aghien	60
Figure 27 : Variations spatiales et saisonnières de la teneur en phosphate des eaux de la lagune Aghien	61
Figure 28 : Variations spatiales et saisonnières de la teneur en nitrate des eaux de la lagune Aghien	62
Figure 29 : Variations spatiales et saisonnières de la teneur en nitrite des eaux de la lagune Aghien	63
Figure 30 : Variations spatiales et saisonnières de la teneur en ammonium des eaux de la lagune Aghien	64
Figure 31 : Variations spatiales et saisonnières de la matière en suspension des eaux de la lagune Aghien	65
Figure 32 : Variations spatiales et saisonnières de la Demande Chimique en Oxygène des eaux de la lagune Aghien	66
Figure 33 : Variations spatiales et saisonnières de la Demande Biologique en Oxygène des eaux de la lagune Aghien	67
Figure 34: Analyse en Composantes Principales réalisée sur la base des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien	68
Figure 35 : Classification hiérarchique des stations d'échantillonnage de la lagune Aghien à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques	69
Figure 36 : Analyse en Composantes Principales sur les variables physico-chimiques mesurés aux différentes saisons dans les eaux de la lagune Aghien	71
Figure 37 : Proportion des classes de macroinvertébrés de la lagune Aghien à partir de leur nombre de familles	83
Figure 38 : Nombre de taxons collectés dans les ordres de macroinvertébrés de la lagune Aghien	83
Figure 39 : Proportions globales en nombre de taxons des six groupes fonctionnels alimentaires des macroinvertébrés de la lagune Aghien	86
Figure 40 : Proportions en nombre de taxons des groupes fonctionnels alimentaires de macroinvertébrés aquatiques échantillonnés aux différentes stations	86
Figure 41 : Variations spatiales et saisonnières de la richesse taxonomique des macroinvertébrés de la lagune Aghien	87
Figure 42 : Classification hiérarchique des cellules de la SOM sur la base des taxons de macroinvertébrés	90

Figure 43 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des des données de présence/absence de macroinvertébrés.....	90
Figure 44 : Profil de distribution des taxons de macroinvertébrés à partir des échantillonnages	92
Figure 45 : Regroupement des taxons de macroinvertébrés dans les quatre groupes définis par la SOM	94
Figure 46 : Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur les groupes (I à IV) établis par la SOM et les variables physico-chimiques.....	95
Figure 47 : Cercle de corrélation des variables environnementales discriminant les groupes dans le plan F1 x F2 de l'Analyse Factorielle Discriminante.....	96
Figure 48 : Abondances relatives des principaux ordres à partir des effectifs de macroinvertébrés aquatiques aux différentes stations d'échantillonnage de la lagune Aghien	98
Figure 49 : Variations saisonnières des abondances globales des macroinvertébrés récoltés dans la lagune Aghien.....	101
Figure 50 : Variations saisonnières des densités des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien	106
Figure 51 : Variations saisonnières des densités des principales familles de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien	107
Figure 52 : Variations spatiales et saisonnières de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien (CI)	108
Figure 53 : Variations spatiales et saisonnières de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien	109
Figure 54 : Analyse de Redondance (RDA) des ordres de macroinvertébrés et des variables environnementales.....	111
Figure 55 : Analyse de Redondance (RDA) mettant en évidence les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés de la lagune Aghien.	112
Figure 56 : Typologie abiotique des stations et les taxons indicateurs associés avec les valeurs indicatrices entre parenthèses.....	113

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Fiche de terrain de collecte des données mésologiques.....	ii
Annexe 2 : Résultats du test de Shapiro-Wilk effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire).	iii
Annexe 3 : Proportions des stations dans les différents groupes définis par la SOM en fonction de la classification des échantillons.....	iv
Annexe 4 : Corrélations variables environnementales et les axes de l'AFD	v
Annexe 5 : Publications issues de la thèse	vii

INTRODUCTION

L'eau est une ressource primordiale pour la survie de tout être vivant et sa disponibilité a toujours été au cœur des préoccupations. L'eau douce est aussi essentielle pour la vie et joue un rôle central dans le développement des civilisations humaines (Naiman *et al.*, 1997).

Les plans d'eau jouent un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité, le fonctionnement des organismes et les cycles des matières organiques. Aussi, les plans d'eau sont-ils fortement influencés par la végétation, la géologie et les activités humaines dans leur bassin versant. Ces activités modifient la nature des sols et des voies hydrologiques et affectent inévitablement l'interface terre-eau (Bédia *et al.*, 2009). Toutes ces modifications sur l'usage du sol et de l'eau auront des effets directs sur le fonctionnement et la structure de la biocénose aquatique qui est une résultante de la qualité de l'eau. Les impacts des activités anthropiques sur la biocénose aquatique sont très divers. Parmi ces activités, quatre peuvent être considérées comme principales selon Ibarra *et al.* (2005) : la pêche, l'usage de l'eau, l'usage du sol et l'introduction d'espèces aquatiques. Par ailleurs, la diversité des communautés biologiques aquatiques est déterminante dans le fonctionnement des écosystèmes et elles reflètent les conditions du bassin versant parce qu'elles sont sensibles aux changements de nombreux facteurs environnementaux (Karr & Chu, 1997 ; Kinzig *et al.*, 2002).

En effet, l'utilisation efficiente des plans d'eau notamment pour les besoins en eau potable et des activités économiques comme la pêche, l'aquaculture, la navigation... impose d'en connaître le fonctionnement qui passe par l'évaluation de son intégrité biotique. L'évaluation de la qualité biologique des eaux de surface, un aspect de l'écologie aquatique, renseigne sur les relations existantes entre les organismes vivants et l'eau, puis les relations des organismes entre eux.

Ainsi, au cours des dernières décennies, les scientifiques ont progressivement mis en place les outils permettant de mieux connaître l'eau, cet élément liquide indispensable à la vie (Karr & Chu, 2000). En effet, avec le développement de la biologie des pêches, les ichthyologues se sont intéressés aux poissons en tant que ressource alimentaire, tandis que séparément certains hydrobiologistes se souciaient du monde des végétaux et de celui des invertébrés aquatiques (Esquieu, 2001). Avec la sensibilisation sur les pollutions, les chimistes se sont préoccupés des différents apports exogènes tels que les rejets des eaux usées et les géographes ont attiré l'attention sur le fonctionnement physique des cours d'eau de plus en plus sollicités par une grande diversité d'aménagements.

En outre, le sommet de la Terre de Rio en 1992, qui a eu pour résultat principal l'élaboration des conventions sur le développement durable et sur la biodiversité, a admis que les systèmes d'évaluation de la qualité des eaux de surface doivent désormais tenir compte des critères

biologiques (Fishar & Williams, 2008). Ces systèmes ont été désignés sous le vocable de normes dites de «nouvelle génération» (Hart *et al.*, 1999). Cette nouvelle génération de systèmes de surveillance de la qualité des eaux de surface a consisté en la mise en place des indices biotiques à partir des organismes aquatiques tels que les macroinvertébrés (Hellawell, 1986 ; Karr & Chu, 1999).

En effet, pour le contrôle de la qualité des eaux, les méthodes d'analyses physico-chimiques ont toujours été utilisées. Cependant, ces méthodes donnent seulement des informations du moment de la prise d'échantillons, alors que la situation entre les analyses consécutives restera inconnue. En plus, mesurer la qualité d'une eau du point de vue chimique pour détecter le facteur polluant a un coût élevé. A cet effet, plusieurs études ont été menées sur les systèmes lagunaires en Côte d'Ivoire en prenant en compte uniquement les paramètres physico-chimiques. C'est le cas des études de Yao *et al.*, (2009) sur la pollution des eaux de la zone périurbaine de la lagune Ebrié, celles de Traoré *et al.*, (2015) sur le niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagune Aghien et Potou. Yéo (2015) a étudié la dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments du système lagunaire Aghien-Potou pendant que Kambiré *et al.* (2014) ont travaillé sur la caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Cote d'Ivoire: la lagune Aby.

Par ailleurs, les méthodes biologiques développées à partir des indices biologiques basés sur les organismes aquatiques semblent constituer une alternative intéressante à la détection chimique (Humbert, 2012). Ces méthodes, utilisant les organismes vivants, ont l'avantage d'être simple et facile à mettre en œuvre. La fiabilité de leurs résultats les rend très adéquats pour les contrôles de routine des bassins fluviaux et lagunaires. Du point de vue de l'efficacité, ces méthodes répondent à des critères qui concernent la qualité des eaux en plus des effets des caractéristiques naturelles du milieu et les influences anthropiques. Elles sont, par conséquent, capables de refléter l'existence de composés chimiques non détectés analytiquement, ainsi que l'influence négative de l'interaction entre éléments qui, séparément, ne sont pas considérés comme nocifs. Parmi ces méthodes biologiques, existent celles basées sur les macroinvertébrés aquatiques qui sont des organismes dont la taille en fin de développement larvaire est supérieure au millimètre (Mary & Archaimbault, 2012). De nombreux indices biotiques, pour la plupart basés sur l'abondance ou la richesse d'un certain nombre de groupes taxonomiques indicateurs, ont été développés (Rosenberg & Resh, 1993). En effet, les macroinvertébrés constituent un groupe taxonomique très hétérogène et très fréquemment utilisé à cet effet. Ils ont une durée de vie assez longue et forment des communautés diversifiées, généralement abondants (Metcalf, 1989). Cette grande diversité spécifique confère à ce groupe une grande diversité de réponses

potentielles aux perturbations, ce qui en fait de bons candidats pour la bioévaluation (Rosenberg & Resh, 1993). Le choix des macroinvertébrés se justifie également par les avantages qu'ils ont de se trouver sur tous types de substrats en toutes saisons, de vivre pour certains, inféodés à quelques types de microhabitats, avec des déplacements actifs réduits à quelques dizaines de mètres. En outre, ils sont faciles à échantillonner et leur taxonomie est de plus en plus bien connue. Les organismes composant ce groupe possèdent des sensibilités diverses aux variations spécifiques de l'environnement induites par la pollution ou la modification de l'habitat (Hessé *et al.*, 2014).

A cet effet, plusieurs systèmes de surveillance de l'état d'intégrité biotique basés sur les macroinvertébrés ont été élaborés pour une gestion durable des milieux aquatiques (Hart *et al.*, 1999). Beck (1955) parle pour la première fois d'indice biotique en classant les macroinvertébrés selon leur tolérance face à une pollution organique. Mais, cet indice ne tient pas compte de la diversité des organismes. Par la suite, beaucoup d'autres indices vont être élaborés. La majorité a été réalisée dans les pays européens. En Angleterre, il y a le Biological Monitoring Working Party (BMWP) (Chesters, 1980) et le Average Score Per Taxon (ASPT) (Armitage *et al.*, 1983). En France, l'Indice Biotique (IB) a été développé par Verneaux & Tuffery (1967). Les réajustements de celui-ci vont conduire ensuite, à l'Indice Biologique Global (Verneaux *et al.*, 1982) puis à l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (AFNOR, 1992). Toujours en France des études ont été menées avec l'Indice Malacologique de systèmes Lacustres (IMOL) dans des lacs (Mouthon, 1993) et pour évaluer les plans d'eau avec l'indice Oligochètes (Durocher, 2016).

La plupart des études menées sur l'utilisation des macroinvertébrés comme bioindicateurs ont été réalisées de façon générale dans des rivières ou retenues d'eau de faibles profondeurs. En France, où les macroinvertébrés sont mieux connus (Agences de l'Eau, 1993), divers indices basés sur les macroinvertébrés sont développés pour les eaux courantes de faibles profondeurs et souvent sur des lacs (Mouthon, 1993). Ainsi, l'approche est très peu développée dans les systèmes de grandes étendues comme les lagunes.

Par ailleurs, en Côte d'Ivoire, les données sur l'utilisation des macroinvertébrés comme bioindicateurs pour l'évaluation de la qualité des eaux sont quasiment inexistantes. Pourtant, leur utilisation courante dans plusieurs pays (Mouthon, 1993 ; Gratton, 2010 ; Durocher, 2016) permet de transposer et d'adapter des protocoles expérimentaux éprouvés au contexte ivoirien. Compte tenu du fait qu'il n'existe pas de données sur la tolérance ou l'intolérance des taxons à la pollution pour la Côte d'Ivoire, des adaptations de catégories peuvent être faites.

Aussi, au regard de la forte demande en eau potable de la ville d'Abidjan et des menaces pesant sur les ressources en eau du bassin sédimentaire, la lagune Aghien pourrait constituer une alternative pour l'approvisionnement en eau des populations. Cependant, l'état d'intégrité biotique de l'eau de cette lagune n'a pas encore été évalué pour détecter la présence éventuelle de risques sanitaires.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la qualité écologique de l'eau de la lagune Aghien à partir de l'étude des communautés des macroinvertébrés aquatiques. Il s'agit de façon spécifique de :

- caractériser l'environnement abiotique de la lagune Aghien ;
- déterminer la composition taxonomique et la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques de la lagune Aghien ;
- déterminer l'état d'intégrité biotique des eaux de la lagune Aghien à partir des macroinvertébrés.

Le présent mémoire est structuré en trois principaux chapitres. Le premier chapitre, relatif aux généralités, fait référence à la description du milieu d'étude avant de donner un aperçu sur les macroinvertébrés aquatiques ainsi que sur les indices biotiques d'évaluation de la qualité des eaux. Le second chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés pour l'étude. Enfin, le troisième chapitre est consacré à la présentation des données d'étude et à la discussion des résultats obtenus. Le mémoire s'achève par une conclusion.

CHAPITRE I : GENERALITES

1-1 MILIEU D'ETUDE

1-1-1 Présentation de la lagune Aghien

La lagune Aghien est située dans le département de Bingerville au Sud-Est de la Côte d'Ivoire entre les latitudes $5^{\circ}22'N$ et $5^{\circ}26'N$ et les longitudes $3^{\circ}49'W$ et $3^{\circ}55'W$ (Figure 1). Elle se trouve au Nord de la lagune Ebrié de laquelle elle est séparée par la lagune Potou qui communique avec elle par un chenal naturel (Bédia *et al.*, 2009 ; Humbert, 2012 ; Traoré *et al.*, 2012). La lagune Aghien a une forme allongée avec une superficie de 19 km^2 et se trouve dans un bassin versant de 340 km^2 (Konan *et al.*, 2015). Le système lagunaire Aghien-Potou s'étend sur 72 km de périmètre et 32 km de longueur dans l'axe médian. Cette lagune peut atteindre 11 m de profondeur en certains points (Tastet & Guiral, 1994).

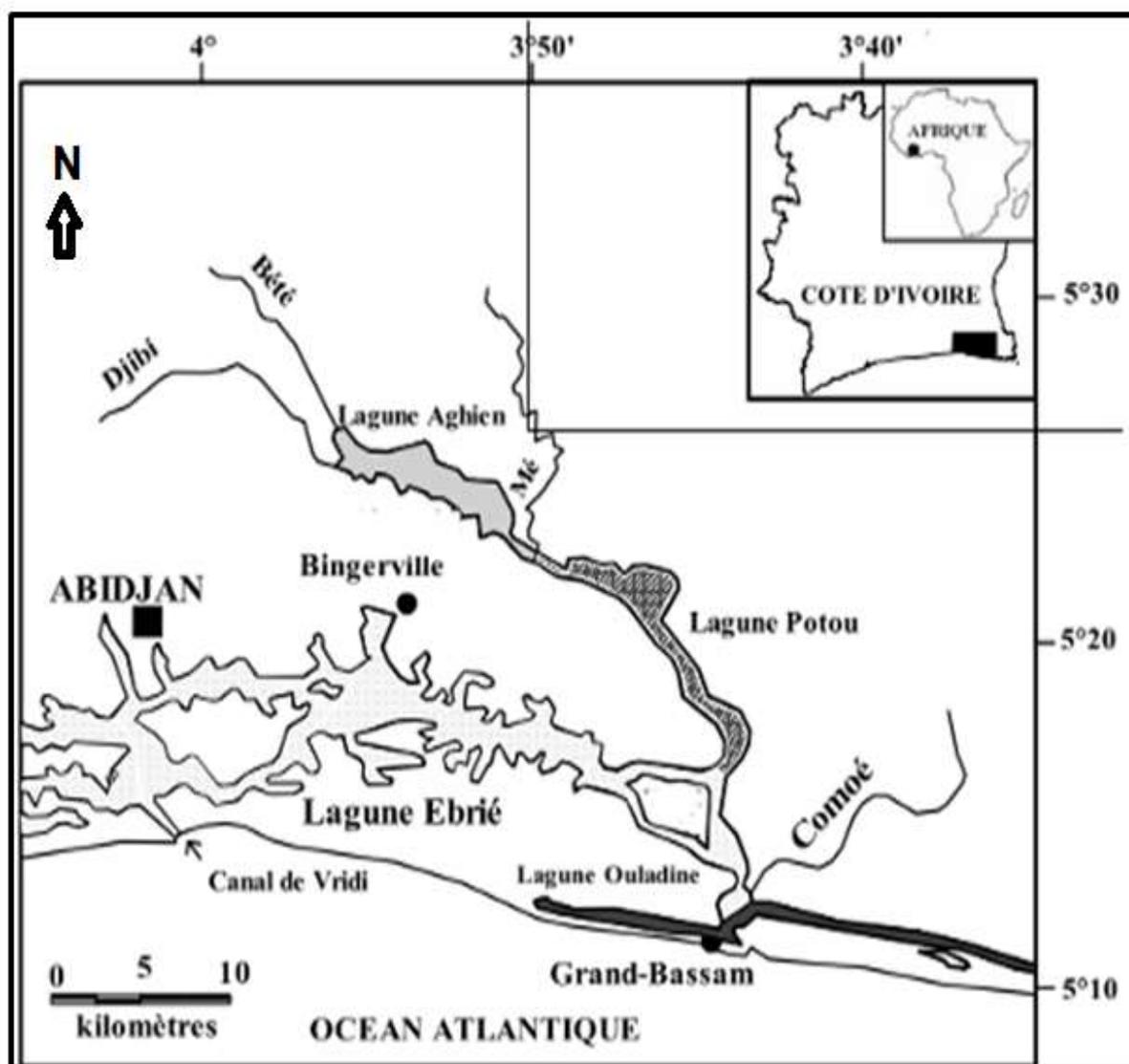


Figure 1 : Localisation de la lagune Aghien (en gris clair) au sud-est de la Côte d'Ivoire (Bédia *et al.*, 2009).

1-1-2 Climat

Le climat de la zone d'étude est de type équatorial caractérisé par quatre saisons dont une grande saison sèche de décembre à mars, une grande saison des pluies d'avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre et une petite saison des pluies d'octobre à novembre (Figure 2). C'est une zone pluvieuse, avec des précipitations moyennes annuelles supérieures à 1500 mm et pouvant atteindre 1756 mm (Traoré *et al.*, 2015).

Le mois de janvier est le plus sec avec une température moyenne de 26,6°C et environ 15 mm de précipitations. Le mois de juin, avec une moyenne d'environ 500 mm, affiche les précipitations les plus importantes (Traoré *et al.*, 2015).

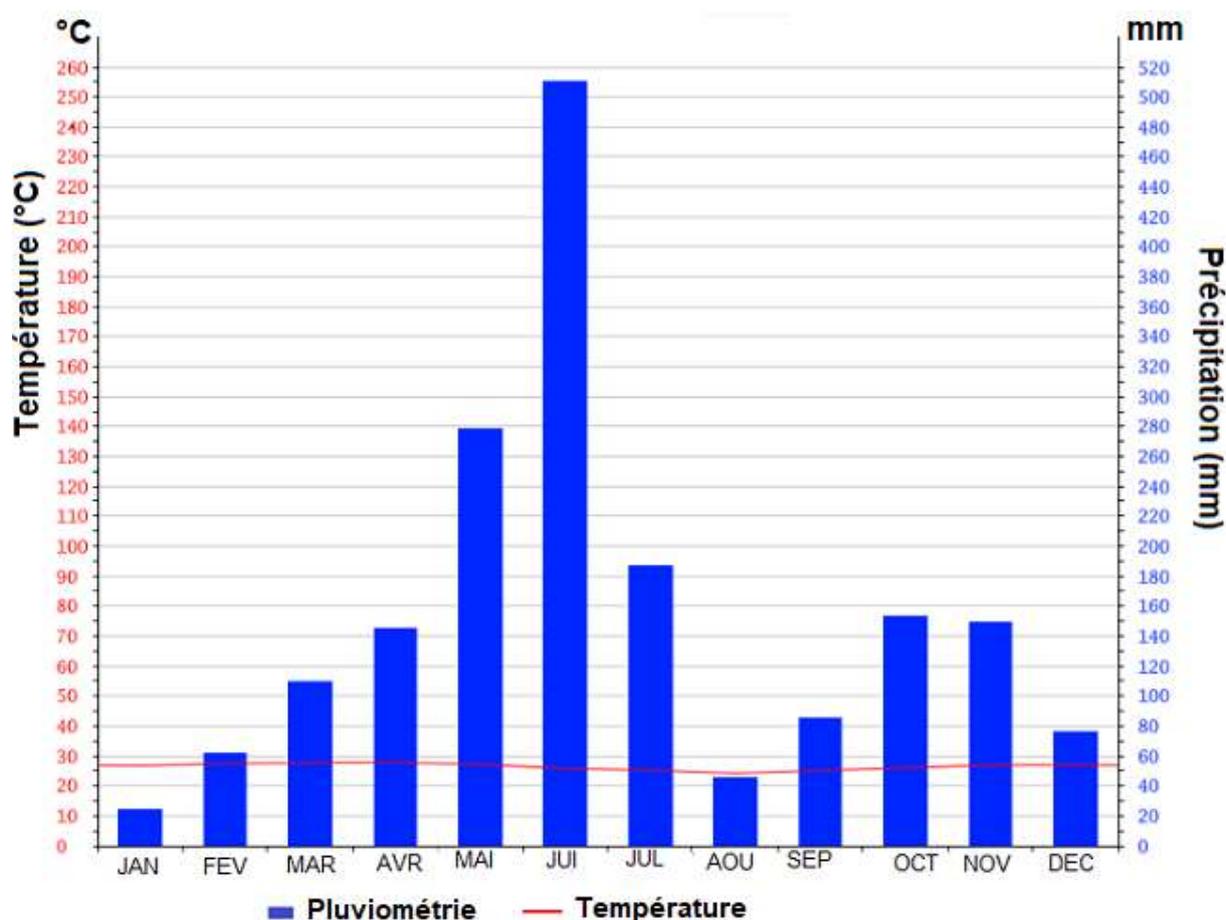


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Bingerville à partir des moyennes des données de 2006 à 2015 (Anonyme, 2015)

1-1-3 Végétation et occupation du bassin versant

Le département de Bingerville dans laquelle se trouve la lagune Aghien est essentiellement couvert par la forêt dense sempervirente et ombrophile fortement dégradée à cause des activités anthropiques en l'occurrence l'expansion et la création des plantations de palmiers à huile, d'hévéa, de manioc, de cocotiers, de bananiers et l'urbanisation galopante (Traoré *et al.*, 2012).

Par ailleurs, les berges du plan d'eau lagunaire sont recouvertes par endroit par des plantes aquatiques telles que les Poacées (*Echinochloa pyramidalis*), les Pontédériacées (*Eichhornia crassipes*) et Aracées (*Pistia stratiotes*) (Bédia *et al.*, 2009). Aussi, le bassin versant de la lagune Aghien est occupé par des villages (notamment Akandjè, Débacardère, Aguien, Télégraphe...), des plantations d'hévea, de palmier à huile, de manioc, de cocotiers, de bananiers et les jachères (Traoré *et al.*, 2015).

1-1-4 Hydrologie et géologie

Le bassin versant de la lagune Aghien renferme un réseau hydrographique très important composé des rivières Bété, Djibi et Mé. La Bété et la Djibi débouchent directement dans la lagune Aghien et la Mé débouche dans le canal naturel entre les lagunes Aghien et Potou (Figure 1). Dans cette lagune, l'eau est toute l'année quasi exclusivement d'origine continentale (Guiral & Ferhi, 1989).

La géologie de la zone d'étude est marquée par deux unités géologiques dont les formations sédimentaires situées au Sud et les formations du socle cristallin et cristallophyllien situées à l'extrême Nord. Les formations sédimentaires sont constituées de roches détritiques du Tertiaire et du Quaternaire. Le bassin sédimentaire, qui occupe la majeure partie de la zone, présente des sables et des vases quaternaires sur le bord Est de la lagune Aghien (Delor *et al.*, 1992). Les sables, argiles et grès ferrugineux du continental terminal sont les plus abondants (Traoré *et al.*, 2015). Deux types d'aquifères sont rencontrés dans la zone d'Aghien en l'occurrence les aquifères discontinus du socle et les aquifères continus du bassin sédimentaire (Traoré *et al.*, 2012).

1-2 : MACROINVERTEBRES AQUATIQUES

1-2-1 Définition

Les macroinvertébrés sont des organismes dépourvus de colonne vertébrale et visibles à l'œil nu (macro) car ils mesurent plus de 0,5 mm (Touzin, 2008). Ils regroupent principalement les Arthropodes, les mollusques et les annélides (Vers). Leur habitat est fait de matière submergée comme la litière, les branches, les débris de bois et les algues mais aussi du sédiment. Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes faisant partie du benthos, c'est-à-dire dont la forme adulte au moins vit sur ou dans le substrat de fond (benthique) d'un cours d'eau, des lacs et des marais (Touzin, 2008).

En eau douce, les macroinvertébrés aquatiques sont majoritairement représentés par les Insectes (quasi absents des milieux marins et très saumâtres) qui constituent généralement le groupe taxonomique le plus diversifié. Ces derniers représentent près de 95% des macroinvertébrés présents en zone lotique (Lee *et al.*, 2006 ; MDDEFP, 2013). On les trouve sous la forme de larves, de nymphes et de quelques adultes aquatiques. Les principaux ordres d'Insectes aquatiques sont les suivants : Éphéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Diptères, Coléoptères, Mégaloptères, Hémiptères, Odonates et Lépidoptères (Gagnon & Pedneau, 2006). Dans les systèmes lentiques, les communautés de macroinvertébrés se distinguent en deux principaux groupes (Pöllabauer & Bargier, 2004) :

- les macroinvertébrés benthiques vivant sur le fond qui comprennent des groupes tels que les larves d'Odonates (larves de Libellules) marchant sur le fond, les Mollusques, les Vers, les larves de Trichoptères et de Diptères, etc. ;
- et les macroinvertébrés pélagiques et de surface tels que les Hétéroptères (punaises aquatiques), sous-ordre des Hémiptères, les Coléoptères, les Acariens qui restent une partie du temps en surface ou font des va-et-vient entre la surface et le fond.

1-2-2 Biologie et écologie

1-2-2-1 Caractères généraux des macroinvertébrés

1-2-2-1-1 Arthropodes

Les Arthropodes du grec *arthron* « articulation » et *podos* « pied », aussi appelés « articulés » sont un embranchement d'animaux protostomiens dont le plan d'organisation est caractérisé par un corps segmenté. Ils sont formés de métamères hétéronomes munis chacun d'une paire d'appendices articulés et recouvert d'une cuticule ou d'une carapace rigide, qui constitue leur exosquelette, dans la plupart des cas constitué de chitine. Leur mue permet, en changeant périodiquement leur squelette externe, de grandir en taille (mue de croissance) ou d'acquérir de nouveaux organes, voire de changer de forme (mue de métamorphose). L'embranchement des arthropodes est de très loin celui qui possède le plus d'espèces et le plus d'individus de tout le règne animal et des eucaryotes (80 % des espèces connues). Les arthropodes renferment les classes des Myriapodes, crustacés, arachnides, insectes, etc (Tachet *et al.*, 2003).

Insectes aquatiques

Les Insectes sont des invertébrés appartenant à l'embranchement des Arthropodes (animaux aux pattes articulées) (annexe 1). Le corps d'un Insecte comprend une tête, un thorax et un abdomen :

- la tête porte une paire d'antennes, des yeux (yeux composés et ocelles chez les larves et adultes d'hémimétaboles et chez les adultes d'holométaboles) ou simplement des stemmates chez les larves d'holométaboles ainsi que trois paires de pièces buccales (Kouamé, 2014).
- le thorax est composé de trois segments portant trois paires de pattes (hexapodes) et deux paires d'ailes (tous les Insectes ne sont pas ailés mais tous les invertébrés ailés sont des Insectes).
- l'abdomen comprend en général 11 segments ne portant pas d'appendices articulés sauf chez certaines larves d'hémimétaboles qui possèdent des cerques sur le onzième segment abdominal ainsi que des adultes dont les huitième et neuvième segments abdominaux portent des appendices génitaux (Edia, 2008).

Au niveau des Insectes holométaboles, il existe une nette différence entre la larve et l'adulte. Chez les larves d'holométaboles, de fausses pattes (pseudopodes, pygopodes) ou des bourrelets locomoteurs peuvent se mettre en place au niveau du thorax comme au niveau de l'abdomen, mais ne correspondent pas aux appendices (Tachet *et al.*, 2003).

Crustacés

Les Crustacés sont des invertébrés Arthropodes, le plus souvent aquatique, ayant deux paires d'antennes, des yeux composés, un tégument chitineux plus ou moins imprégné de calcaire, une respiration branchiale et des anneaux (libres ou soudés) portant chacun une paire d'appendices chez la plupart des espèces (Martin & Davis, 2001). Leur corps, généralement recouvert d'une solide carapace, est essentiellement constitué d'éléments répétitifs, les métamères de 19 segments répartis en trois régions ou tagmes : la tête ou céphalon (5 segments), le thorax ou péréion (8 segments) et l'abdomen ou pléon (6 segments) (annexe 4). Parmi les Arthropodes, les Crustacés se caractérisent notamment par :

- au moins cinq paires de pattes;
- des appendices biramés (la rame externe, ou exopodite, peut disparaître);
- deux paires d'antennes (A1 et A2);
- une céphalon à 5 métamères (portant les appendices A1, A2, Md, Mx1 et Mx2) (Martin & Davis, 2001).

Arachnides

Les Arachnides (Arachnida) sont une classe d'arthropodes chélicérés, souvent insectivores. Ce groupe comprend, entre autres, les araignées, les scorpions et les acariens

Les Acariens (trop petit pour être coupé) ont quatre paires de pattes articulées (sauf la larve encore très jeune qui n'en possède que trois paires). Les Acariens mesurent entre 0,1 et 0,6 mm. Ils ont tous la forme d'une petite boule pas plus grande que la tête d'une épingle. En raison de la fusion des différentes régions du corps, la morphologie des Acariens est unique. Les seules traces visibles de la segmentation d'origine sont les appendices, pièces buccales et pattes. Les pièces buccales, chélicères et pédipalpes, sont souvent fortement modifiées en relation avec l'alimentation correspondante (Peyrusse & Bertrand, 2001).

1-2-2-1-2 Mollusques aquatiques

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

Les Gastéropodes sont des Mollusques qui possédaient primitivement une symétrie bilatérale qui se trouve profondément altérée chez les espèces actuelles. La coquille des Gastéropodes est constituée d'une seule pièce qui sert de protection au corps de l'animal. Leur corps mou, non segmenté, dépourvu d'appendices articulés, se divise en trois grandes régions :

- la tête qui porte une paire de tentacules contractiles à la base desquels se trouvent les yeux. La bouche comprend généralement une mâchoire chitineuse sur la face dorsale et une radula (sorte de langue râpeuse) sur la face ventrale ;
- le pied est un organe musculueux souvent bien développé qui sert à la locomotion (reptation, fouissement) ;
- la masse viscérale enveloppée dans une membrane, le manteau, qui sécrète la coquille. Cette masse viscérale comprend les principaux organes.

Chez les Gastéropodes, on note l'existence d'une cavité palléale formée par un repli du manteau, dans laquelle débouchent l'an-us et l'orifice urinaire. Cette cavité palléale abrite une branchie chez les Prosobran-ches (Lévêque, 1980). Les Pulmonés n'ont pas de branchies mais possèdent une cavité pulmonaire à plafond très vascularisé. Contrairement aux Gastéropodes terrestres, leurs yeux sont placés à la base des tentacules.

Les Bivalves appelés autrefois lamellibranches sont des Mollusques comprimés latéralement ayant conservé leur symétrie bilatérale (Lévêque, 1980). Ils sont dépourvus de tête individualisée, de pharynx, de radula et de glandes salivaires. Leur corps est protégé par une

coquille composée de deux valves indépendantes mais articulées entre elles dorsalement et dans le plan médian au niveau de la charnière par un ligament. La bouche entourée de quatre palpes ciliés s'ouvre directement dans l'œsophage. Ces Mollusques possèdent quatre palpes labiaux et un byssus qui permet la fixation sur les substrats durs. Le pied musculueux est comprimé en forme de languette et permet surtout à l'animal de s'enfouir dans le sédiment. Deux replis du manteau délimitent une cavité palléale à l'intérieur de laquelle sont situées les branchies. Les sexes sont généralement séparés avec souvent un hermaphroditisme successif.

1-2-2-1-3 Annélides

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

1-2-2-2 Cycles biologiques

Le cycle biologique des macroinvertébrés est très variable selon le groupe considéré. Chez les Insectes, la reproduction est bisexuelle ou parthénogénétique (reproduction à partir d'un ovule non fécondé) (Zahradnik & Chvala, 1991). Certains partenaires sexuels peuvent se retrouver à l'aide de leurs yeux (Libellules, Ephéméroptères) ou d'un organe auditif (certains Diptères). Chez d'autres groupes comme les Lépidoptères, les deux sexes s'attirent à l'odeur car les femelles sécrètent des phéromones (substances odorantes) que les mâles perçoivent à grande distance. Ainsi, de nombreux Diptères effectuent des mouvements spécifiques leur permettant de retrouver un partenaire de la même espèce. Dierl & Ring (1992) notent que l'œuf constitue

le premier stade de développement des Insectes. Ce développement aboutit à la formation d'une larve. Du stade larvaire au stade imaginal, l'insecte subit un ensemble de modifications appelé métamorphose. Certains Insectes comme les Aptérygotes (sans ailes) ne subissent pas de véritables métamorphoses car leurs larves ne se distinguent guère des imagos : ce sont des amétaboles. En revanche, chez les Ptérygotes (Insectes ailés), l'on distingue deux types de développement (Zahradnik & Chvala, 1991): les métamorphoses incomplètes (Insectes hémimétaboles) et les métamorphoses complètes (Insectes holométaboles). Les hémimétaboles, encore appelés exoptérygotes, présentent un mode de développement plus primitif et progressif ; les larves ressemblent fortement aux adultes. L'âge adulte et par conséquent la maturité sexuelle sont acquis après la dernière mue (ecdysis) larvaire. Les holométaboles (endoptérygotes) diffèrent des précédents par leur aspect vermiforme, l'absence d'ébauches alaires et par le stade nymphal qui s'intercale entre les stades larvaire et imaginal. Les larves de ce groupe d'Insectes se distinguent nettement des adultes.

Le cycle vital (durée de vie) des Insectes varie de quelques semaines (par exemple, les Diptères Simuliidae) à des années (par exemple, les Plécoptères Perlidae). Sur l'ensemble des 27 ordres d'Insectes décrits, seuls 12 possèdent des représentants ayant au moins une phase de leur développement adaptée à la vie aquatique (Elouard, 1981).

Les Gastéropodes aquatiques, quant à eux, ont un cycle de vie est souvent annuel, et la ponte des œufs a lieu en été ou au printemps. Les Bivalves vivent souvent plusieurs années (Mouthon, 1995). Les Bivalves sont soit gonochoriques, soit hermaphrodites, selon les familles concernées (Mouthon & Kuiper, 1987).

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

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

plusieurs mois, rarement plusieurs années en aquariums (Tim, 1982). Par exemple, il est probable que la durée de vie des Oligochètes est moins élevée dans la nature (Tim, 1982).

Quant aux Crustacés, leur développement s'effectue par une série de mues et de métamorphoses déclenchées et contrôlées par des hormones (Klaus, 2001). Il débute avec une larve nageuse caractéristique, la larve *nauplius*, qui évolue au sein du plancton (chez certaines espèces toutefois, les premières étapes du développement se déroulent dans l'œuf). Le sexe semble être en partie déterminé par des sécrétions hormonales, à l'opposé de ce que l'on observe chez les insectes, pour lesquels le déterminisme du sexe est uniquement lié aux chromosomes. Les crustacés peuvent vivre selon l'espèce de plusieurs mois à des années. Par exemple, les crevettes peuvent vivre jusqu'à 7 ans (Klaus, 2001).

1-2-2-3 Habitat et écologie

Selon le compartiment occupé dans le milieu aquatique, on peut distinguer 2 grands groupes :

- macroinvertébrés pélagiques et de surface ;
- macroinvertébrés benthiques.

Parmi les macroinvertébrés benthiques, on distingue (Cheruvilil *et al.*, 2002) :

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

Dans un lac, la répartition des macroinvertébrés est la suivante : il y a d'abord la zone littorale peu profonde, une zone sublittorale un peu plus profonde et la zone profonde, qui correspond au fond du lac :

- la zone littorale est la plus diversifiée et formée de macroinvertébrés épibenthiques (Gastéropodes, larves d'Ephéméroptères et de Trichoptères) ;
- la zone sublittorale est une zone de changements : de la température, de l'oxygène, de la répartition des algues, c'est donc une zone où la densité de macroinvertébrés se réduit ;
- enfin, la zone profonde est peu diversifiée et regroupe surtout des larves de Chironomes et des Oligochètes de petite taille. Certains organismes effectuent des migrations entre la zone profonde et la zone littorale, la zone profonde étant utilisée comme refuge pour l'hibernation et

la zone littorale pour la reproduction. Dans le sédiment, on note une forte activité des organismes fouisseurs notamment des larves de Chironomidae et des Oligochètes (Tessier *et al.*, 2008).

Les macroinvertébrés représentent un maillon essentiel des chaînes trophiques des écosystèmes dulçaquicoles (Bougard, 1988). En effet, ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons et d'oiseaux (Tachet *et al.*, 2006). Certains taxons accomplissent la totalité de leur cycle de vie dans le milieu aquatique alors que d'autres n'y séjournent que durant une phase larvaire comme par exemple chez les Diptères. Ces macroinvertébrés peuvent également se distinguer par leurs exigences écologiques vis-à-vis du mesohabitat. Ainsi, certains seront présents dans les sédiments sur le fond de la cuvette, d'autres vivront en bordure de lac sur divers supports minéraux et végétaux (cailloux, blocs, racines, macrophytes).

Généralement, les Insectes n'effectuent pas tout leur cycle de vie dans un seul type d'habitat. Les lieux où ils grandissent, se reproduisent et trouvent leur nourriture sont le plus souvent différents. En effet, selon Elouard (1981), la majorité des Insectes possèdent des phases préimaginales (larvaire et nymphale) franchement aquatiques. C'est le cas des Trichoptères, Odonates, Ephéméroptères, Plécoptères et de la majorité des Nématocères. Certains Insectes de la famille des Sisyridae possèdent des larves aquatiques et des nymphes arboricoles. Par contre, certains Coléoptères sont aquatiques aux stades larvaire et imaginal. D'autres Insectes ne sont pas franchement aquatiques mais plutôt subaquatiques ou simplement hydrophiles. C'est le cas de nombreux Diptères Brachycères, des Collemboles, des Hétéroptères de la famille des Veliidae et de celle des Hygrometridae.

1-2-2-4 Groupes trophiques des macroinvertébrés aquatiques

Les macroinvertébrés aquatiques consomment diverses proies : bactéries, détritus, algues, micro-benthos et macro-benthos. Selon Tachet *et al.* (1987), on peut les classer en 5 groupes trophiques :

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

- *les prédateurs* regroupent des Nématodes, Oligochètes, Odonates, Hémiptères, Trichoptères... Ils se nourrissent de zooplancton (Cladocères, Copépodes) ou d'autres macroinvertébrés. Ils

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

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

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

- *les omnivores* sont des organismes qui se nourrissent à la fois de débris végétaux et de débris animaux. Ils comprennent des Éphéméroptères, Coléoptères, Diptères Chironomidae, Gastéropodes.

1-2-3 Macroinvertébrés aquatiques et bioindication

La structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les cours d'eau, en donnant des informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat (Woodcock & Huryn, 2007). On peut les utiliser pour identifier plusieurs types de pollution, tels que la pollution organique, métallique, de même que pour détecter une acidification du milieu (Moisan & Pelletier, 2014). Leur utilisation repose essentiellement sur l'évaluation de données concernant leur façon de se nourrir, de se reproduire et d'exploiter leur habitat (Sharma & Rawat, 2009).

Il est déjà bien connu que les Plécoptères, les Trichoptères à fourreau et les Éphéméroptères sont les groupes les plus sensibles aux polluants. Ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée à une température assez basse. Au contraire, les Tubificidae, les Chironomidae, les Syrphidae, les Bivalves et les Amphipodes sont les groupes les plus tolérants. Ils peuvent vivre dans une eau peu oxygénée avec une bonne quantité de polluants à une température plus élevée.

Si on observe une abondance de ces espèces et une absence des espèces sensibles, on peut en conclure que l'eau est de mauvaise qualité (De Pauw & Vanhooren, 1983).

La pollution organique est intéressante à étudier à partir des macroinvertébrés, puisque les sédiments et la matière organique ont une grande surface d'adsorption, ce qui leur confère une affinité envers la plupart des polluants. Comme les macroinvertébrés benthiques vivent en relation intime avec les sédiments, ils subissent de façon plus importante les effets d'une pollution de ceux-ci. Certains vont, selon leur régime trophique, consommer de façon importante des sédiments pollués et ils seront ainsi exposés à une plus grande quantité de polluants que tout autre organisme se trouvant uniquement dans la colonne d'eau au-dessus d'eux (Woodcock & Huryn, 2007 ; Mazzella *et al.*, 2009). D'autres seront affectés selon leur configuration physique. Par exemple, les larves des Trichoptères à fourreau ont des branchies filamenteuses sur leurs segments abdominaux qu'ils protègent en se construisant un fourreau à l'aide de débris végétaux ou minéraux. Lorsqu'il y a pollution organique, les particules entrent dans le fourreau et empêchent ainsi une circulation adéquate de l'eau ; ce qui réduit les échanges d'oxygène entre l'eau et l'hémolymphe du Trichoptère. A l'opposé, les Hémiptères aquatiques sont très résistants à la pollution organique, puisqu'ils respirent directement à la surface de l'eau à l'aide de tube respiratoire situé à l'extrémité de leur abdomen (Borror & White, 1999). Les macroinvertébrés permettent donc d'obtenir plusieurs renseignements sur les eaux, puisqu'ils ont différents régimes trophiques et qu'ils ont des métabolismes et des configurations physiques très variés, ce qui leur permet d'intégrer une panoplie de facteurs environnementaux et permettant ainsi de nous informer sur l'état de la qualité de l'eau.

Des échelles de tolérance des macroinvertébrés (Tableau I) ont été établies selon leur sensibilité à la pollution aquatique (Nahmani *et al.*, 2006). Un lac ou une rivière présentera donc des problèmes de qualité de l'eau si l'on retrouve uniquement des macroinvertébrés tolérants. Toutefois, dans chaque grand groupe, on retrouve des taxons tolérants ou intolérants, il faut alors effectuer une taxonomie jusqu'à la famille pour être plus précis.

Tableau I : Échelle de tolérance des grands groupes taxonomiques selon Nahmani *et al.* (2006).

Échelle de tolérance	Groupes taxonomiques
Sensible	Plécoptères
	Ephéméroptères
Moyen	Trichoptères
	Crustacés (Amphipodes, isopodes)
	Mollusques (Gastéropodes, Bivalves)
	Odonates (anisoptères, zygoptères)
	Coléoptères
	Hémiptères
	Lépidoptères
	Mégaloptères
Tolerant	Diptères (sauf chironomides)
	Diptères (chironomides)
	Annélides (Oligochètes, sangsues)

1-3 INDICES BIOTIQUES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

1-3-1 Types d'indices et quelques méthodes d'évaluation des qualités des eaux

Selon leur mode de fonctionnement, on peut diviser les indices en deux types : saprobique et biocénétique (Touzin, 2008). Les indices saprobiques sont basés sur la description des exigences écologiques des espèces face à différents polluants. On attribue à chaque espèce une valence saprobique, qui quantifie sa sensibilité face à la pollution organique, et une valeur indicatrice qui pondère l'indice en déterminant si l'espèce est une bonne indicatrice ou non. Chaque groupe est associé à une catégorie de sensibilité allant de très sensible à très résistante à la pollution organique (Leclercq, 2001). De plus, l'identification doit absolument être faite jusqu'au niveau taxonomique de l'espèce.

Concernant les indices biocénétiques, le niveau d'identification varie selon le groupe d'organisme et chaque groupe taxonomique identifié (exemple la famille) est appelé «unité systématique». Dans ce type d'indice, il n'est pas nécessaire d'effectuer un comptage au-delà de trois individus (Leclercq, 2001).

En milieu lentique, plus particulièrement les lacs, depuis les travaux pionniers de Thienemann (1913), de nombreux outils de biomonitoring ont été développés en utilisant les larves d'insectes Chironomidae, les vers Oligochètes et/ou les mollusques bivalves sphaeridés pour évaluer leur état trophique (Milbrink, 1983 ; Lafont *et al.*, 1991 ; Mouthon, 1993). Ces

organismes ont l'avantage d'être présents jusque dans les zones profondes (Brodersen & Lindegaard, 1999 ; Milbrink *et al.*, 2002 ; Camargo, 2004). Parmi les outils les plus utilisés, il y a l'Indice de Qualité Benthique Chironomidés (IQBC) élaboré par Wiederholm (1980) et adapté aux lacs profonds. Il prend en compte le nombre d'individus de chaque groupe d'espèces indicatrices sur le nombre total d'individus des espèces indicatrices.

Un autre indice, basé sur les vers Oligochètes est l'Indice Oligochètes de Bioindication Lacustre (IOBL), basé sur la diversité et la densité des espèces (Verneaux *et al.*, 2004 ; AFNOR, 2005). L'indice mollusque (IMOL) est quant à lui, basé sur la présence et l'abondance des genres de Mollusques dans les sédiments, ainsi que sur leur répartition bathymétrique (Mouthon, 1987 ; 1993).

En milieu lotique, de nombreuses méthodes ont été développées, en particulier destinées à mesurer la pollution organique. Le principe des calculs des indices consiste à combiner une indication de diversité taxonomique sur la base des groupes observés, avec une indication de pollusensibilité de groupes taxonomiques particuliers, pour obtenir un score (Metcalf, 1989). Le calcul de ces indices est donc basé sur deux caractéristiques des communautés colonisant les milieux pollués que sont la richesse taxonomique moins élevée et la disparition progressive des espèces sensibles intolérantes (espèces bioindicatrices) à mesure que le gradient de pollution organique augmente. Les méthodes d'indices biotiques sont parmi les plus diffusées et utilisées. Des améliorations ont été apportées ces dernières années pour l'élaboration de nouveaux indices en ne gardant que la famille comme niveau taxonomique de détermination. Par exemple, on peut citer le «Biological Monitoring Working Party Score » (BMWP) et l'«Average Score Per Taxon» (ASPT), développés par Armitage *et al.* (1983) ou le « Lincoln Quality Index » (LQI) élaboré par Extence *et al.* (1987) et Extence (1989).

1-3-2 Indice biotique général

Selon Verneaux & Tuffery (1967), l'indice biotique, est déterminé à partir de 7 groupes faunistiques. Ces groupes faunistiques sont présentés dans le tableau II ci-dessous avec leurs classes de qualité de l'eau correspondantes.

Tableau II: Classification des groupes faunistiques en fonction de leur indication sur la qualité de l'eau (Verneaux & Tuffery, 1967).

	Groupes faunistiques	Qualité de l'eau
1	- Plécoptères et Ecdyonuridae	Très bonne
2	- Trichoptères,	Bonne
3	- Ancylicidés et Ephemeroptères sauf Ecdyonuridae	Moyenne
4	- Gammaridae, Physes, <i>Aphelocheirus</i> (Hémiptères) et Odonates - Aselles, Sphaeridae, Sangsues et Hémiptères sauf	Moyenne
5	<i>Aphelocheirus</i>	Médiocre
6	- Tubifex, Chironomidae	Mauvaise
7	- Eristales	Très mauvaise

Cependant, Verneaux *et al.* (2004) ont apporté des améliorations censées corriger les principales insuffisances de cette méthode qui sont les faibles sensibilités et précisions, la surestimation de la qualité des systèmes montagnards dégradés et la sous-estimation de celle des cours d'eau de plaine. Contrairement à la démarche précédente, l'approche améliorée a été fondée sur des analyses statistiques d'un grand nombre de relevés issus de l'application de protocoles expérimentaux. L'identification est faite jusqu'à la famille (à l'exception de quelques groupes difficiles). Ainsi, Verneaux avait dressé une liste de 138 unités systématiques qui permet de déterminer l'indice biotique d'une eau (Tableau III).

Tableau III : Liste des 138 taxons utilisés comme bioindicateurs (Verneaux *et al.*, 2004).

<u>INSECTES</u>	HETEROPTERES	Rhagionidae	<u>MOLLUSQUES</u>
PLECOPTERES	Corixidae	Scatophagidae	BIVALVES
Capniidae	Gerridae	Sciomyzidae	Corbiculidae
Chloroperlidae	Hebridae	Simuliidae	Dreissenidae
Leuctridae	Hydrometridae	Stratiomyidae	Sphaeriidae
Nemouridae	Naucoridae	Syrphidae	Unionidae
Perlidae	Nepidae	Tabanidae	GASTEROPODES
Perlodidae	Notonectidae	Thaumaleidae	Ancyliidae
Taeniopterygidae	Mesoveliidae	Tipulidae	Bithynidae
TRICHOPTERES	Ecnomidae	ODONATES	Bythinellidae
Beraeidae	Velidae	Aeschnidae	Hydrobiidae
Brachycentridae	COLEOPTERES	Calopterygidae	Limnaeidae
Ecnomidae	Curculionidae	Coenagrionidae	Neritidae
Glossomatidae	Donaciidae	Cordulegasteridae	Physidae
Goeridae	Dryopidae	Corduliidae	Planorbidae
Helicopsychidae	Dytiscidae	Gomphidae	Valvatidae
Hydropsychidae	Eubriidae	Lestidae	Viviparidae
Hydroptilidae	Elmidae	Libellulidae	VERS
Lepidostomatidae	Gyrinidae	Platycnemididae	ACHETES
Leptoceridae	Haliplidae	MEGALOPTERES	Erpobdellidae
Limnophilidae	Helodidae	Sialidae	Glossiphoniidae
Molannidae	Helophoridae	PLANIPENNES	Hirudidae
Odontoceridae	Hydraenidae	Osmylidae	Piscicolidae
Philopotamidae	Hydrochidae	Sysyridae	TRICLADES
Phryganeidae	Hydrophilidae	HYMENOPTERES	Dendrocoelidae
Polycentropodidae	Hydroscaphidae	LEPIDOPTERES	Dugesiiidae
Psychomyidae	Hygrobiiidae	Pyalidae	Planariidae
Rhyacophilidae	Limnebiidae	CRUSTACES	OLIGOCHETES
Sericostomatidae	Spercheidae	BRANCHIOPODES	NEMATHELMINTES
Thremmatidae	DIPTERES	AMPHIPODES	HYDRACARIENS
EPHEMEROPTERES	Anthomyidae	Gammaridae	HYDROZOAIRES
Baetidae	Athericidae	ISOPODES	SPONGIAIRES
Caenidae	Blephariceridae	Asellidae	BRYOZOAIRES
Ephemerellidae	Ceratopogonidae	DECAPODES	NEMERTIENS
Ephemeridae	Chaoborus sp.	Astacidae	
Heptageniidae	Chironomidae	Atyidae	
Leptophlebiidae	Culicidae	Grapsidae	
Oligoneuriidae	Dixidae	Cambaridae	
Polymitarcidae	Dolichopodidae		
Potamanthidae	Empididae		
Prosopistomatidae	Ephydriidae		
Siphonuridae	Limoniidae		
	Psychodidae		
	Ptychopteridae		

1-3-3 Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) complète l'ancien indice biotique, mis au point et proposé par Verneaux & Tuffery (1967) et normalisé en 1985. L'IBGN a été mis au point en 1992. Il s'agit toujours d'une méthode d'évaluation de la qualité générale d'un cours d'eau à

partir de la présence ou non de certains macroinvertébrés benthiques capturés au moyen d'un engin (troubleau ou suber) de taille définie ($1/20 \text{ m}^2$), au maillage de 500 microns et dans des conditions d'échantillonnage telles que tous les habitats d'un cours d'eau soient prospectés au mieux (nature du support, vitesse du courant, etc.).

L'IBGN est basée sur l'appartenance des macroinvertébrés à des unités taxonomiques susceptibles d'être identifiées par des non spécialistes de la faune aquatique. Le plus souvent l'unité taxonomique retenue est la famille, mais l'on peut s'arrêter à l'embranchement ou à la classe pour les macroinvertébrés pour lesquels une détermination plus fine s'avérerait difficile ou peu fiable (Melhaoui, 2009). L'IBGN est calculé à partir d'une part, de la classe de variété et d'autre part, en fonction du rang du groupe faunistique indicateur.

1-3-4 Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie

L'Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) développé par Mary (1999) permet de détecter les pollutions organiques des milieux. La méthode est fondée sur la présence de taxons indicateurs, caractérisés par un coefficient de pollusensibilité (appelé score) qui leur a été attribué en fonction de leur tolérance vis-à-vis d'un facteur spécifique du milieu issus des données physico-chimiques (Mary, 2016). Il s'agit de huit paramètres indicateurs de pollution organique à savoir : les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), l'ammonium (NH_4^+), les orthophosphates (PO_4^{2-}), les matières en suspension (MES) et la demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO_5). En se référant aux 62 taxons auxquels un score a été attribué en fonction de leur sensibilité aux matières organiques, il est possible d'évaluer la qualité biologique des cours d'eau calédoniennes. Les taxons les plus sensibles ayant les scores maxima. L'indice de qualité du milieu est calculé à l'aide de formules impliquant l'ensemble des taxons indicateurs. Ainsi, l'indice d'une station est obtenu en effectuant la moyenne des scores des taxons indicateurs prélevés. L'indice varie de 0 à 10 (Mary & Archaimbault, 2012).

1-3-5 Indice Biologique Lacustre (IBL)

L'Indice Biologique Lacustre (IBL) est basé sur la comparaison des peuplements de macroinvertébrés dans la zone profonde et dans la zone littorale du lac (Verneaux *et al.*, 2004). L'échantillonnage dans la zone littorale permet de définir un indice littoral relatif au potentiel biogénique du lac (données quantitatives). L'échantillonnage dans la zone profonde permet de définir un indice de déficit taxonomique relatif à la qualité de l'interface eau-sédiments dans la

zone profonde (données qualitatives). Ces 2 indices sont ensuite combinés en un indice biologique lacustre, lequel donne une évaluation de la capacité biogénique d'un lac pour le développement des peuplements de macroinvertébrés. L'IBL varie de 0 à 20 selon la diversité et la distribution des communautés de macroinvertébrés des sédiments en fonction de la profondeur. Les invertébrés sont récoltés à la benne le long d'isobathes littoral et profond. Traduisant à la fois le potentiel et le fonctionnement trophiques du lac, l'IBL est une moyenne géométrique de deux sous-indices : l'indice biotique littoral de richesse et densité (potentiel trophique) et l'indice de déficit taxonomique, perte de richesse entre la surface et le fond représentant la capacité du lac à transférer sa matière organique aux consommateurs.

1-3-6 Indice malacologique de la qualité des systèmes lacustres (IMOL)

L'Indice malacologique de la qualité des systèmes lacustres vise à définir d'une manière simple et rapide l'état biologique global d'un plan d'eau de petites dimensions (Mouthon, 1987). L'IMOL est basé sur l'examen des peuplements de mollusques. L'IMOL varie de 0 à 8 selon la profondeur et les organismes rencontrés. Le calcul de l'indice est effectué à partir de la détermination des genres et du critère présence-absence. Un protocole d'échantillonnage standard des zones profonde, sublittorale et littorale permet d'obtenir le matériel biologique nécessaire à la mise en oeuvre de cette méthode. Cet indice qui vise à définir d'une manière simple et rapide l'état biologique global d'un lac s'applique aux milieux de petites dimensions ($S \leq 500$ hect.), de profondeur maximale supérieure à 10 m et d'altitude ne dépassant guère 1000 m. Toutefois, une extension de cette technique aux milieux profonds de grandes dimensions d'une part et aux plans d'eau apparentés aux étangs d'autre part est envisageable (Mouthon, 1993).

CHAPITRE II :

MATERIEL ET METHODES

2-1 MATERIEL

2-1-1 Appareils de mesure des paramètres physico-chimiques et géographiques

La collecte des données physico-chimiques de l'eau a été effectuée grâce à :

- un multiparamètre de marque Multi *WTW 340i* (Model Tetra Con 325-6) (Figure 3a) pour la détermination de la température de l'eau, du pH, de la concentration en oxygène dissous et de la conductivité de l'eau ;
- un turbidimètre de marque *HANNA* (Figure 3b) pour la mesure de la turbidité ;
- des boîtes en polyéthylène de 500 mL pour le prélèvement d'échantillons d'eau destinés aux analyses en laboratoire ;
- un spectrophotomètre de marque *SHIMADZU UV-1205* pour le dosage des minéraux : nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) et phosphates (PO_4^{3-}) (Figure 3c) ;
- un photomètre électronique de type *HANNA HI-83224* pour la mesure de la DCO (Demande Chimique en Oxygène), du phosphore et des matières en suspension (Figure 3d) ;
- des capteurs galvaniques de marque *WTW* pour la mesure de la DBO (Demande Biologique en Oxygène) (Figure 4a) ;
- trois flotteurs, un chronomètre et un décimètre pour l'estimation de la vitesse du courant des vagues à la surface de l'eau ;
- une corde lestée et graduée de 15 m pour la mesure de la profondeur de la lagune.

Par ailleurs, la détermination des coordonnées géographiques des sites de collecte a été possible grâce à un GPS de marque *GARMIN 62S*.

2-1-2 Matériel de collecte et d'observation des macroinvertébrés

La récolte des macroinvertébrés a été réalisée à l'aide d'un filet troubleau et d'une benne Van Veen. Le filet troubleau est constitué d'un filet de 250 μm de vide de maille, supporté par une manche. Son ouverture est de forme carrée de 30 cm de côté (Figure 4b). La benne Van Veen est constituée de deux mâchoires en acier inoxydable et d'une corde (Figure 4c). La surface d'emprisonnement de la benne est de 0,05 m².

- Des bocaux d'une capacité d'un litre ont été utilisés pour la conservation des échantillons recueillis ;
- l'alcool 70% a servi à la fixation et à la conservation des échantillons pour les analyses en laboratoire ;
- une boîte de pétri en verre et une pince entomologique ont servi pour le tri des organismes échantillonnés ;

- une loupe binoculaire électronique de marque *LEICA EZ* (Figure 4d) a permis de faire l'observation des organismes (au grossissement 40x).
- un appareil photonumérique de marque *SAMSUNG* a été utilisé pour la photographie les organismes ;
- des piluliers en verre ont servi à la conservation des spécimens.



Figure 3 : Photographies du matériel utilisé pour la mesure des paramètres physico-chimiques de la lagune Aghien.
a: Multiparamètre *WTW 340i*; b: Turbidimètre *HANNA*; c: Spectrophotomètre *SHIMADZU*; d: Photomètre *HANNA*



Figure 4 : Photographies du matériel utilisé pour la mesure des paramètres physico-chimiques et l'échantillonnage des macroinvertébrés de la lagune Aghien.

a: Capteurs galvaniques WTW ; b: Filet troubleau; c: Benne Van Veen ; d: Loupe binoculaire LEICA.

2-2 METHODES

2-2-1 Choix des sites d'échantillonnage

Les stations d'échantillonnage ont été définies à l'issue d'une prospection effectuée sur la lagune Aghien deux mois avant le début de l'échantillonnage.

Les stations ont été choisies à partir de trois critères :

- l'accessibilité ;
- l'occupation du périmètre environnant ;
- et la particularité écologique établie en fonction du type d'habitat du site.

Ainsi, onze (11) stations ont été retenues sur l'ensemble de la lagune Aghien. Ces stations ont été numérotées de P1 à P11 en partant de l'Ouest de la lagune (vers le village Débarcadère) à l'Est de la lagune (vers l'embouchure avec la Mé) (Figure 5).

Les stations sont réparties selon l'axe longitudinal de la lagune. Le premier transect est localisé en face du village d'Akandjé dans le but de déterminer si la qualité de l'eau varie en fonction de la distance à la berge. Le second transect est positionné dans la zone Est de la lagune notamment entre les villages Aghien et Télégraphe pour rechercher l'influence éventuelle de la

rivière Mé sur les communautés biologiques de la lagune. Des stations ont été retenues plus proche des rivières Djibi, Bété et Mé pour évaluer le taux d'échange des différents milieux. Les données mésologiques et les coordonnées géographiques des différentes stations d'échantillonnage retenues sont présentées dans le tableau IV.



Figure 5: Localisation des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés sur la lagune Agnien.

Tableau IV : Coordonnées géographiques et données mésologiques des stations d'échantillonnage.

Stations	Coordonnées GPS (Zone 30N, WGS 84)	Nature du substrat de fond	Couverture végétale	Profondeur (m)	Couleur de l'eau	Pente de la berge immédiate	Activités et occupation de la berge immédiate
P1	N05°26'33.41'' W03°55'10.231''	Vase, argile	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i>	3	Légèrement trouble	Très faible	Pas d'activité
P2	N05°26'0.171'' W03°55'8.217''	Sable	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	1	Claire	Très faible	Village, débris domestiques
P3	N05°25'34.72'' W03°54'48.90''	Vase		6	Légèrement trouble	Fortes	Plein eau
P4	N05°25'38.7'' W03°53'51.19''	Vase, sable	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	2	Trouble	Moyenne	Village, débris domestiques, plantations
P5	N05°25'20.83'' W03°53'49.57''	Vase		9	Trouble	Moyennes	Plein eau
P6	N05°24'57.8'' W03°53'39.8''	Vase	<i>Echinochloa pyramidalis</i>	1	Peu claire	Moyenne	Village, cultures vivrières, débris domestiques
P7	N05°25'10.866'' W03°52'13.36''	Vase		10	Légèrement trouble	Fortes	Plein eau
P8	N05°23'51.593'' W03°51'5.164''	Vase, sable	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i>	3	Trouble	Moyenne	Village
P9	N05°24'17.509'' W003°50'59.09''	Vase		10	Trouble	Moyenne	Plein eau
P10	N05°24'47.268'' W003°50'38.87''	Sable	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i>	1	Trouble	Moyenne	Village, débris domestiques
P11	N05°23'9.35'' W03°50'27.333''	Vase	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i> , <i>Pistia stratiotes</i>	5	Trouble	Faible	Pas d'activité

2-2-2- Description des stations d'échantillonnage

Station P1

La station P1 est située à proximité de l'embouchure de la rivière Bété dans la lagune Aghien (Figure 6). Le substrat de cette station est constitué en majorité de vase et d'argile. La couverture végétale de la rive est essentiellement composée de plantes aquatiques telles que des Pontederiacées notamment la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) et des Poacées (*Echinochloa pyramidalis*). La profondeur moyenne est de 3 mètres (m). L'aspect de l'eau est légèrement trouble et le fond de l'eau n'est pas visible. Le relief de la berge a une pente très faible.



Figure 6: Vue partielle de la Station P1 à proximité de l'embouchure de la rivière Bété

Station P2

La station P2 est située à proximité du village nommé Débarcadère (Figure 7). Le substrat est constitué de sable. La couverture végétale de la berge est essentiellement composée de Poacées (*Echinochloa pyramidalis*). La profondeur maximale est de 1 mètre avec une pente très faible. L'eau était claire pendant la période de l'étude et le fond de l'eau est visible. Il y a des habitations et des déchets domestiques à proximité de la berge de la station.



Figure 7: Vue partielle de la Station P2 proche du village Débarcadère

Station P3

La station P3 est située à proximité de l'embouchure de la rivière Djibi dans la lagune Aghien (Figure 8). Le substrat est constitué de vase. Cette station est située en pleine eau et a une profondeur maximale de 6 m. L'eau est trouble. Les pentes des berges de la station 3 sont fortes.



Figure 8: Vue partielle de la Station P3 à proximité de l'embouchure de la rivière Djibi

Station P4

La station P4 est située à proximité du village Eleis renfermant des habitations et des plantations industrielles d'hévéa et de palmier à huile (Figure 9). Le substrat à cette station est constitué de sable et de vase. La couverture végétale de la berge est majoritairement composée de Poacées

(*Echinochloa pyramidalis*). La profondeur maximale est de 2 m et l'eau est trouble. Il y a des habitations et des déchets domestiques à proximité de la berge qui a une pente moyenne.



Figure 9: Vue partielle de la Station P4 proche du village Eleis

Station P5

La station P5 (Figure 10) est située en pleine eau de la lagune Aghien sur l'axe reliant le village d'Akandjé et le village Eleis. La station a un substrat constitué de vase. Cette station a une profondeur moyenne de 9 m avec une eau trouble.



Figure 10: Vue partielle de la Station P5 sur l'axe reliant les villages Eleis et Akandjé

Station P6

La station P6 (Figure 11) est située à proximité du village d'Akandjé. Le substrat est constitué de sable. La couverture végétale de la berge de la station est majoritairement composée de Poacées (*Echinochloa pyramidalis*. Il y a des habitations, des plantations de cultures vivrières et des déchets domestiques à proximité de la berge qui a une pente moyenne.). La profondeur moyenne est de 1 m. L'eau est claire avec un fond de l'eau est visible.



Figure 11 : Vue partielle de la Station P6 à proximité du village Akandjé

Station P7

La station P7 (Figure 12) est située en pleine eau de la lagune Aghien sur l'axe central reliant les villages d'Akandjé et Aguien. La station a un substrat constitué de vase. Cette station a une profondeur moyenne de 10 m. L'eau est légèrement trouble.



Figure 12: Vue partielle de la Station P7 entre les villages Aguien et Akandjé

Station P8

La station est située à proximité du village Aguien (Figure 13). Le substrat de la station P8 est constitué de sable et de vase. La couverture végétale de la berge est majoritairement composée de jacinthes d'eau de la famille des Pontederiacées (*Eichhornia crassipes*) et de Poacées (*Echinochloa pyramidalis*). Il y a des habitations à proximité de la berge. Par ailleurs, il faut noter la présence de plantations de cocotiers qui bordent la berge. Cette berge a une pente moyenne. La profondeur est de 3 m et l'eau y est trouble.



Figure 13: Vue partielle de la Station P8 à proximité du village Aguien

Station P9

La station P9 est située en pleine eau de la lagune Aghien sur l'axe du transect transversal reliant les villages d'Aguien Télégraphe et Aguien (Figure 14). La station P9 a un substrat constitué de vase. Cette station a une profondeur moyenne de 10 m. L'eau est trouble.



Figure 14: Vue partielle de la Station P9 entre les villages Aguien et Aguien Télégraphe

Station P10

La station P10 est située à proximité du village d'Aguien Télégraphe (Figure 15). Le substrat de la station P10 est constitué de sable. La couverture végétale de la berge est composée de jacinthes d'eau de la famille des Pontederiacées (*Eichhornia crassipes*) et de Poacées (*Echinochloa pyramidalis*). La profondeur moyenne est de 1 m. L'eau est trouble. Il y a des déchets domestiques et des habitations sur la berge. Cette berge a une pente moyenne.



Figure 15: Vue partielle de la Station 10 à proximité du village AguienTélégraphe

Station P11

La station P11 est située à proximité de l'embouchure de la rivière Mé dans la lagune Aghien (Figure 16). Le substrat de cette station P11 est constitué de vase. La couverture végétale de la berge est essentiellement composée de plantes aquatiques telles que les jacinthes d'eau de la famille des Pontederiacées, (*Eichhornia crassipes*), les laitues d'eau de la famille des Aracées (*Pistia stratiotes*) et des Poacées (*Echinochloa pyramidalis*). La profondeur moyenne est de 5 m. L'eau est trouble. La berge a une faible pente.



Figure 16: Vue partielle de la Station P11 proche de l'embouchure de la rivière Mé

2-2-3 Collecte des données abiotiques et biotiques

L'échantillonnage s'est déroulé sur une période de douze mois précisément de juin 2014 à mai 2015, à raison d'une campagne d'échantillonnage par mois dans la lagune Aghien.

2-2-3-1 Mesure des paramètres physico-chimiques

Les données relatives aux paramètres physiques et chimiques ont concernés treize (13) paramètres dont cinq (05) mesurés *in situ* et huit (08) analysés au laboratoire à partir des prélèvements d'eau.

2-2-3-1-1 Mesures *in situ* des paramètres physiques

Les mesures des paramètres tels que la turbidité, le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité ont été faites *in situ* à l'aide d'un multiparamètre le matin entre 08 heures et 10 heures 30 minutes à chaque station identifiée. A cet effet, les appareils de mesure, préalablement calibrés, ont été mis sous tension une dizaine de minutes avant toute

manipulation. Leurs sondes respectives ont ensuite été plongées dans l'eau et la sélection de la fonction désirée permet d'obtenir la valeur du paramètre directement sur l'écran d'affichage.

2-2-3-1-2 Prélèvement des échantillons d'eau et analyse en laboratoire

Des échantillons d'eau ont été prélevés, sur les différents sites considérés, dans des flacons en polyéthylène de 500 mL entre 8 heures et 10 heures 30 minutes du matin. Ils ont été acheminés au laboratoire dans des glacières contenant des blocs réfrigérants, où ils ont été conservés au réfrigérateur à 4°C avant leur analyse. Ces échantillons d'eau ont été utilisés pour doser les ions nitrite (NO_3^-), nitrate (NO_2^-), ammonium (NH_4^+), et phosphate (PO_4^{3-}) selon les protocoles normalisés de l'Association Française de Normalisation (AFNOR). A cet effet, le volume de 500 mL d'eau préalablement échantillonné a été filtré à l'aide de membranes filtrantes (Whatman – Membrane Nitrate cellulose : 0,45 μm) et d'une pompe à aspiration. Les mesures du cation NH_4^+ ont été réalisées sur les échantillons bruts non filtrés.

Le phosphore, les Matières En Suspension (MES), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO) ont été obtenues après analyses et dosages au laboratoire à partir des échantillons d'eau prélevés.

2-2-3-2 Echantillonnage des macroinvertébrés

Sur chacune des stations situées sur les berges, les macroinvertébrés ont été échantillonnés à l'aide d'un filet troubleau et de la benne Van Veen. Au niveau des stations situées en pleine eau, c'est uniquement la benne Van Veen qui a été utilisée pour récolter les macroinvertébrés du sédiment.

Les échantillons des herbiers ont été récoltés en traînant le filet troubleau dans la colonne d'eau sur une surface de 1 m² (2 m x 0,5 m) pendant deux (2) minutes (Moisan, 2010 ; Bellemare *et al.*, 2013) (Figure 17). Le contenu du filet est renversé dans un bocal et fixé à l'alcool 70 % pour être transporté au laboratoire afin de trier, identifier et dénombrer les macroinvertébrés ainsi récoltés.



Figure 17: Echantillonnage des macroinvertébrés aquatiques à l'aide d'un filet troubleau.

Pour l'échantillonnage du sédiment, sur chaque site, trois (03) échantillons de sédiments correspondant à une surface totale de $0,15 \text{ m}^2$ sont prélevés. En effet, la benne (préalablement armée) a été descendue jusqu'au fond de l'eau. Dès que les mâchoires de la benne touchent le fond, la benne se désarme. La corde est tirée pour refermer les mâchoires, ce qui permet d'emprisonner le sédiment (Figure 18). A la sortie de l'eau, le contenu de la benne est lavé à l'eau dans un tamis de $0,5 \text{ mm}$ de vide de maille puis conservés dans des bocaux étiquetés. Ensuite, de l'alcool à 70 % est ajouté aux échantillons pour leur fixation. Ces échantillons sont, par la suite, transportés au laboratoire pour être triés et identifiés.



Figure 18: Echantillonnage des macroinvertébrés aquatiques à l'aide de la benne Van Veen.

2-2-3-Tri et identification des macroinvertébrés récoltés

Au laboratoire, tous les échantillons obtenus ont été lavés à l'eau dans un tamis de 300 µm de vide de maille pour éliminer l'alcool. En effet, dans un premier temps, les échantillons contenus dans chaque flacon ont été passés au tamis de vide de maille égal à 300 µm (Laine, 2003 ; Ysebaert *et al.*, 2003). Ce contenu a été soigneusement rincé en vue d'en éliminer l'alcool utilisé sur le terrain pour fixer les organismes (Kouamé, 2014). En outre, les prélèvements issus de la benne Van Veen et du filet troubleau ont été mis en commun pour constituer l'échantillon de chaque station par campagne.

Le tri des échantillons a été réalisé dans une boîte de pétri en verre à fond quadrillé (pour s'assurer que tout le contenu a été analysé) sous la loupe binoculaire. Ce tri a permis d'isoler les macroinvertébrés aquatiques des débris. La macrofaune ainsi récupérée a été observée à l'aide d'une loupe binoculaire de type *LEICA EZ* au grossissement 40x.

Les organismes ont été dénombrés et identifiés jusqu'au niveau taxonomique le plus bas possible en utilisant les clés d'identification appropriées (Dejoux *et al.*, 1981 ; Durand & Levêque, 1991 ; Mary, 2000 ; de Moor *et al.*, 2003 ; Barbe *et al.*, 2003 ; Tachet *et al.*, 1987 ; 2000 ; 2003 ; 2006 ; Brown, 2005 ; Forcellini *et al.*, 2011). En tenant compte du prélèvement (date de la campagne et station d'échantillonnage), les individus sont dénombrés et répertoriés. Les fourreaux vides, les exuvies et les coquilles vides n'ont pas été pris en considération. Suite au tri et à l'identification, une liste faunistique a été établie, prenant en compte tous les organismes inventoriés.

Cependant, compte tenu de la complexité des groupes faunistiques présents dans les eaux tels que les Oligochètes, Chironomes, autres Diptères, etc., tous les organismes n'ont pas été déterminés jusqu'au niveau de l'espèce. Ainsi, nous avons utilisé le terme de taxon pour la description de la faune dans la suite de l'étude. En effet, si le niveau « espèce » semble le plus informatif (en termes de préférence d'habitat, traits de vie, sensibilité aux perturbations), de nombreux auteurs pensent qu'un niveau d'identification moins précis (Genre, Famille) est acceptable pour constater des modifications de communautés benthiques (Resh & McElravy, 2001 ; Kouamé, 2014). Ces différentes unités taxonomiques pourraient répondre, en effet, de la même manière aux gradients environnementaux (Clements & Newman, 2002).

En effet, lorsqu'un individu est abimé ou lorsqu'un ou des appendices permettant de caractériser l'espèce de ce spécimen est ou sont absents (par exemple palpes, branchies, élytres, parapodes, etc.), l'analyse taxonomique ne peut être menée à son terme. Dans ce cas, seul le nom du genre est utilisé ; par exemple *Microvelia* sp., Insecte de la famille des Veliidae.

En cas d'incertitude sur le genre, seul le nom de la famille est utilisé (par exemple, Pyralidae) et en cas d'incertitude sur la famille ou sur les niveaux taxonomiques supérieurs, seul est utilisé le nom de la sous-classe (par exemple Oligochètes), de la classe ou de l'embranchement (Edia, 2008 ; Kouamé, 2014).

Cependant, certains groupes de macroinvertébrés (Mollusques en particulier) dont l'identification est problématique ont fait l'objet de vérifications par des spécialistes du Musée Royal de l'Afrique Centrale de Tervuren, Bruxelles (Belgique).

2-2-4 Analyse des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien

A partir des données collectées, divers indices ont été déterminés pour des analyses qualitatives et quantitatives des communautés (Haouchine, 2011). Ces métriques permettent une étude plus fine de la composition, de la structure et de la dynamique spatio-temporelle des peuplements de macroinvertébrés (Dajoz, 1985 ; Agences de l'Eau, 1993 ; Barbault, 1995 ; Hébert, 1997 ; Hessé *et al.*, 2014).

Par ailleurs, pour les analyses qualitatives et quantitatives tous les échantillons issus de la benne et du filet troubleau ont été mis en commun pour constituer l'échantillon de la station pour la campagne de prélèvement.

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

2-2-4-1 Diversité brute ou richesse taxonomique

La richesse taxonomique ou diversité brute est le nombre total de taxons rencontrés par prélèvement dans un écosystème donné (Ramade, 2003). Elle est fonction de la complexité de l'habitat. Cet indice synthétique constitue un bon indicateur de la capacité d'accueil d'une station (Koumba *et al.*, 2017).

2-2-4-2 Pourcentage d'occurrence (F)

Le Pourcentage d'occurrence (F) renseigne sur la préférence d'une espèce donnée pour une unité biocénétique donnée. Il consiste à compter le nombre de fois que l'espèce *i* apparaît dans les prélèvements d'une unité biocénétique (Dajoz 2000). Ce nombre est exprimé en

pourcentage du nombre total de relevés et donne des informations sur les espèces fréquemment rencontrées dans un hydrosystème sans aucune indication sur l'importance quantitative de ces espèces (Paugy & Lévêque, 1999). Il se calcul comme suit :

$$F = F_i * 100 / F_t$$

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

Selon la classification proposée par Dajoz (2000), la valeur de la fréquence permet de déterminer trois (3) catégories de taxons :

- taxons constants : $F > 50 \%$;
- taxons accessoires : $25 \% \leq F \leq 50 \%$;
- taxons accidentels : $F < 25 \%$.

Dans cette étude, pour chaque station d'échantillonnage, le pourcentage de chaque catégorie définie de taxons a été ensuite calculé.

2-2-4-3 Abondances relatives et densité

L'abondance relative représente le quotient du nombre d'individus du taxon (i) présent par rapport au nombre total d'individus (Ramade, 2003). L'abondance relative traduit l'importance numérique d'un taxon dans une communauté. Elle est aussi bien variable dans l'espace que dans le temps et son expression est la suivante :

$$P_i = n_i / N$$

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

Ainsi, l'abondance relative a permis de déterminer les principaux ordres, principales familles et principaux taxons de macroinvertébrés de la lagune Aghien. Ces ordres, familles ou taxons sont ceux qui représentent au moins 5 % de l'effectif total de macroinvertébrés récoltés à chaque station de prélèvement (Wasson *et al.*, 2002 ; Edia, 2008).

L'abondance absolue a aussi permis de déterminer la densité des macroinvertébrés. La densité surfacique exprime le nombre d'individus récoltés par unité de surface. Dans la présente étude, ce sont les échantillons issus uniquement du sédiment des stations qui ont été utilisés pour le calcul de cette densité compte tenue du fait que les stations de pleine eau n'ont pas de berge. La formule de calcul est la suivante :

$$D = Ni/S$$

où Ni = nombre d'individus appartenant au taxon i et S = surface de prélèvement.

2-2-4-4 Diversité des communautés

2-2-4-4-1 Indice de diversité de Shannon–Weaver (H')

Cet indice convient bien à l'étude comparative des communautés (Shannon–Weaver, 1963 ; Barbault, 1995). Il prend en compte à la fois le nombre de taxons présents et le nombre d'individus de chaque groupe taxonomique. On mesure ainsi l'abondance et la régularité de la distribution de chaque taxon permettant ainsi de caractériser le degré d'organisation et l'équilibre des communautés (Ramade, 2003). Il a pour expression :

$$H' = - \sum (ni/N) \log_2 (ni/N) = -\sum Ai \log_2 (Ai)$$

où Ai = Abondance relative des espèces ;

ni = nombre d'individus de l'espèce i et

N = nombre total d'individu.

Cet indice est variable aussi bien dans le temps que dans l'espace. L'indice de Shannon-Weaver a pour unité le «Bit». Sa valeur dépend du nombre d'espèces présentes et de leurs proportions relatives.

L'indice de diversité de Shannon (H') est minimal quand l'échantillon ne contient qu'une seule espèce. Une valeur faible de H' traduit des conditions de vie difficiles qui permettent à peu d'espèces de s'établir. A l'inverse, cet indice H' est maximal (théoriquement infini) lorsque toutes les espèces sont équitablement représentées dans l'échantillon (Le Bris, 1988). En effet, une valeur élevée de l'indice correspond habituellement à des conditions de milieu favorables permettant la survie de nombreuses espèces ; chacune étant présente en faible densité (Mary & Archaimbault, 2011). La diversité maximale correspond à $\log_2 (N)$. Autrement dit, la diversité est minimale lorsque H' tend vers 0 et est maximale quand H' tend vers l'infini (Magurran, 2004 ; De Bello *et al.*, 2007).

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

2-2-4-4-2 Equitabilité J de Piélou

L'indice d'équitabilité J de Piélou (1969), aussi appelé indice de régularité (Frontier, 1976) ou équirépartition (Blondel, 1979) correspond au rapport de la diversité H' à la diversité maximale pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons ($H'_{\max} = \log_2 S$). Il permet d'étudier la régularité de la distribution des espèces et de comparer les diversités de deux peuplements ayant

des nombres d'espèces différents (Dajoz, 2000). L'indice d'équitabilité J varie entre 0 et 1 (lorsqu'il est proche de 0, cela signifie qu'une espèce domine largement dans la communauté benthique ; lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces tendent à avoir la même abondance dans un milieu naturel non perturbé). Pour beaucoup d'écologistes, une équitabilité élevée traduit un peuplement équilibré. Son équation s'énonce comme suit :

$$J = H' / H'_{\max} = H' / \log_2 S$$

avec S est la richesse taxinomique.

2-2-4-5 Similarités taxonomiques entre les stations

La similarité taxonomique entre les stations d'échantillonnage est mise en évidence par l'indice de similarité de Jaccard (J). L'indice de similarité de Jaccard (J) a été calculé à partir de la composition taxonomique des stations afin de comparer l'ensemble des stations étudiées deux à deux (Mary, 1999). Il se calcule de la façon suivante :

$$J = \frac{S_{a-b}}{S_a + S_b - S_{a-b}}$$

où S_a est le nombre total de taxons à la station a , S_b le nombre total de taxons à la station b et S_{a-b} le nombre de taxons communs à a et b . Il varie de 0 (quand il n'y a pas de taxons communs) à la valeur 1 (lorsque les mêmes taxons existent dans les deux stations).

2-2-4-6 Structuration trophique des communautés

En identifiant le mode d'alimentation prédominant pour chaque taxon, des renseignements sur la structure trophique de la lagune sont obtenus. A cet effet, la structure trophique des communautés des macroinvertébrés a été obtenue en considérant les groupes fonctionnels alimentaires définis par Cummins (1973), Merritt & Cummins (1984), Pointier & McCulloch (1989), Pointier *et al.* (1989), Tachet *et al.* (2003) et Brown (2005).

2-2-5 Evaluation de la qualité biologique de l'eau

Pour évaluer la qualité biologique des eaux de la lagune Aghien, une approche multimétrique fondée sur deux types d'indices inhérents à la tolérance ou l'intolérance des macroinvertébrés à la pollution a été utilisée. Il s'agit d'une part, des indices de diversité des peuplements qui prennent en compte la richesse taxinomique et l'abondance relative des taxons au sein d'un échantillon et des indices biologiques fondés sur l'utilisation de taxons indicateurs de pollutions,

témoignant généralement des perturbations particulières (pollutions organiques ou par des métaux lourds) d'autre part.

2-2-5-1 Indices de diversité des peuplements

Les métriques pris en compte sont : la richesse taxonomique, l'indice Chironomidae et l'indice Oligochètes (Mary, 1999 ; Compin, 2006 ; Nyamsi *et al.*, 2014 ; Mary, 2015 ; Koumba *et al.*, 2017).

Par ailleurs, le choix de ces indices se justifierait par la prise en compte de la superficie et de la profondeur de la lagune Aghien qui dispose de deux types d'habitat (les substrats immergés des berges et le sédiment) abritant des macroinvertébrés qui pourraient donner des réponses aux perturbations. En effet, dans le souci de ne pas occulter des informations en utilisant uniquement dans un premier temps les communautés de macroinvertébrés issues d'un type d'habitat pour évaluer la qualité de l'eau, l'approche suivante a été proposée (Verneaux *et al.*, 2004) :

D'abord, la qualité de l'eau sera évaluée avec les communautés issues des substrats immergés des stations situées sur les berges (avec l'Indice Chironomidae) et ensuite par les communautés issues du sédiment (Indices Chironomidae et Oligochètes).

2-2-5-1-1 Indice Chironomidae

L'indice Chironomidae (% Chir) représente le quotient de l'abondance en Chironomidae sur l'abondance totale des organismes présents dans une station (Rosa *et al.*, 2014 ; Koumba *et al.*, 2017). Cet indice est utilisé pour évaluer le degré de pollution organique de la lagune Aghien. Ainsi, Mary (1999 ; 2015) propose la classification suivante en fonction de l'abondance relative en Chironomidae :

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

2-2-5-1-2 Indice Oligochètes

L'indice Oligochètes (% Oli) représente le quotient de l'abondance en Oligochètes sur l'abondance totale des organismes présents dans une station. Cet indice est utilisé pour évaluer le degré de pollution par métaux lourds induite par les rejets d'eaux usées industrielles dans la lagune Aghien. Ainsi, la classification suivante est proposée (MDDEFP, 2013) :

- % Oli > 50 % : eau très pollué ;

- $5\% < \% \text{Oli} \leq 50\%$ eau moyennement polluée ;
- $\% \text{Oli} \leq 5\%$: eau faiblement polluée.

2-2-5-2 Indice Malacologique de qualité globale des systèmes Lacustres (IMOL)

Compte tenu du fait qu'il n'existe pas de données sur la tolérance ou l'intolérance des taxons à la pollution pour la Côte d'Ivoire, l'adaptation d'un indice donnant des taxons indicateurs a été nécessaire dans cette étude. L'indice Malacologique de qualité globale des systèmes Lacustres (IMOL) a été appliqué sur les données des stations étudiées. L'IMOL est adapté dans cette étude pour évaluer l'état biologique des eaux à partir d'échantillonnages issus du sédiment de toutes les stations. Une utilisation de cet indice sera faite dans cette étude à cause de la profondeur maximale de la lagune Aghien qui est 10 mètres. En effet, l'IMOL vise à évaluer l'état biologique global d'un plan d'eau naturel (lac, lagune) de profondeur maximale compris entre 10 à 30 mètre.

2-2-5-2-1 Mode de détermination de l'IMOL

Pour toutes les stations d'échantillonnage, l'IMOL a été calculé à partir de la liste de mollusques collectés à l'aide de la benne Van Veen. L'IMOL d'une station est obtenu en tenant compte du score attribué aux mollusques présents par station de prélèvement (03 coups de bennes à une profondeur donnée) (Mouthon, 1993 ; DCE, 2011). Le tableau V ci-dessous présente le mode détermination de l'IMOL.

Tableau V : Tableau de détermination de l'indice Malacologique de qualité globale des systèmes Lacustres

Niveau d'échantillonnage	Repères malacologiques	Indices
Z1 = 9/10 Zmax	Gasteropodes et Bivalves présents	8
	Gasteropodes absents, Bivalves seuls présents	7
Z2= -10 m	Deux genres ou plus de genres de Gastéropodes présents	6
	Un seul genre de Gastéropode présent	5
	Gastéropodes absents, pisidies présents	4
Z3 = - 3 m	Deux genres ou plus de deux genres de Gastéropodes présents	3
	Un seul genre de Gastéropode présent	2
	Gastéropodes absents, pisidies présents	1
	Absence de mollusques	0

Z = Profondeur de la station

2-2-5-2-2 Classes de qualité de l'IMOL

Après la détermination de la valeur de l'IMOL, les classes des états biologiques consignées dans le tableau VI sont proposées par la DCE (2011) afin d'évaluer l'état biologique de l'eau. A chaque classe est attribuée une couleur.

Tableau VI : Classes de qualité des eaux selon l'indice IMOL.

Limites des classes d'états (Indices IMOL)	Classes de qualité	Couleurs
$IMOL \geq 8$	Très bonne	Bleu
$7 \leq IMOL < 8$	Bonne	Orange
$4 \leq IMOL \leq 6$	Moyenne	Jaune
$1 \leq IMOL < 4$	Médiocre	Vert
0	Mauvaise	Rouge

2-2-6 Traitements statistiques des données

2-2-6-1 Analyses univariées

2-2-6-1-1 Boîtes à moustaches

Comme l'ont montré les travaux de Ravichandran *et al.* (1996), Vega *et al.* (1998), Bony (2008), Konan (2008), Edia (2008) et ceux de Kouamé (2014), l'utilisation de données sous forme de graphiques appelés «boîtes à moustaches» ou encore «Boxplots» (Tomassone *et al.*, 1993) est particulièrement adaptée pour visualiser les variations des différents paramètres physico-chimiques et biologiques.

Pour chaque station, une boîte est représentée sur le graphe. Le trait plein à l'intérieur de celle-ci représente la médiane. Les limites inférieures et supérieures correspondent respectivement au premier et au troisième quartile. La hauteur de la boîte représente alors l'intervalle interquartile et renferme ainsi 50% des observations. De cette façon, plus la boîte est haute, plus l'étendue des observations est grande. Les lignes ou «moustaches» émanant de chaque extrémité de la boîte vont jusqu'à la plus petite et la plus grande observation du groupe à condition qu'elles soient à moins d'un intervalle interquartile du bord de la boîte.

Ces boîtes à moustaches ou « Boxplots » (Figure 19) ont permis de présenter les variations des différents descripteurs (abiotiques et biotiques), leurs valeurs extrêmes et leur médiane. Elles ont été réalisées avec le logiciel Statistica v7.1.

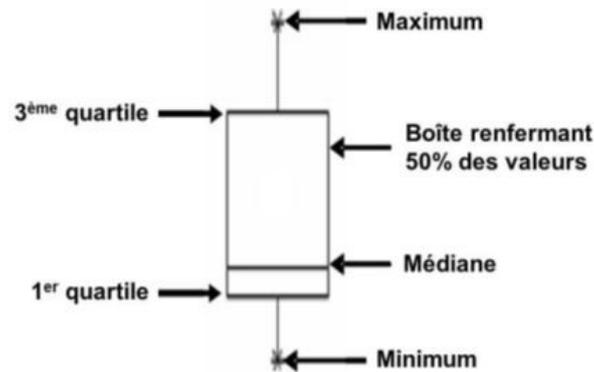


Figure 19 : Schéma annoté d'une boîte à moustaches ou "Boxplot".

2-2-6-1-2 Tests statistiques

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

Les tests non paramétriques tels que le test de Kruskal-Wallis (comparaisons multiples), le test U de Mann-Whitney (comparaison de deux échantillons) ont été également employés pour les comparaisons inter et intra sujets lorsque la distribution des variables ne respectait pas l'une des conditions d'utilisation d'une ANOVA classique (Annexe 6).

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

Par ailleurs, le test G de proportion a été employé pour comparer les proportions des stations selon les différentes distributions spatiales des macroinvertébrés.

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

Les données recueillies ont été traitées à l'aide des logiciels statistiques XLSTAT v 7.5.2 sous Excel (Microsoft Office 2013).

2-2-6-2 Analyses multivariées

2-2-6-2-1 Cartes auto-organisatrices (SOM)

L'algorithme des cartes auto-organisatrices « *Self Organizing Maps (SOM)* » ou cartes de Kohonen (Kohonen, 1982 ; 1995) a été utilisé pour ordonner les sites d'étude en fonction des

variables environnementales et des assemblages de taxons. Ces modèles neuronaux artificiels partagent avec les algorithmes classiques d'ordination, l'idée de représenter des données multidimensionnelles dans un espace de dimension inférieure (généralement un plan). Contrairement aux méthodes classiques, les *SOM* traitent avec beaucoup d'aisance les données extrêmes (grande abondance ou extrême rareté), très souvent contenues dans les bases de données écologiques (Brosse *et al.*, 2001 ; Giraudel & Lek, 2001). Par ailleurs, Lek *et al.* (1996 ; 2000) et Laë *et al.* (1999) ont montré l'efficacité des réseaux de neurones en écologie qui est caractérisée pour la plupart du temps par des processus non linéaires. En effet, cette technique de classification non linéaire est capable de montrer des patrons simplifiés à partir des bases de données complexes en identifiant des groupes semblables (Kohonen, 2001). Les *SOM* se composent habituellement de deux couches de neurones. La couche d'entrée, constituée de la matrice du jeu de données, est directement reliée à la couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen et qui est composée par des neurones artificiels de sortie (Figure 20). L'apprentissage est dit concurrentiel car engendre une compétition d'activité des nœuds du modèle vis à vis des données d'entrée. Cet apprentissage est également dit non supervisé parce que les valeurs du jeu de données sont uniquement utilisées dans la couche d'entrée et aucune indication concernant les valeurs attendues dans la couche de sortie n'est apportée au système. Ce procédé recherche itérativement des similarités parmi les données observées et les représente dans la carte de sortie en préservant les voisinages. A la fin de l'apprentissage, une carte est obtenue et dans chaque hexagone se trouve un objet virtuel pour lequel les valeurs des descripteurs ont été calculées. D'après Aguilar Ibarra (2004), c'ces objets virtuels représentent la distribution des objets réels

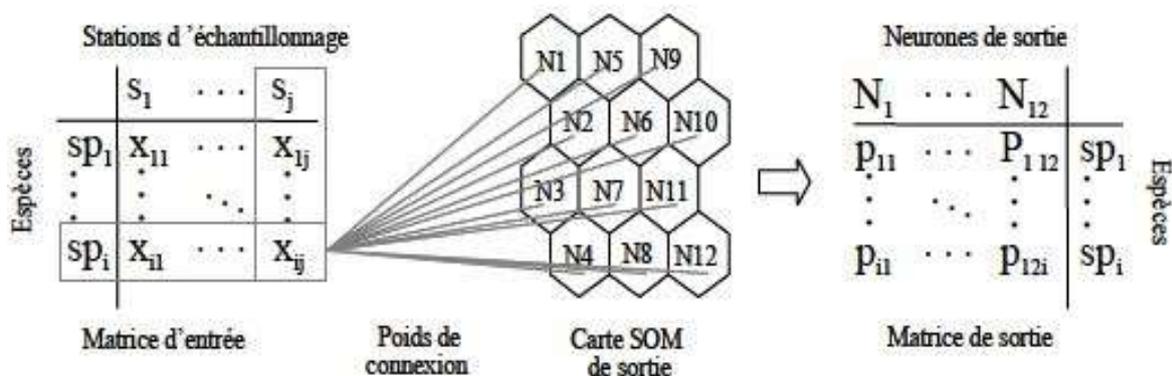


Figure 20: Schéma simplifié de la carte auto organisatrice de Kohonen

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

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

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

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

Une fois la carte de Kohonen obtenue, un algorithme d'analyse de classification hiérarchique basée sur la méthode Ward et la distance Euclidienne a ensuite permis de mettre en évidence des assemblages des objets réels sur la carte (Park *et al.*, 2003). Ces regroupements se sont faits sur la base des affinités en termes de peuplements des échantillons projetées dans les cellules de couche de sortie.

L'interface *SOM Toolbox* (version 2) pour Matlab® qui a été utilisée, a été développée par l'Université de Technologie d'Helsinki et disponible sur le site:

<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>.

2-2-6-2-2 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée avec le logiciel *Xlstat v2018* (sous Excel de Microsoft Office). Elle a permis de caractériser les différentes stations d'échantillonnage à partir des paramètres physico-chimiques. C'est une technique qui permet

de récapituler en deux ou quelques variables synthétiques, les «composantes principales », la majorité de l'information contenue dans les variables initiales (Dufrêne, 1992). 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.

2-2-6-2-3 Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Une analyse de classification hiérarchique ascendante a été effectuée pour rassembler les stations d'échantillonnage à partir des paramètres biotiques. Pour cette classification, la distance du Chi-deux a été utilisée et comme critère d'agrégation la méthode de Ward. Cette méthode permettant de regrouper deux classes d'une partition pour obtenir une partition plus agrégée, notamment à regrouper les classes de façon que l'augmentation de l'inertie interclasse soit maximum. Le résultat est un dendrogramme (arbre de la classification hiérarchique). Elle a été réalisée à l'aide logiciel PAST *version 2.17c*.

2-2-6-2-4 Analyse Factorielle Discriminante

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. L'AFD a été réalisée avec le logiciel Xlstat *v2018* (sous Excel d Microsoft Office).

Dans cette étude, cette analyse a permis d'identifier les variables environnementales qui déterminent les regroupements des taxons définis 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 999 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 (Efron, 1983). 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 à *c*-classes, l'*AFD* consiste à trouver le meilleur sous-espace de dimension *c-1* qui permet de séparer en projection les différentes classes de données. Le critère de séparation (*S*) 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.

2-2-6-2-5 Analyse de Redondance (RDA)

L'Analyse de Redondance (ReDundancy Analysis, RDA) a permis d'étudier la relation entre les paramètres physico-chimiques et les variations des abondances des macroinvertébrés dans les stations. Le logiciel CANOCO 4.5 (CANONical Community Ordination, version 4.5) a été utilisé. A cet effet, deux matrices de données macroinvertébrés -stations et paramètres physico-chimiques-stations ont été constituées. Cette analyse met en évidence les préférences environnementales des peuplements (Ter Braak & Smilauer, 2002). Le test de Monte Carlo a été effectué pour sélectionner les variables environnementales qui expliquent le mieux la répartition des macroinvertébrés (Manly, 1994). Le résultat est un graphe dans lequel les macroinvertébrés et les paramètres physico-chimiques sont représentés par des flèches. Les longueurs des flèches des taxons sont fonction de leurs importances et le rapprochement de ceux-ci aux paramètres met en évidence leurs préférences environnementales.

2-2-6-2-6 Méthode «Indval»

La méthode des valeurs indicatrices « *Indval* : Indicator value » est une méthode permettant de sélectionner les taxons les plus indicatrices des conditions environnementales des groupes obtenus après une ordination (Dufrêne & Legendre, 1997). Le principe de la méthode « *Indval* » repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce : une espèce est considérée comme indicatrice si elle est typique d'un groupe de relevés (elle est absente des autres groupes) et si elle est présente dans tous les relevés de ce groupe. Les espèces indicatrices donnent un sens écologique à une typologie de sites *K*. 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 de *Aij* par *Bij*.

- le facteur ***Aij*** 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 ***Bij*** représente la fréquence relative d'occurrence de l'espèce *i* dans les sites du groupe *j*. Toutes ces variables se calculent selon les formules :

$$\mathbf{IndVal}_{ij} = 100 \times \mathbf{A}_{ij} \times \mathbf{B}_{ij}$$

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

\mathbf{A}_{ij} = Nombre d'individus $_{ij}$ / Nombre d'individus $_i$

\mathbf{B}_{ij} = Nombre de sites $_{ij}$ / Nombre de sites $_j$

Ainsi, \mathbf{A}_{ij} mesure la spécificité de l'espèce pour un groupe tandis que \mathbf{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 (Nahmani & Rossi, 2003).

L'outil utilisé pour exécuter les calculs de cette analyse est le package *Vegan* du logiciel R.

Dans cette étude, la méthode *IndVal* a été utilisée pour déterminer les valeurs indicatrices des taxons caractéristiques des différents types de stations leurs caractérisations abiotiques. Un taxon est considéré comme indicateur d'un habitat donné quand le test de permutation appliqué à ses différentes valeurs indicatrices est significatif pour cet habitat (Thomas *et al.*, 2004 ; Edia, 2008; Kouamé, 2014). Outre ce test, les taxons qui ont une valeur indicatrice supérieure ou égale à 25 % pour un type d'habitat ont été également assimilés aux taxons indicateurs de cet habitat (Nahmani & Rossi, 2003). Cette dernière considération signifie que le taxon caractéristique apparaît au moins à 50 % dans un groupe donné de sites et que son abondance relative dans ce groupe atteint 50 % (Dufrene & Legendre, 1997).

CHAPITRE III :

RESULTATS ET DISCUSSION

3-1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA LAGUNE AGHIEN

3-1-1 Variations spatiales et saisonnières des paramètres

3-1-1-1 Température

Les variations spatiales et saisonnières de la température des eaux de la lagune Aghien sont illustrées par la figure 21.

La température la plus basse (23,7°C) a été enregistrée au niveau de la station P2 pendant la grande saison sèche tandis que la valeur la plus élevée (31,5°C) a été observée au niveau de la station P7 pendant la grande saison sèche.

Les variations sont plus importantes pendant la grande saison sèche alors que les plus faibles variations sont notées au cours de la petite saison sèche. Il n'y a pas de différence significative entre les variations de la température d'une station à l'autre (test Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Cependant, les variations saisonnières sont significatives entre la petite saison des pluies et la petite saison sèche. Il y a des variations saisonnières significatives entre les deux grandes saisons et les deux petites saisons (test Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$). La température ne varie pas significativement entre la grande saison des pluies et la grande saison sèche (U de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

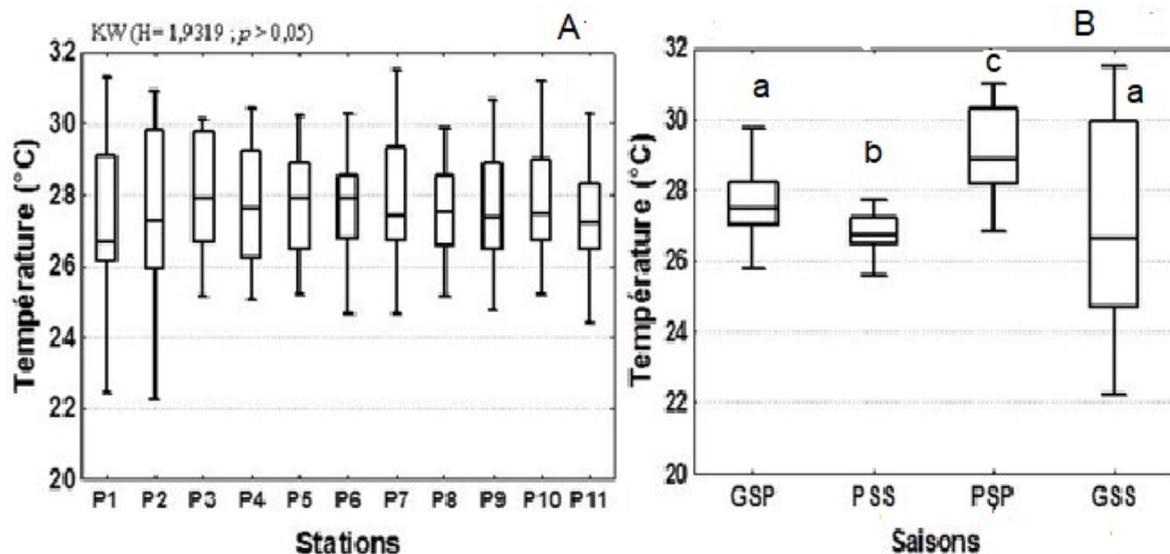


Figure 21: Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la température des eaux de la lagune Aghien.

GSP : Grande saison des pluies ; GSS : Grande saison sèche ; PSP : Petite saison des pluies ; PSS : Petite saison sèche ; a, b, c= Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-2 Conductivité

La figure 22 fait état des variations spatiales et saisonnières de la conductivité des eaux de la lagune Aghien. La plus faible valeur de la conductivité ($47,9 \mu\text{S}/\text{cm}$) est enregistrée au niveau de la station P11 pendant que la station P1 a eu la valeur la plus élevée ($98,6 \mu\text{S}/\text{cm}$).

La petite saison des pluies a enregistré la plus faible variation de la conductivité. La plus forte variation de la conductivité de l'eau est observée pendant la grande saison sèche avec les valeurs maximale ($98,6 \mu\text{S}/\text{cm}$) et minimale ($47,9 \mu\text{S}/\text{cm}$). La conductivité ne varie pas significativement d'une station à l'autre sur l'ensemble de la lagune Aghien (test Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Cependant, les variations sont significatives entre toutes les saisons (test Kruskal-Wallis et test U de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

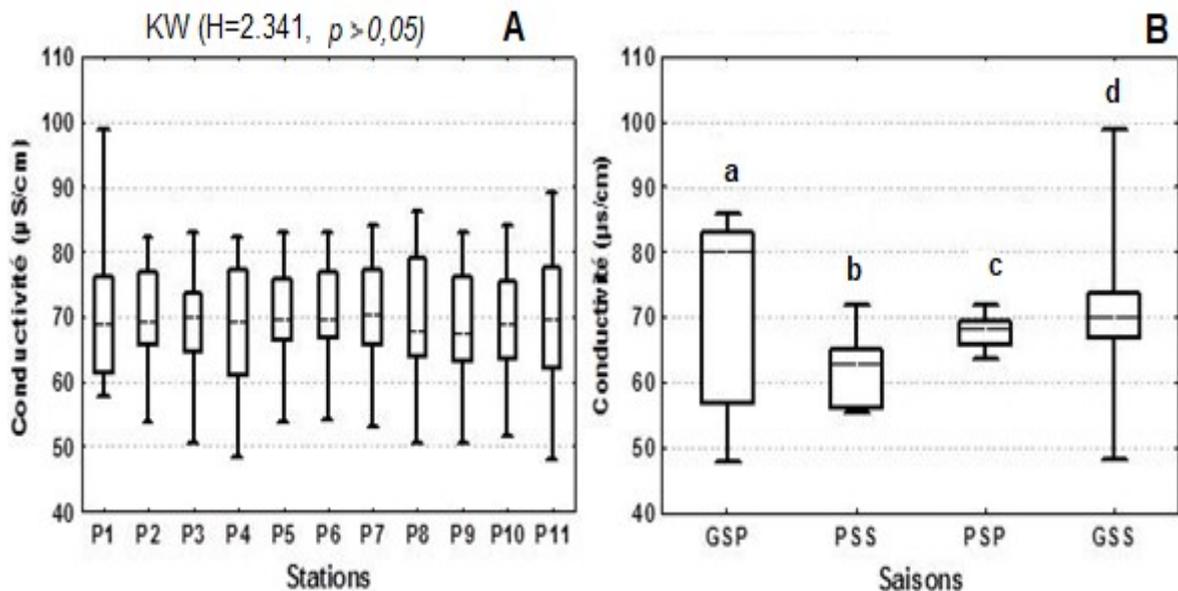


Figure 22: Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la conductivité des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c, d = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-3 pH

La dynamique spatio-temporelle du pH des eaux de la lagune Aghien est présentée par la figure 23. Dans l'ensemble des stations étudiées, le pH varie de 5,5 à 9,92. La plus faible valeur du pH a été enregistrée au niveau de la station P9 pendant que la valeur la plus élevée est notée à la station P6. La grande saison des pluies a enregistré la plus grande variation du pH ainsi que les valeurs minimale (5,5) et maximale (9,92). Cependant, la plus faible amplitude de variation est observée à la petite saison sèche. Le pH ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Aucune variation

significative n'est notée entre les variations du pH de la grande saison sèche, de la grande saison des pluies et de la petite saison des pluies. Cependant, les variations de ces saisons diffèrent significativement de celle de la petite saison sèche (Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$).

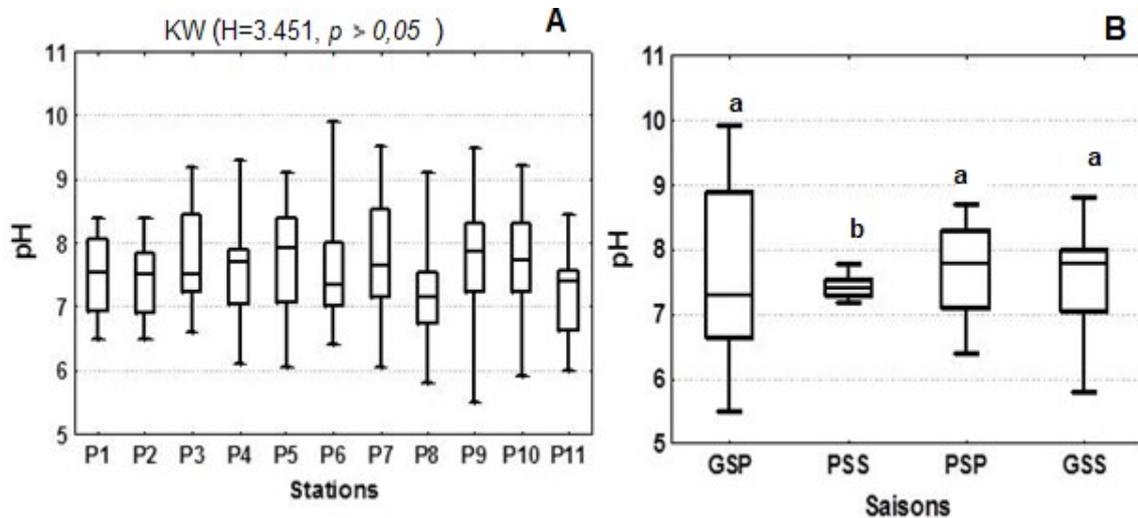


Figure 23: Variations spatiales (A) et saisonnières (B) du pH des eaux de la lagune Aghien. GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; KW : a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons, les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-4 Oxygène dissous

Les variations spatiales et saisonnières de l'oxygène dissous des eaux de la lagune Aghien sont illustrées par la figure 24. La teneur minimale de l'oxygène dissous (2,6 mg/L) a été obtenue à la station P2 et la maximale (9,3 mg/L) à la station P5. Les valeurs observées durant la grande saison sèche sont relativement plus élevées que celles des autres saisons. La valeur minimale de l'oxygène dissous (2,6 mg/L) est observée au cours de la grande saison des pluies alors que la valeur maximale (9,3 mg/L) est notée pendant la grande saison sèche. L'oxygène dissous ne présente pas de variations significatives d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). En outre, les variations de l'oxygène dissous sont significatives d'une saison à l'autre (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Ces variations sont significatives entre toutes les saisons (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

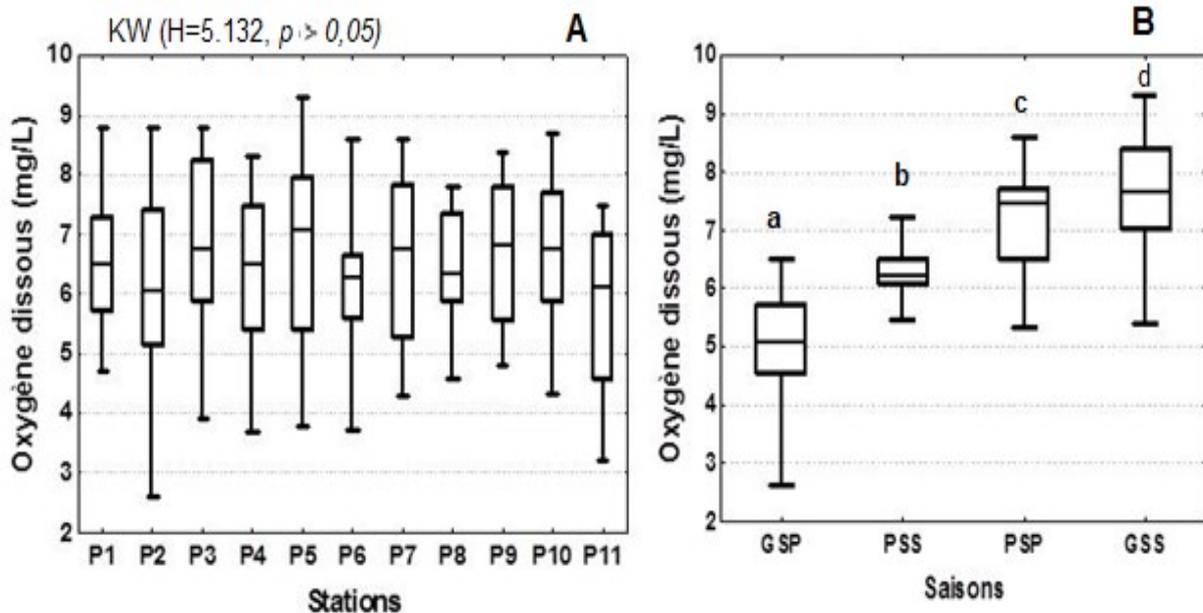


Figure 24 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de l'oxygène dissous des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche: a, b, c, d = Indiquent les différences observées au niveau des saisons, les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-5 Turbidité

Les variations spatiales et saisonnières de la turbidité des eaux de la lagune Aghien sont présentées par la figure 25. La turbidité des eaux est maximale (165 UNT) à la station P8 et minimale (5,2 UNT) à la station P10. Ce paramètre présente des variations élevées aux stations P5 et P8 alors qu'elles sont relativement faibles aux stations P1 et P11. La variation observée à la grande saison des pluies est plus importante par rapport à celles des autres saisons. Cette grande saison des pluies a enregistré la valeur maximale (165 UNT) et la valeur minimale (5,2 UNT) de la turbidité. La turbidité ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). En revanche, elle diffère significativement entre la petite saison des pluies et la petite saison sèche. Il y a aussi une variation significative de la turbidité entre les deux grandes saisons (saisons sèche et des pluies) et les deux petites saisons (saisons sèche et des pluies) (Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$). Par ailleurs, la variation de la turbidité n'est pas significative entre la grande saison des pluies et la grande saison sèche. (Mann-Whitney, $p > 0,05$).

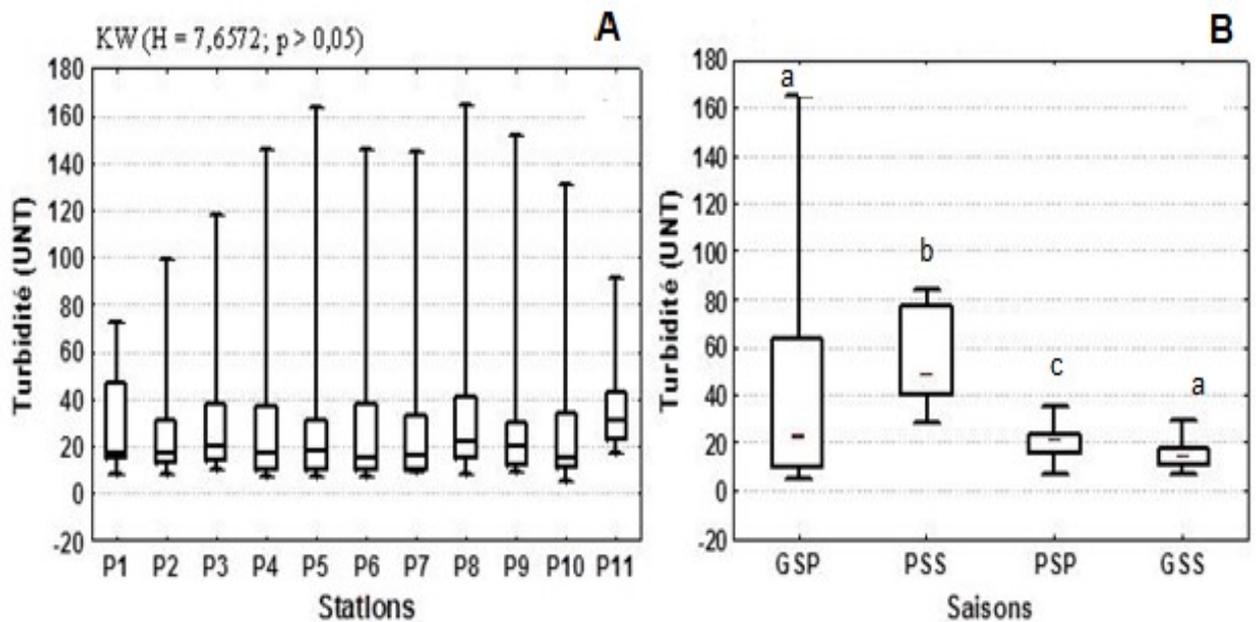


Figure 25 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la turbidité des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche; a, b, c = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-6 Phosphore

La figure 26 indique les variations spatiales et saisonnières de la concentration en phosphore dans les eaux de la lagune Aghien.

Les concentrations sont comprises entre 0,04 mg/L (stations P1, P4, P6, P7 P8 et P9) et 1,8 mg/L (station P2). La plus grande amplitude de variation est enregistrée à la station P2. Les concentrations minimale (0,04 mg/L) et maximale (1,8 mg/L) en phosphore sont mesurées pendant la grande saison des pluies. Par ailleurs, la dynamique saisonnière du phosphore indique une plus grande variabilité pendant la grande saison des pluies. La concentration en phosphore ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) contrairement aux variations saisonnières qui sont significatives (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les variations de la concentration en phosphore des deux grandes saisons (pluies et sèche) sont significatives par rapport à celle des deux petites saisons (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

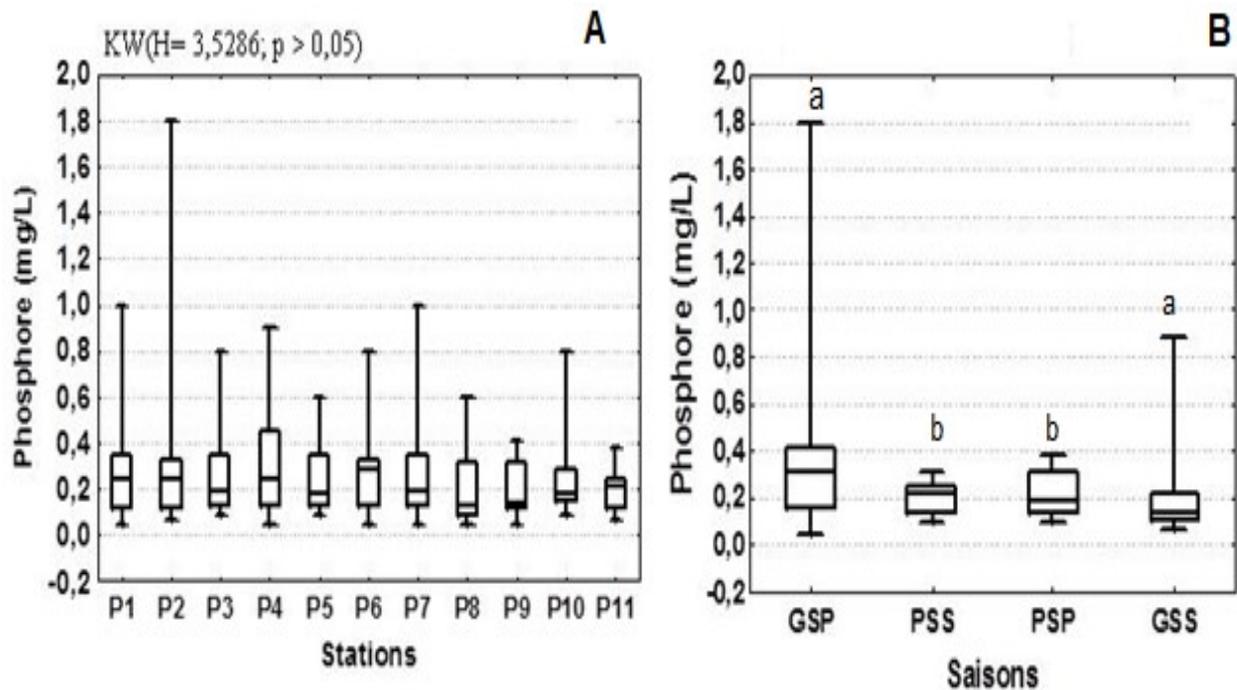


Figure 26 Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la teneur en phosphore des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-7 Phosphate

La figure 27 présente les variations spatiales et saisonnières de la teneur en phosphate des eaux de la lagune Aghien. L'analyse des variations spatiales et saisonnières du phosphate des eaux révèle que la station P4 a présenté les valeurs extrêmes de ce paramètre qui sont de 0,39 mg/L et 1,07 mg/L. La variabilité de la teneur en phosphate est faible à toutes les stations à l'exception des stations P1 et P4 où des variabilités relativement importantes sont enregistrées. Les teneurs minimale (0,39 mg/L) et maximale (1,07 mg/L) en phosphate sont mesurées pendant la grande saison sèche. La teneur en phosphate ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Cependant, elle diffère significativement d'une saison à l'autre. Les variations de la teneur en phosphate sont significatives entre les deux grandes saisons (pluies et sèches) et les petites saisons des pluies et sèches (Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les variations de la teneur en phosphate sont aussi significatives entre la petite saison des pluies et la petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

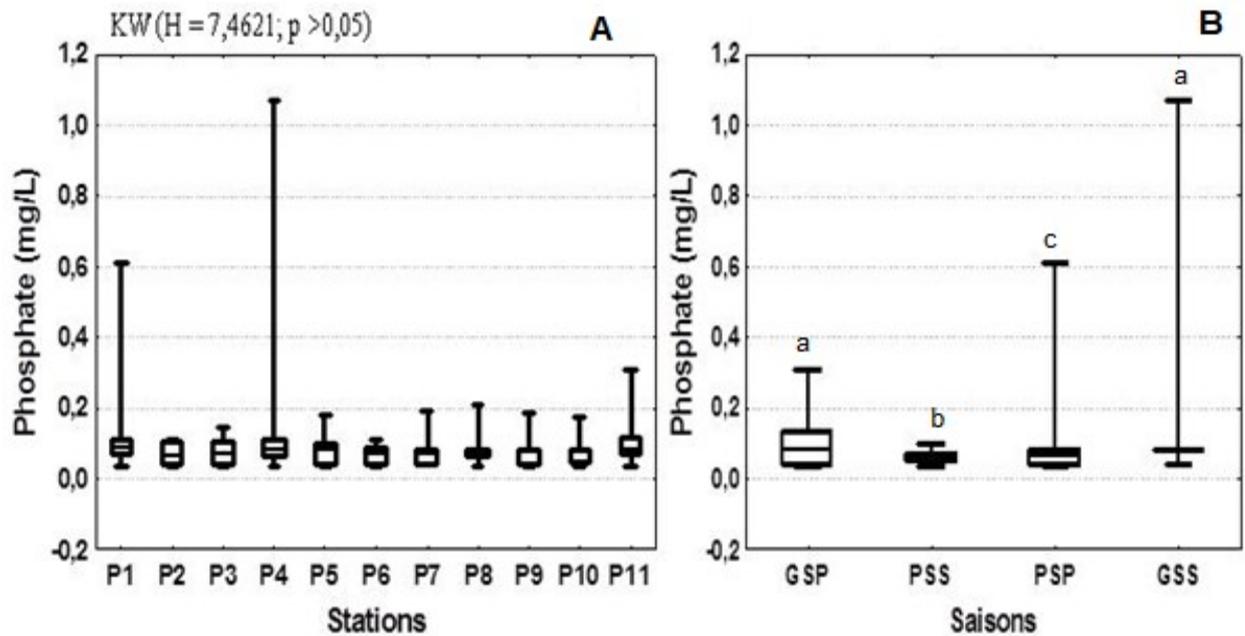


Figure 27 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la teneur en phosphate des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-8 Nitrate

La concentration en nitrate varie de 0,088 mg/L (station P1) à 3,72 mg/L (station P9) avec des amplitudes plus ou moins élevées à toutes les stations. La variabilité de ce paramètre est plus importante au cours la grande saison des pluies alors qu'elle est plus faible à la grande saison sèche (Figure 28). La valeur minimale (0,088 mg/L) est observée pendant la petite saison sèche alors que la valeur maximale (3,72 mg/L) est notée pendant la grande saison des pluies. Il n'y a pas de différences significatives entre les variations spatiales de la teneur en nitrate (test Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Toutefois, les variations saisonnières observées sont significatives (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). La variation de la teneur en nitrate de la grande saison sèche diffère significativement de celle des trois autres saisons à savoir : la grande saison des pluies, petite saison des pluies et petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Cependant, les variations de la teneur en nitrate ne sont pas significatives entre ces trois dernières saisons.

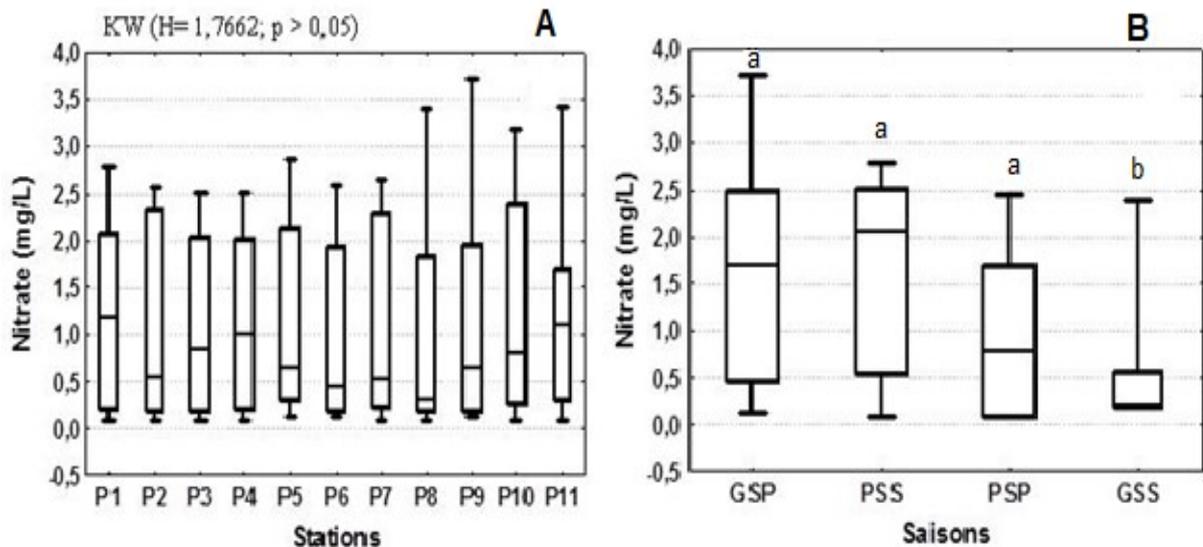


Figure 28 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la teneur en nitrate des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-9 Nitrite

Les variations des concentrations en nitrite dans les eaux de la lagune Aghien sont illustrées par la figure 29. Les concentrations oscillent entre de 0,001 mg/L (stations P1, P8 et P10) et 0,293 mg/L (station P5). Des variations importantes sont observées dans la majeure partie des stations à l'exception des stations P2, P3 et P11 qui ont enregistré de faibles variations. La valeur minimale (0,001 mg/L) est enregistrée à toutes les saisons tandis que la maximale (0,293 mg/L) est mesurée en grande saison des pluies. On note également que l'amplitude des variations est plus grande pendant les saisons des pluies. Les concentrations en nitrites ne diffèrent pas significativement entre les stations (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) alors qu'elles diffèrent entre les saisons (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). La différence se situe entre les deux grandes saisons (pluies et sèche), la petite saison des pluies et la petite saison sèche. Les variations sont aussi significatives entre la petite saison des pluies et la petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les variations des concentrations en nitrite des deux grandes saisons (pluies et sèche) (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

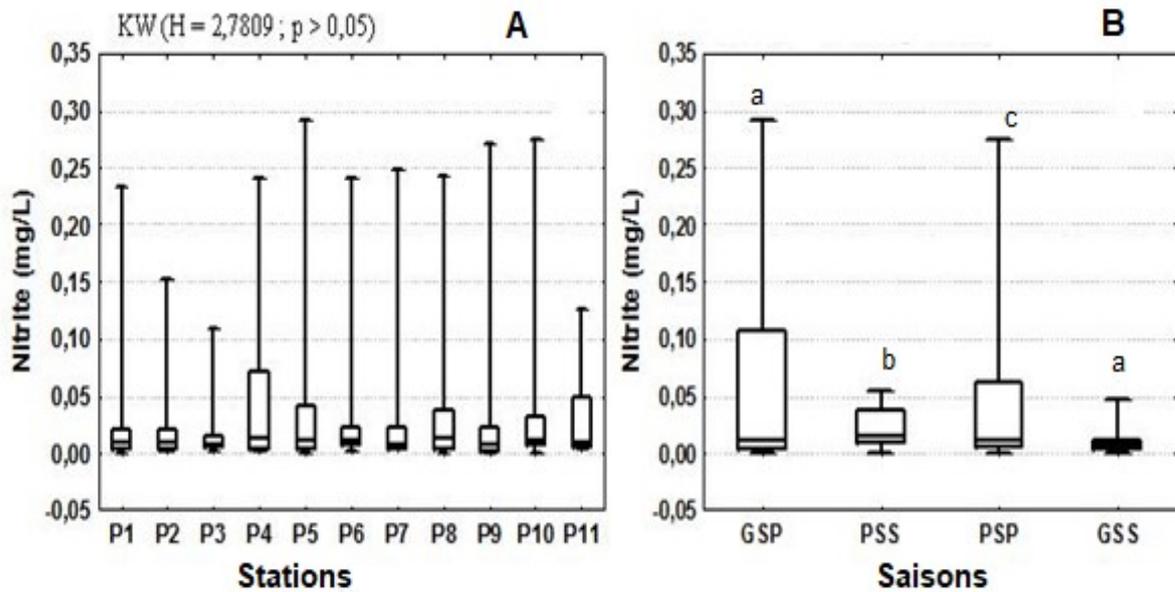


Figure 29 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la teneur en nitrite des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-10 Ammonium

La dynamique spatio-temporelle de la teneur en ammonium des eaux de la lagune Aghien est présentée par la figure 30. La teneur en ammonium des eaux est minimale (0,01 mg/L) à la station P7 et maximale (1,04 mg/L) à la station P4. Ce paramètre présente des variations élevées aux stations P3, P4, P9 et P10, et relativement faibles dans les autres stations, particulièrement aux stations P1 et P2. La petite saison des pluies a enregistré la plus grande valeur de la teneur en ammonium (1,04 mg/L) et une variation plus importante par rapport à celles des autres saisons. La teneur minimale en ammonium (0,01 mg/L) est observée au cours de la grande saison sèche. La petite saison sèche a eu la plus faible variation de la teneur en ammonium. La teneur en ammonium ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). En revanche, elle diffère significativement selon les saisons (Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les variations de la teneur en ammonium ne sont pas significatives entre la grande saison des pluies, la grande saison sèche et la petite saison des pluies. Toutefois, les variations sont significatives entre ces trois saisons et la petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

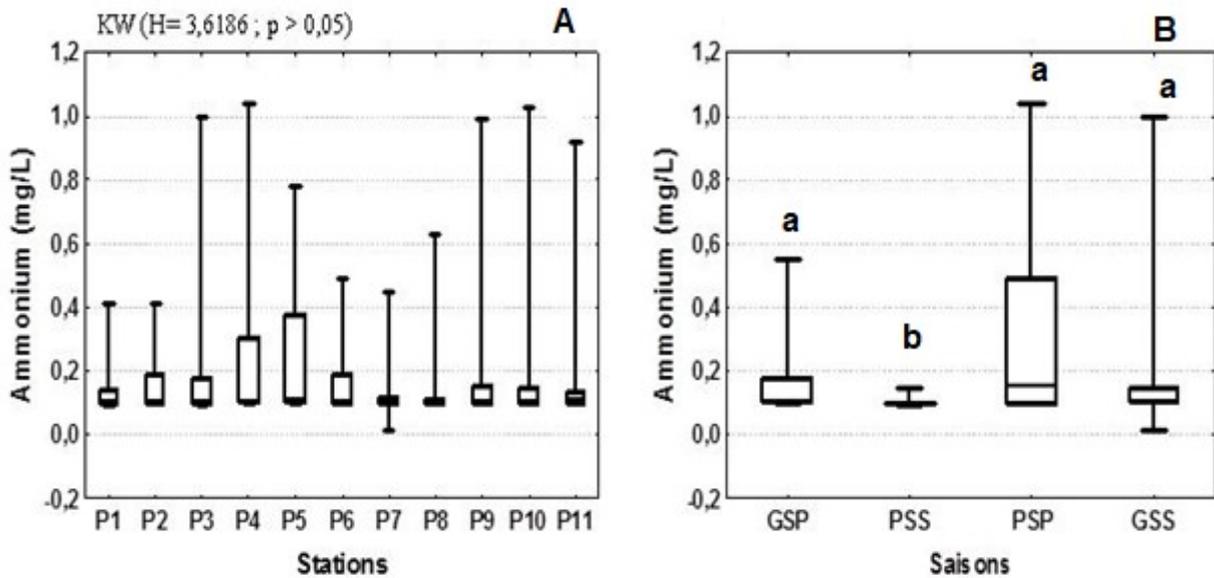


Figure 30: Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la teneur en ammonium des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-11 Matières En Suspension

La teneur des Matières En Suspension (MES) des eaux de la lagune Aghien oscille entre 0,3 mg/L (station P8) et 63 mg/L (station P10). Les variations de ce paramètre sont plus importantes dans les stations P10 (valeur maximale) et P7 alors qu'elles sont plus faibles dans les stations P2 et P4. La valeur minimale (0,3 mg/L) est enregistrée pendant la grande saison sèche tandis que la maximale (63 mg/L) est observée en grande saison des pluies. La variabilité de la teneur des matières en suspension est plus grande en grande saison des pluies (Figure 31). La teneur en MES ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) tandis qu'au niveau saisonnier, la teneur des MES varie significativement (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les variations de la teneur des MES sont significatives entre toutes les saisons (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

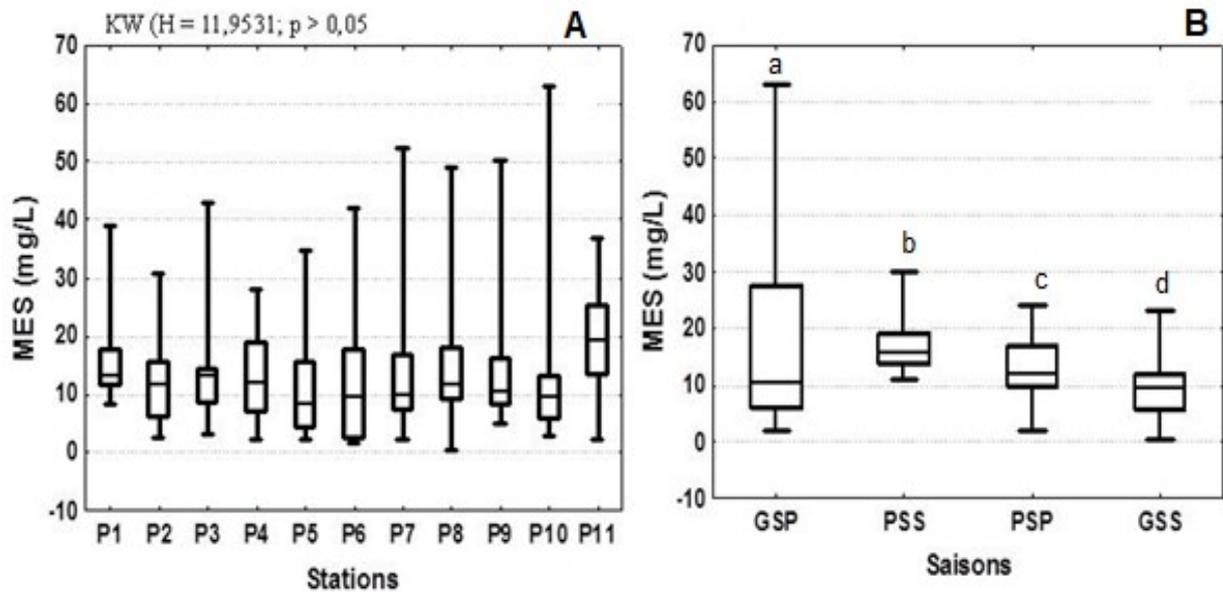


Figure 31 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la matière en suspension des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c, d = Indiquent les différences observées au niveau des saisons, les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-12 Demande Chimique en Oxygène

L'analyse des variations spatiales de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux de la lagune Aghien révèle que la station P7 a présenté la valeur minimale (29,1 mg/L) alors que la station P9 a enregistré la valeur maximale (143 mg/L) (Figure 32). La variabilité de la demande chimique en oxygène est plus importante dans ces deux stations par rapport aux autres. La petite saison des pluies a eu la plus forte variation. Cependant, la petite saison sèche présente la plus faible amplitude de variabilité de la demande chimique en oxygène. La teneur minimale de la demande chimique en oxygène (29,1 mg/L) est mesurée pendant la grande saison sèche tandis que la maximale (143 mg/L) est obtenue en petite saison des pluies (Figure 32).

Au niveau spatial, les variations ne sont pas significatives (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) tandis qu'au niveau saisonnier, les variations diffèrent significativement (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les variations de la demande chimique en oxygène (DCO) ne sont pas significatives entre la grande saison des pluies, la grande saison sèche et la petite saison des pluies. Toutefois, les variations sont significatives entre ces trois saisons et la petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

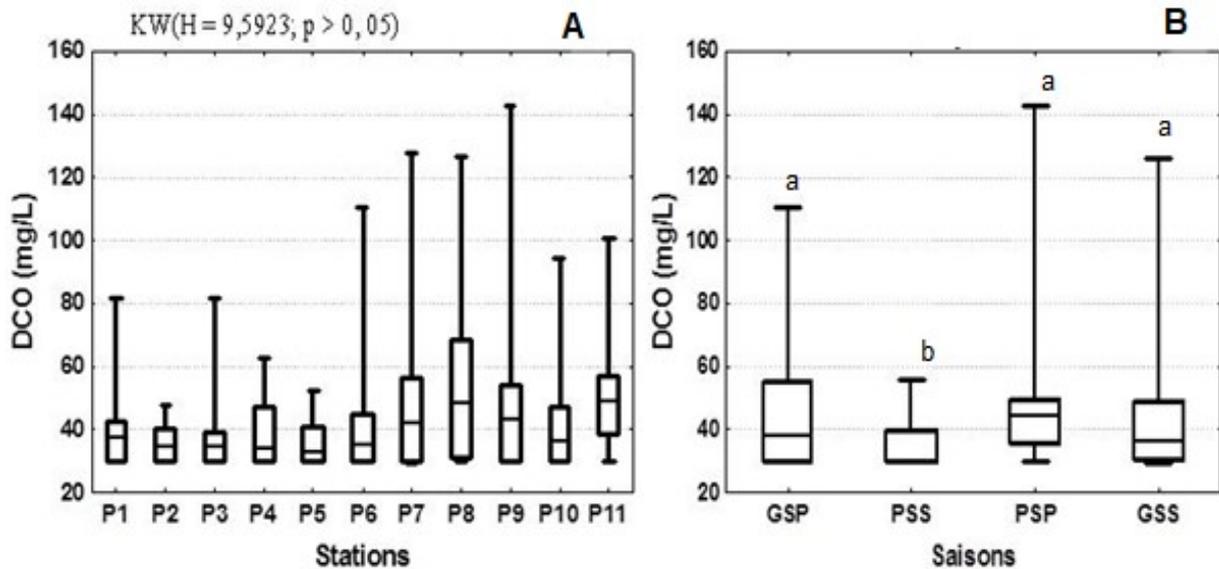


Figure 32 : Variations spatiales (a) et saisonnières (b) de la Demande Chimique en Oxygène des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons ; les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-1-13 Demande Biologique en Oxygène

Les variations spatiales et saisonnières de la demande biologique en oxygène des eaux de la lagune Aghien sont présentées par la figure 33. La Demande Biologique en Oxygène des eaux est minimale (4,99 mg/L) aux stations P1, P2, P3 P4, P5, P6 et P8 et maximale (70 mg/L) à la station P8. Ce paramètre présente une variation plus importantes à la station P8 et relativement faibles aux stations P2 et P5.

Les valeurs minimales (4,99 mg/L) sont mesurées pendant la grande saison des pluies et la petite saison sèche. Par ailleurs, la valeur maximale (70 mg/L) est enregistrée au cours de la grande saison sèche. La Demande Biologique en Oxygène ne varie pas significativement d'une station à l'autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). En revanche, elle diffère significativement d'une saison à l'autre (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les variations de la demande biologique en oxygène (DBO) ne sont pas significatives entre la grande saison des pluies, la grande saison sèche et la petite saison des pluies. Toutefois, les variations sont significatives entre ces trois saisons et la petite saison sèche (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

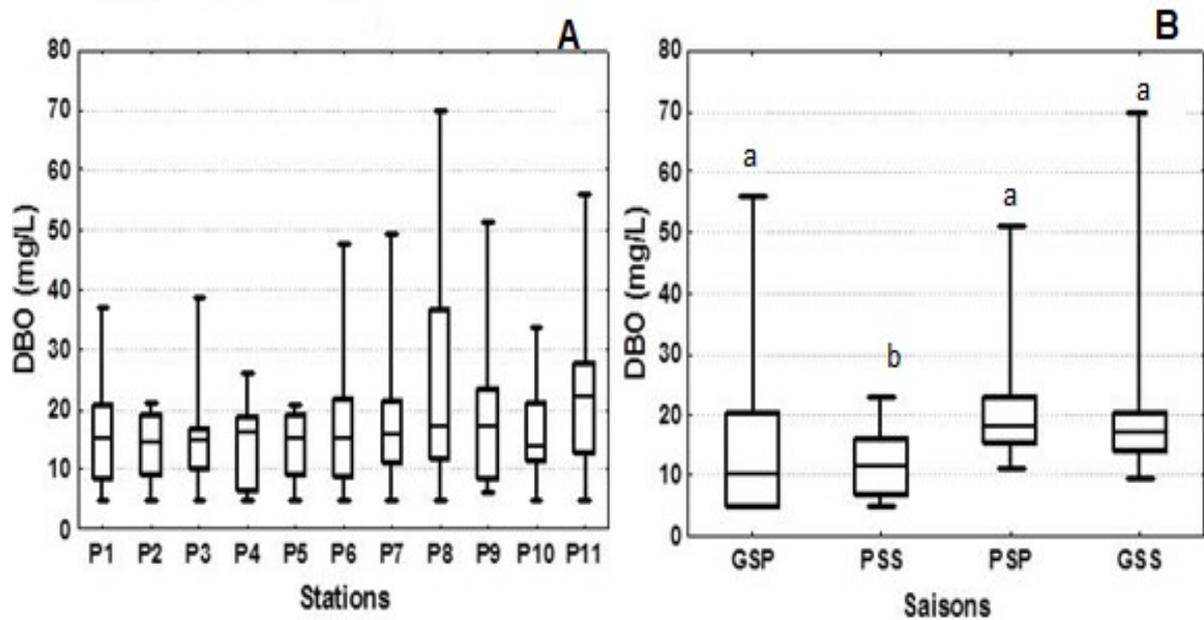


Figure 33 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la Demande Biologique en Oxygène des eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des saisons, les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0,05.

3-1-2 Typologie abiotique des stations

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les paramètres physico-chimiques a permis d'établir une typologie abiotique des stations de la lagune Aghien (Figure 34). Les axes factoriels 1 et 2 expliquent 57,94 % (F1 = 34,21 % ; F2 = 23,73 %) de la variabilité totale des paramètres (Figure 34). Le cercle de corrélation indique une forte corrélation positive de la demande chimique en oxygène, la demande biologique en oxygène et la teneur en matière en suspension à l'axe F1 alors que le phosphore, le pH et l'oxygène dissous sont négativement corrélés à cet axe. Quant à l'axe F2, il présente une corrélation positive avec la turbidité, la température, l'oxygène dissous, la teneur en nitrite et en ammonium mais une corrélation négative avec les paramètres liés à la minéralisation (conductivité et phosphore) (Tableau VII).

Une analyse de classification hiérarchique réalisée à partir des données abiotiques a permis de regrouper les stations présentant des similarités au regard des paramètres physico-chimiques. La classification est effectuée sur la base des valeurs moyennes de chaque variable environnementale. Ainsi, trois groupes de stations (groupe I, II et III), peuvent être distingués (Figure 35). L'axe F1 discrimine le groupe I, constitué des stations P8 et P11, dans sa partie positive pendant que les groupes II et III sont situés dans l'axe principal de cet axe F1. L'axe

F2 discrimine le groupe II (stations P3, P4, P5, P6, P7, P9 et P10) dans sa partie positive alors qu'il discrimine le groupe III (P1 et P2) dans sa partie négative.

La carte factorielle (Figure 34) présente une distribution des onze stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physiques et chimiques. Selon l'axe F1, les échantillons du groupe I (stations P8 et P11) présente une corrélation positive avec des valeurs élevées de la demande biologique en oxygène (DBO), de la demande chimique en oxygène (DCO) et des matières en suspension (MES) mais a une corrélation négativement avec des valeurs élevées du phosphore, du pH et de l'oxygène dissous. Selon l'axe F2, les échantillons du groupe II (stations P3, P4, P5, P6, P7, P9 et P10) présente une corrélation positive avec des valeurs élevées de la turbidité, de la température, des teneurs en nitrite et en ammonium. En revanche, ce groupe II est négativement corrélié avec des valeurs élevées des paramètres liés à la minéralisation (conductivité et au phosphore). Enfin, le groupe III (stations P1 et P2) est corrélié positivement avec des valeurs élevées des paramètres liés à la minéralisation (conductivité et au phosphore) pendant qu'il est négativement corrélié avec la turbidité, la température, le pH, l'oxygène dissous, le nitrite et l'ammonium.

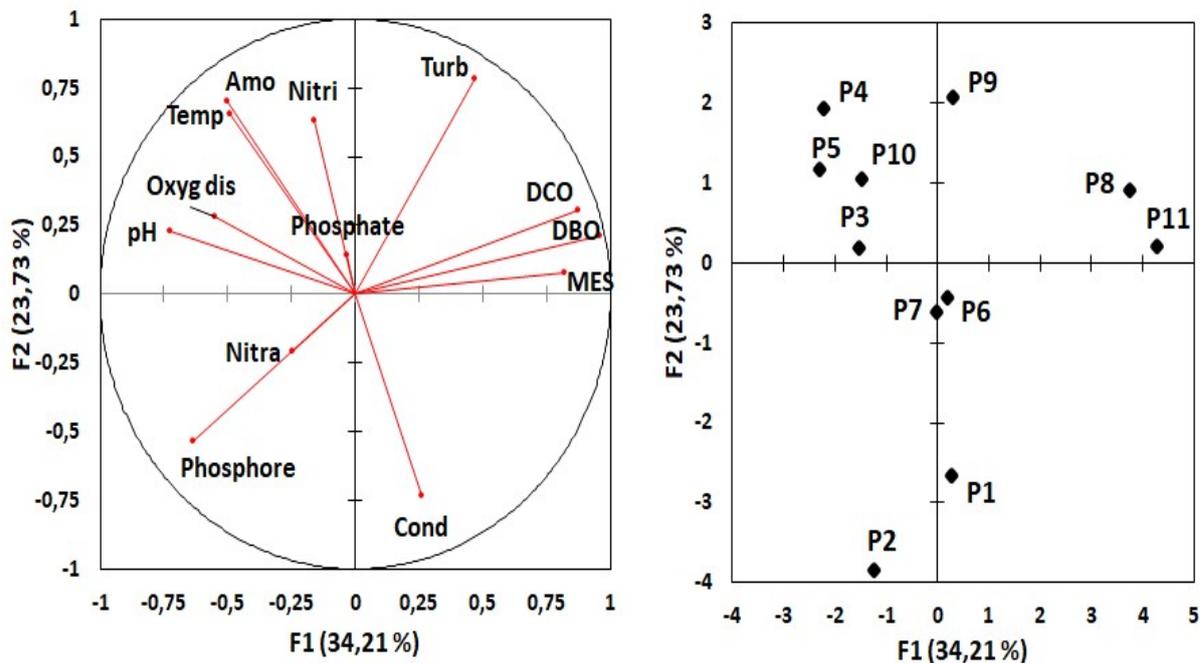


Figure 34 : Analyse en Composantes Principales réalisée sur la base des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien.

Temp : température, **Nitri** : nitrites, **Nitra** : nitrates, **Amo** : ammonium, **Turb** : turbidité, **MES** : matière en suspension, **pH** : potentiel d'Hydrogène, **Cond** : Conductivité, **DBO** : Demande Biologique en Oxygène, **DCO** : Demande Chimique en Oxygène, **Oxyg.dis** : Oxygène dissous. P1 à P11 : stations.

Tableau VII: Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien.

	F1	F2
Temp	-0,493	0,653
Cond	0,258	-0,732
Turb	0,467	0,781
pH	-0,724	0,230
Phosphore	-0,635	-0,534
Phosphate	-0,034	0,142
Oxyg dis	-0,552	0,281
Nitra	-0,245	-0,208
Nitri	-0,162	0,632
Amo	-0,501	0,699
DCO	0,875	0,307
DBO	0,956	0,213
MES	0,819	0,075

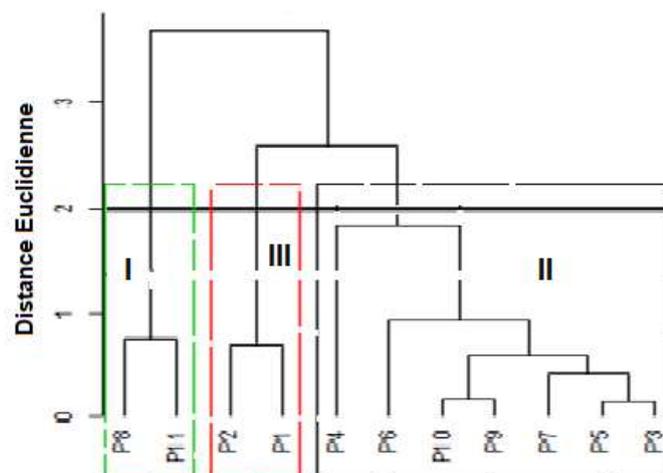


Figure 35 : Classification Hiérarchique des stations d'échantillonnage de la lagune Aghien à partir des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques. I, II, et III = groupes observés.

3-1-3 Typologie saisonnière des caractéristiques physico-chimiques des eaux

Afin de faire un récapitulatif de la variation saisonnière des paramètres physico-chimique étudiés, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur ces paramètres. Cette analyse a également permis de mettre en évidence une saisonnalité de la variabilité de ces paramètres (Figure 36). Les résultats de cette analyse révèlent que les deux premiers axes factoriels expliquent 85,38 % (F1 = 61,97 % ; F2 = 23,41 %) de la variabilité totale des

paramètres. La saisonnalité de la variabilité des propriétés physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien est illustrée par la carte factorielle (Figure 36). Les quatre saisons sont nettement discriminées. L'analyse des corrélations montre que la température, l'ammonium, le pH, la conductivité, la turbidité, la demande chimique en oxygène et la demande biologique en oxygène sont positivement corrélés à l'axe F1 alors que le nitrate, le nitrite, le phosphate et les matières en suspension sont négativement corrélés à cet axe. Cependant, le phosphore et le nitrate sont positivement corrélés à l'axe F2 pendant que l'oxygène dissous, la turbidité et le phosphate présentent une corrélation négative à cet axe (tableau VIII).

Au niveau des saisons, sur l'axe F1, la grande saison des pluies et la petite saison des pluies se trouvent dans la partie positive alors que la petite saison sèche se situe dans la partie négative de cet axe. Sur l'axe F2, la grande saison des pluies et la petite saison des pluies se trouvent dans la partie positive pendant que la grande saison sèche se situe dans la partie négative.

Selon l'axe F1, la grande saison des pluies et la petite saison des pluies sont fortement corrélées à des valeurs élevées de la température, de la conductivité, du pH, de l'ammonium, de la turbidité, de la demande chimique en oxygène et de la demande biologique en oxygène tandis qu'elles sont négativement corrélées à des valeurs élevées du nitrite, du phosphate et des matières en suspension. Par ailleurs, au cours de la petite saison sèche, les paramètres évoluent inversement à celle de la grande saison des pluies et de la petite saison des pluies.

Selon l'axe F2, la grande saison sèche est fortement corrélée à des teneurs en oxygène dissous de la turbidité et du phosphate élevées pendant qu'elle présente une corrélation négative avec le phosphore et le nitrate.

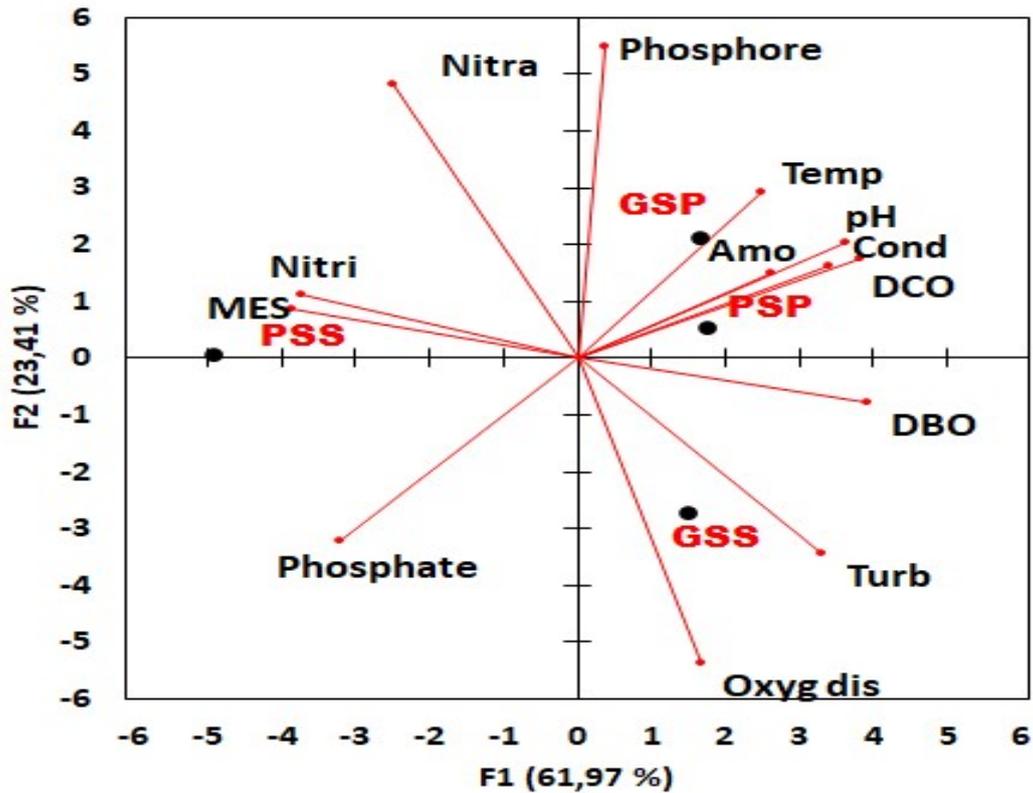


Figure 36 : Analyse en Composantes Principales sur les variables physico-chimiques mesurés aux différentes saisons dans les eaux de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; **GSS** = Grande saison sèche ; **PSP** = Petite saison des pluies ; **PSS** = Petite saison sèche ; **Temp** : température, **Nitri** : nitrites, **Nitra** : nitrates, **Amo** : ammonium, **Turb** : turbidité, **Mes** : matière en suspension, **pH** : potentiel d'Hydrogène, **Cond** : Conductivité, **DBO** : Demande biologique en oxygène, **DCO** : demande chimique en oxygène, **Oxyg.dis** : Oxygène dissous. P1 à P11 : stations.

Tableau VIII : Poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes (F1 et F2) de l'ACP sur la variabilité saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien.

	F1	F2
MES	-0,974	0,135
DBO	0,990	-0,122
DCO	0,962	0,272
Amonium	0,658	0,234
Nitrites	-0,942	0,173
Nitrates	-0,624	0,743
Oxyg dissous	0,420	-0,831
Phosphate	-0,806	-0,496
Phosphore	0,090	0,847
pH	0,918	0,313
Turbidité	0,835	-0,531
Température	0,623	0,450
Conductivité	0,854	0,250

3-1-4-Discussion

La variation spatiale des différents descripteurs abiotiques de la lagune Aghien a été étudiée. Elle révèle que les paramètres ne varient pas de façon notable d'une station à une autre. Cela pourrait s'expliquer par un échange permanent des eaux des différentes stations considérées sous l'impulsion des vagues à la surface de la lagune, entraînant d'importantes circulations de masses d'eau. Ce mouvement serait à la base d'une certaine homogénéisation de l'eau à une période donnée. A cet effet, Salencon & Calmels (1994) ont montré que les circulations de masses d'eau jouent un rôle fondamental dans le transport et la redistribution des nutriments. Ces observations sont similaires à celles de Kouamé (2014) qui a observé une faible variabilité spatiale des paramètres physico-chimiques du lac de Taabo. Cependant, l'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les moyennes des différents descripteurs abiotiques avec les stations d'échantillonnage comme critère de ségrégation a permis d'établir une typologie abiotique des différentes stations. Cette analyse a regroupé les caractéristiques physico-chimiques de ces stations selon le gradient longitudinal (amont – aval) dans le plan amont (P1 et P2), médian (P3, P4, P5, P6, P7, P9 et P10) et aval (P8, P11). Ce regroupement serait discriminé par le gradient de minéralisation, la situation géographique des stations et la teneur en matière organique. Ainsi, les stations en amont (P1 et P2) caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité et de la teneur en phosphore seraient soumises à une forte minéralisation contrairement aux stations situées en aval (P8 et P11) caractérisées par une forte teneur en matière organique. Cette situation peut s'expliquer par le fait que les rivières drainent dans la partie ouest (amont) de la lagune des eaux riches en minéraux provenant du lessivage de leur substrat argilolimoneux ce qui serait favorable à l'enrichissement des cours d'eau en sels divers dans les cours supérieurs. Les valeurs sont faibles vers l'aval de la lagune compte tenu de la dilution. Ce même constat a été fait avec les études réalisées par Konan (2008) sur les rivières cotières de la Côte d'Ivoire (Soumié - Eholié - Ehania – Noé). Par ailleurs, la forte corrélation entre les stations en amont (P1 et P2) et les fortes concentrations en phosphores pourraient s'expliquer par les rejets d'eaux usées domestiques provenant des canalisations d'Abobo et d'Ayaman dans cette zone de la lagune par le canal des rivières Bété et Djibi. En effet, les eaux usées domestiques contiendraient beaucoup de détergents qui sont les sources de phosphore (Jen, 2002). D'autre part, les stations situées en amont (P1 et P2) sont caractérisées par de faibles profondeurs.

Par ailleurs, l'ACP réalisée sur les différents descripteurs abiotiques a mis en évidence une saisonnalité significative d'une saison à l'autre de ces derniers. Ainsi, l'analyse des poids factoriels des paramètres sur les deux premiers axes de l'ACP montre que tous les paramètres

sont influencés par la saison. Cette saisonnalité des paramètres physico-chimique des eaux de la lagune Aghien serait imputable aux conditions environnantes de la lagune et aux apports saisonniers en nutriments et en particules solides provenant du bassin versant sous l'action des eaux de ruissellement en saison des pluies. En effet, les saisons des pluies sont caractérisées par des valeurs élevées de la température et du pH. Les fortes températures enregistrées sont dues à la forte insolation qui pourrait augmenter les vitesses des réactions chimiques et biochimiques (Groga, 2012). Les valeurs élevées de l'oxygène dissous en grande saison sèche pourraient être dues aux valeurs élevées de la température qui stimulent l'activité photosynthétique pendant cette saison dans la lagune. Cette forte activité photosynthétique est favorisée par la faible turbidité qui laisse pénétrer les rayons du soleil dans la colonne d'eau (Komoé *et al.*, 2009). Ce résultat explique les fortes corrélations entre ces paramètres (température et pH) pendant cette période. Des résultats similaires ont été obtenus sur le lac du barrage de Taabo où une saisonnalité des paramètres physico-chimiques a été révélée (Aliko, 2012). Cependant, les faibles valeurs de la température obtenues pendant la grande saison sèche pourraient être liées au phénomène d'upwelling ou à la faible insolation favorisée par un ciel couvert (Konan *et al.*, 2017).

Par ailleurs, plusieurs études ont montré qu'une forte concentration de phosphore pendant les périodes pluvieuses est probablement due à un apport par lessivage du bassin versant (Neumann & Dudgeon, 2002). En revanche, la faible concentration de phosphore durant les saisons sèches pourrait se justifier par la forte présence des végétaux aquatiques majoritairement composées d'*Eichhornia crassipes*. Le développement de ces plantes entraînerait une absorption des nutriments du milieu en réduisant considérablement leur concentration dans les eaux notamment en phosphore et en nitrite (Smith *et al.*, 2008).

Les fluctuations saisonnières de la conductivité seraient liées à la concentration des nutriments (phosphore, nitrate, nitrite) qui sont responsables de la minéralisation des eaux et par conséquent de sa conductivité (Edia, 2008). Les valeurs mesurées de la conductivité sont toutes inférieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui serait la résultante d'une faible minéralisation globale de l'eau. En effet, Goloma & Symoens (1990) ont établi une échelle du degré de minéralisation des eaux selon laquelle une eau dont la conductivité électrique est inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est faiblement minéralisée.

En outre, les valeurs de température comprises entre (22,5 et 31,5°C) indiquent que les eaux restent relativement chaudes et seraient liées à l'exposition aux rayons solaires et à la température ambiante (25-33°C) dans le département de Bingerville. Ce résultat corrobore avec ceux obtenus par Tamungang *et al.* (2016), qui ont remarqué que la variation de la température

reflète l'influence de la saison ainsi que le climat de la journée sur la qualité de l'eau dans le village Babessi au Nord-Ouest du Cameroun.

Les valeurs du pH comprises entre 5,5 et 9,92 sont au-delà de la marge indicatrice d'un bon état de l'eau comprise entre 6 et 9 telle qu'indiquée par Bernard *et al.* (2016). La variabilité saisonnière du pH montre des valeurs acides ou basiques. Le pH acide pourrait être dû à un processus de décomposition de la matière organique lié au cycle de vie des végétaux aquatiques qui pourrait entraîner une baisse du pH (González *et al.*, 2004). Aussi, les faibles valeurs de pH pendant la grande saison des pluies pourraient s'expliquer par la dilution des eaux due aux apports pluvieux et aussi à l'arrivée des eaux continentales qui seraient acides. En effet, l'hydratation du CO₂ produit l'acide carbonique dont l'ionisation libère des ions H⁺ : ce sont ces ions H⁺ qui contribuent à l'acidité de l'eau (Konan *et al.*, 2017). Ces différentes valeurs de pH entre les saisons peuvent être aussi l'indice d'une contamination des eaux par des rejets de produits acides ou basiques, en général d'origine industrielle dans la lagune. Par ailleurs, les valeurs alcalines peuvent s'expliquer par un flux des eaux basiques des affluents pendant les autres saisons (IBGE, 2005). En effet, les études menées par Traoré *et al.* (2012) ont montrées que les eaux de la lagune Aghien étaient acides alors que celles de ses affluents étaient alcalines. La turbidité et la teneur des matières en suspension (MES) présentent les mêmes tendances de variation. Les valeurs de ces paramètres restent incluses dans les limites indicatrices d'une eau peu riches en matières fines minérales ou organiques. Cependant, les fortes amplitudes de la variation de ces paramètres pendant la grande saison des pluies résulteraient d'un apport important de particules solides dues aux eaux de ruissellement. Par ailleurs, la grande saison des pluies correspond à la période des crues des rivières qui seraient chargées en matière en suspension. Les mêmes résultats ont été relevés par Komoé (2010) dans la lagune de Grand-Lahou. Ce résultat serait également imputable à une concentration élevée du plancton. En effet, Les sources de matières particulaires seraient d'origine naturelle (particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) (Edia, 2008).

La concentration en oxygène dissous fluctue entre 2,6 et 9,3 mg/L. Cette gamme de valeurs s'accommode à celle enregistrée dans plusieurs eaux douces comme Buyo (Yapo, 2002) et Taabo (Aliko, 2012). Pour ces milieux, le taux d'oxygène dissous est compris entre 2 et 11 mg/L. De plus, les fluctuations de ce paramètre seraient essentiellement sous l'influence de l'ampleur de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques (Aliko, 2012). En effet, les fortes concentrations d'oxygène dissous (supérieur à 6 mg/L) dans les eaux indiquent une eutrophisation causée par une activité photosynthétique intense alors que les faibles

concentrations inférieures à 3 mg/L indiquent une forte pollution de cette eau liée à une augmentation de la solubilité des éléments toxiques (IBGE, 2005). De plus, Yéo (2015) a montré que les matières solides contenues dans l'eau de la rivière Djibi étaient probablement la cause des faibles taux d'oxygène dissous.

Les valeurs des concentrations en nutriments constitués de l'ammonium (0,1 à 1,04 mg/L), du nitrite (0,001 à 0,293 mg/L), du nitrate (0,088 à 3,72 mg/L), du phosphore (0,04 à 1,8 mg/L) et du phosphate (0,039 à 1,07 mg/L) sont respectivement toutes au-delà du seuil de 0,2 mg/L. Ces valeurs indiquent une légère pollution de l'eau qui serait inhérente à un processus de dégradation de la matière organique incomplet (Bernard *et al.*, 2016). En outre, ces valeurs élevées s'expliqueraient aussi par une eutrophisation du milieu suite à une accumulation des composés phosphoriques qui proviendraient des engrais agricoles, des lessives, des effluents d'élevage et des rejets industriels (Effebe *et al.*, 2017). En effet, les variations saisonnières de ces paramètres seraient imputables à la périodicité des eaux de ruissellement dues aux eaux de pluie qui lessivent les substances épandues entraînant d'importants nutriments associés aux particules solides. A cela s'ajoute à la présence des plantes aquatiques notamment de l'espèce végétale *Eichhornia crassipes*. Une observation similaire a été faite par Smith *et al.* (2008) dans l'estuaire de l'île caribéenne où la fluctuation de la concentration du phosphore a été mise en rapport avec la présence de l'espèce végétale *Eichhornia crassipes*. Par ailleurs, les études de Traoré *et al.* (2012) ont montré la présence de résidus de pesticides dans les eaux de la lagune Aghien. Pour ces auteurs cette présence dans les eaux s'explique par l'action des eaux de pluie qui lessivent les substances épandues dans les plantations jusqu'au plan d'eau lagunaire.

En outre, les valeurs de la Demande Biologique en Oxygène (DBO) sont supérieures à 3 mg/L qui est le seuil pour une eau de bonne qualité (Bernard *et al.*, 2016). La valeur élevée de la DBO s'expliquerait par la présence d'une quantité importante de matières organiques dans les eaux de la lagune Aghien (Bruxelles Environnement, 2012). En effet, la DBO est l'un des descripteurs pour marquer les altérations anthropiques notamment les rejets de matières organiques. En termes de qualité pour les eaux potables, il ressort que toutes les valeurs de la DBO des quatre saisons sont presque toutes supérieures à 8 mg/L, ce qui signifie que les eaux de la lagune Aghien sont de mauvaise qualité en référence à ce paramètre (Rodier, 2009). D'après Konan *et al.* (2017), la matière organique est souvent à l'origine de colorations ou de mauvais goûts rebutants pour le consommateur (Goné *et al.*, 2008).

Quant à la Demande Chimique en Oxygène (DCO), toutes les valeurs sont supérieures à 10 mg/L qui est la limite pour une eau de moyenne qualité (Bernard *et al.*, 2016). La valeur moyenne de la DCO est élevée pendant les saisons des pluies. Ce résultat pourrait être lié au

transfert de matière organique accumulées pendant la petite saison sèche du continent vers la lagune (Konan *et al.*, 2017). Ce résultat corrobore ceux de Kambiré *et al.* (2014) dans la lagune Aby et d'EL Morhit (2009) dans l'étude de l'estuaire des baies Loukos au Maroc. D'après l'analyse de l'ACP, les stations proches des embouchures des rivières et aux zones à forte influence anthropique (stations P8 et P11) ont des indices de pollution (DBO et DCO) les plus élevés. Toutefois, les ordres de grandeur de la DBO et de la DCO enregistrés dans cette étude sont largement inférieurs aux valeurs moyennes rapportées par Yao *et al.* (2009) sur les eaux de la lagune Ebrié (DCO = $285 \pm 110,32$ mg/L et DBO = $100,48 \pm 45,02$ mg/L). Cette différence est probablement due au fait que la lagune Ebrié qui est située en pleine agglomération reçoit directement les eaux usées de la ville d'Abidjan. La pollution des eaux par la matière organique est accentuée en petite saison des pluies au cours de la période de l'étude avec une forte présence de l'ammonium.

Au regard de tous ces paramètres physico-chimiques dont les valeurs sont au-delà des seuils requis pour une eau non polluée, on pourrait estimer que l'eau de la lagune Aghien serait soumise à une pollution de type organique.

3-2 DIVERSITE TAXONOMIQUE ET STRUCTURE DES MACROINVERTEBRES

3-2-1 Analyse qualitative des communautés

3-2-1-1 Composition taxonomique globale

La composition taxonomique des macroinvertébrés de la lagune Aghien est présentée dans le tableau IX.

L'ensemble des communautés de macroinvertébrés récoltées dans la lagune Aghien est constitué de 03 embranchements : Annélides, Mollusques et Arthropodes. Les macroinvertébrés collectés dans les onze stations étudiées sont regroupés en 6 classes à savoir : Clitellates, Bivalves, Gastéropodes, Arachnides, Malacostracés et Insectes. Ces macroinvertébrés appartiennent à 17 ordres réparties en 63 familles pour un total de 90 taxons. (Tableau IX).

La classe qui renferme le plus grand nombre d'ordres et de familles est celle des Insectes (Arthropodes) avec 46 familles (soit 73 % des familles inventoriées) issues de 08 ordres notamment les Diptères, Hémiptères, Coléoptères, Odonates, Trichoptères, Ephéméroptères, Lépidoptères et les Plécoptères (Figures 37 et 38). Parmi ces huit ordres d'Insectes, les Diptères sont les mieux représentés avec 11 familles. Ils sont suivis des Hémiptères et Coléoptères avec respectivement 10 et 09 familles. Ensuite, viennent les Odonates composés de 05 familles et les Trichoptères et Ephéméroptères avec 04 familles chacun. Les ordres les moins représentés sont les Lépidoptères et les Plécoptères avec respectivement 02 et 01 familles. La famille d'Insectes la plus diversifiée est celle des Libellulidae (Odonates) avec 05 taxons. Cette famille est suivie des familles des Hydrophilidae et Ceratopogonidae qui comptent chacune 04 taxons (Figure 37 ; Tableau IX).

La seconde classe la mieux représentée est celle des Gastéropodes (Mollusques) (avec 15,9% des familles inventoriées) répartie en 03 ordres : Basommatophores, Cénogastéropodes et Archéogastéropodes. Cette classe renferme 10 familles dont 05 appartenant aux Cénogastéropodes, 04 aux Basommatophores et 01 pour les Archéogastéropodes. Au niveau taxonomique, l'ordre des Cénogastéropodes est le plus riche avec 08 taxons suivi des Basommatophores (06 taxons). L'ordre des Archéogastéropodes est le moins diversifié et ne comporte qu'un seul taxon inventorié. Les familles de Gastéropodes les plus diversifiées sont les Thiaridae (Cénogastéropodes) et Planorbidae (Basommatophores) avec respectivement 05 et 04 taxons (Tableau IX).

De façon générale, les classes les moins diversifiées sont les Bivalves, les Malacostracés, Clitellates et Arachnides. Les Bivalves (1,6 % des familles) et les Arachnides (1,6 % des familles) ne comptent qu'une seule famille pendant que les Malacostracés (3,2 %) et Clitellates (4,8 % des familles) comptent respectivement 02 et 03 familles. Les Bivalves sont représentés par l'ordre des Vénéroïdes et la famille des Sphaeriidae. La classe des Arachnides est représentée par la famille des Hydrachnidiae issue de l'ordre des Trombidiformes. Quant aux Malacostracés, ils sont représentés par les familles des Talitridae et Atyidae issues respectivement des ordres des Amphipodes et Décapodes. Enfin, les ordres des Oligochètes et des Rhynchobdellida sont observés pour la classe des Clitellates (Tableau IX).

Au niveau de la composition du complexe Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères (EPTC) et des Diptères, il ressort qu'à toutes les stations, les Ephéméroptères sont essentiellement représentés par les familles des Baetidae, Heptageniidae, Polymitarcidae et Leptophlebiidae. Les Ephéméroptères sont représentés par les taxons comme : *Cloeon* sp., *Ephoron* sp., *Adenophlebia* sp., *Labiobaetis* sp., *Peloracantha* sp., *Afronurus* sp. et *Choroterpes* sp. Au niveau des Coléoptères, la famille des Hydrophilidae est la plus diversifiée avec 4 taxons que sont *Coelostoma* sp., *Enochrus* sp., *Laccobius* sp. et Hydrobiinae. Les autres familles de Coléoptères inventoriées sont les Dytiscidae avec 02 taxons, alors que les Elmidae; Gyridae; Halplidae; Hydraenidae; Psephenidae; Spercheidae et Sphaeriusidae ne comptent qu'un seul taxon chacun. Concernant les Trichoptères, les familles des Hydroptilidae et des Leptoceridae sont les mieux représentées avec 02 taxons chacune. Les familles des Hydropsychidae et Polycentropodidae ne compte qu'un seul taxon chacun. Par ailleurs, les Plécoptères sont uniquement représentés par la famille des Perlidae et le seul taxon *Neoperla spio*. Quant aux Diptères, les Ceratopogonidae constituent la famille la plus diversifiée avec 04 taxons tels que *Atrichopogon* sp., *Ceratopogon* sp., *Dasyhelea* sp. et *Forcipomyia* sp. (Tableau IX).

Tableau IX : Compositions et occurrences des taxons de macroinvertébrés dans les différentes stations de la lagune Aghien.

Embranchement	Classes	Ordre	Famille	Taxon	Acr	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11		
Annelides	Clitellates	Rhynchobdellida	Glossiphonidae	<i>Helobdella</i> sp.	<i>Hel</i>	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*		
			Salifidae	<i>Barbronia</i> sp.	<i>Bar</i>	*	**	-	*	-	-	-	**	-	-	*		
		Oligochètes	-	-	<i>Oli</i>	**	**	**	**	*	**	**	*	***	**	*		
Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Hydrachnidae	<i>Hydracarina</i> sp.	<i>Hyc</i>	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
			Dytiscidae	<i>Bidesus</i> sp.	<i>Bid</i>	-	-	-	**	-	**	-	**	-	**	-	**	**
				<i>Laccophilus</i> sp.	<i>Lac</i>	-	-	-	*	-	-	-	**	-	*	*	*	
			Elmidae	-	<i>Elm</i>	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Gyrinidae	<i>Orectogysus</i> sp.	<i>Ore</i>	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-
			Halipidae	<i>Halipus</i> sp.	<i>Hal</i>	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Hydraenidae	-	<i>Hyd</i>	**	*	-	**	-	-	-	-	-	**	-	**	**
			Hydrophilidae	<i>Coelostoma</i> sp.	<i>Coe</i>	***	**	-	**	-	-	-	-	*	-	-	-	**
				<i>Enochrus</i> sp.	<i>Eno</i>	*	**	-	**	-	*	-	*	-	*	-	*	*
				Hydrobiinae	<i>Hyr</i>	*	-	-	*	-	**	-	**	-	**	-	*	**
				<i>Laccobius</i> sp.	<i>Lcc</i>	**	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-
			Psephenidae	<i>Afroebria</i> sp.	<i>Afr</i>	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Spercheidae	-	<i>Spe</i>	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*
Sphaeriusidae	<i>Microsporus</i> sp.	<i>Mic</i>	-	*	-	*	-	*	-	*	-	*	-	-	*			

* = taxons accidentels ; ** = taxons accessoires ; *** = taxons constants ; **Acr**= Acronyme

Tableau IX (Suite)

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Taxon	Acr	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11			
Arthropodes	Insectes	Diptères	Blephariceridae	<i>Blephariceridae</i>	Ble							*		*					
			Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> sp.	Atr	*		*										*	
				<i>Ceratopogon</i> sp.	Cer		*										*	*	
				<i>Dasyhelea</i> sp.	Das	*		*											
				<i>Forcipomyia</i> sp.	For	**			*							*			*
			Chaoboridae	<i>Chaoborus</i> sp.	Cha	*								*					
			Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	Chi	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
				Orthoclaadiinae	Ort	***	***	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**
					Tanypodinae	Tan	*	*	*		*	*	*	**	*	*	*	**	**
			Culicidae	<i>Culex</i> sp.	Cul			*		*								*	*
			Empididae		Emp	**	*		*							*			*
			Muscidae	<i>Musca</i> sp.	Muc														*
			Psychodidae	<i>Clogmia</i> sp.	Psy	*		*	**	*			*		*		**	**	**
			Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	Sim														*
			Stratiomyidae	Stratiomyidae	Str											*			
		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	Eri									*						
		Ephéméroptères	Baetidae	<i>Labiobaetis</i> sp.	Cen	**	***		**		**		**		**		**	**	
				<i>Cloeon</i> sp.	Clo		*												*
			Heptageniidae	<i>Afromurus</i> sp.	Aro													*	
			Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia</i> sp.	Adn	**	**		***		**		**		**		**	**	***
				<i>Adenophlebiodes</i> sp.	Ade		*											*	
				<i>Choroterpes</i> sp.	Cho										**				
		Polymitarcyidae	<i>Ephoron</i> sp.	Eph	*														

* = taxons accidentels ; ** = taxons accessoires ; *** = taxons constants ; **Acr**= Acronyme

Tableau IX (suite)

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Taxon	Acr	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11				
Arthropodes	Insectes	Hémiptères	Belostomatidae	<i>Diplonychus</i> sp.	<i>Dip</i>	**	**				*		***		***	***				
			Corixidae	<i>Micronecta</i> sp.	<i>Mir</i>	**	**		**						***		**	***		
			Gerridae	<i>Limmogonus</i> sp.	<i>Lim</i>	**	**		*			**	**	**	**		*	**		
			Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	<i>Hyo</i>	*	*						*		*			**		
			Leptopodidae	<i>Valleriola</i> sp.	<i>Val</i>												*	*		
			Mesoveliidae	<i>Mesovelia vittigera</i>	<i>Mes</i>	***	**		**				*			***		***	***	
				<i>Laccocoris</i> sp.	<i>Lor</i>	**	*									*			*	
			Naucoridae	<i>Macrocosis</i> sp.	<i>Mac</i>	*					*					*		*		
				<i>Naucoris</i> sp.	<i>Nau</i>	**	**									**		**	***	
			Notonectidae	<i>Notonectidae</i>	<i>Not</i>									*						
			Nepidae	<i>Ranatra</i> sp.	<i>Ran</i>	**	**				*					**		**	**	
			Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.	<i>Miv</i>	**	*				**		**	**	**	**		**	**	
				<i>Rhagovelia</i> sp.	<i>Rha</i>											*				
			Lépidoptères	Crambidae	<i>Eoophila</i> sp.	<i>Eoo</i>		*												
		Pyralidae		-	<i>Pyr</i>	**				*			*				*			
		Aeshnidae		<i>Aeshna</i> sp.	<i>Aes</i>														*	
		Coenagrionidae		<i>Coenagrioncnemis</i> sp.	<i>Cen</i>	***	***		***		***		***	***	***	***		***	***	
				<i>Pseudagrion</i> sp.	<i>Pse</i>	***	***		***		***		***	***	***	***		***	***	
		Corduliidae		<i>Hemicordulia</i> sp.	<i>Hem</i>										*					
		Odonates		Isostictidae	<i>Isostictidae</i>	<i>Iso</i>								*						
					<i>Crocothemis</i> sp.	<i>Cro</i>		**		*		*		*		**				
					<i>Diplacodes</i> sp.	<i>Dpl</i>	*												*	
				Libellulidae	<i>Orthetrum</i> sp.	<i>Oth</i>		*		*		*								
					<i>Pantala flavescens</i>	<i>Pnf</i>	*													
					<i>Zygonix</i> sp.	<i>Zyg</i>	***	**		**		**		**	**	**	***		**	**

* = taxons accidentels ; ** = taxons accessoires ; *** = taxons constants ; **Acr**= Acronyme

Tableau IX (suite et fin)

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Taxon	Acr	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11		
Arthropodes	Insectes	Plécoptères	Perlidae	<i>Neoperla spio</i>	Nes	*							**		*	**		
			Hydropsychidae	-	Hsy													*
		Trichoptères	hydroptilidae	<i>Afritrichia sp.</i>	Ait	*									*			
				<i>Hydroptila sp.</i>	Hti	*				*					**		**	*
			Leptoceridae	<i>Leptocerus sp.</i>	Lce		**		*						*			
			<i>Oecetis sp.</i>	Oec														*
	Polycentropodidae	<i>Dipseudopsis sp.</i>	Des	*														
	Malacostracés	Amphipodes	Talitridae	-	Tal	*						**		*			**	
		Décapodes	Atyidae	<i>Atyoida serrata</i>	Ats	***	*		**		***		***		***	***	***	
	Bivalves	Vénéroïdes	Sphaeriidae	<i>Musculium sp.</i>	Mus				*				*	*		**	**	
Mollusques	Archéogastéropodes	Neritidae	<i>Septaria borbonica</i>	Seb			*	*					***		***	**		
			Basommatophores	Lymnaeidae	<i>Lymnaea natalensis</i>	Lyn	**	***		***		**		**	**		**	*
		Physidae	<i>Aplexa marmorata</i>	Apm	**	***		**		**		**				***	**	
	Gastéropodes	Planorbidae	<i>Bulinus guernei</i>	Bug								*			**			
			<i>Bulinus truncatus</i>	But								*		**				
			<i>Indoplanorbis exustus</i>	Ine	**	***		***		**		**		**		***	***	
		Viviparidae	<i>Bellamyia capillata</i>	Bec			*										*	
		Ampullariidae	<i>Lanistes varicus</i>	Lav	*	**		**		**		**				**	**	
		Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	Bit				**						*			*	
		Hydrobiidae	<i>Hydrobia gabonensis</i>	Hyg	*	*		**		**		**				*	*	
		Cénogastéropodes	Thiaridae	<i>Bridouxia giraudis</i>	Brg										*		*	
		<i>Melanoïdes tuberculata</i>	Met	**	***	*	***		**	*	**	*	**	*	***	**		
		<i>Pachymelania byronensis</i>	Pab						*	**	***	**	**	**	**	**		
		<i>Pachymelania fusca</i>	Paf			*				**	***	**	*	*	***			
	<i>Potadoma liricincta</i>	Pol	*		*			**	**	***	***	***	***	***	***			
Nombre total de taxons						51	44	11	41	06	36	12	53	11	48	59		

* = taxons accidentels ; ** = taxons accessoires ; *** = taxons constants ; Acr= Acronyme

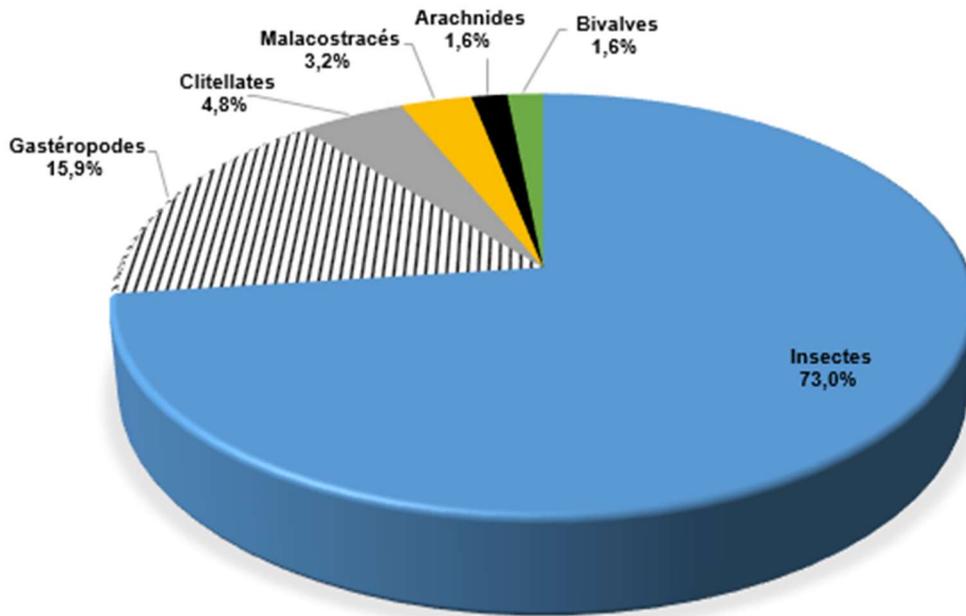


Figure 37 : Proportion des classes de macroinvertébrés de la lagune Aghien à partir de leur nombre de familles

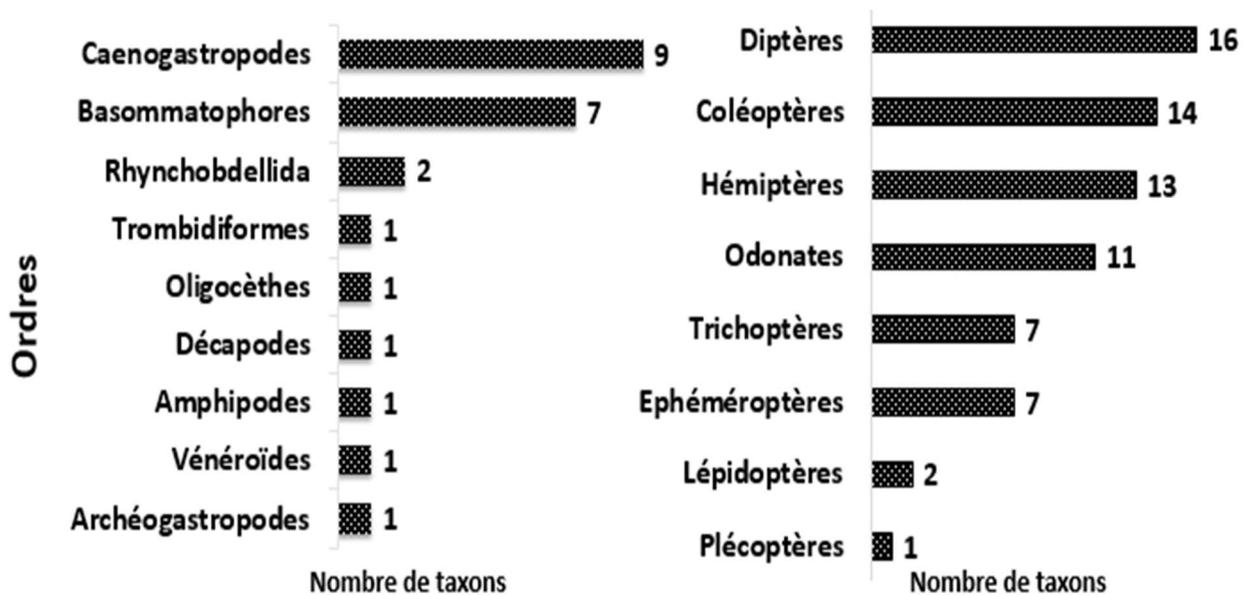


Figure 38 : Nombre de taxons collectés dans les Ordres de macroinvertébrés de la lagune Aghien

Dans l'ensemble trois (3) taxons sont recensés dans les onze stations (cf. Tableau IX). Il s'agit des Diptères *Chironomus* sp. et Orthocladiinae et des Oligochètes. Ils sont suivis de *Melanoïdes tuberculata* (Cénogastéropodes) qui a été récolté dans dix stations mais absent dans la station P5 (cf. Tableau IX).

Au niveau des sept stations situées sur les berges notamment les stations P1, P2, P4, P6, P8, P10 et P11, 13 taxons ont été récoltés dans toutes ces stations. Il s'agit des Insectes appartenant aux

ordres des Coléoptères (*Enochrus* sp.), Odonates (*Coenagriocnemis* sp., *Pseudagrion* sp. et *Zygonyx* sp.), des Ephéméroptères (*Labiobaetis* sp. et *Adenophlebia* sp.) et Hémiptères (*Limmogonus* sp., *Mesovelina vittigera* et *Microvelina* sp.), ainsi que des Gastéropodes des ordres des Basommatophores (*Lymnaea natalensis*, et *Indoplanorbis exustus*) et Cénogastéropodes (*Melanoïdes tuberculata*). Enfin, des Malacostracés (crustacés) de la famille des Atyidae (*Atyoida serrata*) (cf. Tableau IX).

Cependant, le Trichoptères *Leptocerus* sp. a été enregistré dans cinq stations mais est absent aux stations P1 et P6 proche du village Akandjé. Les Lépidoptères de la famille des Pyralidae ont été aussi récoltés dans quatre stations (P1, P4, P6 et P10) mais absents dans les stations P2, P8 et P11 proche des villages Débarcadère et Aghien. Quant au Plécoptère *Neoperla spio*, il a été récolté dans quatre stations (P1, P8, P10 et P11) et absents au niveau des stations P2, P4 et P6 (cf. Tableau IX).

Dans l'ensemble, les individus appartenant aux ordres des Archéogastéropodes (*Septaria borbonica*), des Amphipodes (Talitridae) et des Rhynchobdellida (Salifidae) ont été récoltés respectivement sur 5 stations chacun. Les Trombidiformes sont uniquement observés dans les stations P2 situées en amont et P11 en aval de la lagune Aghien (cf. Tableau IX).

Au niveau des quatre stations situées en pleine eau (P3, P5, P7 et P9) seuls quatre (04) ordres ont été récoltés, à savoir les Diptères, les Oligochètes, les Cénogastéropodes et les Vénéroïdes. Ainsi, hors mis les taxons communs (*Chironomus* sp., Orthoclaadiinae, Oligochètes), chez les Diptères, les taxons Tanypodinae et *Clogmia* sp. ont été aussi récoltés dans toutes les stations en pleine eau. Cependant, les Blephariceridae ont été uniquement enregistrés aux stations P7 et P9 alors que *Chaoborus* sp. est uniquement collecté à la station P7 (cf. Tableau IX).

Chez les Cénogastéropodes, *Melanoïdes tuberculata* et *Potadoma liricincta* ont été observés sur trois stations (P3, P7 et P9) pendant que *Pachymelania byronensis* et *Pachymelania fusca* sont uniquement enregistrés sur deux stations (P7 et P9). En outre, les Vénéroïdes (*Musculium* sp.) sont enregistrés dans les stations P3 et P7 (cf. Tableau IX).

3-2-1-2 Analyse des occurrences des taxons de macroinvertébrés

Sur la base de leur fréquence, les taxons récoltés dans l'ensemble des eaux de la lagune Aghien sont regroupés en trois catégories : les taxons constants, les taxons accessoires et les taxons accidentels. Les occurrences des macroinvertébrés de la lagune Aghien sont présentées dans le tableau IX ci-dessus. La station P4 a enregistré le plus grand nombre de taxons constants (10 taxons) alors que les stations P3, P5 et P9 ont enregistré 01 taxon constant chacune (cf. Tableau

IX). Les stations P4 et P8 ont enregistré 08 taxons constants chacune contre 6 taxons constant pour la station P2. Les stations P1 et P10 ont eu chacune 5 taxons constants.

L'analyse des occurrences montre qu'au niveau des 3 taxons communs à toutes les stations, *Chironomus* sp. a été enregistré comme un taxon constant dans toutes les onze stations. Les Oligochètes sont apparus comme accessoires aux stations P11 et P9 alors qu'ils sont accidentels dans les autres stations. Cependant, Orthoclaadiinae est noté comme un taxon constant aux stations P1, P2 et P10, taxon accessoire aux stations P3, P4, P8 et P9 et taxon accidentel aux stations P5, P7 et P11 (cf. Tableau IX).

Par ailleurs, le tableau X présente les proportions des catégories de taxons définies sur la base de l'occurrence. L'analyse de ce paramètre indique une majorité ($F > 50\%$) de taxons accidentels à toutes les stations échantillonnées. Les stations P5 et P7 enregistrent les plus grandes proportions (respectivement 83,3 % et 83,3 %) de taxons accidentels alors que la plus faible proportion (68,6 %) des taxons accidentels est observée à la station P6. En revanche, la proportion de taxons constants la plus élevée (19,5) est observée à la station P4 tandis que la station P6 enregistre la plus faible proportion (8,6 %) de taxons constants. La proportion de taxons accessoires la plus élevée (37,5 %) est observée à la station station P10 et la plus faible proportion (9,1 %) est notée à la station P3. En outre, ces taxons accidentels sont suivis des taxons accessoires puis des taxons constants à toutes les stations.

Tableau X : Pourcentage par station (en %) des catégories de taxons de macroinvertébrés définies sur la base des occurrences.

Catégories	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Accidentels	58,8	59,1	81,8	58,5	83,3	68,6	83,3	62,3	54,5	52,1	61,7
Accessoires	31,4	27,3	9,1	22,0		22,9	16,7	22,6	36,4	37,5	21,7
Constants	9,8	13,6	9,1	19,5	16,7	8,6		15,1	9,1	10,4	16,7

3-2-1-3 Structure trophique des macroinvertébrés aquatiques

La figure 39 présente les proportions des différents groupes fonctionnels alimentaires des macroinvertébrés de la lagune Aghien. Les macroinvertébrés de la lagune Aghien ont été répartis en cinq (05) groupes fonctionnels alimentaires : les herbivores, les détritivores, les filtreurs, les prédateurs et les collecteurs. Les prédateurs et les détritivores avec respectivement 47,5 % et 36,4 % dominant la richesse taxonomique (Figure 39). Ces deux groupes sont suivis par les herbivores (11,1 %). Les collecteurs et les filtreurs ne représentent respectivement que 2,5 % et 2,5 %.

La répartition de ces groupes par station révèle que les prédateurs dominent dans les stations P1 (55 %), P2 (51 %), P4 (52 %), P6 (42 %), P8 (58 %), P10 (55 %) et P11 (56 %) (Figure 40) avec des proportions supérieures à 50 % à l'exception de la station P4. Cependant, les Détritviores dominent dans les stations P3 (67 %), P5 (84 %), P7 (82 %) et P9 (81 %). Ces deux groupes sont suivis des herbivores dont les proportions varient de 10 % (stations P1 et P8) à 18 % (station P6). Les proportions des collecteurs varient de 2 % (stations P1, P2, P8, P4, P8, P10 et P11) à 7 % (stations P3) pendant que celles des filtreurs varient de 2 % (stations P2, P4 et P10) à 5 % (stations P6).

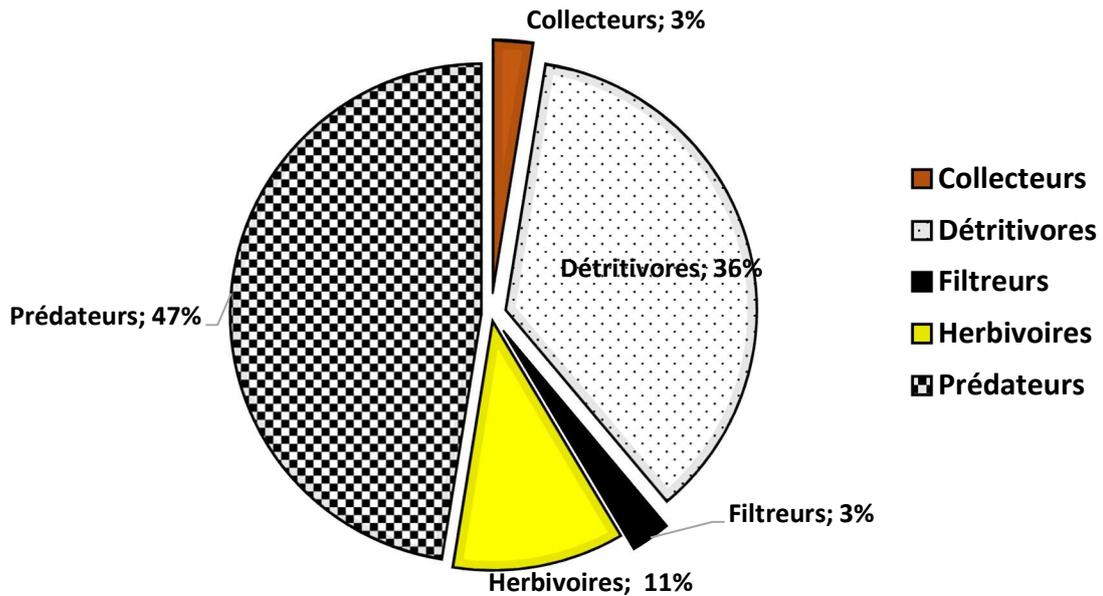


Figure 39 : Proportions globales en nombre de taxons des six groupes fonctionnels alimentaires des macroinvertébrés de la lagune Aghien.

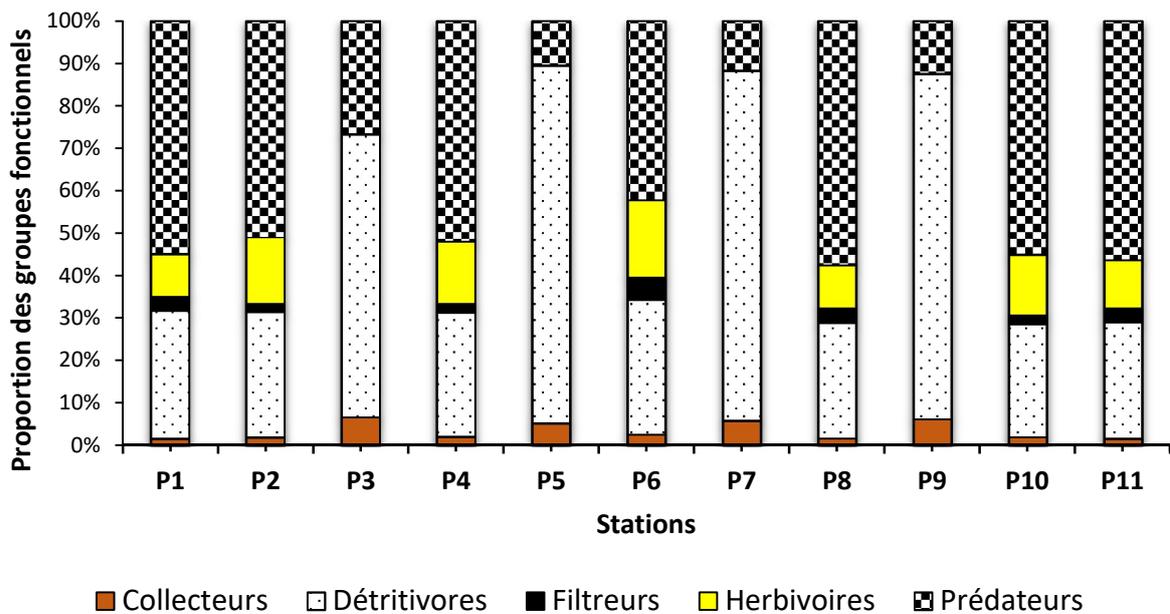


Figure 40 : Proportions en nombre de taxons des groupes fonctionnels alimentaires des macroinvertébrés aquatiques échantillonnés aux différentes stations

3-2-1-4 Variations spatiales et saisonnières de la richesse taxonomique

La figure 41 fait état des variations spatiales et saisonnières de la richesse taxonomique du peuplement de macroinvertébrés de la lagune Aghien.

La plus faible richesse taxonomique a été enregistrée à la station P5 et la plus élevée ($R = 29$) à la station P11 (Figure 41). La variabilité de la richesse taxonomique est plus importante dans les stations P1, P2, P4, P6, P8, P10 et P11 (situées sur les berges) que celles des stations P3, P5, P7 et P9 (situées en pleine eau). La variation de la richesse taxonomique des stations P1, P2, P4, P6, P8, P10 et P11 diffèrent significativement de celle des stations P3, P5, P7 et P9 (test de Kruskal-Wallis et MannWhitney, $p < 0,05$). En revanche, il n'y a pas différence significative au niveau de la variation de la richesse taxonomique des stations situées sur les berges (P1, P2, P4, P6, P8, P10 et P11) d'un coté et celle des statins situées en pleine eau (P3, P5, P7 et P9) de l'autre coté (MannWhitney, $p < 0,05$).

Au niveau saisonnier, les variations sont plus grandes au cours des grandes saisons sèches et des pluies. Cependant, cette variabilité est relativement moins importante au cours des deux petites saisons. Par ailleurs, les variations saisonnières ne sont pas significatives (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

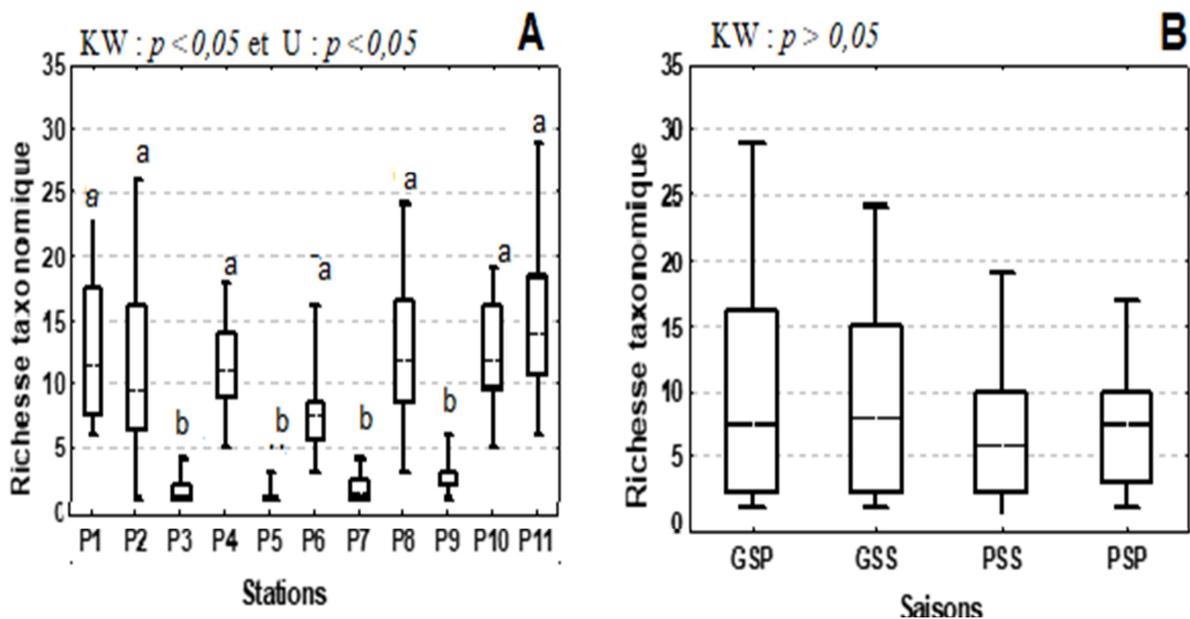


Figure 41 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de la richesse taxonomique des macroinvertébrés de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b = Indiquent les différences observées au niveau des stations ; les stations ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests Kruskal-Wallis et de ManWhitney au seuil de significativité de 0.05. KW = test de Kruskal-Wallis. ; U = test de ManWhitney.

3-2-1-5 Similarité taxonomique entre les stations

Les similarités taxonomiques entre les stations mis en évidence par les valeurs de l'indice de similarité de Jaccard (J) calculé à partir de la composition taxonomique des stations sont présentées par le Tableau XI.

Pour l'ensemble des stations les valeurs de l'indice de similarité varie de 0,09 à 0,77. La station P1 présente une valeur de similarité supérieure à 0,5 avec les stations P4 (0,53), P8 (0,53), P10 (0,55) et P11 (0,59). La station P2 indique une similarité de 0,55 et 0,53 respectivement avec les stations P4 et P11. Les valeurs de la similarité entre la station P3 et les stations P5 et P7 sont respectivement de 0,55 et 0,53. Les valeurs de la similarité entre la station P4 et les stations P8, P10 et P11 sont respectivement de 0,54, 0,53 et 0,52. Par ailleurs, la station P7 indique une similarité de 0,77 avec la station P9 alors que celle entre les stations P10 et P11 est de 0,58. La station P8 indique une similarité de 0,51 et 0,66 respectivement avec les stations P10 et P11. En revanche, toutes les valeurs de la similarité de Jacard entre les P5, P6 et P9 avec les autres stations sont inférieures à 0,5.

Tableau XI : Valeurs de l'indice de Jacard traduisant les similarités taxonomiques entre les stations d'échantillonnage de la lagune Aghien.

Stations	Valeur de l'indice de Jacard									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P1										
P2	0,49									
P3	0,17	0,10								
P4	0,53	0,57	0,11							
P5	0,10	0,09	0,55	0,09						
P6	0,43	0,44	0,15	0,46	0,11					
P7	0,15	0,12	0,53	0,10	0,38	0,18				
P8	0,53	0,49	0,12	0,54	0,07	0,44	0,16			
P9	0,13	0,15	0,47	0,11	0,42	0,18	0,77	0,14		
P10	0,55	0,48	0,18	0,53	0,13	0,46	0,20	0,51	0,20	
P11	0,59	0,55	0,17	0,52	0,10	0,43	0,17	0,66	0,15	0,58

3-2-1-6 Déterminisme de la richesse taxonomique

3-2-1-6-1 Profil de distribution des macroinvertébrés

L'apprentissage des SOM (Self Organizing Map) réalisé sur la matrice présence/absence des taxons de macroinvertébrés aquatiques a permis de classer les 132 échantillons (11 stations x 12 campagnes). Cette classification s'est faite en fonction de la distribution et de la probabilité apparition saisonnière des taxons de macroinvertébrés aquatiques. Une carte de 48 cellules (8 lignes x 6 colonnes) est retenue car à cette taille, les erreurs de quantification et de topographie sont les plus faibles (Tableau XII).

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

Taille de la carte	Erreur de quantification	Erreur topographique
7*6 (42)	1,669	0.015
7*7 (49)	1,651	0,023
8*6 (48)	1,632	0,015

la taille retenue est en gras

Les cellules de la carte autoorganisatrice ont été classées en quatre groupes (I à IV) à partir d'une analyse de classification hiérarchique avec la méthode Ward et la distance Euclidienne. Les groupes sont illustrés par différentes figurines sur la carte de Kohonen (Figures 42 et 43).

Le groupe I rassemble des échantillons provenant majoritairement des stations P3, P5, P7 et P9 représentant respectivement 19 %, 17 %, 17 % et 19 % des stations de ce groupe (test G ; $p < 0,05$) (Figure 43). Le groupe II est principalement caractérisé par les échantillons provenant des stations P1, P2, P4 et P10 représentant respectivement 28 %, 16 %, 28 % et 20 % des stations de ce groupe (test G ; $p < 0,05$). Quant au groupe III, il renferme majoritairement les échantillons issus de la station P6 représentant 33 % des stations de ce groupe. Cependant, cette dominance n'est pas significative (test G ; $p > 0,05$). Enfin, le groupe IV est caractérisé par les échantillons provenant des stations P8 et P11 représentant respectivement 39 % et 44 % des stations de ce groupe (test G ; $p < 0,05$).

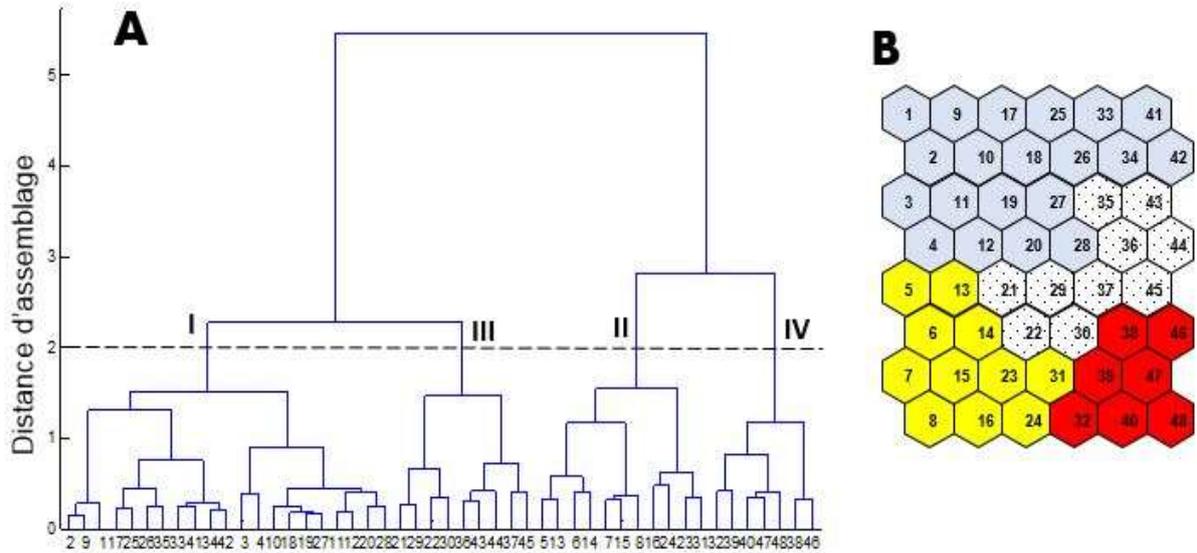


Figure 42 : Classification hiérarchique des cellules de la SOM sur la base des taxons de macroinvertébrés.
 A = classification hiérarchique des cellules de la carte de Kohonen avec la méthode Ward et la distance Euclidienne comme distance d'assemblage (les nombres [1 à 48] correspondent aux numéros de cellules de la carte de Kohonen ; les chiffres romains [I à IV] représentent les groupes retenus). B = Carte de Kohonen avec les cellules numérotées de 1 à 48.

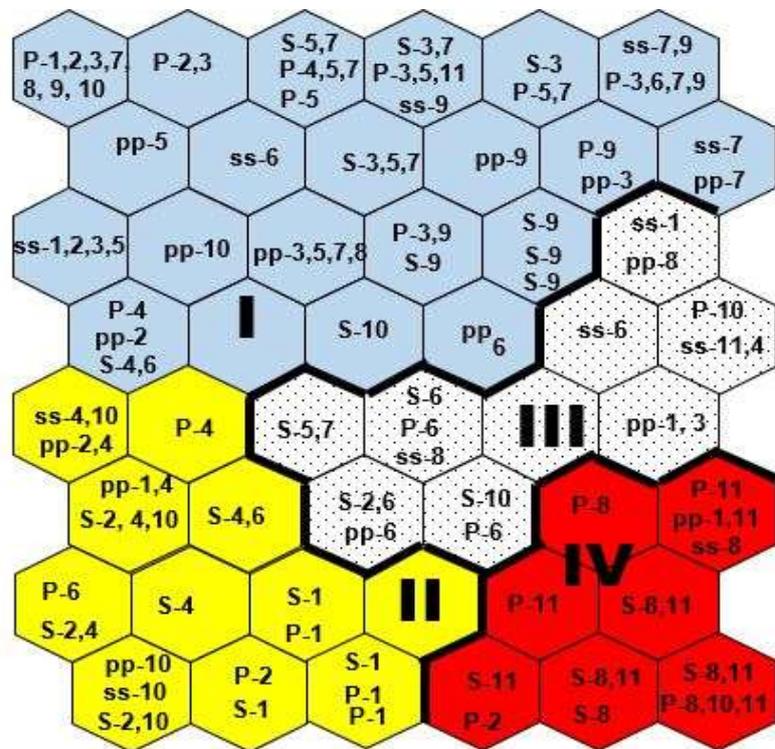


Figure 43 : Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence de macroinvertébrés.
 Les chiffres romains (I à IV) représentent les groupes définis ; S = Grande saison sèche, P= Grande saison des pluies, pp= Petite saison des pluies, ss= Petite saison sèche. Les numéros en chiffres arabes (de 1 à 11) désignent les stations d'échantillonnage.

La distribution de chacun des taxons de macroinvertébrés dans chaque groupe défini par la SOM est montrée par la Figure 44. La répartition est faite à partir de l'analyse de la contribution de chacun des 90 taxons de macroinvertébrés dans chaque groupe. Le regroupement des taxons appartenant à un même groupe défini par la SOM est présenté par la Figure 45.

Le groupe I se compose des taxons suivant : Oligochètes, Orthoclaudiinae, Blephariceridae, Elmidae, Stratiomyidae, *Culex* sp., *Chaoborus* sp., *Ceratopogon* sp., *Aeshna* sp., *Afroebria* sp., *Haliplus* sp. et *Macrocosis* sp.

S'agissant du groupe II, il se distingue par la présence de taxons comme : *Chironomus* sp., *Clogmia* sp., *Afrित्रichia* sp., *Limmogonus* sp., *Laccobius* sp., *Oecetis* sp., *Orthetrum* sp., *Pseudagrion* sp., *Ranatra* sp., *Simulium* sp., *Zygonix* sp., *Enochrus* sp., *Eoophila* sp., *Ephoron* sp., *Eristalis* sp., *Bulinus truncatus*, *Hydrobia gabonensis*, *Indoplanorbis exustus*, *Lanistes varicus*, *Lymnaea natalensis*, *Melanoïdes tuberculata*, *Aplexa marmorata*, *Bellamyia capillata*, *Bithynia tentaculata*, *Bulinus guernei*, *Afronurus* sp., *Atrichopogon* sp., *Labiobaetis* sp., *Pantala flavescens*, *Coelostoma* sp., *Coenagriocnemis* sp., *Dasyhelea* sp., *Diplonychus* sp., *Laccocoris* sp. Notonectidae, Pyralidae, Empididae, Hydraenidae et Isostictidae.

Quant au groupe III, il se démarque par une forte présence de Spercheidae, Talitridae, *Orectogyrus* sp., *Microsporus* sp., *Dipseudopsis* sp., *Forcipomyia* sp., *Hydracarina* sp., *Leptocerus* sp., *Adenophlebiodes* sp. et *Bridouxia giraudis*.

Enfin, le groupe IV se caractérise significativement par les taxons comme *Micronecta* sp., *Microvelia* sp., *Musca* sp., *Musculium* sp., *Naucoris* sp., *Neoperla spio*, *Helobdella* sp., *Hemicordulia* sp., *Barbronia* sp., *Valleriola* sp., *Rhagovelia* sp., *Mesovelia* sp., *Adenophlebia* sp., Hydrobiinae, Hydrophilidae, Tanypodinae, *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca*, *Potadoma liricineta*, *Septaria borbonica*, *Atyoida serrata*, *Hydroptila* sp., *Laccophilus* sp., *Bidesus* sp., *Choroerpes* sp., *Cloeon* sp., *Crocothemis* sp., *Diplacodes* sp. et *Hydrometra* sp.

Le récapitulatif de la distribution des taxons montre que le groupe II renferme plus de taxons (39 taxons) (Figure 45). Il est suivi du groupe IV qui contient 29 taxons. Les groupes I et III rassemblent respectivement 12 et 10 taxons. Les nombres de taxons enregistrés dans les quatre différents groupes diffèrent significativement d'un groupe à l'autre (test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les groupes I et III présentent les plus faibles richesses taxonomiques comparativement aux groupes II et IV (test de MannWhitney, $p < 0,05$).

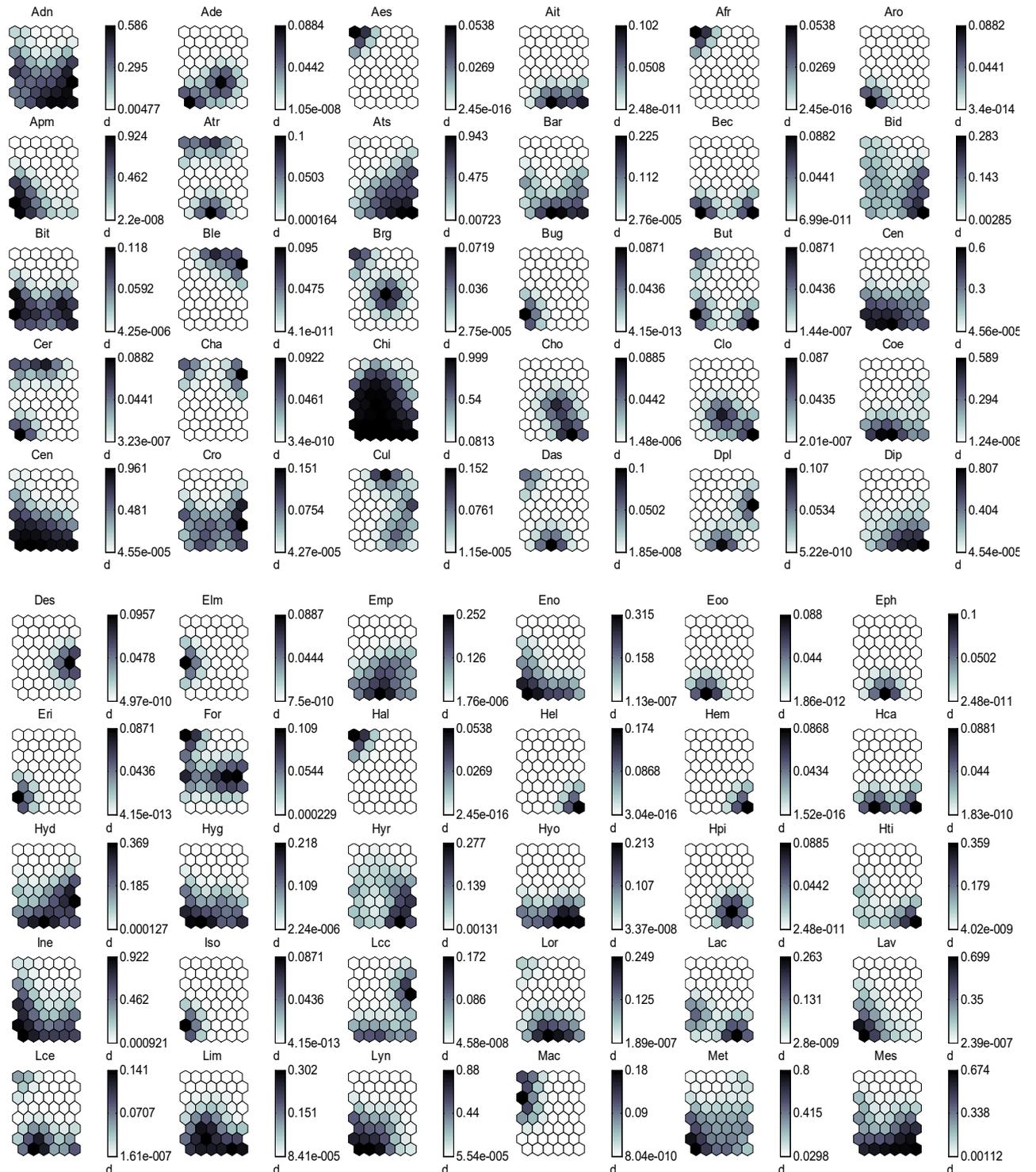


Figure 44 : Profil de distribution des taxons de macroinvertébrés à partir des échantillonnages. Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence. d = échelle ; voir tableau IX pour les acronymes des taxons.

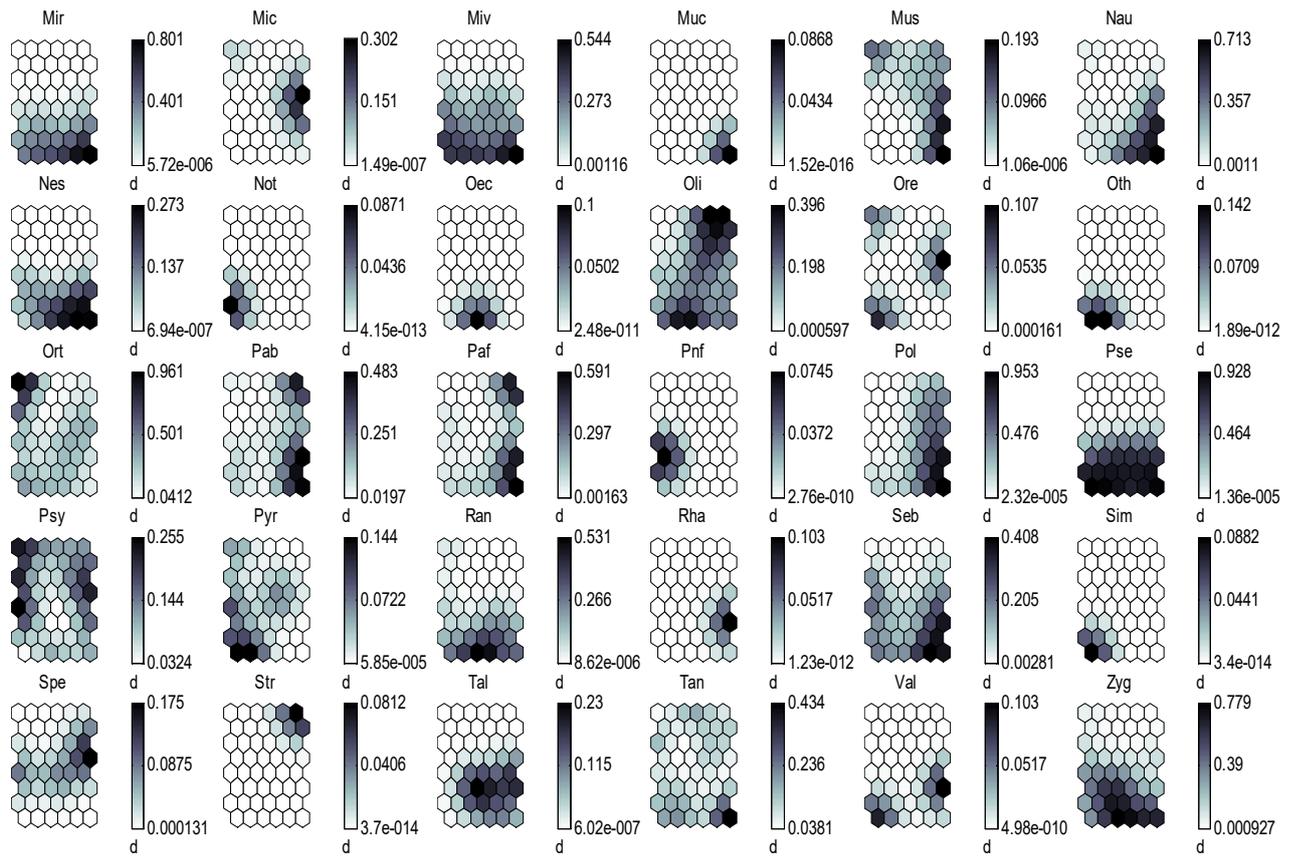


Figure 44 (suite et fin) : Profil de distribution des taxons à partir des échantillonnages.

Couleur sombre = forte probabilité de présence ; couleur claire = faible probabilité de présence. d = échelle ; voir tableau IX pour les acronymes des taxons.

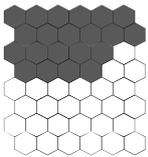
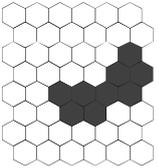
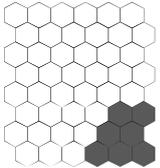
	Groupe I			
	Oligochètes	Elmidae	<i>Chaoborus</i> sp.	<i>Afroebria</i> sp.
	Orthocladiinae	Stratiomyidae	<i>Ceratopogon</i> sp.	<i>Haliplus</i> sp.
	Blephariceridae	<i>Culex</i> sp.	<i>Aeshna</i> sp.	<i>Macrocosis</i> sp.
	Groupe II			
	Notonectidae	<i>Oecetis</i> sp.	<i>Bulinus truncatus</i>	<i>Afronurus</i> sp.
	Isostictidae	<i>Orthetrum</i> sp.	<i>Hydrobia gabonensis</i>	<i>Atrichopogon</i> sp.
	Pyrilidae	<i>Pseudagrion</i> sp.	<i>Indoplanorbis exustus</i>	<i>Labiosbaetis</i> sp.
	Empididae	<i>Ranatra</i> sp.	<i>Lanistes varicus</i>	<i>Pantala flavescens</i>
	Hydraenidae	<i>Simulium</i> sp.	<i>lymnaea natalensis</i>	<i>Coelostoma</i> sp.
	<i>Clogmia</i> sp.	<i>Zygonix</i> sp.	<i>Melanoïdes tuberculata</i>	<i>Coenagriocnemis</i> sp.
	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Enochrus</i> sp.	<i>Aplexa marmorata</i>	<i>Dasyhelea</i> sp.
	<i>Afrित्रichia</i> sp.	<i>Eoophila</i> sp.	<i>Bellamyia capillata</i>	<i>Diplonychus</i> sp.
	<i>Limmogonus</i> sp.	<i>Ephoron</i> sp.	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>Laccocoris</i> sp.
	<i>Laccobius</i> sp.	<i>Eristalis</i> sp.	<i>Bulinus guernei</i>	
		Groupe III		
Spercheidae		<i>Microsporus</i> sp.	<i>Hydracarina</i> sp.	<i>Adenophlebiodes</i> sp.
Talitridae		<i>Dipseudopsis</i> sp.	<i>Leptocerus</i> sp.	<i>Bridouxia giraudis</i>
<i>Orectogyrus</i> sp.		<i>Forcipomyia</i> sp.		
	Groupe IV			
	<i>Micronecta</i> sp.	<i>Barbronia</i> sp.	<i>Pachymelania byronensis</i>	<i>Bidesus</i> sp.
	<i>Microvelia</i> sp.	<i>Valleriola</i> sp.	<i>Pachymelania fusca</i>	<i>Choroterpes</i> sp.
	<i>Musca</i> sp.	<i>Rhagovelia</i> sp.	<i>Potadoma liricincta</i>	<i>Cloeon</i> sp.
	<i>Musculium</i> sp.	<i>Mesovelia</i> sp.	<i>Septaria borbonica</i>	<i>Crocothemis</i> sp.
	<i>Naucoris</i> sp.	<i>Adenophlebia</i> sp.	<i>Atyoida serrata</i>	<i>Diplacodes</i> sp.
	<i>Neoperla spio</i>	hydrobiinae	<i>Hydroptila</i> sp.	<i>Hydrometra</i> sp.
	<i>Helobdella</i> sp.	Hydrophilidae	<i>Laccophilus</i> sp.	
	<i>Hemicordulia</i> sp.	Tanypodinae		

Figure 45 : Regroupement des taxons dans les groupes définis par la SOM

3-2-1-6-2 Facteurs déterminant la diversité des macroinvertébrés

Afin de déterminer les facteurs qui influencent les patrons de diversité, une analyse factorielle discriminante (AFD) est réalisée sur les quatre groupes établis par la SOM (matrice de présence/absence des taxons) et quatorze variables environnementales. Les variables originelles ont été regroupées en trois facteurs dont les deux premiers F1 (72,35 %) et F2 (15,97 %) qui expriment 88,32 % de l'information sont retenus pour l'ordination (Figure 47a). L'AFD montre que les 4 groupes établis par la SOM se recouvrent partiellement (Figure 46a).

Cette analyse permet une distinction entre les groupes (I et III) comprenant moins de taxons et les groupes (II et IV) renfermant plus de taxons. Le barycentre du groupe II se trouve dans la positive de l'axe F1 alors que ceux des groupes I, III et IV se situent dans la partie négative de cet axe F1 (Figure 46b). Quant à l'axe F2, il met en évidence les barycentres des groupes I et II respectivement situés du côté positif de cet axe pendant que ceux des groupes III et IV sont situés du côté négatif.

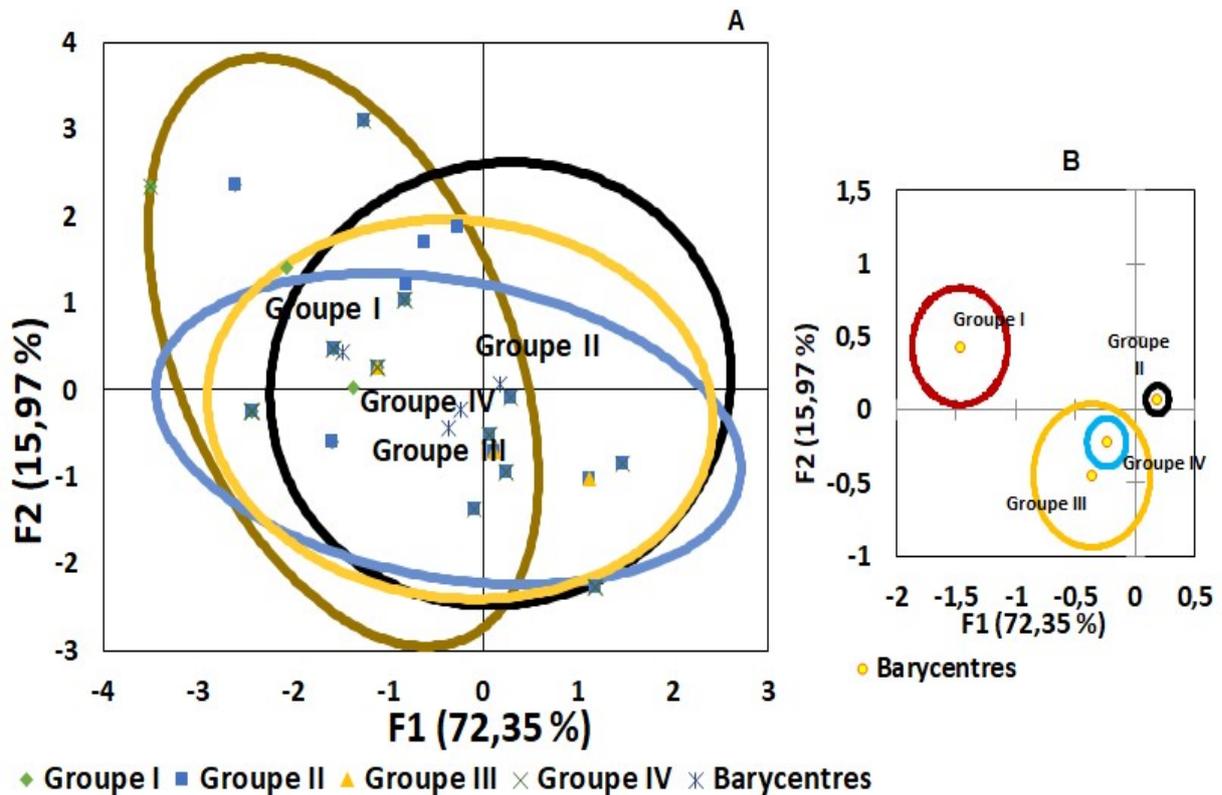


Figure 46 :: Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur les groupes (I à IV) établis par la SOM et les variables physico-chimiques.

A = AFD effectuée sur les groupes établis par la SOM et des variables abiotiques ; **B** = Situation sur les axes de l'AFD des barycentres des groupes (Le barycentre des échantillons d'un même groupe est marqué par le chiffre romain [I à IV] du nom de ce groupe).

Le test de permutation de Monte-Carlo (1000 permutations) révèle que les groupes sont correctement prédits ($p < 0,05$). Le résultat du test d'évaluation de la qualité des prédictions des différents groupes est présenté dans le tableau XIII. La matrice de confusion établie par la technique de Jacknife indique que les groupes (I à IV) ont des taux de prédiction respectifs de 8,33 %, 95,77 %, 5,88 % et 5,67 %. Dans l'ensemble, 67,92 % des échantillons sont correctement classés dans les groupes définis par la SOM (Test du Lambda de Wilks, $p < 0,05$).

Tableau XIII: Résultats de la classification obtenue par l'analyse factorielle discriminante et le test "leaveoneout" de validation croisée.

Groupes	Nombre d'échantillons	Nombres d'échantillons des groupes prédits				% de prédiction
		I	II	III	IV	
I	24	2	20	0	2	8,33%
II	402	4	385	0	12	95,77%
III	16	0	16	1	0	5,88%
IV	141	9	124	0	8	5,67%
Total	583	15	546	1	22	67,92%

Le nombre des échantillons correctement classés est en gras.

Les variables environnementales du milieu discriminant les groupes définis par la SOM sont présentées par la figure 47. Globalement, les paramètres environnementaux ne sont pas fortement corrélés aux axes. Cependant, sur l'axe F1, la DBO est le paramètre le plus déterminant dans le regroupement des échantillons. Sur l'axe F2, c'est le nitrate qui discrimine les différents groupes.

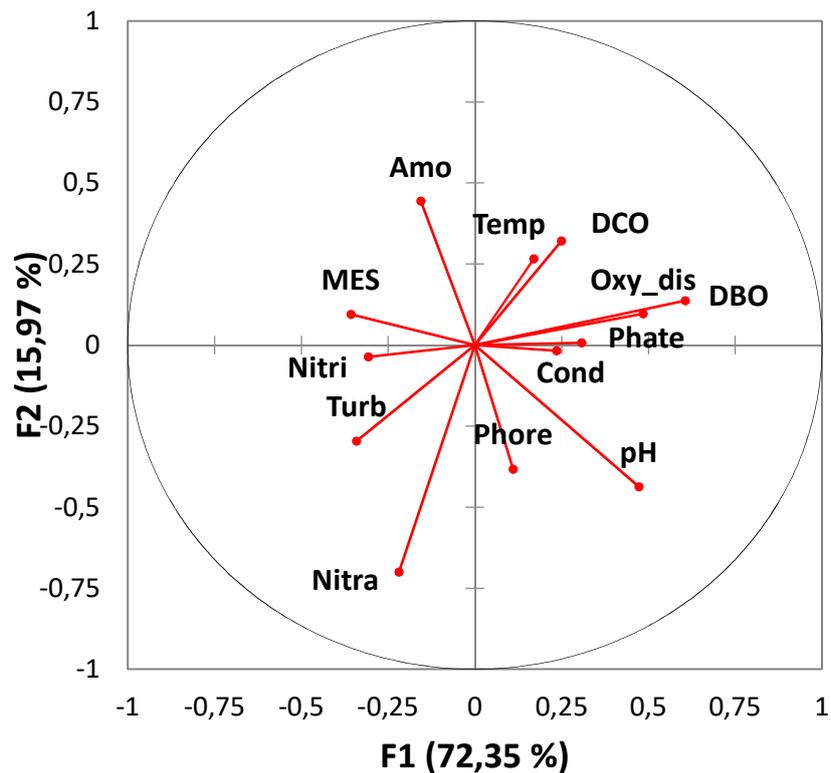


Figure 47 : Cercle de corrélation des variables environnementales discriminant les groupes dans le plan F1 x F2 de l'Analyse Factorielle Discriminante.

Temp : température, **Nitri** : nitrites, **Nitra** : nitrates, **Amo** : ammonium, **Turb** : turbidité, **Mes** : matière en suspension, **pH** : potentiel d'Hydrogène, **Cond** : Conductivité, **DBO** : Demande biologique en oxygène, **DCO** : demande chimique en oxygène, **Oxyg dis** : Oxygène dissous.

3-2-2 Analyse quantitative des communautés de macroinvertébrés

3-2-2-1 Distribution spatiale des abondances

3-2-2-1-1 Analyse globale des communautés

Sur l'ensemble des stations échantillonnées dans la lagune Aghien, 8626 individus de macroinvertébrés aquatiques ont été récoltés. Le tableau récapitulatif des abondances indique que la plus forte valeur de l'abondance globale (1841 individus) a été enregistrée dans la station P8 (Tableau XIV). La station P10 suit avec 1790 individus. La plus faible abondance globale (48 individus) est enregistrée au niveau de la station P3.

Au niveau des différentes classes, l'abondance des Insectes est majoritaire dans la quasi-totalité des stations avec au total 7027 individus. L'abondance maximale des Insectes est observée à la station P8 alors que l'abondance minimale est notée à la station P3. Les Gastéropodes suivent avec 1288 individus au total. Les Gastéropodes présentent une abondance de 383 individus à la station P10 contre 07 individus à la station P3. En revanche, aucun Gastéropode n'a été récolté à la station P5.

Au niveau des Clitellates, l'abondance varie de 1 individu (station P5) à 33 individus (station P2) pour un total de 102 individus. Les Bivalves comptent 27 individus au total rencontrés aux stations P3 (01 individu), P7 (17 individus), P10 (04 individus) et P11 (05 individus). Les Arachnides sont les moins abondants avec un total de 8 individus repartis à la station P2 (02 individus) et P11 (06 individus).

Pour les Malacostracés, l'abondance varie de 02 individus (station P2) à 49 individus (station P6) pour un total de 172 individus. Cependant, les Malacostracés sont absents aux stations P3, P5, P7 et P9.

Tableau XIV : Récapitulatif des abondances des macroinvertébrés récoltés aux différentes stations étudiées dans la lagune Aghien.

Classes	Station d'échantillonnage											Total
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	
Arachnides		2									6	8
Bivalves			1				17	2		4	5	29
Clitellates	4	33	13	4	1	3	3	4	32	1	4	102
Gastéropodes	87	183	7	172		67	19	206	19	383	145	1288
Insectes	1000	1018	27	668	86	316	30	1588	209	1399	686	7027
Malacostracés	40	2		4		49		41		11	25	172
Abondance globale	1131	1238	48	848	87	435	69	1841	260	1798	871	8626

3-2-2-1-2 Répartition spatiale des abondances relatives des principaux ordres

La figure 48 indique les abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés rencontrés dans la lagune Aghien. Ces ordres principaux sont ceux qui représentent au moins 5 % de l'effectif total des ordres récoltés à au moins une des onze stations de prélèvement. L'analyse de la répartition spatiale des abondances relatives des ordres principaux révèle qu'à toutes les stations, les Diptères sont les plus abondants (Figure 48) avec des abondances relatives allant de 43 % (station P2) à 100 % (station P5). Ils sont suivis des Odonates avec des abondances relatives variant de 6,2 % (station P8) à 31 % (station P6). Les abondances relatives des Cénogastéropodes fluctuent entre 7,3 % (station P9) et 39 % (station P7). Cependant, les abondances relatives des Basommatophores se situent entre 6,5 % (station P1) et 19 % (station P10). Les Ephéméroptères ont des abondances relatives de 13 % à la station P2 et 7 % à la station P1 alors que les abondances des Oligochètes sont de 12 % à la station P9 et 28 % à la station P3.

Les Décapodes ont des abondances relatives de 11 % à la station P6. Les abondances relatives des Hémiptères se situent entre 7,9 % (station P8) et 25 % (station P11).

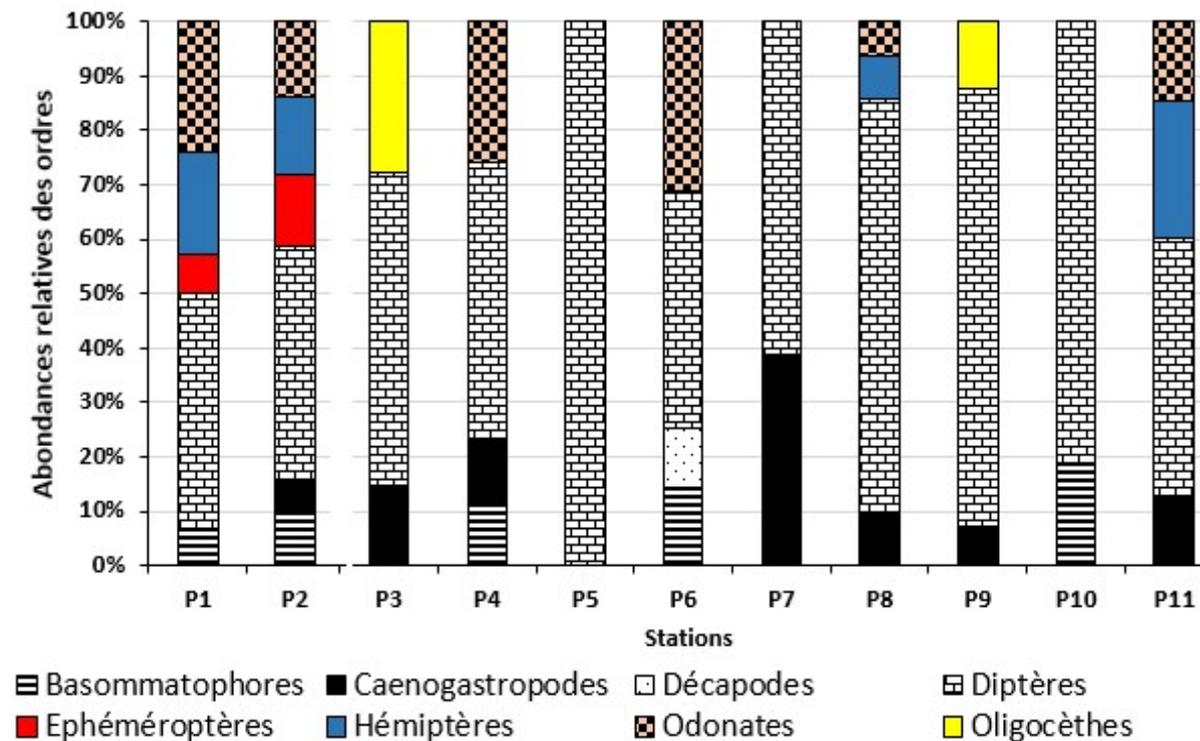


Figure 48 : Abondances relatives des principaux ordres à partir des effectifs de macroinvertébrés aquatiques aux différentes stations d'échantillonnage de la lagune Aghien.

3-2-2-1-3 Variations spatiales des abondances relatives des principales familles

Le tableau XV indique les abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés rencontrés dans la lagune Aghien. Ces familles sont celles qui représentent au moins 5 % de l'effectif total macroinvertébrés récoltés à au moins une des onze stations de prélèvement.

Au niveau des Insectes, pour l'ensemble des stations, sur 46 familles d'Insectes au total, 7 familles se sont révélées comme des familles principales. Il y a les Belostomatidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Culicidae, Leptophlebiidae, Mesoveliidae et Psychodidae. Chez les Gastéropodes, 03 familles principales ont été enregistrées (Physidae, Planorbidae et Thiaridae). Cependant, 01 famille principale a été notée respectivement chez les Bivalves (Sphaeriidae) et les Malacostracés (Atyidae). Les stations P5 et P9 ont enregistré respectivement 03 et 03 familles principales pendant que la station P11 a enregistré 11 familles principales.

Les Chironomidae avec une abondance relative variant entre 39 (station P3) et 80 % (station P9) sont les plus prépondérants à toutes les stations. Ils sont suivis des Coenagrionidae qui présentent des abondances de 3 % (station P10) et 27 % (station P9). A la station P3, les Culicidae avec 24 % sont les plus prépondérants après les Chironomidae (39 %).

Quant aux Mollusques, les Thiaridae ont une abondance relative variant entre 1 % (station P1) et 30 % (station P7) alors que les Planorbidae ont une abondance relative variant entre 1 (station P8) et 11 % (station P10). Les Physidae varient entre 1 % (station P2) et 6 % (station P6). Les stations P2, P4, P6, P10 et P11 ont enregistré respectivement chacune 03 familles principales de Gastéropodes. Cependant, les communautés de Bivalves sont représentées par la famille des Sphaeriidae au niveau des stations P3 (3 %), P7 (27 %) et P11 (1%). Chez les Malacostracés, les abondances relatives des Atyidae varient de 1 % (station P4) à 13 % (station P5).

Tableau XV : Abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés aux différentes stations.

Classes	Familles	Abondance relatives par station d'échantillonnage (en %)										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Bivalves	Sphaeriidae			3				27				1
Gastéropode	Physidae		1		5		6				5	1
	Planorbidae	5	6		3		7		1		11	5
	Thiaridae	1	4	21	4		2	30	9	9	5	12
Insectes	Belostomatidae	6	8				1		4		2	10
	Chironomidae	50	50	39	55	84	44	41	77	80	68	45
	Coenagrionidae	24	14		27		27		5		3	12
	Culicidae			24		3					4	1
	Leptophlebiidae	5	13		2		1				1	2
	Mesoveliidae	3	3		2				1		1	8
	Psychodidae	1		12		13		3		12		1
Malacostracés	Atyidae	5			1		11		2		1	3

3-2-2-1-4 Répartition spatiale des abondances relatives des principaux taxons

Le tableau XVI présente la répartition spatiale des principaux taxons de macroinvertébrés aquatiques aux différentes stations. Les principaux taxons sont ceux qui constituent au moins 5 % des effectifs de taxons aquatiques récoltés à au moins une des onze stations. Au niveau des Insectes, 07 principaux taxons ont été enregistrés. Il s'agit de : *Chironomus* sp., *Coenagriocnemis* sp., *Culex* sp., *Diplonychus* sp., *Mesovelia vittigera*, *Pseudagrion* sp. et *Clogmia* sp. Dans toutes les stations, le Diptère *Chironomus* sp. est plus prépondérant avec des abondances variant de 29 % (station P3) à 76 % (stations P5 et P8). Il est suivi des *Coenagriocnemis* sp. et *Clogmia* sp. qui présentent respectivement des abondances relatives allant de 3 % (station P8) et 21 % (station P13) et de 01 % (stations P1, P10 et P11) à 19 % (station P5). Le Diptère *Culex* sp. présente une abondance relative allant de 01 % (station P11) et 29 % (station P3). Les stations P10 et P11 présentent les plus grands nombres de taxons principaux d'insectes avec 07 taxons chacun. Les abondances relatives de *Pseudagrion* sp. varient 01 % (station P10) à 21 % (station P6) alors que celles de *Mesovelia vittigera* varient 01 % (stations P8 et P10) à 8 (station P11).

Concernant les Gastéropodes, 06 taxons principaux ont été notés. Il s'agit de : *Indoplanorbis exustus*, *Lanistes varicus*, *Lymnaea natalensis*, *Melanoïdes tuberculata*, *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca* et *Potadoma liricincta*.

Globalement, *Indoplanorbis exustus*, *Melanoïdes tuberculata* et *Potadoma liricincta* sont les importants dans les différentes stations respectives. *Indoplanorbis exustus* est le plus prépondérant dans les stations P1, P2 et P10. Cependant, *Potadoma liricincta* domine les peuplements de Gastéropodes au niveau des stations P3, P8, P9 et P11 avec respectivement 14 %, 04 %, 05 % et 09 %. En outre, les abondances relatives de *Lymnaea natalensis* varient de 01 % (stations P8 et P10) à 05 % (station P4). La station P7 est dominée par *Musculium* sp. avec une abondance relative de 32 % suivi de *Pachymelania byronensis* avec 17 %. Chez les Malacostracés, les abondances relatives de *Atyoida serrata* varient de 01 % (stations P4 et P10) à 13 % (station P6).

Tableau XVI : Abondances relatives des principaux taxons de macroinvertébrés aux différentes stations d'échantillonnage.

Classes	Taxons	Abondance relatives par station d'étude (en %)										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Bivalves	<i>Musculium</i> sp.			4			32					1
Gastéropodes	<i>Indoplanorbis exustus</i>	5	7		3		6		1		13	5
	<i>Lymnaea natalensis</i>	3	2		5		2		1		1	
	<i>Melanoïdes tuberculata</i>		4	11	4		1	4		3	2	1
	<i>Pachymelania byronensis</i>						1	17	1	2	2	1
	<i>Pachymelania fusca</i>		1					9	4	2		2
	<i>Potadoma liricincta</i>	1	0	14			1	6	4	5	2	9
Insectes	<i>Chironomus</i> sp.	47	54	29	57	76	45	28	76	72	69	45
	<i>Coenagriocnemis</i> sp.	21	10		19		9		3		2	5
	<i>Culex</i> sp.			29		5					4	1
	<i>Diplonychus</i> sp.	6	10				2		4		1	11
	<i>Mesovelia vittigera</i>	4	4		2				1		1	8
	<i>Pseudagrion</i> sp.	6	7		9		21		2		1	7
	<i>Clogmia</i> sp.	1		14		19		4		16	1	1
Malacostracés	<i>Atyoida serrata</i>	5			1		13		3		1	3

3-2-2-2 Répartition saisonnière des abondances

3-2-2-2-1 Variations saisonnières de l'ensemble des communautés

Les variations saisonnières des abondances sont présentées par la figure 49. La plus grande abondance est enregistrée au niveau de la grande saison des pluies avec un effectif de 4510 individus collectés pendant que 2732 individus sont enregistrés à la grande saison sèche. Cependant, les plus petits nombres d'organismes récoltés sont notés au niveau des petites saisons sèches et des pluies (avec des abondances respectives de 927 et 434 individus). Les abondances diffèrent significativement entre les grandes saisons (pluies et sèche) d'un côté et entre les petites saisons d'un autre côté.

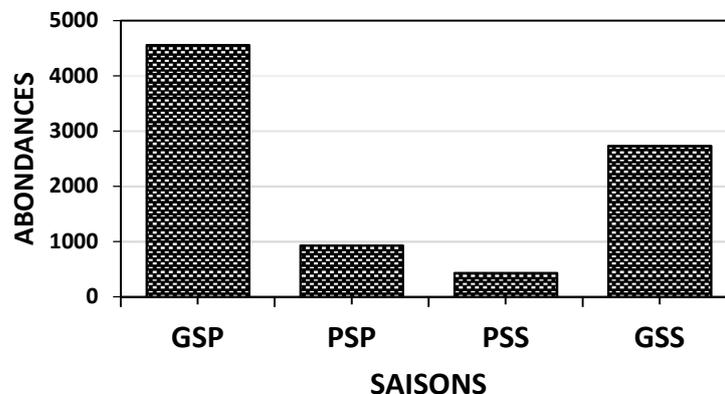


Figure 49 : Variations saisonnières des abondances globales des macroinvertébrés récoltés dans la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies, **GSS** = Grande saison sèche, **PSP** = Petite saison des pluies, **PSS** = Petite saison sèche.

3-2-2-2 Variations saisonnières des abondances relatives des principaux ordres

Les variations saisonnières des abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés aquatiques de la lagune Aghien sont présentées par le tableau XVII.

Pour toutes les saisons, l'abondance relative des Diptères est plus élevée par rapport aux abondances des autres ordres et varie de 38 % (petite saison des pluies) à 64 % (grande saison sèche). Par ailleurs, les Oligochètes ont enregistré les plus faibles abondances relatives à toutes les saisons avec des valeurs allant de 00 % (petite saison des pluies) à 02 % (grande saison des pluies).

Pendant la grande saison des pluies, les abondances relatives des Hémiptères, Odonates, Cénogastéropodes et Basommatophores sont respectivement de 16 %, 10 %, 08 % et 06 %. Pendant la petite saison sèche, les abondances relatives des autres ordres sont de 19 % pour les Basommatophores, 16 % pour les Cénogastéropodes, 13 % pour les Hémiptères, 05 % pour les Odonates, 04 % pour les Décapodes et 03 % pour les Ephéméroptères.

Pendant la petite saison des pluies, les abondances relatives des Basommatophores, Odonates Cénogastéropodes et Décapodes sont respectivement de 31 %, 13 %, 09 % et 01 % pendant que les Ephéméroptères et les Hémiptères ont respectivement des abondances relatives de 04 % et 04 %. Cependant, au cours de la grande saison sèche, les abondances relatives des autres ordres sont de 13 % pour les Odonates, 07 % pour les Hémiptères, 05 % pour les Cénogastéropodes, 04 % pour les Basommatophores et les Ephéméroptères et 02 % pour les Décapodes.

Globalement, les abondances relatives des Diptères sont plus élevées au cours des saisons sèches que celles des saisons des pluies.

Tableau XVII: Variations saisonnières des abondances relatives des principaux ordres de macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien

Ordres	Saisons			
	GSP	PSS	PSP	GSS
Basommatophores	6	19	31	4
Cénogastéropodes	8	16	9	5
Décapodes	2	4	1	2
Diptères	53	40	38	64
Ephéméroptères	3	3	4	4
Hémiptères	16	13	4	7
Odonates	10	5	13	13
Oligocètes	2	1	0	1

GSP = Grande saison des pluies ; **GSS** = Grande saison sèche ; **PSP** = Petite saison des pluies ; **PSS** = Petite saison sèche

3-2-2-2-3 Variations saisonnières des abondances relatives des principales familles

Les variations saisonnières des abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés aquatiques de la lagune Aghien sont présentées par le tableau XVIII.

Pour toutes les saisons, les abondances relatives des Chironomidae sont supérieures à celles des autres familles. Les abondances relatives des Chironomidae varient de 73 % (grande saison sèche) à 43 % (petite saison sèches). Pendant, la grande saison des pluies, les Belostomatidae, Coenagrionidae ont respectivement des proportions de 08 % et 11 %. Cependant, Culicidae, Mesoveliidae et Planorbidae ont respectivement des abondances relatives de 04 % alors la proportion de 01 % est enregistrés chez les autres familles principales.

Au cours de la petite saison sèche, les Physidae, Psychodidae et Mesoveliidae ont respectivement des abondances relatives de 25 %, 13 % et 07 %. Au cours de cette saison, les Belostomatidae ont enregistré la plus faible abondance relative avec 01 %. Au cours de la petite saison des pluies, les Planorbidae, Coenagrionidae et Physidae ont respectivement des abondances relatives de 31 %, 13 % et 06 %. Au cours de cette saison, les Belostomatidae, Psychodidae et Talitridae ont enregistré la plus faible abondance relative avec la proportion de 01 %.

Pendant la grande saison sèche, les Coenagrionidae, Leptophlebiidae et Belostomatidae ont respectivement enregistrés des abondances relatives de 14 %, 05 % et 03 %. Les Physidae est eu la plus faible valeur de l'abondance relatives avec 01 %.

Tableau XVIII: Variations saisonnières des abondances relatives des principales familles de macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien.

Classes	Famille	Abondance relatives par saisons (en %)			
		GSP	GSS	PSP	PSS
Bivalves	Sphaeriidae	1	0	0	0
Gastéropodes	Planorbidae	4	2	28	3
	Physidae	1	1	5	18
	Thiaridae	6	5	9	21
Insectes	Belostomatidae	8	3	1	1
	Chironomidae	58	68	41	32
	Coenagrionidae	10	13	11	2
	Culicidae	4	0	0	0
	Leptophlebiidae	1	4	2	3
	Mesoveliidae	3	1	1	6
	Psychodidae	1	0	1	9
Malacostracés	Atyidae	3	2	1	5

GSP = Grande saison des pluies ; **GSS** = Grande saison sèche ; **PSP** = Petite saison des pluies ; **PSS** = Petite saison sèche

3-2-2-4 Répartition saisonnière des abondances relatives des principaux taxons

Les variations saisonnières des abondances relatives des principaux taxons de macroinvertébrés aquatiques de la lagune Aghien sont respectivement présentées par le tableau XIX.

Pour l'ensemble des saisons, *Chironomus* sp. est le taxon plus dominant à l'exception de la petite saison sèche où *Pachymelania byronensis* a été enregistré comme le taxon dominant.

Au cours de la grande saison des pluies, *Diplonychus* sp. et *Coenagriocnemis* sp ont respectivement eu des abondances relatives de 09 % et 06 %. Cependant, au cours cette saison les plus faibles valeurs de l'abondance relative (01 %) ont été enregistrées chez *Clogmia* sp., *Musculium* sp., *Pachymelania fusca* et *Pachymelania byronensis*.

Pendant la petite saison sèche, *Clogmia* sp., *Mesovelina vittigera*, *Atyoida serrata* et *Potadoma liricincta* ont respectivement des abondances relatives de 18 %, 10 %, 09 % et 08 %. Cependant, *Diplonychus* sp. et *Coenagriocnemis* sp. ont enregistré les plus faibles abondances relatives (01 %) au de cette saion.

Durant la petite saison des pluies, *Indoplanorbis exustus*, *Pseudagrion* sp. et *Potadoma liricincta* ont respectivement des abondances relatives de 33 %, 10 % et 07 %. En revanche, la plus faible abondance relative (0,4 %) au cours de cette saison, est enregistrée chez *Pachymelania byronensis*.

Par ailleurs, au cours de la grande saison sèche, *Coenagriocnemis* sp. et *Pseudagrion* sp. ont respectivement des abondances relatives de 10 % et 04 %. La plus faible abondance relative de cette saison est notée chez *Musculium* sp.

Tableau XIX : Variations saisonnières des abondances des principaux taxons macroinvertébrés aquatiques échantillonnés sur la lagune Aghien.

Taxons	Abondances relatives des saisons (en %)			
	GSP	PSS	PSP	GSS
<i>Atyoida serrata</i>	3	9	1	2
<i>Chironomus</i> sp.	53	7	38	71
<i>Clogmia</i> sp.	1	18	1	0,2
<i>Coenagriocnemis</i> sp.	6	1	4	10
<i>Culex</i> sp.	5			
<i>Diplonychus</i> sp	9	1	1	3
<i>Indoplanorbis exustus</i>	4	6	33	2
<i>Lymnaea natalensis</i>	2	7	1	1
<i>Melanoïdes tuberculata</i>	2	5	1	2
<i>Mesovelina vittigera</i>	4	10	1	2
<i>Musculium</i> sp.	1			0,1
<i>Pachymelania byronensis</i>	1	2	0,4	1
<i>Pachymelania fusca</i>	1	22	1	1
<i>Potadoma liricincta</i>	2	8	7	2
<i>Pseudagrion</i> sp.	5	3	10	4

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies, PSS = Petite saison sèche

3-2-2-3 Analyse des densités des macroinvertébrés

3-2-2-3-1 Variations spatiales et saisonnières des densités des principaux ordres

Les variations spatiales des densités surfaciques des principaux ordres de macroinvertébrés sont présentées dans le tableau XX. Les valeurs des densités en Diptères sont plus élevées que celles des autres ordres dans quasiment toutes les stations de prélèvement à l'exception des stations P2 et P7 où les Oligocètes et les Cénogastéropodes sont respectivement dominants. Les densités des Diptères varient de 2 ind/m² (station P7) à 1393 ind/m² (station P9) alors que celles des Oligocètes fluctuent entre 2 ind/m² (stations P1, P4, P6 et P7) à 213 ind/m² (station P9). Les densités des Cénogastéropodes varient de 14 ind/m² (station P8) à 127 ind/m² (stations P7 et P9) alors que celles des Basommatophores fluctuent entre 07 ind/m² (stations P1) à 33 ind/m² (station P6). Chez les Archéogastéropodes, les densités varient de 07 ind/m² (station P10) à 67 ind/m² (station P11). Au niveau des Vénéroïdes, les densités fluctuent entre 07 ind/m² (station P3) et 113 ind/m² (station P7).

Tableau XX : Variations spatiales des densités surfaciques des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien.

Densité des Ordres (Ind/m ²)	Stations d'échantillonnage										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Archéogastéropodes								27		7	67
Basommatophores	7	13				33					
Cénogastéropodes	53	53	47	27		27	127	14	127	47	56
Diptères	347	6	18	373	573	387	2	573	1393	673	753
Oligocètes	2	193	87	2	7	2	2		213	7	13
Vénéroïdes			7				113	13		27	33
Densité total (ind/m ²)	409	266	158	402	580	449	244	627	1733	760	923

Ind/m²= Nombre d'individus par mètre carré.

L'analyse des variations saisonnières des densités des principaux ordres présentées par la figure 50 montre qu'à toutes les saisons les densités des Diptères sont plus élevées que celles des autres ordres. Cependant, la grande saison des pluies a enregistré la densité de Diptères la plus élevée (2607 ind/m²) pendant que la plus faible densité (887 ind/m²) est notée au cours de la petite saison sèche. Les deux saisons des pluies ont enregistré les densités en Diptères les plus élevées. Les variations saisonnières des densités des Cénogastéropodes suivent celles des Diptères avec des densités variant entre 333 ind/m² (petite saison sèche) à 1033 ind/m² (grande

saison sèche). Au cours de la grande saison des pluies, les Archégastéropodes sont les moins dominants alors que les Basommatophores sont les moins denses en grande saison sèche.

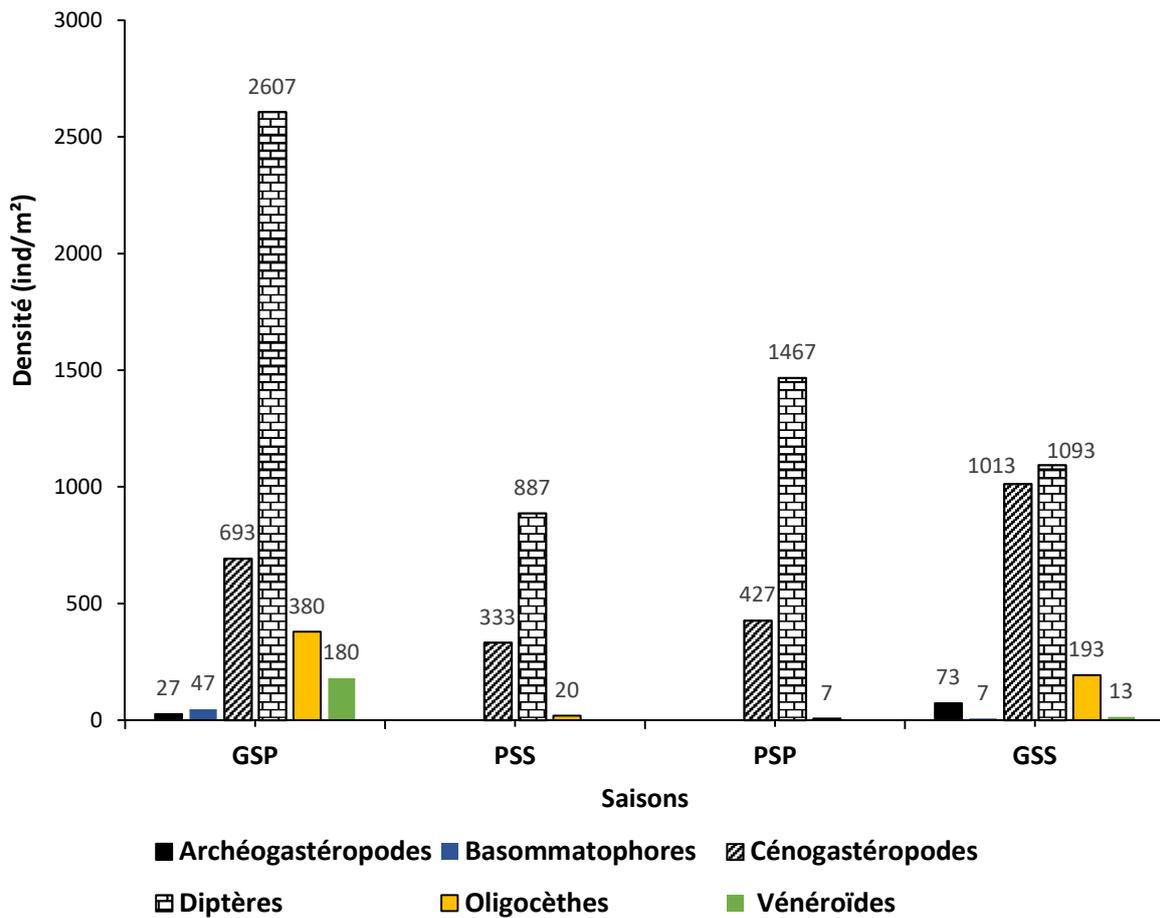


Figure 50 : Variations saisonnières des densités des principaux ordres de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien.

3-2-2-3-2 Variations spatiales et saisonnières des densités des principales familles

Le tableau XXI présente les variations spatiales des densités surfaciques des principales familles de macroinvertébrés issues du sédiment de la lagune Aghien. Pour les stations P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P9 et P11, les Chironomidae ont les densités les plus élevées alors qu’aux stations P8 et P10 ce sont respectivement les Culicidae et les Thiaridae qui sont les plus denses. Pour les stations P1, P2, P3, P4, P7, P8 et P11 les Chironomidae et les Thiaridae constituent le couple de famille le plus dominant. Cependant, au niveau des stations P5 et P9, ce sont les Chironomidae (avec respectivement 480 ind/m² et 1153 ind/m²) et Psychodidae (avec respectivement 73 ind/m² et 167 ind/m²) qui dominent. Par ailleurs, à la station P10, ce sont les Culicidae (440 ind/m²) et Thiaridae (407 ind/m²) qui sont les plus denses. En outre, à la station

P6, ce sont les Chironomidae (387 ind/m²) et Planorbidae (33 ind/m²) qui sont les plus dominants.

Tableau XXI : Variations spatiales des densités surfaciques principales familles de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des stations de la lagune Aghien.

Familles	Densité par station d'échantillonnage (ind/m ²)										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Chironomidae	300	587	87	360	480	387	173	567	1153	147	653
Culicidae	0	0	53	0	20	0	0	0	0	440	53
Planorbidae	7	13	0	0	0	33	0	0	0	0	0
Psychodidae	27	0	27	13	73	0	13	0	167	33	40
Sphaeriidae	0	0	7	0	0	0	113	13	0	27	33
Thiaridae	53	53	47	27	0	27	127	1040	127	407	553

La figure 51 présente les variations saisonnières des densités des principales familles issues du sédiment de la lagune Aghien. Pour toutes saisons, les Chironomidae ont les densités les plus élevées avec des valeurs variant de 567 ind/m² (petite saison sèche) à 1853 ind/m² (grande saison des pluies). Les densités des Thiaridae suivent celles des Chironomidae avec des valeurs variant de 333 ind/m² (petite saison sèche) à 1013 ind/m² (grande saison sèche). En grande saison des pluies, les Culicidae ont une densité de 567 ind/m² alors qu'ils ont une densité nulle au cours des autres saisons. Ensuite, les Sphaeriidae ont une densité 180 ind/m² contre 13 ind/m² pour la grande saison sèche. Au cours de cette grande saison des pluies, la famille des Planorbidae avait la plus faible densité (47 ind/m²). La petite saison sèche a enregistré la densité de Psychodidae la plus élevée (173 ind/m²) pendant que la plus faible densité (20 ind/m²) de cette famille est notée à la petite saison des pluies.

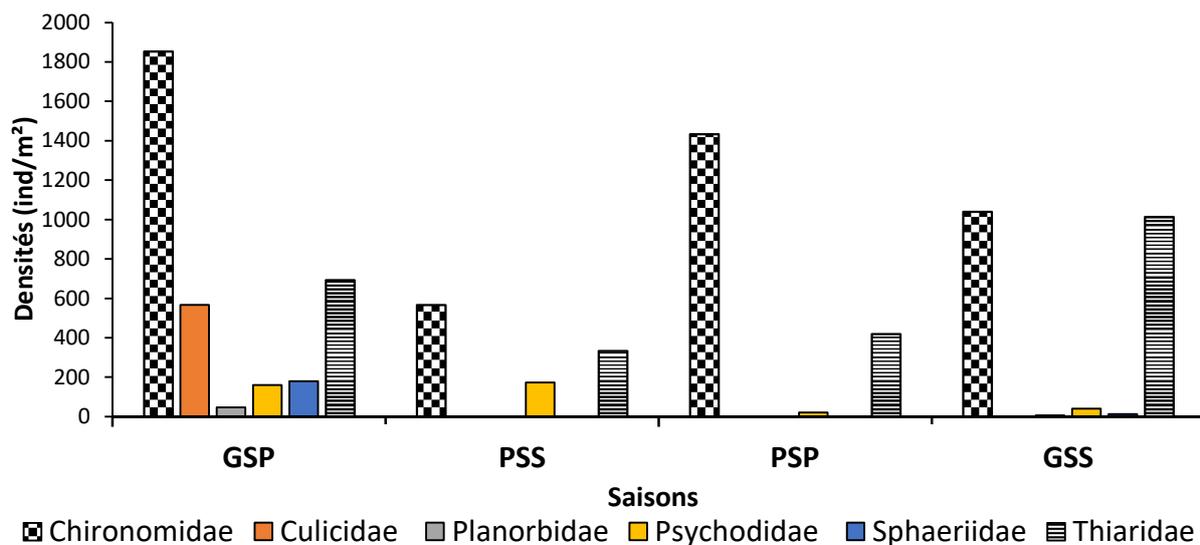


Figure 51 : Variations saisonnières des densités des principales familles de macroinvertébrés récoltés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien

3-2-2-4 Analyse de la diversité des communautés

3-2-2-4-1 Variations spatiales et saisonnières de l'indice de diversité de Shannon

La dynamique spatiotemporelle de l'indice de diversité de Shannon des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien est présentée par la figure 52. Les valeurs de l'indice de Shannon pour l'ensemble des stations varient de 0,37 bit (station P9) à 2,66 bit (station P10) (figure 53). Il y a une différence significative entre les variations spatiales de l'indice de diversité de Shannon (test de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les variations des stations P3, P5 P7 et P9 sont non significatives alors qu'elles diffèrent de celles des stations P1, P2, P4, P6, P8, P10 et P11. Ensuite, la station P11 présente une variation non significative de l'indice de diversité de Shannon avec les stations P1 et P4 alors qu'elle présente une variation différente de celle des autre stations (P2, P3, P5, P6, P7, P8 et P10).

Au niveau saisonnier, la valeur maximale (2,66 bit) de l'indice de Shannon est enregistrée pendant la petite saison sèche (Figure 52) alors que la valeur minimale (0,37 bit) est obtenue au cour de la grande saison sèche. Toutefois, il n'existe pas de variation saisonnière significative des valeurs de l'indice de Shannon (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

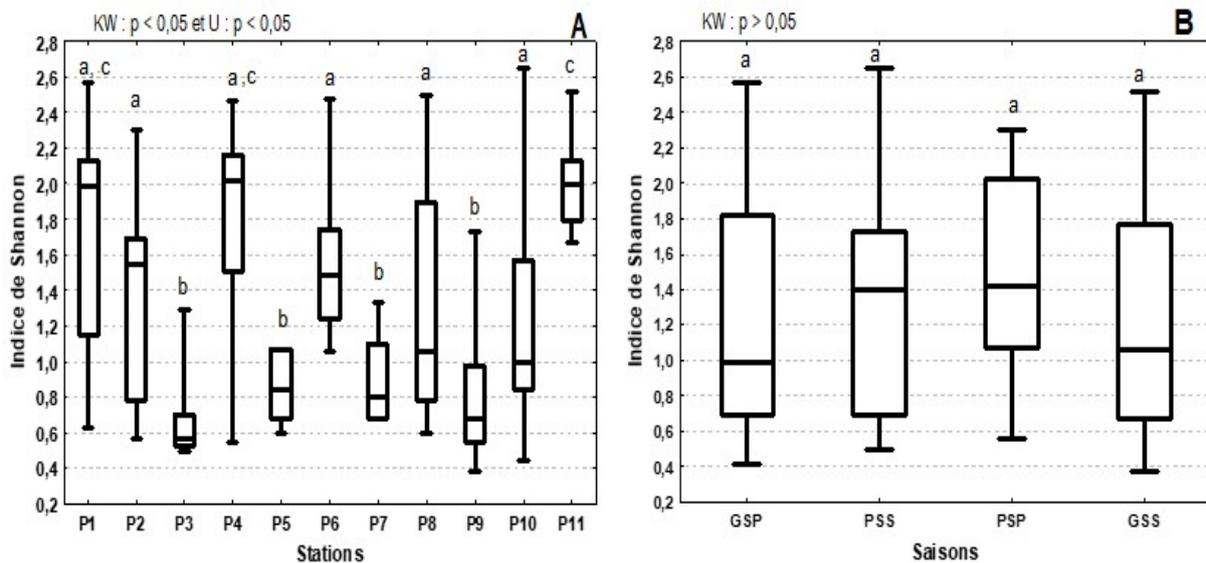


Figure 52 : Variations spatiales (a) et saisonnières (b) de l'indice de Shannon des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP =Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c = Indiquent les différences observées au niveau des stations et saisons ; les stations et les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0.05. KW = test de Kruskal-Wallis ; U = test de Mann-Whitney ; P1 à P11 = stations prospectées

3-2-2-4-2 Variations spatiales et saisonnières de l'indice d'équitabilité de Piélou

La figure 53 indique les variations spatiales et saisonnières de l'indice d'équitabilité de Piélou de la macrofaune aquatique de la lagune Aghien.

Pour l'ensemble des stations prospectées, la valeur minimale (0,26) de l'indice d'équitabilité est enregistrée à la station P8 (Figure 53). La valeur maximale de l'indice ($J = 1$) est notée aux stations P2, P3, P6, P7, P9 et P11. De plus, les variations spatiales de l'indice d'équitabilité sont significatives (test de Kruskal-Wallis et Mann Whitney, $p < 0,05$). Ces différences situent entre les stations P1, P2, P4, P6, P8 et P9 et les stations P3, P5, P7 d'autre part. Les variations de l'indice d'équitabilité des stations P11 et P3 diffèrent de celles des autres stations. Par ailleurs, les variations de l'indice d'équitabilité des stations P5 et P7 diffèrent de celles des autres stations restantes. La variation de l'indice d'équitabilité de la station P10 n'est pas significativement différente de celle des stations P1, P2, P4 et P8 alors qu'elle est significativement différente de celles des autres stations restantes.

La valeur maximale de l'indice d'équitabilité ($J = 1$) a été enregistrée à toutes les saisons (Figure 53). Cependant, la valeur minimale de l'indice d'équitabilité ($J = 0,26$) a été notée au cours de grande saison sèche. Les variations saisonnières de l'indice d'équitabilité sont significatives (test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les variations de la grande saison des pluies et de la grande saison sèche diffèrent de celles des petites saisons sèches et des pluies (test de Mann-Whitney, $p < 0,05$) (Figure 53).

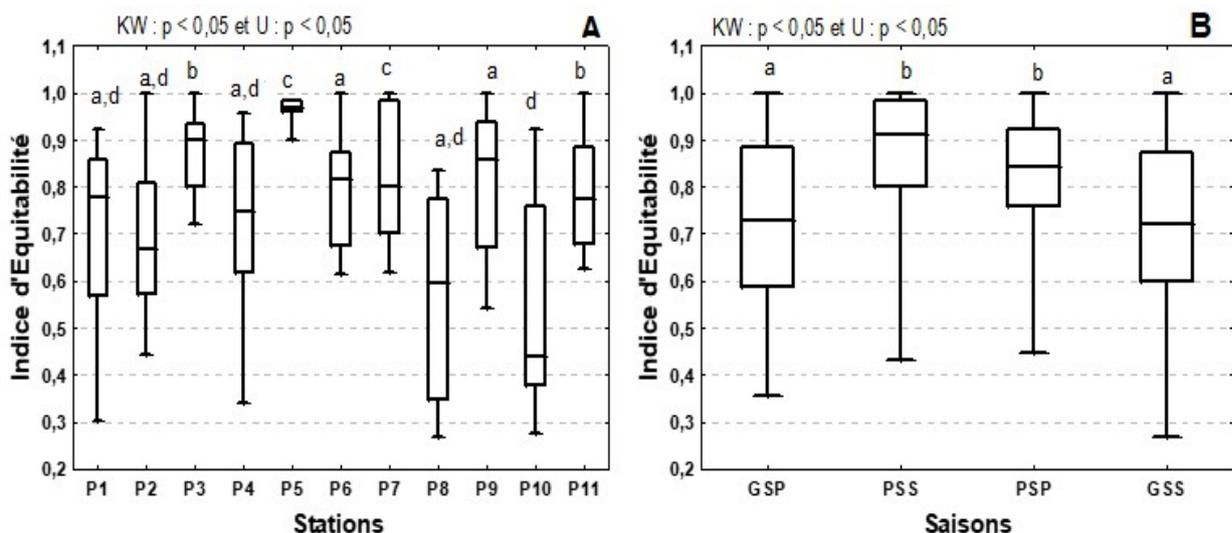


Figure 53 : Variations spatiales (A) et saisonnières (B) de l'indice d'équitabilité des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien.

GSP = Grande saison des pluies ; GSS = Grande saison sèche ; PSP = Petite saison des pluies ; PSS = Petite saison sèche ; a, b, c, d = Indiquent les différences observées au niveau des stations et saisons ; les stations et les saisons ayant les mêmes lettres ne présentent pas de variations significatives selon les tests de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney au seuil de significativité de 0.05. KW = test de Kruskal-Wallis ; U = test de Mann-Whitney ; P1 à P11 = stations prospectées

3-2-2-5 Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des macroinvertébrés

3-2-2-5-1 Corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau et la distribution des principaux ordres des macroinvertébrés

Une analyse de redondance (RDA) a été réalisée pour mettre en évidence la corrélation entre les paramètres physico-chimiques et l'abondance des principaux ordres de macroinvertébrés de la lagune Aghien (Figure 54). Le test de permutations de Monte-Carlo indique que le résultat de cette analyse est significatif ($p < 0,05$). L'axe I exprime 40,1 % de l'information et l'axe II exprime 28,2 %. Les deux premiers axes représentent 68,3 % de la variabilité totale. L'analyse du graphe montre que l'axe I est positivement corrélé à la teneur en oxygène dissous, le pH et la température. L'axe II est positivement corrélé aux teneurs en phosphore et en nitrate et négativement corrélé à la turbidité.

La projection des ordres sur les axes vectoriels des paramètres environnementaux (Figure 54), indique que les Oligochètes se situent dans la partie positive de l'axe I pendant que les Ephéméroptères, les Hémiptères, les Odonates, les Décapodes, les Cénogastéropodes, les Diptères et les Basommatophores se trouvent dans la partie négative de cet axe I. Ainsi, sur cet axe I, les Oligochètes sont les mieux corrélées à la teneur en oxygène dissous, le pH et la température alors que ces paramètres sont négativement corrélés aux Cénogastéropodes, Diptères, Ephéméroptères, Hémiptères, Odonates, Basommatophores et Décapodes.

Par ailleurs, selon l'axe II, il y a une corrélation positive entre les Oligochètes et aux teneurs en phosphore et nitrate. En revanche, une corrélation association négative est enregistrée entre les Oligochètes et la turbidité.

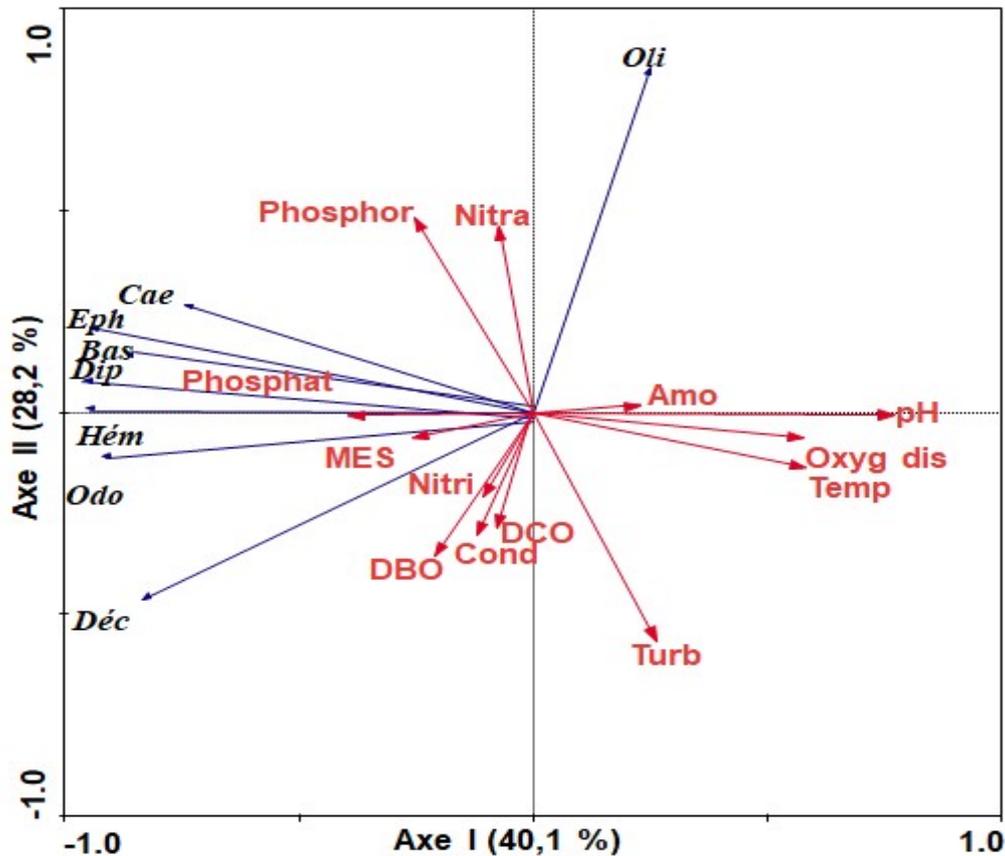


Figure 54 : Analyse de Redondance (RDA) des ordres de macroinvertébrés et des variables environnementales.

Temp = Température ; **Nitri** = Nitrites ; **Nitra** = Nitrates ; **Amo** = Ammonium ; **Turb** = Turbidité ; **MES** = Matière en suspension ; **pH** = Potentiel d'Hydrogène ; **Cond** = Conductivité ; **DBO** = Demande biologique en oxygène, **DCO** = Demande chimique en oxygène ; **Oxy_dis** = Oxygène dissous ; **Phosphat** = Phosphate ; **Phosphor** = Phosphore ; **Hém** = Hémiptères ; **Eph** = Ephéméroptères ; **Odo** = Odonates ; **Oli** = Oligochètes ; **Bas** = Basommatophores ; **Dip** = Diptères ; **Cae** = Cénogastéropodes ; **Déc** = Décapodes

3-2-2-5-2 Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et la distribution des principaux taxons de macroinvertébrés

Afin de mettre en évidence la corrélation entre les paramètres physico-chimiques et l'abondance des principaux taxons de macroinvertébrés, une analyse de redondance (RDA) a été réalisée (Figure 55). Le test de permutations de Monte-Carlo indique que le résultat de cette analyse est significatif ($p < 0,05$). L'axe I exprime 19,3 % de l'information, l'axe II exprime 36,1 %, soit un total de 55,4 % pour les deux axes. L'analyse du graphe montre que l'axe I est positivement corrélé à la température, au pH et à l'oxygène dissous. L'axe II est positivement corrélé à la teneur en phosphore et négativement corrélé aux teneurs en matières en suspension, en demande biologique en oxygène et en demande chimique en oxygène.

La projection des taxons sur les axes vectoriels des paramètres environnementaux (Figure 55) indique que sur l'axe I, *Clogmia* sp. est positivement associé à la température, le pH et l'oxygène dissous. En revanche, sur cet axe I, *Lymnaea natalensis*, *Diplonychus* sp., *Atyoida*

serrata, *Pseudagrion* sp., *Mesovelia vittigera*, *Indoplanorbis exustus*, *Melanoïdes tuberculata* et *Chrionomus* sp. sont négativement associés à la température, le pH et l'oxygène dissous.

Sur l'axe II, *Potadoma liricincta*, *Musculium* sp, *Pachymelania fusca* et *Culex* sp. sont positivement associés aux teneurs en matières en suspension, en demande biologique en oxygène et en demande chimique en oxygène et négativement associés au phosphore.

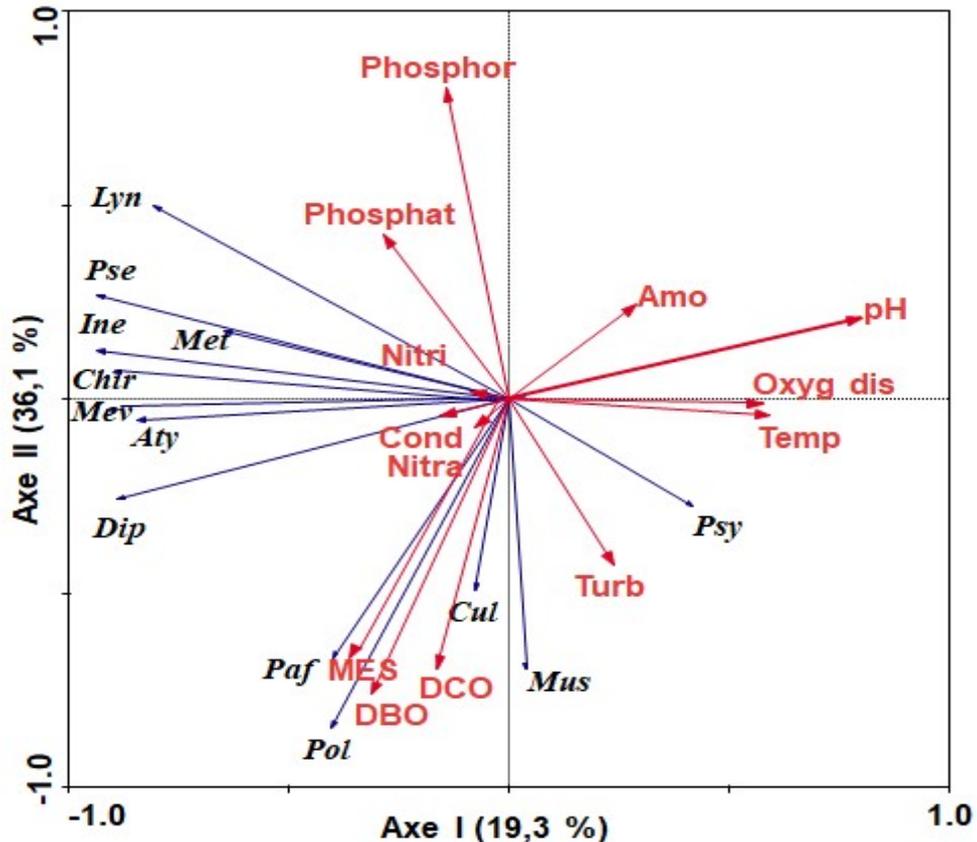


Figure 55 : Analyse de Redondance (RDA) mettant en évidence les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés de la lagune Aghien.

Temp = température ; **Nitri** = nitrites ; **Nitra** = nitrates ; **Amo** = ammonium, **Turb** = turbidité ; **MÉS** = matière en suspension ; **pH** = potentiel d'Hydrogène ; ***Cond** = Conductivité ; **DBO** = Demande biologique en oxygène, **DCO** = demande chimique en oxygène ; **Oxy dis** = Oxygène dissous ; **Phosphat** = Phosphate ; **Phosphor** = Phosphore ; **Ine**=*Indoplanorbis exustus* ; **Lyn**=*Lymnaea natalensis* ; **Met**=*Melanoïdes tuberculata* ; **Mus**=*Musculium* sp. ; **Paf**=*Pachymelania fusca* ; **Pol**=*Potadoma liricincta* ; **Aty**= *Atyoida serrata* ; **Pse**= *Pseudagrion* ; **Mev**= *Mesovelia vittigera* ; **Dip**= *Diplonchus* sp. ; **Chir**= *Chrionomus* sp. ; **Cul**= *Culex* sp. ; **Psy**=*Clogmia* sp.

3-2-2-6 Taxons indicateurs des différents types d'habitat

La méthode *IndVal* a été utilisée pour déterminer les valeurs indicatrices des taxons caractéristiques des différents types d'habitats. La classification, faite à partir des caractéristiques environnementales, regroupe les stations en fonction de leur degré de minéralisation et de la situation géographique. Cette classification donne trois niveaux de hiérarchisation. Le premier niveau renferme toutes les stations. Il sépare ensuite les stations relativement minéralisées de celles qui le sont faiblement. Enfin, le groupe des stations

faiblement minéralisées se subdivise en deux sous-groupes selon la situation géographique des stations sur le plan longitudinal sur la lagune Aghien (médian et aval).

Sur les 90 taxons, onze (11) taxons se sont révélés indicateurs d'au moins un niveau de la classification (Figure 56) soit 12 % de la richesse taxonomique pris en compte (Figure 56). Le premier niveau de la typologie rassemble tous les taxons (11) qui se sont montrés indicateurs de ce niveau. Au second niveau, les 02 taxons indicateurs des stations minéralisées se composent d'un Diptère (Empididae) et d'un Hémiptère (*Laccocoris sp.*). Quant aux stations faiblement minéralisées, elles sont caractérisées par 04 taxons dont deux Cénogastéropodes (*Potadoma liricincta* et *Pachymelania byronensis*), une Bivalve (*Musculium sp.*) et un Coléoptère (*Bidesus sp.*).

Pour le troisième niveau, les stations faiblement minéralisés situées en aval de la lagune Aghien (P8 et P11) sont caractérisées par un Cénogastéropode (*Pachymelania fusca*), un Archéogastéropode (*Septaria borbonica*) et un Trichoptère (*Neoperla spio*). Par ailleurs, les stations faiblement minéralisées situées dans le plan médian de la lagune tiennent leur apanage par deux Cénogastéropodes (*Potadoma liricincta* et *Pachymelania byronensis*). Enfin, les stations relativement minéralisées situées en amont se caractérisent par un Diptère (Empididae) et d'un Hémiptère (*Laccocoris sp.*).

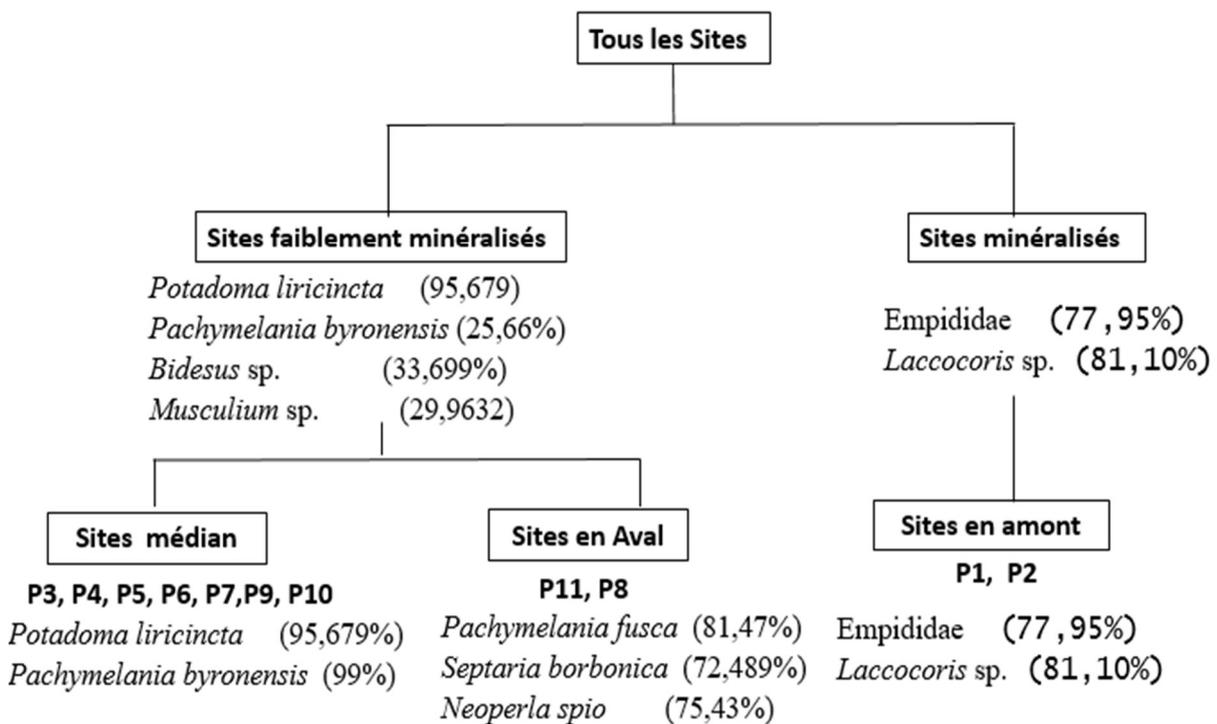


Figure 56 : Typologie abiotique des stations et les taxons indicateurs associés avec les valeurs indicatrices entre parenthèses.

P1 à P11= stations d'échantillonnage

3-2-3 Discussion

L'ensemble des communautés de macroinvertébrés récoltés dans la lagune Aghien est constitué de 3 embranchements : Annélides, Mollusques et Arthropodes. La richesse taxonomique des communautés de macroinvertébrés est majoritairement dominée par les Arthropodes qui représentent 68 des 90 taxons collectés (soit 75,55%). Les Mollusques représentent le second groupe zoologique le plus diversifié avec 16 taxons alors que les Annélides ne comptent que 3 taxons. Ce résultat est relativement similaire aux conclusions des études menées par Kouamé (2014) dans le lac du barrage de Taabo (Côte d'Ivoire) et celles de Masifwa *et al.* (2001) dans le lac Victoria en Ouganda qui indiquaient une dominance des Arthropodes (notamment des Insectes) (avec 77,55% des taxons) suivis des Mollusques dans les communautés des milieux aquatiques. Aussi, Diomandé *et al.* (2009) ont observé que les Insectes représentent le groupe zoologique le mieux représenté au sein de la communauté de macroinvertébrés inventoriée dans la rivière Agneby. En effet, cette structure faunique s'apparente à celle dressée par certains auteurs (Edia, 2008 ; Foto *et al.*, 2011 ; Camara, 2013 ; Nyamsi *et al.*, 2014 ; Kaboré *et al.*, 2015 ; Tchakonté, 2016) dans les cours d'eaux Anthropisés des régions tropicales africaines. D'une part, cette dominance observée des Insectes serait liée à leur prépondérance dans les communautés de macroinvertébrés des milieux aquatiques du fait de leur grande plasticité écologique et au fait qu'ils constituent le groupe taxonomique le plus diversifié parmi les macroinvertébrés d'autre part. Selon Gagnon & Pedneau (2006) et Lee *et al.* (2006), les Insectes représentent près de 95% des organismes présents dans les milieux aquatiques d'eau douce. Dans ces deux groupes, les Cénogastéropodes, les Diptères (16 taxons chacun), les Coléoptères et Hémiptères (13 taxons chacun) sont les plus diversifiés suivis des Odonates, des Ephéméroptères et Trichoptères. Ces résultats sont semblables à ceux de Bailey & Litterick (1993) qui ont enregistré comme invertébrés dominants, les Gastéropodes et les Coléoptères dans le fleuve Nil au Soudan alors que dans le lac Victoria, les Gastéropodes, les Ephéméroptères et les Chironomidae sont les invertébrés dominants (Masifwa *et al.*, 2001). Cette diversité élevée des Gastéropodes, Diptères, Coléoptères et Hémiptères pourrait être liée aux substrats immergés sur les berges de la lagune Aghien notamment à la présence de plantes aquatiques sur les berges échantillonnées. En effet, ces plantes aquatiques sont une composante importante dans l'écologie des Insectes et des Mollusques. Ces plantes constituent des refuges pour les invertébrés phytophages, comme les mollusques et les insectes aquatiques qui consomment ces plantes. Elles abritent aussi des Insectes prédateurs qui consomment d'autres invertébrés. Elles servent de support à la croissance du périphyton, principale source de nourriture des macroinvertébrés. Elles fournissent des sites de pontes bien oxygénés pour la

reproduction et servent d'abris contre les divers prédateurs tels que les poissons et les reptiles (Bony, 2008). Aussi, le système racinaire des plantes aquatiques notamment de la jacinthe d'eau représenterait un habitat favorable pour le développement d'une grande variété de macroinvertébrés en l'occurrence des Diptères et des Hémiptères. Ce résultat est corroboré par les études de Kouamé (2014) qui montrent que la jacinthe d'eau renferme la richesse taxonomique la plus élevée après analyse des communautés de macroinvertébrés suivant leurs microhabitats. Elle constitue donc un excellent microhabitat qui favoriserait le développement de plusieurs invertébrés d'où sa colonisation par ces organismes (Albertoni *et al.*, 2007). Cette assertion conforte les résultats sur les faibles richesses taxonomiques obtenus dans les stations situées en pleine eau dépourvues de plantes aquatiques. Cependant, certains taxons (tels que *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca*, *Potadoma liricineta*, *Musculium* sp., Blephariceridae) ont été uniquement rencontrés en profondeur ce qui justifie l'efficacité et la complémentarité de la méthode et des techniques d'échantillonnage employées à savoir l'utilisation conjuguée de la benne Van Veen et du filet troubleau. Ces techniques ont permis d'explorer les peuplements de la surface et des sédiments des berges en plus des stations situées en pleine eau de la lagune. Cette méthode qui a permis de faire un inventaire de la faune de macroinvertébrés benthiques à toutes les échelles de la lagune Aghien.

Par ailleurs, parmi les huit ordres d'Insectes, les Diptères sont les mieux diversifiés et plus abondants avec 16 taxons suivis des Hémiptères et Coléoptères avec respectivement 10 et 9 familles (soit 63% des familles d'Insectes). Cette prépondérance de ces ordres est liée à l'abondance des taxons comme : les *Chironomus* sp., *Diplonychus* sp., *Micronecta* sp., *Mesovelia vittigera*, *Coelestoma* sp., *Enochrus* sp., Hydraenidae. Ce résultat serait imputable aux conditions écologiques de la lagune favorables à la prolifération de ces ordres notamment les racines des plantes aquatiques, les fortes températures, la forte minéralisation de l'eau au regard des valeurs élevées de conductivité. En effet, les Diptères sont des taxons ayant une grande plasticité écologique, leurs abondances maximales s'observe souvent dans les zones de piémonts et de plaines, elles sont pollurésistantes et supportent bien les élévations de températures. Parmi les différentes familles, les Simuliidae et les Chironomidae qui ont été inventoriées dans ce milieu abondent dans les milieux riches en matières organiques, facteurs favorables à la prolifération des stades immatures (Tessier *et al.*, 2008). Aussi, le développement de la phase larvaire de plusieurs espèces de Chironomidae se fait en milieux aquatiques. Ces larves de Chironomidae occupent la majorité des habitats aquatiques et sont plus amplement distribués dans ces habitats (Hellawell, 1986). La famille des Chironomidae

regroupe le plus grand nombre d'espèces tolérantes (à côté de la famille des Syrphidae et les Oligochètes) (Sellam *et al.*, 2016). En outre, la relative abondance des Coléoptères est imputable à leur régime alimentaire qui est en majorité herbivore. Ainsi, ils consommeraient activement les myriophylles et les plantes aquatiques. Certains Coléoptères comme les *Coelostoma*, dont les larves se nourrissent de matières organiques, construisent une petite coque creuse en argile dans laquelle abrite la nymphe jusqu'au stade adulte. Au niveau des Odonates, on peut citer comme taxons principaux *Coenagriocnemis* sp. et *Pseudagrion* sp. L'abondance des Odonates serait imputable au grand nombre de Chironomidae dont ces insectes prédateurs se nourrissent.

La richesse taxonomique des Ephéméroptères est peu diversifiée avec 07 taxons. Ce résultat est lié à la nature des habitats caractérisés par des températures relativement élevées et un substrat hétérogène riche en matière organique. Cependant, l'abondance des Ephéméroptères est supérieure à celle des Coléoptères. Ceci serait dû aux conditions fortement favorables au développement d'une faune plus abondante surtout les Baetidae qui sont des Ephéméroptères qui supportent légèrement la pollution (Haouchine, 2011). En effet, certains taxons d'Ephéméroptères et de Coléoptères pullulent dans les zones peu perturbées (Mathuriau, 2002). D'une façon générale, la composition faunistique des mollusques de la lagune correspond à celle décrites dans les eaux douces africaines et ivoirienne (Ramade, 2003 ; Bony, 2008 ; Edia, 2008 ; Ben Moussa *et al.*, 2014 et Kouamé, 2014). Ils sont dominés par les familles des Thiaridae et des Planorbidae. Ensuite, le Planorbidae *Indoplanorbis exustus* qui est le plus abondant à toutes les saisons. D'autres familles comme les Physidae et les Lymnaeidae contiennent aussi des taxons ayant des effectifs importants comme *Aplexa marmorata* et *Lymnaea natalensis*. Cette dominance des peuplements de Mollusques par ces taxons serait imputable au fait qu'ils soient des espèces invasives et sont connues comme des taxons qui n'ont pas une grande exigence écologique. Ils ont la possibilité de pulluler aussi bien dans les milieux pollués que dans les eaux de bonne qualité et sont tolérants aux fortes températures et un pH à supérieur à 7 (Bony, 2008). Les espèces telles que *Lymnaea natalensis*, *Melanoides tuberculata*, *Aplexa marmorata* et *Indoplanorbis exustus* ont été fréquemment collectées dans les stations proches des zones habitées. Par ailleurs, la prépondérance d'*Indoplanorbis exustus* reconnu comme le principal hôte intermédiaire de *Schistosoma spindale*, parasite du bétail (Mouchet *et al.*, 1987) pourrait être une source potentielle de risques sanitaires pour certaines activités agropastorales.

L'analyse des données qualitatives de la répartition spatiale des communautés de macroinvertébrés inventoriées dans la lagune Aghien montre que les stations situées sur les berges sont significativement plus riches que les stations situées en pleine eau. Par contre, pour la même typologie de station, le nombre de taxons ne diffère pas significativement d'une station à l'autre. Cela peut s'expliquer par les conditions favorables créées par la présence des végétaux aquatiques qui servirait d'abris compatibles à la prolifération de certains taxons ce qui n'est pas le cas des stations situées en pleine eau (Ben moussa *et al.*, 2014).

Les *Chironomus* sp. Orthocladiinae et Oligochètes sont apparus comme des taxons ubiquistes, suivis de *Melanoïdes tuberculata* (Cénogastéropodes) qui ont été récoltés dans dix stations mais absents dans la station P5 située en pleine eau. La présence de ces taxons à toutes les stations stipulerait la présence de matière organique liée aux rejets issus des activités anthropiques dans toutes les strates de la lagune. En effet, ces taxons sont pollutolérants et pullulent en générale, dans les conditions écologiques très dégradées (Ben moussa *et al.*, 2014).

La Richesse taxonomique des macroinvertébrés de la lagune Aghien ne varie pas significativement d'une saison à l'autre. Cette invariabilité saisonnière serait en grande partie due à un régime hydrologique relativement stable (Camara, 2013). Cependant, les variations saisonnières montrent une grande variation de la richesse taxonomique pendant la saison des pluies qui serait liée aux conditions favorables. En effet, pendant la saison des pluies avec les eaux de ruissellement, il y a un deversement de plusieurs éléments organiques et minéraux dans la lagune qui seraient propices au développement de certains macroinvertébrés. En l'occurrence, c'est pendant cette saison des pluies qu'il y a une éclosion des œufs de certains macroinvertébrés comme les mollusques (Bony, 2008). Par contre, pour les stations situées en pleine eau, la saison n'a pas d'impact considérable sur la variation des peuplements à cause de la profondeur relativement importante (8 mètres en moyenne) qui atténuerait les effets des différentes saisons.

La biotypologie des communautés a montré que les taxons comme Blephariceridae, *Atrichopogon* sp, *Dasyhelea* sp. et *Culex* sp. sont associés aux stations situées sur l'axe longitudinal principal de la lagune notamment en eaux profondes où le substrat est majoritairement constitué de vase. Ce résultat corrobore ceux des travaux menés dans le nordouest algérien sur cour d'eau de l'Oued Chouly, et qui montrent que ces taxons pullulent dans le substrat constitué de vase (Bouayed, 2011).

L'analyse des occurrences des macroinvertébrés indique que les Chironomidae (avec *Chironomus* sp.) et les Thiaridae (avec *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca*,

Potadoma liricincta) sont les plus importantes familles qui colonisent le sédiment de la lagune Aghien. Ces taxons ont été également recensés dans les mêmes zones écologiques par Binder (1968) après des inventaires réalisés sur la macrofaune des lagunes Ebrié et Aghien. Ces Thiaridae ont été rencontrés principalement dans les stations situées en aval de la lagune (Côté est de la lagune) dans la zone d'influence des marées. En effet, ces taxons notamment *Pachymelania byronensis* sont des espèces de contact eaux continentales-lagune qui ne peuvent supporter que de très faibles salinités alors que *Pachymelania fusca* est connu être euryhalin et rencontré presque jusqu'à la limite de la zone d'influence des marées (Bouchet & Rocroi, 2005). Par ailleurs, au niveau des stations situées sur les berges, il y a une forte occurrence de quatre ordres à savoir les Diptères (*Chironomus* sp.), Cénogastéropodes (*Melanoïdes tuberculata*), Hémiptères (*Diplonychus* sp., *Micronecta* sp. et *Mesovelina vittigera*) et Odonates (*Coenagriocnemis* sp. et *Pseudagrion* sp.).

Au niveau de la structuration trophique des macroinvertébrés, les analyses révèlent une dominance des prédateurs et des détritivores. Cela s'explique par les différents types d'habitats offerts par la lagune Aghien tels que le sédiment, les végétaux immergés et les macrophytes. En effet, les racines et d'autres parties de macrophytes accumulent les débris et une large quantité de matière organique, favorisant l'établissement d'individus détritivores et prédateurs. Ce même constat a été fait par Kouamé (2014) au niveau du lac de Taabo où il y avait une prépondérance des détritivores et prédateurs.

L'analyse des similarités entre les stations montrent que la quasi-totalité des stations situées sur les berges ont des valeurs de l'indice de similarité de Jaccard supérieures à 0,5 à l'exception de la station P6 proche du village d'Akandjè. Ce qui traduirait un taux d'échange moyen des taxons entre les stations. Cela serait associé aux conditions similaires offertes par les variables physico-chimiques et les végétaux aquatiques le long des berges et à un déplacement de quelques organismes sous l'influence des courants des vagues. Cependant, au niveau des communautés du sédiment de la lagune, il y a une similarité entre les communautés des stations situées en aval de la lagune vers le chenal de la lagune Potou alors que la similarité est faible au niveau des stations situées en amont vers l'embouchure de la rivière Bété. Ce constat résulterait d'une bonne dispersion des taxons issus de des échanges entre ces stations sous l'influence des peuplements exogènes de la rivière Mé et la lagune Potou. Au niveau qualitatif, les compositions au niveau des peuplements des stations dans la partie est (aval) de la lagune Aghien sont légèrement différentes de celles des stations situées en amont. En l'occurrence, les taxons comme *Potadoma liricincta*, *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca* sont plus

fréquents dans cette partie de la lagune à partir des villages Aguin et Télégraphe. Par ailleurs, la faible similarité entre les deux zones (aval et amont de la lagune) peut être imputable à un décalage de la situation des sites échantillonnés par rapport à l'axe de circulation du courant de l'eau de la lagune. En effet, selon Soderstrom (1987) et Edia (2008), le turnover relativement élevé entre les sites situés sur un même cours d'eau s'expliquerait par l'effet de dérive facilité par le courant qui entraîne certains taxons des cours supérieurs vers les cours inférieurs. En revanche, le faible turnover observé au niveau du gradient transversal serait dû à la largeur du plan d'eau lagunaire qui induirait une faible capacité de dispersion des macroinvertébrés (Sites *et al.*, 2003). Les paramètres déterminants dans le regroupement des macroinvertébrés sont les teneurs en nitrates et en demande biologique en oxygène (DBO). Ce constat résulterait d'une forte influence des matières organiques sur les peuplements de la lagune Aghien. Les rejets domestiques dans le milieu naturel modifient les caractéristiques physico-chimiques des eaux (fortes teneurs en ammonium, phosphates, DBO) et, par conséquent, favorisent le développement des espèces saprophytes (Mary, 1999).

L'analyse de la structure des communautés montre qu'il y a une différence hautement significative entre les variations des abondances des stations situées sur les berges par rapport à celles situées en pleine eau. Cette différence serait liée aux conditions favorables à la prolifération de certaines espèces notamment les végétaux aquatiques qui leur servent d'habitats ce qui n'est pas le cas au niveau des stations situées en pleine eau. Cependant, pour une même typologie de station, il y a peu de variations spatiales au niveau des abondances pour les stations situées sur les berges alors qu'une différence est enregistrée au niveau des stations situées en pleine eau. Ce résultat s'expliquerait par le fait que les macroinvertébrés des berges profiteraient de mêmes conditions environnementales pour leurs proliférations. Par contre, la différence au niveau des abondances des stations situées en pleine eau serait imputable à la différence de substrat du fond et aux impacts des affluents de la lagune Aghien. Globalement, la structure des communautés du sédiment de la lagune Aghien indique une forte densité des Diptères, des Cénogastéropodes et des Oligochètes. Cette dominance, liée d'une part, à la prépondérance des densités des Chironomidae, serait le résultat de leurs plasticités écologiques. Aussi, les fortes densités des Chironomidae, Oligochètes et des Mollusques observées dans le sédiment s'expliqueraient aussi par leurs guildes trophiques. En effet, la plupart de ces organismes sont strictement détritivores, en particulier les Oligochètes. En outre, les Oligochètes et larves de Chironomidae sont des macroinvertébrés endobenthiques, qui sont des organismes fouisseurs qui ont une forte activité dans le sédiment (Tessier *et al.*, 2008).

La dominance des Diptères, Cénogastéropodes, Hémiptères et Odonates au niveau des stations situées sur les berges s'expliquerait par la présence de plantes aquatiques et des débris végétaux et animaux. En effet, ils sont des organismes détritivores et omnivores qui se nourrissent à la fois de débris végétaux et de débris animaux (Tachet *et al.*, 2006). Par ailleurs, Bony *et al.* (2013) ont noté que la diversité des communautés benthiques est modifiée par les diverses pressions qu'elles subissent. Par exemple, les Hémiptères aquatiques n'affectionnent pas les eaux fortement polluées. Ces Insectes témoignent, de par leur grande diversité dans un milieu aquatique, d'une dégradation moyenne de ce biotope comme l'ont noté Moisan (2010) et Hessé *et al.* (2014). Nos résultats sont corroborés par ceux de Déthier (1986), Mary (2000) et de Djéné *et al.*, (2018). Ces auteurs ont souligné que les Hémiptères aquatiques sont plus rencontrés et ont une diversité plus importante en eaux calmes qu'en eaux très courantes. Quant aux Diptères, ils sont connus comme les plus résistants aux perturbations, tandis que les Ephéméroptères sont plus pollusensibles (Arimoro *et al.*, 2007). En revanche, au regard des moyennes de paramètres physico-chimiques, l'eau de la lagune aurait subi une pollution de type organique. Cela justifie le nombre élevé de Diptères et la faible abondance d'Ephéméroptères dans les stations d'échantillonnage (Alhejoj *et al.*, 2014).

Au niveau des principales familles d'Insectes, les Chironomidae et les Coenagrionidae sont prépondérants au niveau des stations des berges. Les Belostomatidae sont plus prépondérants au niveau des stations situées au niveau des embouchures de la lagune Potou et de la rivière Bété. Quant aux Psychodidae, ils sont l'apanage des stations situées en pleine eau avec les Chironomidae. Au niveau des Mollusques, les familles des Planorbidae et des Thiaridae sont les plus prépondérants dans toutes les stations. Comme taxons les plus abondants dans la lagune Aghien, il y'a : les *Peloracantha*, *Coenagriocnemis* sp., *Diplonychus* sp., *Mesovelgia vittigera*, *Pseudagrion* sp., *Chironomus* sp., *Culex* sp., Orthocladiinae, *Indoplanorbis exustus*, *Melanoïdes tuberculata* et *Potadoma liricincta*. La prépondérance des Belostomatidae est inhérente aux conditions favorables à leurs développements. En effet, ces organismes sont répartis dans les différents milieux aquatiques selon une exigence écologique très plastiques. C'est notamment le cas de *Diplonychus* sp. de la famille des Belostomatidae qui n'est pas exigeant en terme de variations physico-chimiques dans les milieux aquatiques. Cet Insecte est reconnu comme étant l'un des vecteurs et/ou hôtes potentiels du procaryote *Micobacterium ulcerans*, agent responsable de l'ulcère de burili (Doannio *et al.*, 2011). Cela corrobore les constats faits sur le terrain dans les villages d'Akandjé et de Débarcardère où un il y a une prévalence de l'ulcère de burili. La présence de tous ces taxons laisse suggérer que l'eau de la

lagune Aghien constituerait un risque sanitaire pour les populations riveraines qui effectuent pratiquement toutes leurs activités domestiques dans cette eau. Ensuite, la prépondérance d'*Indoplanorbis exustus* et de *Melanoïdes tuberculata* s'expliqueraient aussi par leurs natures de mollusques invasifs qui colonisent plusieurs habitats et substrats (Bony *et al.*, 2013).

Les variations saisonnières des abondances montrent qu'il y a une différence significative entre les abondances des macroinvertébrés d'une saison à une autre. La plus forte abondance est enregistrée au niveau de la grande saison sèche alors que les plus faibles abondances sont enregistrées au niveau des petites saisons. Ce résultat serait aussi lié à la variabilité saisonnière des conditions environnementales des différentes stations au cours des différentes saisons. Par ailleurs, ce résultat serait imputable d'une part, à la durée d'échantillonnage des grandes saisons par rapport aux petites saisons et aux conséquences de l'impact des saisons des pluies sur le cycle biologique de vie des macroinvertébrés. En effet, les macroinvertébrés, en général, ont un cycle de vie annuel avec la ponte des œufs qui a lieu pendant la saison pluvieuse suivi d'une éclosion et d'un développement du stade larvaire au cours des saisons suivantes. En outre, les études de Yapi *et al.* (1994) qui soulignent que la saison des pluies est également la période de reproduction pour *Indoplanorbis exustus* dans les lacs de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. En effet, l'apport des pluies stimule l'apparition de nouvelles générations. La hausse des températures de la saison sèche, quant à elle, intervient sur leur vitesse de croissance. Ainsi, les macroinvertébrés se rencontrent aussi bien en grande saison des pluies qu'en saison sèche comme l'a fait remarquer Haouchine (2011) dans une étude menée sur les macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie en Algérie. Cependant, ces résultats sont contraires à ceux de Bony (2008) qui montrent que les densités de mollusques étaient plus élevées pendant les saisons des pluies.

La diversité des communautés évaluée à partir de l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité des stations situées sur les berges montre que les valeurs sont respectivement comprises entre 1,24 et 1,8 et 0,59 et 0,62 et sont relativement peu élevées. Ceux des stations en pleine eau sont respectivement compris entre 0,14 et 0,71 et 0,16 et 0,74. Globalement, l'indice de Shannon montre une variabilité d'une station à une autre. La variabilité de l'indice est plus importante dans les stations situées sur les berges que celles des stations situées en pleine eau. Ce descripteur présente une variabilité plus ou moins importante dans les stations d'étude à toutes les saisons. Ces valeurs indiquent que la macrofaune de la lagune Aghien est relativement peu diversifiée et équilibrée. Cette diversité de la communauté lagunaire serait imputable à un déséquilibre des communautés inhérent à la pullulation d'un nombre limité d'espèces due aux

conditions du milieu. D'après Frontier (1983), dans les milieux exceptionnellement diversifiés, l'indice de diversité de Shannon ne dépasse guère 4,5. En outre, selon Amanieu & Lasserre (1982) et Dajoz (2000), plus l'équitabilité est proche de 1 plus le peuplement est équilibré et stable.

L'analyse des corrélations entre les macroinvertébrés et les paramètres abiotiques montre que le pH, la température, la teneur en oxygène dissous, la turbidité, les teneurs en nitrates et en phosphore sont les variables physiques et chimiques qui influencent fortement la dynamique de peuplement des ordres dans la lagune Aghien. Par ailleurs, les abondances des principaux taxons aquatiques sont corrolés à la température, le pH, l'oxygène dissous, la turbidité, aux teneurs en phosphore et en matières en suspension, la demande chimique en oxygène et la demande biologique en oxygène. Ce résultat serait en corrélation avec le concept écologique selon lequel les peuplements des macroinvertébrés seraient très sensibles aux fluctuations physiques et chimiques du milieu (Mary & Archaimbault, 2011). Par ailleurs, ce résultat se justifierait par l'impact des rejets issus des activités anthropiques sur la distribution de ces organismes. En effet, à travers les résidus des usines et activités agricoles, les éléments minéraux sont précipités dans la lagune par les eaux de ruissellement qui modifieraient fortement des variables physiques et chimiques comme la turbidité, les teneurs en phosphore et en acide. En effet, le pH et la turbidité qui expriment le degré de minéralisation sont liés à l'accumulation des sels nutritifs dans les plans d'eau (Galdean & Staicu, 1997). Cette accumulation est favorisée par les pressions anthropiques sur le paysage environnant (Freeman *et al.*, 2007). Elle entraîne une augmentation de la conductivité et une baisse du taux d'oxygène dissous et du pH (Sandin, 2003). Ainsi, l'accumulation des sels nutritifs dans les systèmes aquatiques affecte le flux d'énergie et provoquerait la disparition de certaines espèces. La température de l'eau est un important indicateur de la vitalité des cours d'eau de par son influence sur le métabolisme, le développement et l'activité des organismes aquatiques tels que les Ephéméroptères (Naiman *et al.*, 1997).

La méthode *IndVal* a été utilisée pour déterminer les valeurs indicatrices des taxons caractéristiques des différents types d'habitats définis à partir des caractéristiques environnementales. La classification, a regroupé les stations en fonction de leur degré de minéralisation et de la profondeur et de la situation géographique selon le gradient amont, médian et aval en trois groupes. Les taxons indicateurs du groupe I (*P. fusca*, *S. barbonica* et *N. sipo*) sont caractérisés par une faiblement minéralisation et leur situation dans la zone en aval de la lagune avec des valeurs des teneurs des matières en suspension, en demande chimique

en oxygène et demande biologique en oxygène. Les taxons indicateurs du groupe II (*P. byronensis* et *P. liricincta*) sont caractérisés par une faible minéralisation et leur situation dans la zone médiane de la lagune Aghien avec des profondeurs relativement élevées. Les taxons indicateurs du groupe III (Empididae et *Laccocoris sp.*) sont caractérisés par une forte minéralisation et leur situation à l'amont de la lagune Aghien avec des profondeurs relativement faibles. Ce résultat montrerait que les communautés de macroinvertébrés de la lagune sont majoritairement inféodées aux types d'habitats et la minéralisation. Cela explique la prépondérance des détritivores et prédateurs parmi ces taxons indicateurs (Kouamé, 2014).

3-3 EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX DE LA LAGUNE AGHIEN

3-3-1 Analyse de la qualité des eaux à partir des indices de diversité

3-3-1-1 Indice Chironomidae des berges : Qualité des eaux de surface

Le tableau XXII présente le récapitulatif des données relatives à l'indice Chironomidae (% Chir) des macroinvertébrés collectés sur les substrats immergés des différentes stations situées sur les berges de la lagune Aghien.

Les valeurs de l'indice Chironomidae (% Chir) varient de 37,01 % (station P6) à 70,83 % (station P8). A partir de l'analyse de l'indice Chironomidae, toutes les stations situées sur les berges de la lagune Aghien présentent des eaux moyennement polluées.

Tableau XXII : Données relatives à l'indice Chironomidae des macroinvertébrés collectés sur les substrats immergés des stations situées sur les berges.

Métriques	P1	P2	P4	P6	P8	P10	P11
Richesse taxonomique	47	43	43	32	49	43	52
% Chir	37,14	40,71	44,1	37,01	70,83	63,51	36,62
Qualité	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP

% Chir = Indice Chironomidae ; MP : Moyennement polluée ; P1 P2, P4, P6, P8, P10, P11 = Stations échantillonnées à partir du filet troubleau.

3-3-1-2 Qualité des eaux à partir des macroinvertébrés du sédiment

Les résultats de cette partie tiennent compte de l'absence des organismes du complexe EPT dans le sédiment de la lagune Aghien et présente une analyse de la qualité à partir des indices Chironomidae et Oligochètes du sédiment.

3-3-1-2-1 Indice Chironomidae du sédiment

Les données relatives à l'indice Chironomidae (% Chir) des macroinvertébrés collectées dans le sédiment des stations d'échantillonnage sont présentées par le tableau XXIII.

L'indice Chironomidae varie de 13,1 % (station P10) à 85,7 % (station P4). La station P4 a enregistré un indice Chironomidae de 85,7 % indique une eau très polluée (TP). Les stations P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9 et P11 ont une eau moyennement polluée (MP) pendant que l'indice de la station P10 indique une eau faiblement polluée (FP). Dans l'ensemble neuf (09) stations sur onze présentent une valeur de l'indice Chironomidae indiquant une eau moyennement polluée.

Tableau XXIII : Données relatives aux indices Chironomidae et de diversité des macroinvertébrés collectés dans le sédiment des stations d'échantillonnage.

Métriques	Stations échantillonnées dans le sédiment										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Richesse taxonomique	11	7	11	5	6	9	12	9	11	14	13
Shannon_H	1,7	1,39	2,07	0,64	1,36	1,32	2,1	1,57	1,7	1,94	1,63
Equitabilité_J	0,71	0,71	0,86	0,4	0,76	0,6	0,85	0,71	0,71	0,73	0,63
Abondance Séd	64	129	48	63	87	79	69	248	260	168	214
N_Chir	45	88	13	54	65	58	26	85	173	22	98
% Chir	70,3	68,2	27,1	85,7	74,7	73,4	37,7	34,3	66,5	13,1	45,8
Qualité	MP	MP	MP	TP	MP	MP	MP	MP	MP	FP	MP

Abondance Séd= Nombre d'individus total prélevés dans le sédiment d'une station ; **N_Chir**= Nombre de Chironomidae ; **% Chir** = Indice Chironomidae ; **MP** : Moyennement polluée ; **FP** : Faiblement polluée ; **TP** := Très polluée.

3-3-1-2-2 Indice Oligochètes du sédiment

Les données relatives à l'indice Oligochètes (% Oli) des macroinvertébrés collectés dans le sédiment des stations d'échantillonnage sont présentées par le tableau XXIV.

L'indice Oligochètes varie de 0,4 % (station P10) à 27,1 % (station P3). Les stations P2, P3 et P9 ont enregistré respectivement un indice Oligochètes de 22,5 %, 27,1 % et 12,3 %. Dans ces stations, les valeurs de l'indice Oligochète indiquent une eau moyennement polluée (MP). Les stations P1, P4, P5, P6, P7, P8, P10 et P11 ont enregistré des valeurs de l'indice Oligochètes variant de 0,4 % à 4,8 %. Ces valeurs indiquent une eau faiblement polluée (FP). Dans l'ensemble, huit (08) stations sur onze présentent une valeur de l'indice Oligochètes indiquant une eau faiblement polluée.

Tableau XXIV : Données relatives à l'indice Oligochètes des macroinvertébrés collectés dans le sédiment des stations d'échantillonnage.

Métriques	Stations échantillonnées dans le sédiment										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Abondance Séd	64	129	48	63	87	70	69	248	260	168	214
N_Oli	3	29	13	3	1	3	3	1	32	1	2
% Oli	4,7	22,5	27,1	4,8	1,1	4,3	4,3	0,4	12,3	0,6	0,9
Qualité	FP	MP	MP	FP	FP	FP	FP	FP	MP	FP	FP

Abondance Séd= Nombre d'individus total prélevés dans le sédiment d'une station ; **N_Oli**= Nombre d'Oligochètes ; **% Oli**= Indice Oligochètes ; **MP** : Moyennement polluée ; **FP** : Faiblement polluée.

3-3-2 Analyse de la qualité des eaux à partir de l'Indice Malacologique globale des systèmes Lacustres (IMOL)

Le tableau XXV présente le récapitulatif de la présence/absence des mollusques pris en compte dans le calcul de l'indice IMOL. Au total 09 taxons appartenant à 07 genres de mollusques ont été collectés dans le sédiment des différentes stations de la lagune Aghien. Il y a un taxon appartenant à la classe des Bivalves et 08 taxons pour les Gastéropodes. Les stations P8, P10 et P11 ont enregistré le grand nombre (06 taxons) de taxon de mollusque alors que les stations P4 et P5 n'ont enregistré qu'un seul (01) taxon.

Tableau XXV : Mollusques du sédiment des stations pris en compte par l'IMOL

Classe	Taxons	Station d'échantillonnage										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Bivalves	<i>Musculium</i> sp.			+		+			+		+	+
	<i>Bulinus guernei</i>								+			
	<i>Bulinus truncatus</i>								+			
	<i>Indoplanorbis exustus</i>	+	+						+			
Gastéropodes	<i>Melanoïdes tuberculata</i>	+	+	+	+			+	+	+	+	+
	<i>Pachymelania byronensis</i>							+	+	+	+	+
	<i>Pachymelania fusca</i>			+					+	+	+	+
	<i>Potadoma liricineta</i>	+		+				+	+	+	+	+
	<i>Septaria borbonica</i>									+		+
	Total taxons	3	3	3	1	1	5	5	6	4	6	6

Le tableau XXVI présente les variations de l'IMOL et des états biologiques des sédiments des différentes stations d'échantillonnage. Les stations P7 et P9 ont respectivement une valeur égale à 7. Les valeurs de l'IMOL de ces stations indiquent un état biologique moyen. Les stations P2, P4, P6 et P10 ont respectivement enregistré une valeur de l'IMOL égale à 3, 2, 3 et 3. Ces dernières valeurs indiquent un état biologique médiocre de ces stations. Cependant, les valeurs de l'indice IMOL de 4 et 5 ont été respectivement notées pour les stations P5 et P10. Les stations P1, P3, P8 ont chacune une valeur de l'IMOL égale à 6 alors que les stations P5 et P11 présentent un état moyen. Dans l'ensemble, sur onze stations, cinq (05) stations présentent un état biologique moyen, quatre (04) stations présentent un état biologique médiocre et deux (02) stations ont des bons états biologiques.

Tableau XXVI : Variations spatiales de l'indice IMOL et des états biologiques

Stations	Indice IMOL	Etat biologique
P1	6	Moyen
P2	3	Médiocre
P3	6	Moyen
P4	2	Médiocre
P5	4	Moyen
P6	3	Médiocre
P7	7	Bon
P8	6	Moyen
P9	7	Bon
P10	3	Médiocre
P11	5	Moyen

3-3-3 Corrélation entre les indices étudiés

Les corrélations de rang de Spearman entre les indices étudiés dans le sédiment des stations d'échantillonnage sont présentées par les tableaux XXVII.

L'indice Chironomidae présente une faible corrélation négative avec l'IMOL ($r = -0,418$; $p < 0,01$). L'indice Chironomidae présente une forte corrélation négative avec la richesse taxonomique ($r = -0,745$; $p < 0,01$), l'indice de Shannon ($r = -0,773$; $p < 0,01$) et l'indice d'équitabilité ($r = -0,555$; $p < 0,05$). Cependant, une forte corrélation est notée entre l'IMOL et l'indice de Shannon ($r = 0,687$; $p < 0,05$). L'indice de Shannon présente de fortes corrélations avec la richesse taxonomique ($r = 0,805$; $p < 0,05$) et l'indice d'équitabilité ($r = 0,655$; $p < 0,05$). Par ailleurs, l'indice Oligochètes ne présente aucune corrélation avec les autres indices de qualité.

Tableau XXVII: Coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les indices étudiés dans le sédiment des stations d'échantillonnage

Indices	Richesse taxo	Shannon_H	Equitabilité_J	% Chir	% Oli
Shannon_H	0,805*				
Equitability_J	0,257	0,655 *			
% Chir	-0,745*	- 0,773*	- 0,555*		
% Oli	-0,279	0,050	0,064	0,232	
Indice IMOL	0,437	0,687*	0,390	- 0,418	0,063

* = La valeur en gras indique une corrélation significative entre les deux indices ($p \leq 0,05$)

3-3-4 Discussion

Le fort pouvoir indicateur des macroinvertébrés, dont les diverses espèces présentent une grande variété de réponses à la pollution organique (d'origine naturelle ou anthropique), a maintes fois été démontré dans les rivières et les lacs (Rosenberg & Resh, 1993 ; Karr & Chu, 1999 ; Gnohossou, 2006). Dans cette étude, plusieurs des métriques ont été testées sur la base de certains groupes taxonomiques particuliers notamment les Chironomidae, les Oligochètes et les Mollusques. L'évaluation de la qualité des eaux a concerné le sédiment et les berges des stations échantillonnées afin de faire ressortir les disparités liées aux éventuelles perturbations intermédiaires inhérentes aux activités agricoles et domestiques le long de la lagune Aghien. Ainsi, globalement, les richesses taxonomiques des stations des berges sont supérieures à 30. Cette valeur est la valeur seuil indicatrice d'une eau peu perturbée ayant une bonne qualité biologique (Mary, 2015). Cette différence entre les valeurs pourrait s'expliquer par les pressions sur les communautés de macroinvertébrés au niveau de la lagune Aghien qui induiraient des conditions favorables à la prolifération de certains insectes notamment les Chironomidae et les Oligochètes. Parmi ces paramètres, les plus importants sont la température et le taux d'oxygène dissous (Koumba *et al.*, 2017). En effet, la température de l'eau influe sur la quantité d'oxygène et d'énergie disponible pour la productivité biologique et les processus chimiques dans les lacs nécessaires à la vie aquatique. Par ailleurs, la présence de jacinthe d'eau pourrait aussi expliquer ces faibles teneurs en oxygène dissous. Les stations où ont été échantillonnés les macroinvertébrés sont en moyenne acides, et des concentrations en matière azotée et en oxygène dissous au-delà des seuils indicateurs d'une eau en bon état. Par conséquent, ces eaux sont moyennement polluées et donc propices au développement des organismes benthiques tels que les Chironomidae et les Thiaridae.

L'indice Oligochètes qui est un indice de qualité des sédiments a été utilisé pour évaluer des pollutions organiques et aux métaux lourds dues aux effluents domestiques. C'est un indice qui fait apparaître les incidences écologiques des rejets polluants (charge organique ; micropolluants organiques et métalliques) (Durocher, 2016). L'analyse de cet indice montre que les eaux de la lagune Aghien sont relativement faiblement polluées par des métaux lourds.

Quant à l'abondance relative en Chironomidae, les indices des différentes stations sont tous supérieurs au seuil de 5 % au-delà duquel une eau ne peut être considérée comme de très bonne qualité (Mary, 2015). Ce résultat montre que plus du tiers des macroinvertébrés de la lagune Aghien sont constitués de Chironomidae. Les Chironomidae sont reconnus comme tolérants à une large gamme de perturbations, et en particulier aux pollutions de type sédimentaire et

organiques. Ce qui serait en corrélation avec les données des paramètres physico-chimiques enregistrés dans les stations qui stipulent des pollutions de types organiques et sédimentaire. Les valeurs des différents indices de diversité étudiés montrent une réponse aux activités riveraines des groupes bioindicateurs. En effet, les indices de diversité de Shannon montrent que les communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien sont peu diversifiées. Cette faible diversité des macroinvertébrés serait en relation avec un état perturbé de l'eau. Par ailleurs, les indices de diversité se fondent sur le principe selon lequel les communautés faunistiques sont relativement diversifiées dans un milieu non perturbé (richesse spécifique élevée et uniformité de distribution). Les pressions qui surviennent (pollutions diverses, aménagements...) ont pour conséquence la réduction de la diversité spécifique, les conditions de vie devenant difficiles pour certaines espèces (Agences de l'Eau, 1993). Globalement, du point de vue écologique, l'analyse des métriques de qualité étudiées (notamment les indices Chironomidae, Oligochètes et la Richesse taxonomique) indique que l'eau de la lagune est moyennement polluée donc est loin d'être une eau de bonne qualité biologique. En effet, les organismes comme les Chironomidae et les Oligochètes sont tolérants à une pollution organique et en métaux.

L'IMOL dans les stations varie entre 2 et 7, valeurs indiquant respectivement un état médiocre et bon. La moitié des stations proches des berges ont des valeurs de l'IMOL plus faibles indiquant un état biologique médiocre de l'eau. Ceci pourrait s'expliquer d'une part, par les conditions favorables au développement des taxons indicateurs pollurésistants tels que les Thiaridae et la relative faible profondeur de certaines zones d'échantillonnage d'autre part. Les fortes valeurs de l'IMOL enregistrées au niveau des stations situées en pleine eau peuvent s'expliquer par la forte présence de taxons de Bivalves et de Gastéropodes dans le sédiment.

Pour l'évaluation de la qualité biologique de ces zones, il serait intéressant de proposer des métriques telles que le pourcentage en Chironomidae pour éviter les biais de résultats. Par ailleurs, l'analyse des corrélations entre les indices étudiés montre que l'abondance en Chironomidae est négativement corrélée aux indices de diversité (Richesse taxonomique, Shannon et équitabilité) des communautés du sédiment de la lagune Aghien calculés ($r > 0,5$). Cependant, l'indice de diversité de Shannon est positivement corrélé à l'IMOL. Ce résultat confirme que l'abondance en Chironomidae évolue dans le sens opposé au milieu diversifié indicateur d'une relative bonne qualité des eaux contrairement à l'IMOL. En effet, les indices diversité sont souvent considérés comme des paramètres synthétiques permettant d'évaluer les effets des pollutions sur les communautés biologiques. Ce résultat se distingue de celui de

Gnohossou (2006) qui indique que l'indice de Shannon n'était pas corrélé à l'indice biotique du lac Nokoue au Bénin. Ces différentes corrélations entre les indices étudiés permettent d'adapter l'utilisation de l'indice IMOL et l'indice Chironomidae pour l'évaluation de la qualité des eaux de la lagune Aghien. Cependant, compte tenu de la complexité de l'IMOL inhérente aux efforts à fournir pour l'échantillonnage du sédiment et l'identification des mollusques, il serait plus simple et pratique d'utiliser l'indice basé sur les Chironomidae pour l'évaluation de la qualité écologique des plans d'eau dans un premier temps notamment les lagunes. En effet, d'une part, les Chironomidae présentent l'avantage d'être rencontrés dans les différents habitats (sédiment comme substrats immergés sur les berges) des plans d'eau et le niveau d'identification requis qui la famille pourrait être à la portée d'un pratiquant bien entraîné pour la cause contrairement à l'application de l'indice IMOL qui nécessite l'appui d'un spécialiste systématicien pour l'identification des différents genres de Mollusques d'autre part. Aussi, les Chironomidae sont aussi réputés être de bons bioindicateurs résistants aux pollutions de divers types notamment les pollutions organiques et de métaux. Il a été montré que les études d'évaluation de la qualité des lacs et des zones profondes utilisent des métriques basées sur des groupes taxonomiques des communautés des macroinvertébrés benthiques des zones profondes tels les Chironomidae (Mary, 1999). Ainsi, ces indices (Chironomidae et IMOL) constitueraient des métriques complémentaires pour évaluer la qualité écologique de l'ensemble des stations de la lagune Aghien.

CONCLUSION

Le présent travail a permis d'étudier la composition et la structure des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien en relation avec les conditions environnementales et leurs implications dans l'évaluation de la qualité écologique de l'eau.

Les différents paramètres physico-chimiques considérés ne varient pas de manière significative dans l'espace mais varient dans le temps.

L'ensemble des communautés de macroinvertébrés récoltés dans la lagune Aghien est assez diversifié avec 90 taxons repartis en 3 embranchements : Arthropodes, Annélides et Mollusques. La richesse taxonomique des communautés de macroinvertébrés est majoritairement dominée par les Arthropodes qui représentent 68 des taxons collectés suivis des Mollusques avec 18 taxons. Dans ces deux groupes, les ordres des Cénogastéropodes (Mollusques), des Diptères, des Coléoptères et des Hémiptères (Arthropodes) sont les plus diversifiés.

Dans l'ensemble, trois (3) taxons sont communs à toutes les stations. Il s'agit de : *Chironomus* sp., Orthocladinae et Oligochètes.

La composition faunistique des Mollusques est dominée par les ordres des Cénogastéropodes. Les familles de Mollusque les plus diversifiées sont les Thiaridae et les Planorbidae avec comme taxons dominants, en terme d'abondance, *Melanoïdes tuberculata* et *Potadoma liricincta*. Quant aux Arthropodes, 07 familles se sont révélées principales. Il y a les Belostomatidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Culicidae, Leptophlebiidae, Mesoveliidae et Psychodidae.

Les occurrences des macroinvertébrés indiquent que les Chironomidae (*Chironomus* sp.) et les Thiaridae (*Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca*, *Potadoma liricincta*) sont les plus fréquentes familles dans les communautés benthiques de la lagune Aghien. Par ailleurs, au niveau des communautés des berges, 13 taxons (Insectes, Mollusques et Crustacés) ubiquistes ont été récoltés dans toutes les stations. Il s'agit du Coléoptère (*Enochrus* sp.), des Odonates (*Coenagriocnemis* sp., *Pseudagrion* sp. et *Zygonix* sp.), des Ephéméroptères (Baetidae et *Adenophlebia* sp.), des Hémiptères (*Limmogonus* sp., *Mesovelina vittigera* et *Miicrovelia* sp.), des Basommatophores (*Lymnaea natalensis* et *Indoplanorbis exustus*), du Cénogastéropode (*Melanoïdes tuberculata*) et du Crustacé (*Atyoida serrata*).

La majorité des organismes collectés sur la lagune Aghien sont des taxons accidentels ($\geq 52\%$) et du point de vue de l'organisation trophique, le groupe des prédateurs et des détritivores apparaissent le plus dominants.

L'analyse de la similarité taxonomique entre les communautés montre une indépendance significative des communautés des stations sur les plans longitudinaux et transversaux de la lagune.

En ce qui concerne la structure des communautés, il apparaît que la richesse taxonomique varie significativement d'une saison à l'autre. Les variations saisonnières montrent une grande variation de la richesse taxonomique pendant la saison des pluies. Aussi, une faible diversité spécifique dans les stations et une faible variabilité saisonnière ont été enregistrés. Une stabilité temporelle des peuplements a été enregistrée pour une même typologie de stations (indices de diversité de Shannon et l'équitabilité respectivement compris entre 0,37 et 2,66 et entre 0,26 et 1). Cependant, les teneurs en nitrate et en DBO sont les plus déterminants dans le regroupement des taxons de macroinvertébrés de la lagune Aghien

L'abondance et la diversité taxonomiques des organismes collectés au niveau des stations situées sur les berges sont supérieures à celles des stations situées en pleine eau. Les Diptères et les Oligochètes représentent plus de la moitié des taxons enregistrés dans les stations en pleine eau alors qu'au niveau des stations des berges, il y a une dominance de quatre ordres à savoir les Diptères, Cénogastéropodes, Hémiptères et Odonates. Au niveau des familles, les Chironomidae sont les plus prépondérants dans toutes les stations et à toutes les saisons. Ils sont suivis des Coenagrionidae. Les variations saisonnières des abondances des principaux groupes montrent qu'à toutes les saisons, les Arthropodes ont été plus abondants que les Mollusques. Cependant, des taxons de Mollusques notamment *Melanoïdes tuberculata*, *Indoplanorbis exustus*, *Lymnaea natalensis*, *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca*, *Potadoma loricincta* et *Aplexa marmorata* ont été enregistrés au cours des quatre saisons.

L'analyse des corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés montre que la turbidité, le pH, la température, les teneurs en nitrates, en oxygène dissous et en phosphore influencent la structure des ordres des macroinvertébrés aquatiques. Par ailleurs, la variation des abondances des principaux taxons est influencée par la température, le pH, l'oxygène dissous, la turbidité, les teneurs en phosphore et en matières en suspension, la demande chimique en oxygène et la demande biologique en oxygène

Les métriques utilisées telles que l'indice Chironomidae et l'IMOL indiquent globalement une eau moyennement polluée et de qualité passable. L'indice Chironomidae pourrait être le mieux adapté pour l'évaluation des plans d'eau et des hydrosystèmes lenticques de la Côte d'Ivoire.

Cependant, des macroinvertébrés reconnus comme étant des vecteurs ou hôtes potentiels des pathogènes de certaines maladies comme l'ulcère de Burili et la Bilharziose ont été inventoriés. Il s'agit des Hémiptères *Diplonychus* sp., *Micronecta* sp. et du Mollusque *Indoplanorbis exustus*. Ainsi, pour une meilleure évaluation de l'état écologique et sanitaire de l'eau de la lagune Aghien, il serait souhaitable de réaliser des études sur les compétences vectorielles des différents groupes de macroinvertébrés susceptibles d'être des vecteurs ou hôtes potentiels à travers des analyses en biologie moléculaire.

D'autre part, pour une meilleure compréhension de la dynamique des communautés des macroinvertébrés de la lagune Aghien, il serait important de mener des études sur la dynamique des communautés des affluents de la lagune afin de déceler les éventuelles interactions entre les communautés des différents hydrosystèmes. En outre, en vue de mieux maîtriser les différents impacts des pollutions sur la lagune, des suivis écologiques s'avèrent nécessaire pour la mise en place d'outils d'évaluation de la qualité écologique de l'eau. Pour ce faire, il faudrait approfondir la taxonomie des macroinvertébrés notamment des Insectes Diptères et des Oligochètes qui ont une grande importance dans la réponse aux différents types de perturbations de l'eau, ce qui permettrait de mieux appréhender l'écologie de ces communautés.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (1992). Norme Française : Essai des eaux. Détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). NF T 90-350, 9 p.
- AFNOR (2005). Détermination de l'indice Oligochètes de bioindication lacustre (IOBL). Norme française NF T 90-391, 12 p.
- Agences de l'Eau (1993). Etude bibliographique des méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux de surface continentales. Synthèse bibliographique. Etude inter Agences 35, France, 259 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), 178 p.
- Albertoni E.F., Prellvitz L.J. & Palma-Silva C. (2007). Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* insubtropical lakes (south Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 67(3) : 499-507.
- Alhejoj I., Salameh E. & Bandel K. (2014). Mayflies (Order Ephemeroptera): An Effective Indicator of Water Bodies Conditions in Jordan. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2(10) : 361-370.
- Aliko N.G. (2012). Analyse d'un peuplement piscicole en milieu lacustre : application au lac de barrage de Taabo (bassin du Bandama, Côte d'Ivoire). Caractérisation de la population d'une espèce exploitée dans le lac (*Distichodus rostratus* Günther, 1864). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 148 p.
- Amanieu M. & Lasserre G. (1982). Organisation et évolution des peuplements lagunaires. *Oceanologica Acta*, SP : 201-213.
- Anonyme (2015) : Source de données de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique, Station d'Abidjan, 10 p.
- Arimoro F.O., Ikomi R.B. & Iwegbue C.M.A. (2007). Water quality changes in relation to Diptera community patterns and diversity measured at an organic effluent impacted stream in the Niger Delta, Nigeria. *Ecological Indicators*, 7 : 541-552.
- Armitage P.D., Pardo L., Fursel M.T & Wright J.F. (1983). The performance of a new Biological Water Quality Score System based on Macroinvertebrates over a wide range of unpolluted runningwater sites. *Water Research*, 17 : 333-347.

- Bailey R.G. & Litterick M.R. (1993). The Macroinvertebrate fauna of water hyacinth fringes in the Sud Swamps (River Nile, Southern Sudan). *Hydrobiologia*, 250 : 97-103.
- Barbault R. (1995). Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. 2^{ème} édition Masson, Paris – Milan – Barcelone : 15-19.
- Barbe J., Lafont M., Mouthon J. & Philippe M. (2003). Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau. Rapport technique Agence de l'Eau RMC-Cemagref, Lyon, 24 p.
- Beck, W.M. (1955). Suggested method for reporting biotic data. Sewage and Industrial wastes. In D. M. Rosenberg & V.H. Resh (Eds) Freshwater Biomonitoring et Bentic Macroinvertebrates, *Chapman and Hall*, 27, New York : 1193-1197.
- 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.
- Bellemare M.C., Richard R., Garand G. & Beisner Ph.D. (2013). Rapport de caractérisation du cours d'eau Papineau Lavoie de Laval, GRIL-UQAM, Québec, 27 p.
- Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E. & Chahboune M. (2014). Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, 1 : 183-198.
- Bernard C., Humbert J.F., Montuelle B., Quiblier C., & Troussellier M. (2016). Paramètres pour la surveillance des cyanobactéries & cyanotoxines et notion d'indicateurs, Université de Daloa, Formation université de Daloa, Programme Wasaf/ AFD, Institut Pasteur, Côte d'Ivoire : 380-443.
- Binder E. (1968). Répartition des mollusques dans la lagune ébrié (Cote d'Ivoire), Cahier O.R.S.T.O.M., *Série Hydrobiologie*, 2 : 3-4.
- Blondel J. (1979). Biogéographie et écologie. Masson, Paris, pp 173.
- Bony K. (2008). Biodiversité et écologie des Mollusques Gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834). Thèse de doctorat, Université d'AboboAdjamé, Côte d'Ivoire : 50-70.

- Bony K.Y., Konan K.F., Edia O.E., Kouassi N.C., Diomandé D. & Ouattara A. (2013). Anatomie et stratégies de reproduction de *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834), un mollusque invasif d'eau douce en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 71 : 5742-5752.
- Borror D.J. & White R.E. (1999). Le guide des Insectes du Québec et de l'Amérique du Nord, Les guides Peterson, Québec, Canada, 15 p.
- Bouayed A.S. (2011). Dynamique spatiotemporelle du peuplement macrobentique le long de l'Oued Chouly (Tlemcen). Diplôme de Magister, Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen, Tlemcen, Algérie, 145 p.
- Bouchet P. & Rocroi J.P. (2005). Classification et nomenclature des familles de Gastéropodes – Hackenheim : *Malacologia : Revue internationale de malacologie*, 47(12) : 85-397.
- Bougard L. (1988). Approche écologique des macroinvertébrés dans trois étangs des Épioux. Travail de fin d'études, Faculté des Sciences agronomiques de l'État, Gembloux, 75.
- Brodersen K.P. & Lindegaard C. (1999). Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biology*, 42 : 143-157.
- Brosse S., Giraudel J.L. & Lek S. (2001). The temporal dynamic of fish population assemblage and community structure. *Ecological Modelling*, 146(13): 159-166.
- Brown D.S. (2005). Freshwater Snails of Arica and their Medical Importance. Edition Taylor and Francis Ltd, London, 673 p.
- Bruxelles Environnement (2012). Indicateur : qualité physicochimique générale des eaux de surface (oxygène dissous, DBO, azote ammoniacal, orthophosphates), Fiche méthodologique, Département Etat de l'environnement et indicateurs, 7 p.
- Camara I.A. (2013). Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 151 p.
- Camargo J.A., Alonso A. & De La Puente M. (2004). Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded bergers based on benthic macroinvertebrates. *Environmental Monitoring and Publishers*, 96 : 233-249.

- Cheruvilil K.S., Soranno P.A., Madsen J.D., & Roberson M.J. (2002). Plant architecture and epiphytic macroinvertebrate communities: the role of an exotic dissected macrophytes. *Journal of the North American Benthological Society*, 21(2) : 261-277.
- Chessman B.C. (1995). Rapid assessment of bergers using macroinvertebrates: A procedure based on habitatspecific sampling, family level identification and biotic index. *Australian journal of ecology*, 20 : 122-129.
- Chesters R.K. (1980). Biological Monitoring Working Party. The 1978 National testing exercise. Technical Memorendum, Department of Environment, Water Data Unit, 19 : 1-37.
- Clements W.H. & Newman M.C. (2002). Community ecotoxicology. John Wiley & Sons, Edétion Chichester, United Kingdon, 336 p.
- Compin A. (2006). Distribution spatiale des invertébrés benthiques du réseau hydrographique AdourGaronne. Modélisation et impact de l'anthropisation. Doctorat de l'Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse, France, 166 p.
- Cummins K.W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18 : 183-206.
- Dajoz R. (1985). Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée. 5^{ème} édition, Gauthier Villard, Paris, 505 p.
- Dajoz R. (2000). Précis d'Ecologie. Ecologie fondamentale et appliquée 7^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 615 p.
- DCE (2006). Constitution et mise en œuvre du programme de surveillance (contrôles de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquêtes et contrôles additionnels) pour les eaux douces de surface (cours d'eau, canaux et plans d'eau). Circulaire DCE 2006/16, 8, 19 p.
- DCE (2011). Suivi des plans d'eau des bassins RhôneMéditerranée et Corse en application de la Directive Cadre sur l'Eau. Note synthétique d'interprétation des résultats, Office National de l'eau et des milieux aquatiques, 19 p.
- De Bello F., Leps J. & Sebastià M.T. (2007). Grazing effects on the speciesarea relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, 18 : 25-34.

- De Moor I.J., Day J.A. & De Moor F.C. (2003). Guide to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Insecta I. Ephemeroptera, Odonata & Plecoptera. Rapport N° TT 207/03 Water Research, 7, 160-212.
- De Pauw N. & Vanhooren G. (1983). Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100 : 153-168.
- Dejoux C., Elouard J.M., Forge P. & Maslin J.L. (1981). Catalogue Iconographique des Insectes Aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, Bouaké, 172 p.
- Delor C., Diaby I., Siméon Y., Adou M., Zamblé B.Z., Tastet J.P., Yao B., Konan G., Chiron J.C. & Dommanget A. (1992). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, 1ère Edition, Feuille Grand-Bassam, Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Déthier M. (1986). Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Insectes. Hétéroptères aquatiques et ripicoles (genres et principales espèces). Association française de limnologie, 40 p.
- Dierl W. & Ring W. (1992). Guide des Insectes : Description, Habitat et Moeurs. Delachaux et Nestlé, Paris, 237 p.
- Diomandé D., Bony K.Y., Edia O.E., Konan K.F. & Gourène G. (2009). Diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Agnéby (Côte d'Ivoire ; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, 35(3) : 368-377.
- Djéné K.R., Allouko J.R., Bony K.Y., N'Do Bi B.V. & Kamagate E.H.I. (2018). Spatial distribution pattern of Hemiptera community (Heteroptera) in the urban water bodies of Daloa (Côte d'Ivoire, West Africa). *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 5(1) : 165-170.
- Doannio J.M.C., Konan K.L., Dosso F.N., Koné A.B., Konan Y.L., Sankaré Y., Ekaza E., Coulibaly N.D., Odéhourri K.P., Dosso M., Sess E.D., Marsollier L. & Aubry J. (2011). *Micronecta* sp. (Corixidae) et *Diplonychus* sp. (Belostomatidae), deux hémiptères aquatiques hôtes et/ou vecteurs potentiels de *Mycobacterium ulcerans* agent pathogène de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. *Médecine Tropicale*, 71 : 53-57.
- Dufrêne, M. (1992). Biogéographie et écologie des communautés de Carabidae 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 : 345-366.
- Durand J.R. & Lévêque C. (1991). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelosoudanienne (Tome II). Paris, France: ORSTOM, 483 p.
- Durocher J. (2016). Qualité de l'eau - Échantillonnage, traitement et analyse des oligochètes dans les sédiments des eaux de surface continentales, Office International de l'Eau, pp 1021.
- Edia O.E. (2008). Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'AboboAdjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 171 p.
- Effebe K.R., Adou K.E. Koffi T., Ehouman K.S., Goné L.D., Perrin J.L., Bamory Kamagaté B., Dabissi N.D. & Séguis L. (2017). Assessment of the pollution in Aghien lagoon and its tributaries (Côte d'Ivoire, West Africa). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1) : 515-530.
- Efron B. (1983). Estimating the error rate of a prediction rule : some improvements on crossvalidation. *Journal American Statistical Association*, 78 : 316-331.
- El Morhit (2009). Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse de Doctorat, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences de Rabat (Maroc), 260 p.
- Elouard J.M. (1981). Diptères : caractères généraux, clés systématiques et familles peu importantes. In : Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahelosoudanienne. Edition Durand J. R. & Lévêque C, Tome II, Paris : 553-567.
- Esquieu Y. (2001). La ville au Moyen Age, l'exemple français. Editions Alain Sutton. 155 p.
- Extence C.A. (1989). Aquatic invertebrate surveys as a water quality management tool in the Anglian water region. *Regulated Rivers: Research & Management*, 4 : 139-146.
- Extence C.A., Bates A.J., Forbes W.J. & Barham P.J. (1987). Biologically Based Water-Quality Management. *Environmental Pollution*, 45 : 221-236.
- Fishar M.R. & Williams W.P. (2008). The development of a Biotic Pollution Index for the Berger Nile in Egypt. *Hydrobiologia*, 598 : 17-34.

- 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 réunionCNRS, 137 p.
- Foto M.S., Zebaze T.S.H., Nyamsi T.N.L., Ajeegah G.A. & Njiné T. (2011). Evolution Spatiale de la Diversité des Peuplements de Macroinvertébrés Benthiques dans un cours d'eau Anthropisé en Milieu Tropical (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 55(2) : 291-300.
- Freeman M.C., Pringle C.M. & Jackson C.R. (2007). Hydrologic connectivity and contribution of stream headwaters in ecological integrity at regional scales. *Journal of American Water Resources Association*, 43 : 514.
- Frontier S. (1976). Etude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales : comparaison avec le modèle du bâton brisé. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 25 : 67-75.
- Frontier S. (1983). Stratégies d'Echantillonnage en Ecologie. Masson, Paris, 494 p.
- Frontier S. & PichodViale D. (1998). Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Dunod, Paris, France, 447 p.
- Gagnon E. & Pedneau J. (2006). Surveillance Volontaire (SurVol) Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec, Canada, 25 p.
- Galdean N. & Staicu G. (1997). The carrying capacity assessment of the lotic system Crisul Repede (Tisa Area Catchment, Romania), based on faunistical analysis. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle 'Grigore Antipa'*, 37 : 237-254.
- Giraudel J.L. & Lek S. (2001). A comparison of selforganizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, 146(13) : 329-339.
- Gnohossou P.M. (2006). La faune benthique d'une lagune ouest africaine (Le lac Nokoue au benin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France, 188 p.

- Goloma S. & Symoens J.J. (1990). Caractéristiques physiques et chimiques de quelques cours d'eau de Kisangani (Zaire). *Bulletin des Séances Académie Royale, Sc. OutreMer*, 35 : 145-157.
- Goné D.L., Kamagaté B., Ligban R et al (2008). Coagulation flocculation of a tropical surface water with alum for dissolved organic matter (DOM) removal : Influence of alum dose and pH adjustment. *International Journal of Environment Sciences applied*, 3 (4) : 247-257.
- González E.J., Ortaz M., Penãterrera C. & Infante A. (2004). Physical and chemical features of a tropical hypertrophic reservoir permanently stratified. *Hydrobiologia*, 522 : 301-310.
- Gratton N. (2010). Les communautés des macroinvertébrés benthiques, un indicateur de la qualité de l'eau au lac SaintPierre. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Etat du Saint-laurent, Bibliothèque et Archives, Canada 25 p.
- Groga N. (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse (France), 244 p.
- Guiral D. & Ferhi A. (1989). Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical: La lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Oceanologica Acta*, 12 : 47-55.
- Haouchine S. (2011). Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de Magister. Option : Ecologie et biodiversité animale des écosystèmes continentaux. Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou, 157 p.
- Hart B.T., Maher B. & Lawrence I. (1999). New generation water quality guidelines for ecosystem protection. *Freshwater Biology*, 41: 347-359.
- Hébert S. (1997). Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq n°EN/970102, Québec, Canada, 66 p.
- Hellawell J.M. (1986). Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. *Elsevier*, London, 546 p.

- Hessé A.S., Imbert E., Karabaghli C., Mangot S. & Saadat S. (2014). Les macroinvertébrés benthiques : bioindicateurs de la qualité de nos rivières. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 6 p.
- Humbert J.F. (2012). Rapport sur la mission « lagune Aghien ». Rapport d'expertise, AFDMINEFSODECIC2D, 25 p.
- Ibarra A., Lim P. & Lek S. (2005). Fish diversity conservation and berger restoration in southwest France. *In Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems*, Springer : 64-75.
- IBGE (2005). Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Dans : "L'eau à Bruxelles", 16 p.
- Jen O. (2002). The perceived Environmental Impact of Car Washing. Ramsey-Washington Metro Watershed District, 9 p.
- Kaboré I., Moog O., Alp M., Guenda W., Koblinger T., Mano K., Ouéda A., Ouédraogo R., Trauner D. & Melcher A.H. (2015). Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semiarid streams of Burkina Faso. *Hydrobiologia*, 20 p.
- Kambiré O., Adingra A.A. & Eblin S.G. (2014). Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Cote d'Ivoire: la lagune Aby. *Larhyss Journal*, 20 : 95-110.
- Karr J.R. & Chu E.W. (1997). Biological monitoring: Essential foundation for ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 3 : 993-1004.
- Karr J.R. & Chu E.W. (1999). Restoring life in running waters. Better biological monitoring. Island Press. Washington D.C., Island Press, 206 p.
- Karr J.R. & Chu E.W. (2000). Sustaining living bergers. *Hydrobiologia*, 422/423 : 114.
- Kinzig A., Pacala S.W. & Tilman D. (2002). The Functional Consequences of Biodiversity. Princeton University Press, Princeton, NJ, 6 p.
- Kiviluoto K. (1996). Topology preservation in selforganizing maps. *Proceedings of ICNN'96, IEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center, Piscataway : 294-299.
- Klaus A. (2001). The biology of Decapod crustacean larvae. *Balkema publishers*, 14 : 14-20.

- Kohonen T. (1982). Self-Organized formation of topologically correct features maps. *Biological Cybernetics*, 43 : 59-69.
- Kohonen T. (1995). Self-Organizing Maps. SpringerVerlag, Series in Informatique Sciences, Heindelberg, 362 p.
- Kohonen T. (2001). Self-Organizing Maps (3rd Edition). SpringerVerlag, Berlin, Germany, 501 p.
- Komoé K. (2010). Diversité du phytoplancton du complexe lagunaire de GrandLahou (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan, 306 p.
- Komoé K., Da K.P. & Kouassi A.M (2009). Seasonal Distribution of Phytoplankton in Grand-Lahou Lagoon (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 26 (3) : 329-341.
- Konan K.S., Kouakou B.K., Ohou M.J., Konan K.F. & Dongui B. (2017). Variation saisonnière des paramètres abiotiques de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 120 : 12042-12052.
- Konan K.F. (2008). Composition, structure et déterminisme de la diversité ichthyologique des rivières côtières du SudEst 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., Assemian N.E., NiamienEbrottie E.J., Edia O.E. & Aka N.M. (2015). Étude de la qualité écologique de l'eau de la Lagune Aghien et de l'influence de ses affluents, Rapport préparé pour le Comité Scientifique du Projet Lagune Aghien, 95 p.
- Kouamé K.M. (2014). Diversité, structure et réponse fonctionnelle des macroinvertébrés à l'invasion du lac de Taabo (Côte d'Ivoire) par la jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach, 1883. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 201 p.
- Koumba M., Mipounga H.K., Koumba A.A., Koumba C.R.Z., Mboye B.R., Liwouwou J.F., Mbega J.D. & Mavoungou J.F. (2017). Diversité familiale des macroinvertébrés et qualité des cours d'eau du Parc National de Moukalaba Doudou (sudouest du Gabon). *Entomologie Faunistique*, 70(13) : 107-120.
- Laë R., Lek S. & Moreau J. (1999). Predicting fish yield of African lakes using neural networks. *Ecological Modelling*, 120 : 325-335.

- Lafont M., Juget J. & Rofes G. (1991). Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des Oligochètes, *Revue des sciences de l'eau*, 4 : 253-258.
- Laine A.O. (2003). Distribution of softbottom macrofauna in the deep open Baltic Sea in relation to environmental variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57 : 87-97.
- Le Bris H. (1988). Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires: la rade de Lorient et la baie de Vilaine. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Bretagne Occidentale, Brest (France), 311 p.
- Leclercq L. (2001). Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des HautesFagnes, Belgique, Document de travail, 44 p.
- Lee S.J., Park J.H. & Ro T.H. (2006). Ephemeropteran community structure and spatial stability of local populations of the major species group in the Keumho Berger. *Entomological Research*, 36 : 98-106.
- 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. *In* : Artificial Neuronal Networks : Application to Ecology and Evolution. Edition Lek S. & Guégan J. F., Springer - Verlag, Berlin : 3-27.
- Lévêque C. (1980). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelosoudanienne, *In* Aquatic animals, Edition IRD, Paris : 18-73.
- Magurran A.E. (2004). Measuring biological diversity. *Journal of Vegetation Science*, 15(6) : 854-856.
- Manly B.F.J. (1994). *Multivariate Statistical Methods. A primer*. Second edition. Chapman & Hall, London, 215 p.
- Martin J.W. & Davis G.E. (2001). An updated classification of the recent Crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County, Sciences serie, 39, 132 p.
- Mary N. (1999). Caractérisations physicochimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés

- benthiques. Thèse de doctorat, Nouméa, Nouvelle Calédonie: Université Française du Pacifique, 181 p.
- Mary N. (2000). Guide d'identification des macroinvertébrés benthiques des rivières de la Nouvelle Calédonie. Ministère de l'Environnement, Service de l'Eau (Paris), Province Nord et Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 92 p.
- Mary N. (2002). Guide méthodologique en vue de la détermination de l'Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie : l'échantillonnage de la faune benthique, Direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales, observatoire de la ressource en eau, 25 p.
- Mary N. (2015). Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Biosédimentaire (IBS) : guide méthodologique et technique, DAVAR NC / OEIL / CNRT "Nickel & son environnement", 78 p.
- Mary N. (2016). Les méthodes indicielles IBNC et IBS : historique, principes, évolutions apportées, DAVAR NC / OEIL / CNRT "Nickel & son environnement", 78 p.
- Mary N. & Archaimbault V. (2011). Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie et Indice Biosédimentaire : guide technique, DAVAR, Pôle de l'Observatoire de la Ressource en Eau, 58 p.
- Mary N. & Archaimbault V. (2012). Amélioration des méthodes indicielles Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Biosédimentaire (IBS). Phase 2. Rapport ETHYC'O et IRSTEA, Observatoire de l'environnement en Nouvelle Calédonie, Nouméa, 75 p.
- Masifwa W.F., Twongo T. & Denny P. (2001). The impact of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms on the abundance and diversity of aquatic macroinvertebrates along the shores of northern Lake Victoria, Uganda. *Hydrobiologia*, 452 : 79-88.
- Mathuriau C. (2002). Les macroinvertébrés des cours d'eau andins du Sudest de la Colombie : écologie et bioindication. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 309 p.
- Mazzella L., De Bortoli J. & Argillier C. (2009). Création d'un nouvel outil de bioindication basé sur les communautés d'invertébrés benthiques lacustres : méthodes d'échantillonnage et métriques candidates. Rapport d'avancement Cemagref, Aix-en-Provence, 9 p.
- MDDEFP (2013). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2013. Ministère

- Du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2^{ème} édition, 88 p.
- Melhaoui M. (2009). Echantillonnage et étude des macroinvertébrés de la Moulouya, document du stage de formation à la connaissance et la gestion de biodiversité aquatique, Projet UICN Med/ABHM, Moulouya, Maroc, 40 p.
- Merritt R.W. & Cummins K.W. (1984). An introduction to the aquatic insects of North America. 2nd edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA, USA, 722 p.
- Metcalfe J.L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution*. 60 : 101-139.
- Metzeling L., Chessman B., Hardwick R. & Wong V. (2003). Rapid assessment of berge using macroinvertebrates: the role of experience, and comparisons with quantitative methods. *Hydrobiologia*, 510 : 39-52.
- Milbrink G. (1983). An improved environmental index based on the relative abundance of oligochaete species. *Hydrobiologia*, 102 : 89-97.
- Milbrink G., Timm T. & Lundberg S. (2002). Indicative profundal oligochaete assemblages in selected small Swedish lakes. *Hydrobiologia*, 468 : 53-61.
- Moisan J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2550-58416-2 (version imprimée), 82 p.
- Moisan J. & Pelletier L. (2014). Réponses des macroinvertébrés benthiques à la contamination métallique Site minier de Notre Dame de Montauban, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 24 p.
- Mouchet F., Rey J.L. & Cunin P. (1987). Découverte d'*Indoplanorbis exustus* (Planorbidae, Bulininae) à Yamoussoukro, Côte d'Ivoire). *Bulletin de la société de pathologie exogène*, 80 : 811-812.

- Mouthon J. (1982). Les Mollusques dulcicoles, données biologiques et écologiques, clés de détermination des principaux genres de Bivalves et de Gastéropodes de France, *Bulletin français*, NS, 127 p.
- Mouthon J. (1987) Principes généraux pour une méthode d'appréciation de la qualité globale des sédiments lacustres à l'aide d'une analyse simplifiée des malacocénoses. *Annales de Limnologie International Journal of Limnology*, 22 : 209-217.
- Mouthon J. (1993). Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des peuplements de Mollusques. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 331 : 397-406.
- Mouthon J. (1995). Les Mollusques dulcicoles du Bassin de la Loire ; premier inventaire et caractéristiques des peuplements du fleuve. *Vertigo* n°5, Bulletin de l'association Française pour l'étude des Mollusques continentaux : 3–12.
- Mouthon J. & Kuiper J.G.J. (1987). Inventaire des Sphaeriidae de France. SFF, Paris. 60 p.
- Nahmani J., Lavelle P., & Rossi J.P. (2006). Does changing the taxonomical resolution alter the value of soil macroinvertebrates as bioindicators of metal pollution? *Soil Biology and Biochemistry*, 38(2) : 385-396.
- 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.
- Neumann M. & Dudgeon D. (2002). The impact of agricultural runoff on stream benthos in Hong Kong, China. *Water Research*, 36 : 3103-3109.
- Nyamsi T.N.L., Foto M.S., Zébazé T.S.H., Onana F.M., Adandedjan D., Tchakonté S., Yémélé T.C., Koji E. & Njiné T. (2014). Indice Multimétrique des Macroinvertébrés Benthiques Yaoundéens (IMMY) Pour L'évaluation Biologique de la Qualité des Eaux de Cours D'eau de la Région du Centre Sud Forestier du Cameroun. *European Journal of Scientific Research*, 123 : 412-430.
- 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. & Levêque C. (1999). Régimes alimentaires et réseaux trophiques. *In* : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie et utilisation par l'homme. Levêque C. & Paugy D., Edition IRD, Paris : 167-190.
- Peyrusse V. & Bertrand M. (2001). Les Acariens aquatiques de France. *Insectes*, 123, 4 :3-6
- Philippeau G., (1992). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? Service des Etudes Statistiques – ITCF, 63 p.
- Piélou E.C. (1969). An introduction to mathematical ecology. Wiley Intersciences, New York, 285 p.
- Pointier J.P., Guyard A. & Mosser A. (1989). Biological control of *Biomphalaria glabrata* and *B. straminea* by the competitor snail *Thiara tuberculata* in a transmission site of schistosomiasis in Martinique, French West Indies. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 83 : 263-269.
- Pointier J.P. & McCulloch F. (1989). Biological control of the snail hosts of *Schistosoma mansoni* in the Caribbean area using *Thiara* spp. *Acta Tropica*, 46 : 147-155.
- Pöllabauer C. & Bargier N. (2004). Rapport d'Etude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la doline de l'usine pilote, du Creek de la Baie Nord et du Déversoir. Bureau d'étude Erbio, 66 p.
- Ramade F. (2003). Elément d'écologie *In* : Ecologie fondamentale. Edition Dunos, Paris : 21-90.
- Ravichandran S., Ramanibai R. & Pundarikanthan N.V. (1996). Ecoregions for describing water quality patterns in Tamiraparani basin, *South India Journal of Hydrology*, 178 : 257-276.
- Resh V.H. & McElravy E.P. (2001). Contemporary quantitative approaches to biomonitoring. *In*: "Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates". Rosenberg D. M. & Resh V. H. (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA : 159-194.
- Rodier J. (2009). L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaire, eaux de mer. Dunod, 9^e édition, Paris, 1579 p.
- Rosa B.J.F.V., Rodrigues L.F.T., Da Gama Alves R. & De Oliveira G.S. (2014). Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 : 7771–7779.

- Rosenberg D.M. & Resh V.H. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York, Chapman & Hall, 488 p.
- Rossaro B., Marziali L., Cardoso A.C., Solimini A., Free G. & Giacchini R. (2007). A biotic index using benthic macroinvertebrates for Italian lakes. *Ecological Indicators*, 7 : 412-429.
- Salencon M.J. & Calmels P. (1994). Etude de la dynamique des masses d'eau du Lac de Pareloup par traçages. *Hydroécologie appliquée*, 6(12) : 19-58.
- Sandin L. (2003). Benthic macroinvertebrates in Swedish streams : community structure, taxon richness, and environmental relations. *Ecography*, 26 : 269-282.
- Sellam N., Viñolas A., Fatah Z., & Riadh Moulai R. (2016). L'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 80 : 47-56.
- 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.
- Sharma R.C., & Rawat J.S. (2009). Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetlands: A case study in the Central Himalayas, India. *Ecological Indicators*, 9(1) : 118-128.
- Sites R.W., Willig M.R. & Linit M.J. (2003). Macroecology of aquatic insects: a quantitative analysis of taxonomic richness and composition in the Andes Mountains of Northern Ecuador. *Biotropica*, 35 : 226-239.
- Smith K.L., Corujo Flores I. & Pringle C.M. (2008). A comparison of current and historical fish assemblages in a Caribbean island estuary: conservation value of historical data. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem*, 18(6) : 993-1004.
- Soderstrom O. (1987). Upstream movements of invertebrates in running water: a review. *Archiv für Hydrobiologie*, 111 : 197-208.
- Tachet H., Bournaud M. & Richoux P. (1987). Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). 3^{ème} Edition. 155p.

- Tachet H., Bournaud M., Richoux P. & Usseglio-Polatera P. (2000). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. Cnrs (Eds), Paris, 588 p.
- Tachet H., Bournaud M., Richoux P. & Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. Cnrs (Eds), Paris, 587 p.
- Tachet H., Richoux P., Bourneaux M. & Usseglio-Polatera P. (2003). Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. Cnrs (Eds), 587 p.
- Tamungang N.E.B, Biosengazeh N.F., Alakeh M.N., Tameu D.Y. (2016). Contrôle de la qualité des eaux domestiques dans le village Babessi au Nord-Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences.*, 10(3) : 1382-1402.
- Tastet J.P. & Guiral D. (1994). Géologie et sédimentologie. *In* : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G.F. Zabi (Eds.), ORSTOM, 2, Paris : 35-57.
- Tchakonté S. (2016). Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD. Université de Yaoundé, 200 p.
- Ter Braak C.J.F. & Smilauer P. (2002). CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York, 351 p.
- Tessier C., Cattaneo A., PinelAlloul B., Hudon C., & Borcard D. (2008). Invertebrate communities and epiphytic biomass associated with metaphyton and emergent and submerged macrophytes in a large berger. *Aquatic Sciences*, 70(1) : 10-20.
- Thienemann A. (1913). Der Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers und der Zusammensetzung der Tiefenfauna unserer Seen. *Review gestion Hydrobiology Hydrography*. 6 : 243-249.
- 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.
- Tim T. (1982). Potential age of the aquatic Oligochaeta. *In: Processing 2nd International Symposium Aquatic Oligochaeta Biology*, 21–24 September 1982, Pallanza, Italy, pp 21-24.

- Tomassone R., Dervin C. & Masson J.P. (1993). *Biométrie : Modélisation des phénomènes biologiques*. Masson, Paris, France, 553 p.
- Touzin D. (2008). *Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec*. Mémoire de fin d'étude, faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, 41 p.
- Traoré A., Ahoussi K.E. Aka N., Traoré A. & Soro N. (2015). Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (sudest de la côte d'ivoire). *International journal of pure & applied bioscience*, 3(4) : 312-322.
- Traoré A., Soro G., Kouadio K.E., Bamba S.B., Oga M.S., Soro N. & Biémie J. (2012). Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage : la lagune Aghien (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(6) : 7048-7058.
- Vega M., Pardo R., Barrado E. & Debán L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 32 : 3581-3592.
- Verneaux J. & Tuffery G. (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité des eaux courantes. Indice biotique, *Annales scientifiques de l'Université de Besançon. Zoologie et physiologie*, 2 : 79-89.
- Verneaux J., Galmiche P., Janier F. & Monnot A. (1982). Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de qualité générale (IBG). *Annales Scientifiques de l'Université, Besançon, Biologie Animale*, pp 5 p.
- Verneaux V., Verneaux J., Schmitt A., Lovy C. & Lambert J.C. (2004). The Lake Biotic Index (LBI): an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos; the Lake Chalain (French Jura) as an example. – *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 40 : 19.
- Wasson J.B., Chandris A., Pella H., Blanc L., Villeneuve B. & Mengin N. (2002). Déterminations des valeurs de référence de l'I.B.G.N. et propositions des valeurs limites du « Bon Etat ». Document de travail. CEMAGREF Groupement de Lyon, 82 p.
- Wiederholm T. (1980). Chironomids as indicators of water quality in Swedish lakes. *Acta Universitatis CarolinaeBiologica*. 12 : 275-283.

- Woodcock T.S. & Huryn A.D. (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, 52 : 177-196.
- Woodiwiss, F. S. (1964). The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chemistry Industries* (11) : 443–447.
- 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 K. M., Métongo B.S.& Trokourey A (2009). La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ébrié, Côte d'Ivoire). *International Journal of biology Science*, 3(4): 755-770.
- Yapi Y., N'goran K.E., Salia D., Cunin P. & Bellec C. (1994). Population dynamics of *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834) (Gastropoda: Planorbidae), an exotic freshwater snail recently discovered at Yamoussoukro (Ivory Coast). *Journal of Molluscan Studies*, 60 : 8395.
- Yapo O.B. (2002). Contribution à l'évaluation de l'état de trophique du lac de Buyo (Sud Ouest de la Côte d'Ivoire) : étude analytique et statistique des paramètres physico-chimiques et biologiques. Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 276 p.
- Yéo K.M. (2015). Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments, et statut trophique du système lagunaire périurbain Adjin-Potou (Côte d'Ivoire). Thèse unique. Université Abobo-Adjamé, 189 p.
- Ysebaert T., Herman P.M.J., Meire P., Craeymeersch J., Verbeek H. & Heip C.H.R. (2003). Largescale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57 : 335-355.
- Zahradnik J. & Chvala M. (1991). La Grande Encyclopédie des Insectes. Collection Grund, Paris, 511 p.

ANNEXES

Annexe 1: Fiche de terrain de collecte des données mésologiques

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"/> zone urbanisée	<input type="checkbox"/> zone agricole
	<input type="checkbox"/> Autre, à préciser			
Environnement global berge gauche	<input type="checkbox"/> forêt	<input type="checkbox"/> cultures	<input type="checkbox"/> zone urbanisée	<input type="checkbox"/> zone agricole
	<input type="checkbox"/> Autre, à préciser			
Pente à la station	<input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> forte			
Granulométrie (%)	Blacs (0-40µm)	Graviers grossiers (45-60µm)	Graviers fins (63-200µm)	Sables (200-0,2mm)
				Argiles (0-0,002)
Substrats	<input type="checkbox"/> Vase <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Gravillon <input type="checkbox"/> Gravier <input type="checkbox"/> propre <input type="checkbox"/> débris végétaux <input type="checkbox"/> périphyton <input type="checkbox"/> 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 métal <input type="checkbox"/> rejet d'eaux usées			
Phénomène anormal observé	<input type="checkbox"/> odeur et/ou couleur inhabituelle de l'eau <input type="checkbox"/> poissons morts <input type="checkbox"/> croissance d'algues excessives <input type="checkbox"/> feux de forêt <input type="checkbox"/> autre, à préciser :			

3- CONDITIONS D'OBSERVATION	
Hydrologie :	<input type="checkbox"/> étiage sévère <input type="checkbox"/> basses eaux, étiage normal <input type="checkbox"/> moyennes eaux <input type="checkbox"/> hautes eaux
Traces de laisses de crues ou pluie importante ayant précédé l'échantillonnage (à préciser) ? :	<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui quand ? (nb jours):
Météo :	<input type="checkbox"/> soleil <input type="checkbox"/> 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				NO ₂ ⁻		MES	
Oxygène dissous				NO ₃ ⁻			
DBO ₅				NH ₄ ⁺			
pH				NTK			
Température				PO ₄ ³⁻			
TDS / Turbidité				DCO			

Annexe 2 : Résultats du test de Shapiro-Wilk effectué sur les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire).

Variables	Test de Shapiro-Wilk	Normalité
Température	0,034	
Conductivité	0,0078	
Oxygène dissous	0,00178	
pH	0,0385	
Turbidité	< 0,0001	Les distributions ne suivent pas une loi Normale
Phosphore	< 0,0001	
Phosphate	< 0,0001	
Nitrates	< 0,0001	
Nitrites	< 0,0001	
Ammonium	< 0,0001	
DCO	< 0,0001	
DBO	< 0,0001	
MES	< 0,0001	
Profondeur	< 0,0001	

Annexe 3 : Proportions des stations dans les différents groupes définis par la SOM en fonction de la classification des échantillons.

	GROUPE I	Proportion des Stations (en %)	GROUPE II	Proportion des Stations (en %)	GROUPE III	Proportion des Stations (en %)	GROUPE IV	Proportion des Stations (en %)
P1	2	3	7	28	2	11	1	6
P2	4	7	4	16	1	6	1	6
P3	11	19	0	0	1	6	0	0
P4	2	3	7	28	1	6	0	0
P5	10	17	0	0	1	6	0	0
P6	3	5	2	8	6	33	0	0
P7	10	17	0	0	1	6	0	0
P8	2	3	0	0	2	11	7	39
P9	11	19	0	0	0	0	0	0
P10	3	5	5	20	2	11	1	6
P11	1	2	0	0	1	6	8	44
Total	59	100	25	100	18	100	18	100

En gras les stations caractéristiques des groupes définis par la SOM

Annexe 4 : Corrélations variables environnementales et les axes de l'AFD

	F1	F2
Temp	0,169	0,266
Cond	0,236	-0,017
Turb	-0,341	-0,296
pH	0,472	-0,437
Phore	0,110	-0,383
Phate	0,308	0,007
Oxy_dis	0,485	0,097
Nitra	-0,219	-0,700
Nitri	-0,306	-0,037
Amo	-0,156	0,444
DCO	0,250	0,321
DBO	0,606	0,136
MES	-0,357	0,094

Temp : température, **Nitri** : nitrites, **Nitra** : nitrates, **Amo** : ammonium, **Turb** : turbidité, **Mes** : matière en suspension, **pH** : potentiel d'Hydrogène, **Cond** : Conductivité, **DBO** : Demande biologique en oxygène, **DCO** : demande chimique en oxygène, **Oxyg dis** : Oxygène dissous.

Annexe 5 :

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE

Allouko J.R., Bony K.Y., Edia O.E., Konan K.F. (2016). Composition, Distribution and Abundance of Macroinvertebrates in Aghien lagoon (Ivory Coast; West Africa). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 5 (6) : 1010410111.

Allouko J. R., Bony K.Y., Konan K.F., Assemian N. E. (2017). Assemblages of freshwater snail's community in the Aghien lagoon in relation to environmental variables (Côte d'Ivoire; West Africa). *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 7 (12) : 693702.

Allouko J.R., Bony K.Y. & Aliko N.G. (2019). Aquatic Insects distribution pattern focused on water quality in Aghien lagoon (Côte d'Ivoire; West Africa). *International Journal of Fauna and Biological Studies*; 6(2) : 3137.

Publication n°1

Allouko J.R., Bony K.Y., Edia O.E., Konan K.F. **2016**. Composition, Distribution and Abundance of Macroinvertebrates in Aghien lagoon (Ivory Coast; West Africa). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 5 (6) : 10104-10111.



<http://www.ijirset.com>

ISSN Online : 2319-8753

ISSN Print: 2347-6710

Impact factor: 6.209

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

Composition, Distribution and Abundance of Macroinvertebrates in Aghien lagoon (Ivory Coast; West Africa)

Allouko Jean-Renaud¹, Bony Kotchi Yves², Edia Oi Edia³, Konan Koffi Felix²

Assistant Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guede University, Daloa, Ivory Coast¹

Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guede University, Daloa, Ivory Coast²

Professor, Department of Sciences and Environmental Management, Nangui Abrogoua University, Abidjan, Ivory Coast³

Abstracts: Macroinvertebrates communities of Aghien lagoon were sampled monthly between June 2014 and May 2015 using the kick sampling technique and Van Veen Grab methods. The distribution of organic matter and current velocity were accounted for the variations of species composition, taxonomic richness and total abundance. Insects class was the most dominant and represented. Diptera was more dominant in all stations of Aghien lagoon with chironomid family. High human activities around lagoon which released waste into the River accounted for the poor species richness.

Keywords: Composition, Distribution, Macroinvertebrates, Aghien lagoon, Ivory Coast

I. INTRODUCTION

The composition and structure of macroinvertebrates communities has been subject of much research in river system. It's include the quick assessment of biological resources for the conservation purpose and the detection of pollution through differences between predicted and actual faunal assemblages [1, 2]. Researchers established a pattern of relationship between aquatic fauna, depth, substrate type and organic contents of sediment. Other studies using macroinvertebrate as bio-indicator of anthropogenic impact on aquatic ecosystem have shown general decrease in benthic population and reduction in species diversity and richness [3] and they possess higher ability to tolerate pollution-induced environmental stress than plankton [4]. They are useful bio-indicators providing a more accurate understanding of changing aquatic conditions than chemical and microbiological data, which only gives short term fluctuations [5]. Studies on African lentic waters are few in literature and until recently has not received much attention in Ivory Coast. The structure and composition of benthic fauna of Aghien lagoon is poorly known. This study aimed to show the composition and structure of macroinvertebrates in this lagoon

II. MATERIALS AND METHODS

A. Study site

Located between latitudes 5°22'N and 5°26'N and longitudes 3°49'W and 3°55'W. Aghien lagoon covers a catchment area of 340 km² and covers 19 km². The most important tributaries of Aghien lagoon are Bete, Mé and Djibi rivers [6,7];. The Aghien lagoon up to 11 meters deep. In this freshwater lagoon, the water is all year almost exclusively of continental origin [8].

B. Sampling procedure

The stations selected for this study are located along the main axis of the lagoon with two transects perpendicular to the longitudinal transect (Fig.1). The first transect is located opposite the of Akandjé town in order to determine if

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

the water quality varies according to the distance to shore. The second transect is positioned in the area west of the lagoon to investigate the possible influence of Mé river on biological communities of lagoon. Stations were selected nearest Djibi Bete and Mé rivers to assess the rate of exchange in different backgrounds.



Fig.1: Sampling locations map

Macroinvertebrates sampling was carried out for twelve (12) months at monthly intervals between June 2014 and May 2015. Benthic fauna were sampled in each of the eleven (11) stations defined on Aghien lagoon following a longitudinal rampe with a kick net (250 microns mesh size) following SASS method (South African Scoring System) (Dickens and Graham, 2002). The samples were collected for 2 to 3 minutes by submerging the kick net and dragging it into the water column. The net has also been banged against the bottom substrate to dislodge and collect sediment organisms. The collect was also done using a Van Veen grab. At each site, three (03) sediment samples corresponding to a total area of 0.15 m² were taken at several depths. At the exit of water, the contents net was washed on a sieve of 0.5 mm. All samples were fixed in 70% alcohol. In the laboratory, all samples were sorted using a binocular microscope, counted and identified at the lowest taxonomic level by combining the appropriate key [9, 10].

C. Data analysis

Biological indices such as Taxa richness (S); Shannon index (H) and Equitability (J) were used in the calculation of taxa richness, diversity and evenness.

- **Taxa richness (S)** : is a measure of species richness [16].

- **Shannon index diversity (H)** $H = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i$ where p_i represents the relative abundance of species i in the sample ($p_i = n_i / N$).

- **Equitability or evenness J index** ($H_{max} = \log_2 S$). $J = H' / \log_2 S$. Where; H was the Shannon and weavers index S was the number of species in samples.

III. RESULTS

A. Macroinvertebrates composition

The list of taxa inventoried in Aghien lagoon is presented in Table I. Of the total eleven sampling stations 8589 individuals from 93 taxa belonging to 65 families and seventeen orders have been identified. Macroinvertebrates collected from four zoological groups namely insects, mollusks, crustaceans and worms.

Insects are the best represented with 81.8% of the total number of organisms collected during the twelve campaigns, followed by molluscs with 14.9% and crustaceans and worms with respectively 2.1% and 1.2% of the total (Fig. 2).

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

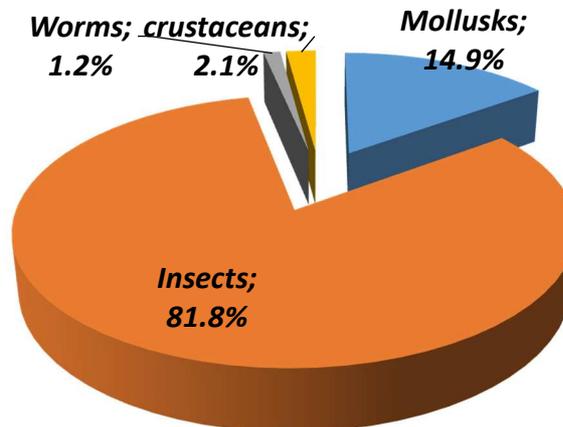


Fig. 2: The relative proportions of the major macroinvertebrate groups harvested in Aghien lagoon

All the stations, insects are represented by 8 orders including Diptera are the most diversified with 4712 individuals from 16 taxa distributed in 11 families which Chironomid are most dominant with 4507 individuals. The Following group are Hemiptera and Coleoptera with 13 taxa and 797 individuals respectively 10 families (dominated by Belostomatidae and Mesoveliidae) and 168 individuals from nine families (dominated by Hydrophilidae and Hydraenidae). Odonata are represented by 10 taxa of 977 individuals belonging to five families dominated by Coenagrionidae while Ephemeroptera are divided in 4 families (dominated by Leptophlebiidae) with 7 taxa and 316 individuals. Trichoptera belonging to 6 families with 36 individuals collected, and Lepidoptera and Plecoptera are poorly represented respectively 2 taxa of 2 different families (Crambidae and Pyralidae) of 11 individuals and families (Perlidae) 8 individuals.

Mollusks are represented by 16 taxa belonging to 10 families and 4 orders. Basommatophora order has the highest with 630 individuals collected from 6 taxa belonging to 4 families, then Caenogastropoda are most diverse with 8 taxa represented by 571 individuals in 4 families. Archeogastropoda and Veneroidea orders had each one taxon with 52 and 29 individuals. In this group, the Thiaridae had 5 taxa and Planorbidae had 3 taxa. The families of Sphaeriidae; Neritidae; Lymnaeidae; Physidae; Viviparidae; Bithyniidae; Ampullariidae and Hydrobiidae have each single taxon.

Crustaceans of the order Decapoda are represented by two taxa of Atyidae family or 158 individuals Atyoida serrata and 1 individual Macrobrachium vollenhovenii of Palaemonidae family, and the amphipods order is represented by 13 individuals in talitridae family. Worms Oligochetha are represented by 93 individuals and Rhynchobdellida order had 2 taxa; 2 *Helobdella* sp. of Glossiphonidae family and 7 *Barbronia* sp. of Salifidae family. The trombidiforma are represented by eight individuals *Hydracarina* sp. of Hydrachnidiae family..

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

Table I: recap of aquatic macroinvertebrates found in Aghien lagoon

CLAS S	ORDER	FAMILIES	TAXONS	STATIONS											Tot al	
				P0 1	P0 2	P0 3	P0 4	P0 5	P0 6	P0 7	P0 8	P0 9	P1 0	P1 1		
	Trombidifor ma	Hydrachnidi ae	<i>Hydracarina sp.</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8
Worms	Oligochetha	Oligochèthe s	-	3	31	13	3	1	3	3	1	32	1	2	93	
	Rhynchobde llida	Glossiphoni dae	<i>Helobdella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	
		Salifidae	<i>Barbronia sp.</i>	1	2	0	1	0	0	0	2	0	0	1	7	
Crustac ean	Amphipoda	Talitridae	-	1	0	0	0	0	8	0	1	0	0	3	13	
	Decapoa	Atyidae	<i>Atyoida serrata</i>	39	2	0	4	0	41	0	40	0	10	22	158	
		Palaemonida e	<i>Macrobrachium vollenhovenii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
Mollus ca	Veneroïda	Sphaeriidae	<i>Musculium sp</i>	0	0	1	0	0	0	17	2	0	4	5	29	
	Archeogastr opoda	Neritidae	<i>Septaria borbonica</i>	0	4	0	1	0	0	0	23	0	11	13	52	
	Basommato phora	Lymnaeidae	<i>lymnaea natalensis</i>	25	19	0	31	0	6	0	8	0	13	1	103	
		Physidae	<i>Aplexa marmorata</i>	2	15	0	35	0	23	0	0	0	77	4	125	
			<i>Bulinus guernei</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	
			Planorbidae	<i>Bulinus truncatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
		<i>Indoplanorbis exustus</i>		38	62	0	22	0	20	0	10	0	19 3	33	378	
	Viviparidae	<i>Bellamyia capillata</i>	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	3	19		
	Caenogastro poda	Ampullariid ae	<i>Lanistes varicus</i>	1	16	0	12	0	4	0	0	0	2	3	38	
		Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	0	0	0	15	0	0	0	3	0	0	1	19	
		Thiaridae	Hydrobiidae	<i>hydrobia gabonensis</i>	12	10	0	32	0	2	0	0	0	1	1	58
			<i>Bridouxia giraudis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	3	
			<i>Melanoïdes tuberculata</i>	3	34	3	24	0	4	2	6	5	31	5	117	
			<i>Pachymelania byronensis</i>	0	0	0	0	0	2	9	23	3	23	4	64	
			<i>Pachymelania fusca</i>	0	7	0	0	0	0	5	59	3	3	14	91	
<i>Potadoma liricincta</i>		6	0	4	0	0	2	3	68	8	29	61	181			
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	<i>Bidesus sp</i>	0	0	0	3	0	2	0	4	0	3	2	14	
			<i>Laccophilus sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	
		Elmidae	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
		Gyrinidae	<i>Orectogyrus sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	
		Haliplidae	<i>Haliplus sp.</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		Hydraenidae	-	10	2	0	8	0	0	0	3	0	4	7	34	
		<i>Coelostoma sp.</i>	27	7	0	2	0	0	0	2	0	0	9	47		
<i>Enochrus sp</i>	1	11	0	7	0	1	0	1	0	1	1	23				

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

Diptera	Hydrophilidae	<i>hydrobiinae</i>	1	0	0	0	0	2	0	2	0	1	2	8	
		<i>laccobius sp.</i>	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6	
	Psephenidae	<i>Afroebria sp.</i>	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	9	
	Spercheidae	-	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	5	
	Sphaeriusidae	<i>Microsporus sp.</i>	0	2	0	2	0	4	0	2	0	0	1	11	
	Diptera	Blephariceridae	-	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	4
			<i>Atrichopogon sp.</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
		Ceratopogonidae	<i>Ceratopogon sp.</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	8	7	0	17
			<i>Dasyhelea sp.</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
			<i>Forcipomyia sp.</i>	2	0	0	2	0	0	0	3	0	0	1	8
		Chaoboridae	<i>Chaoborus sp.</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
		Chironomidae	<i>Chironominae</i>	34	44	8	37	44	15	15	11	11	10	31	4
			<i>Orthoclaadiinae</i>	73	51	4	13	15	9	9	10	46	89	2	427
			<i>Tanypodinae</i>	2	4	1	0	13	0	2	3	5	3	4	37
		Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Culicidae		<i>Culex sp.</i>	0	0	8	0	3	0	0	0	0	66	8	85	
Empididae		-	9	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	14	
Muscidae		<i>Musca sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	
Psychodidae	-	5	0	4	3	11	0	2	0	25	8	7	65		
Stratiomyidae	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1		
Syrphidae	<i>Eristalis sp.</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1		
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Centroptilum sp.</i>	27	18	0	14	0	7	0	4	0	6	7	83	
		<i>Cloeon sp.</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	
	Heptageniidae	<i>Afronurus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	Polymitarcyidae	<i>Ephoron sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Leptophlebiidae	<i>Adenophlebiodes sp.</i>	0	11	0	0	0	0	0	0	0	5	0	118	
		<i>Choroterpes sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	
<i>Adenophlebia sp.</i>		42	19	0	16	0	5	0	5	0	4	16	107		
Belostomatida	Diplonychus sp.	<i>Diplonychus sp.</i>	46	84	0	0	0	5	0	64	0	20	74	293	
		<i>Micronecta sp.</i>	31	24	0	2	0	0	0	30	0	10	20	117	
	Gerridae	<i>Limmogonus sp.</i>	6	4	0	1	0	2	0	2	0	1	3	19	
	Hydrometridae	<i>Hydrometra sp.</i>	1	5	0	0	0	3	0	1	0	0	2	12	

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

Hemiptera	Leptopodidae	<i>Valleriola sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	9	
	Mesoveliidae	<i>Mesovelia sp.</i>	29	34	0	11	0	1	0	9	0	15	56	155	
	Naucoridae	<i>Laccocoris sp.</i>	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7	
		<i>Macrocosis sp.</i>	2	0	0	9	0	0	0	3	0	2	0	16	
		<i>Naucoris sp.</i>	41	3	0	0	0	0	0	4	0	8	9	65	
	Notonectidae	<i>Anisops sp.</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
	Nepidae	<i>Ranatra sp.</i>	19	9	0	1	0	0	0	2	0	9	5	45	
	Veliidae	<i>Microvelia sp.</i>	10	2	0	8	0	4	0	19	0	5	9	57	
		<i>Rhagovelia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
	Lepidoptera	Crambidae	<i>Eoophila sp.</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Pyralidae	-	3	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	9
	Odonata	Aeshnidae	<i>Aeshna sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		Coenagrionidae	<i>Coenagriocnemis sp.</i>	15	85	0	12	0	30	0	53	0	31	37	520
<i>Pseudagrion sp.</i>			45	54	0	59	0	68	0	39	0	19	48	332	
Isostictidae		-	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	
Libellulidae		<i>Crocothemis sp.</i>	0	9	0	2	0	2	0	2	0	0	0	15	
		<i>Diplacodes sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
		<i>Orthetrum sp.</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
		<i>Pantala flavescens zygonyx sp.</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
Corduliidae	<i>Hemicordulia sp.</i>	35	13	0	4	0	10	0	12	0	6	16	96		
Plecoptera	Perlidae	<i>Neoperla spio</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1		
	Hydrophilidae	-	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
	hydroptilidae	<i>Afrित्रichia sp</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	
		<i>hydroptila sp</i>	3	0	0	1	0	0	0	2	0	2	7	15	
	Leptoceridae	<i>Leptocerus sp.</i>	0	3	0	2	0	0	0	2	0	0	0	7	
		<i>Oecetis sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Polycentropodidae	<i>Dipseudopsis sp.</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Philopotamidae	<i>Chimara bettinae</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Total général			11	12	48	85	87	43	69	18	25	17	86	8	
			29	38		9		7		40	0	84	9	589	

B. Macroinvertebrates distribution

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

Table II shows the diversity index obtained for different sampling stations. The station P11 has the highest taxonomic richness (57 taxa) followed by stations P08 with 54 taxa and P01 (51 taxa) and P10 (49 taxa). The station P05 has the lowest taxonomic richness with 6 collected taxa. Also, the highest specific abundances were obtained with stations P08 (1840 ind) and P10 (1784 ind). The lowest densities observed in stations P05 (87 ind), P07 (69 ind) and P03 (48 ind). The higher Shannon indices were obtained at stations P01 (2,714) and P11 (2,704) while the lowest were observed in P05 (1,361) and P08 (1,690). As regards the equitability, the higher values are observed in P03 (0.86) and P07 (0.84) while the P08 stations (0.42) and (0.47) had the lowest scores.

Table II : Recap of calculated diversity index

Index	STATIONS										
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11
Taxonomic richness_S	51	45	11	40	6	34	12	54	11	49	57
Individuals	1129	1238	48	859	87	437	69	1840	250	1784	869
Shannon_H	2.71	2.59	2.07	2.26	1.36	2.43	2.10	1.69	1.70	1.86	2.70
Equitability_J	0.69	0.69	0.8	0.61	0.75	0.69	0.84	0.42	0.70	0.47	0.66

III. DISCUSSION

The results shows that Aghien lagoon has a wide variety of macroinvertebrates dominated by insects (with 81,8%). However, the station (P05, P07 and P03) situated in open water has the lowest taxonomic richness harvested with 6 taxa and had poor individual densities (ind 48 to 87 ind). Also, the highest species abundance were obtained at stations to the banks of lagoon (P08, P10, P02, P01, P11, P04, P06 and P09) and are also characterized by high densities (250-1840 ind). Furthermore, the relative abundance of Chironomidae recognized tolerant to a wide range of disturbances and in particular the sedimentary type of pollution is very high in all the stations of the Aghien lagoon. Also, the spatial variations of Ephemeroptera Plecoptera, Trichoptera and Coleoptera (EPTC) show very low values in all stations (0 to 14.5%), reflecting the low representation or absence of polluo-sensitive taxa. Which would be a relatively poor water quality of the area surveyed [10]. Some macroinvertebrates taxa identified in this study are: *Lanistes varicus*, *Melanoides tuberculata*, *Atyoida serrata* *Abedus lutarium*, *pseudagrion* sp, *Macrobrachium vollenhovenii*, *Musculium* sp *Indoplanorbis exustus*, *Bithynia tentaculata* *Pachymelania byronensis*, *P. fusca* *Aeshna* sp sp *Crocothemis*. *Diplacodes* sp, *Orthetrum* sp, *hemicordulia* sp and *Pantala flavescens* are described by the IUCN as least concern, the species is near threatened *Potadoma liricineta* while other taxa present no special conservation status. However, we had the presence of *Microvelia* kind that is uncommon. As we note the presence in Hemiptera order two taxa hosts and / or potential vector of Buruli ulcer, the Belostomatidae *Diplonychus* sp and Corixidae *Micronecta* sp and larvae of the order Diptera. The Shannon Index has low species diversity in the stations. The lowest diversities are at stations P05, P08, P09 and P10. The value of the Fairness indicate that stations P03, P05, P07 and P09 in deep waters have a more balanced stand than those at the banks.

IV. CONCLUSION

Macroinvertebrates identified in this study indicate that the taxa balanced settlement but show a strong sedimentary pollution at all stations on the selected Aghien lagoon. Diptera order is best represented in all stations including the family of midges which has the highest relative abundance. The stations on the lagoon banks are more diversified than in the open water stations. However, it is noted a potential risk to public health by the presence of vectors of Buruli ulcer and certain neglected tropical diseases. Our study highlights the need for further study to establish a general health risk map in Aghien lagoon.

ACKNOWLEDGEMENT

International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology

(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)

Vol. 5, Issue 6, June 2016

The authors gratefully acknowledge the University Jean Lorougnon Guede, Daloa, Ivory Coast, for extending all facilities and words of encouragement from the principal while working on this research.

REFERENCES

- [1] M. Miserendino, "Length-mass relationships for macroinvertebrates in freshwater environments in Patagonia (Argentina)", *Ecologia Austral*, Vol 11, pp. 3-8, 2001.
- [2] H.Timm, T. Mois, "Do shallow-water macroinvertebrate assemblages correspond to physico-chemical habitats of streams and lakes", *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, Vol 30 pp. 138-140, 2008.
- [3] AE. Ogbeibu, R. Victor, "The effects of road and bridge construction on the bank-root macrobenthic invertebrates of a southern Nigerian stream", *Environmental Pollution*, Vol 56, pp. 85-100, 1989.
- [4] DM Rosenberg, VI Resh, "Freshwater biomonitoring and benthic macro invertebrates", New York Chapman and Hall, pp. 488, 1998.
- [5] O. Ravera, "Utility and limits of biological and chemical monitoring of the aquatic environment," *Annali di Chimica*, vol. 88, no. 11-12, pp. 909-913, 1998.
- [6] J.F. Humbert, 2012. "Report on the mission "Aghien lagoon." " expert report, AFD-MINEF-SODECI-C2D, 25p.
- [7] A. Traoré, G. Soro, K.E Kouadio, S.B. Bamba, M.S. Oga, N. Soro. J. Biémie, "Evaluation of physical, chemical and bacteriological parameters of the water of tropical lagoon during low water: the Aghien lagoon (Ivory Coast)" *International Journal of Biological and Chemical Sciences.*, Vol 6 no. 6 pp. 7048-7058, 2012.
- [8] D. Guiral, A. Ferhi, "Ionic and isotopic characterization of a tropical hydrological system: The Ebrié lagoon (Ivory Coast)", *Oceanologica Acta*, Vol 12, pp. 47 – 55, 1989.
- [9] C. Dejoux, J. M. Elouard, P. Forge, J. L. Maslin, "Iconographic catalog of aquatic insects of Ivory Coast" *ORSTOM*, Vol 42, 178p, 1981.
- [10] N. Mary, "practical identification guide for benthic macroinvertebrates in streams", 100p, 2000.

Publication n°2

Allouko J. R., Bony K. Y., Konan K. F., Assemian N. E., 2017. Assemblages of freshwater snail's community in the Aghien lagoon in relation to environmental variables (Côte d'Ivoire; West Africa). *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 7 (12), 693-702.



<http://www.ijsrp.org>

ISSN: 2250-3153

Impact Factor 2015 : 3.27

Assemblages of freshwater snail's community in the Aghien lagoon in relation to environmental variables (Côte d'Ivoire; West Africa)

ALLOUKO Jean-Renaud, BONY Kotchi Yves, KONAN Koffi Félix, ASSEMIAN N'guessan Emmanuel

* Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

Abstract- We studied the dynamic of aquatic snail's populations in relation to environmental variables in the Aghien lagoon. Snails and physico- chemical variables were sampled monthly from July 2014 to June 2015 at eleven sampling site. Samplings were performed by the kick sampling technique and Van Veen Grab methods.. A total of 1316 individuals divided into 16 taxa belonging to 4 orders and 10 families were identified. Stations located on the banks were more diversified. Taxa such as *Melanoïdes tuberculata*, *Indoplanorbis exustus* and *Lymnaea natalensis* have appeared frequently in all stations. The stations located on the longitudinal axis of the lagoon are characterized by Thiariidae such as *Potadoma liricincta*, *Pachymelania fusca*, *Pachymelania byronensis*. The canonical correspondence analysis revealed that turbidity, pH and phosphorus strongly influenced the distribution of snail in the study sites. Three invasive species, *Aplexa marmorata*, *Indoplanorbis exustus* and *Melanoïdes tuberculata* were reported. Several surveyed species in our basins are important intermediary host of parasites, particularly Planorbidae *Indoplanorbis exustus* who constituted potential risk to public health.

Index Terms- Fresh water Snail, population, dynamic, Aghien lagoon, Côte d'Ivoire

I. INTRODUCTION

Benthic macroinvertebrates are of importance to aquatic biologist because they can indicate pollutional effects on the environment (Chapman and *al.*, 1982). Snails occupy a prominent place among aquatic organisms suitable for biological monitoring (Goldberg, 1986; Salanki, 1989) and they are used often for passive and active biomonitoring and in hazard and risk assessment (Borcherding and Volpers, 1994; Allan J.D. and Flecker, 1993; Kiblut, 2002). Then, the distribution of aquatic organisms relative to their habitat is of central importance to ecology (Nanami and *al.*, 2005). Studies established a pattern of relationship between aquatic fauna, depth, substrate and organic contents of sediment (Ramirez and *al.*, 1998; Edia and *al.*, 2013; Bony and *al.*, 2013). Moreover, stream-dwelling macroinvertebrates are generally thought to be distributed according to environmental factors (Minshall and Robinson, 1998). Furthermore, according to Nanami and *al.* (2005), numerous studies have suggested that variability in physical factors, chemical factors and biological factors provide diverse habitats, and species specific habitat association of organisms in response to environmental variability has been found. Thus, the nature of this distribution provides an initial insight into the types of ecological processes that regulate populations and assemblages. Despite its importance, few studies have been published on the distribution of benthic macroinvertebrates among stream habitats for tropical systems. In Côte d'Ivoire, little information is available about the ecology of aquatic snails in Aghien lagoon. This study aims to show the population dynamic of aquatic snail's communities in relation to environmental variables in this lagoon.

II. MATERIALS AND METHODS

II.1 Study site

The Aghien Lagoon is located in the Southeastern of Côte d'Ivoire between latitudes 5°22'N and 5°26'N and longitudes 3°49'W and 3°55'W (Figure 1). This lagoon is located to the north of the Ebrié Lagoon from which it is separated by the Potou Lagoon. The Aghien and Potou Lagoons communicate through a natural channel (Koffi and *al.*, 2014). The Aghien Lagoon could reach 11 m deep (Guiral and Ferhi, 1989). This lagoon covers an area of 20 km² for a perimeter of 40.72 Km. It is supplied by two main tributaries, Djibi and Bété Rivers, and is almost exclusively continental all year long (Traoré and *al.*, 2014). This gives to the hydrosystem a fluvial character (Aliko, 2017). The Aghien Lagoon is subject to an equatorial climate characterized by four seasons (Durand and Chantraine, 1982). The monthly distribution of these seasons is shown in Table I.

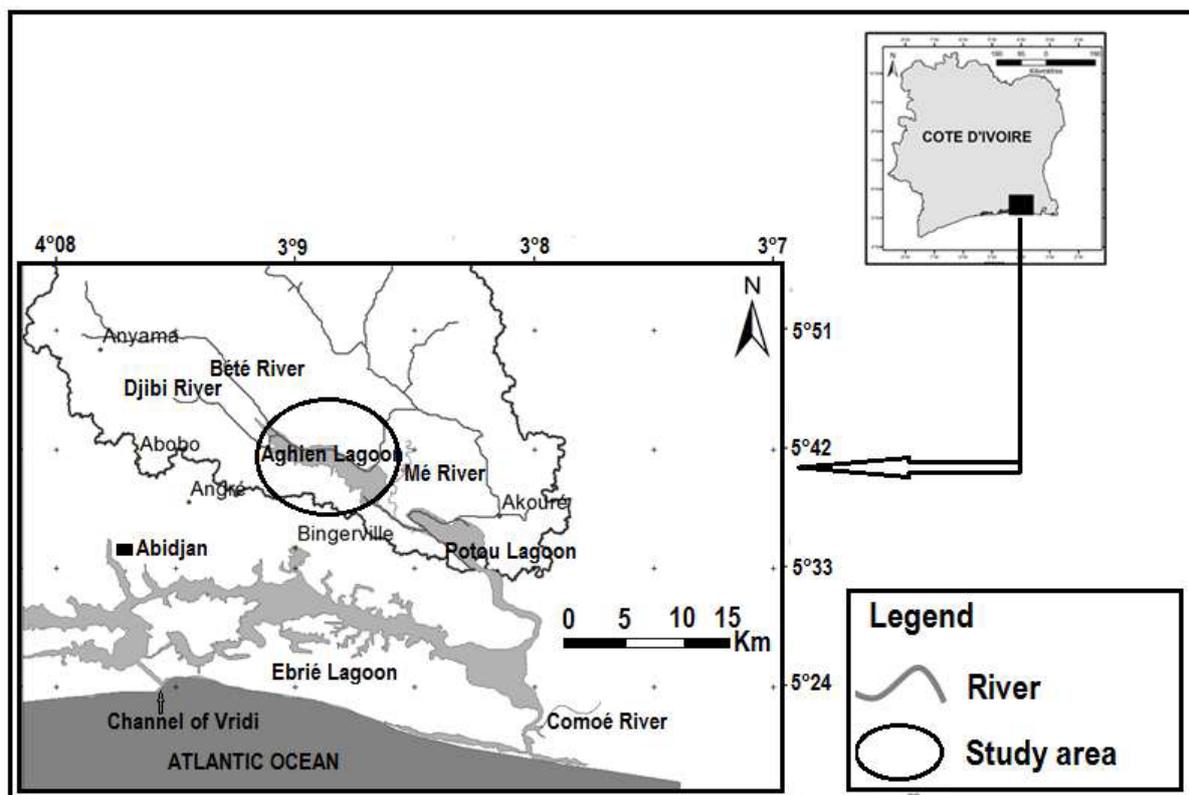


Figure 1:- Location of the Aghien Lagoon in the South-Eastern of Côte d'Ivoire.

Table I:- The four climatic seasons of the Aghien Lagoon according to Durand and Chantraine (1982).

Long dry season (LDS)	December, January, February, March
Long wet season (LWS)	April, May, June, July
Short dry Season (SDS)	August, September
Short wet season (SWS)	October, November

II.2 Sampling procedure

Sampling sites were selected to cover a fair degree of habitat heterogeneity in Aghien Lagoon. Studies stations are located along the main axis of the lagoon with two transects perpendicular to the longitudinal transect (Figure 2). The first transect is located opposite the of Akandjé city in order to determine if the water quality varies according to the distance to shore. The second transect is located in the western area of the lagoon. Macroinvertebrates sampling was carried out for twelve months at monthly intervals between June 2014 and May 2015.

Benthic fauna were sampled in each of the eleven stations defined on Aghien lagoon following a longitudinal rampe with a kick net (250 microns mesh size) following SASS method (South African Scoring System) (Dickens and Graham, 2002). The samples were collected for two to three minutes by submerging the kick net and dragging it into the water column. The net has also been banged against the bottom substrate to dislodge and collect sediment organisms. The collect was also done using a Van Veen grab. At each site, three (03) sediment samples corresponding to a total area of 0.15 m² were taken at several depths. At the exit of water, the contents net were washed on a sieve of 0.5 mm. All samples were fixed in 70% alcohol. In the laboratory, all samples were sorted using a binocular microscope, counted and identified at the lowest taxonomic level by combining the appropriate key (Dejoux and *al.*, 1981; Mary, 2000).

At each campaign, each sampling site was characterized by measuring water temperature (°C), turbidity (NTU), pH, conductivity (µS/cm), and dissolved oxygen (mg/l) with portable sensors. Water were taken from each sample site (station), stored in polyethylene bottles (500 ml) and kept at a temperature below 4°C to stop all the activities and metabolism of the organisms in the water. At the laboratory, these water samples were kept in a refrigerator for further determination of phosphorus, Phosphate, ammonium (NH₄⁺; mg/l), nitrate (NO₃⁻; mg/l) and nitrite (NO₂⁻; mg/l).



Figure.2: Map of Aghien lagoon with sampling sites, the annotations "Point" of sampling sites map will be replaced by the suffix "ST" in the following text to name the sampling sites (Stations)

II.3 Data analysis

Biological indices such as Taxa richness (S); Abundance, Shannon index (H) and Equitability (J) were used in the calculation of taxa richness and diversity (Ramade, 2003)

- Taxa richness (S): is a measure of species richness

- Shannon index diversity (H), $H = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i$. Where p_i represents the relative abundance of species i in the sample ($p_i = n_i / N$).

- Equitability J index ($H_{max} = \log_2 S$). $J = H / \log_2 S$. Where; H was the Shannon and weavers index S was the number of species in samples.

- Occurrence percentage (F): $F = F_i \cdot 100 / F_t$. where F_i = number of records containing species i and F_t = total number of surveys conducted. Depending on the value of F, four groups are distinguished (Albertoni, 2007) : - very frequent taxa ($F \geq 70\%$); - frequent taxa ($40\% < F < 70\%$); - infrequent taxa ($10\% < F < 40\%$); - sporadic taxa ($F < 10\%$).

The Shapiro-Wilk normality test was made to evaluate the normality of the different physicochemical parameters measured. The Kruskal-Wallis (multiple comparisons) and Mann-Whitney (two-sample comparison) tests were performed for the different comparisons. The distribution patterns of the taxa data were displayed using the Self-Organizing Map (SOM) by means of the toolbox developed by (Kohonen, 1995) for Matlab. The SOM training was made to classify the 132 samples (11 stations x 12 campaigns) according to the distribution of the aquatic snails. A map of 20 cell (4-line x 5-column) was chosen because the smallest quantification and topography errors are obtained at this size In order to characterize the distribution of the populations of these insects according to physicochemical parameters, a canonical correspondence analysis was carried out (Palmer, 1993) using the CANOCO program (Canonical Community Ordination, Version 4.5). The analysis was used in RDA (Redundancy Analysis).

III. RESULTS

III-1 Variations of physicochemical parameters

Table II present the different averages of the physicochemical parameters. For all the abiotic descriptors considered, there are no significant differences between the variations in the different studied stations (Kruskall Wallis test $p > 0.05$). However, for the abiotic, there is a significant difference between the variations from one season to another (Kruskall Wallis test and Mann-Whitney U test < 0.05) (Table II).

Table II: Seasonal variations of physical and chemical parameters: Long dry season (LDS), Long wet season (LWS), Short dry Season (SDS), Short wet season (SWS)

Parameters	LWS	LDS	SWS	SDS
Temperature (°C)	27.64±1.02 ^a	27.13±2.92 ^a	28.40±1.41 ^b	26.94±0.69 ^a
Conductivité (µs/cm)	79.74±6.52 ^a	70.74±7.30 ^c	66.90±2.63 ^b	54.53±3.19 ^d
Turbidity (UNT)	19.24±14.67 ^a	14.89±4.67 ^c	28.25±12.22 ^b	101.02±39.80 ^d
pH	8.07±1.05 ^a	7.56±0.75 ^b	7.63±0.56 ^b	6.72±0.62 ^c
Total phosphorus (mg/l)	0.38±0.40 ^a	0.2±0.17 ^b	0.24±0.08 ^b	0.26±0.13 ^b
Phosphate (mg/l)	0.08±0.05 ^a	0.10±0.15 ^b	0.07±0.10 ^a	0.12±0.05 ^b
Dissolved oxygen (mg/l)	5.07±0.83 ^a	7.67±0.85 ^b	6.89±0.83 ^c	5.50±1.03 ^a
Nitrates (mg/l)	1.37±1.14 ^a	0.41±0.40 ^b	1.35±0.95 ^a	1.79±1.00 ^a

Nitrites (mg/l)	0.02±0.03 ^a	0.01±0.0 ^a	0.04±0.07 ^b	0.11±0.10 ^c
Ammonium (mg/l)	0.18±0.14 ^a	0.16±0.17 ^a	0.27±0.30 ^b	0.13±0.05 ^c

III.2 Taxonomic composition

For the branching of snails, a total of 1316 individuals were collected belonging to the classes of gastropods and bivalves. This class contains 09 families including 04 belonging to the Cenogasteropods, 04 belonging to the Basommatophores and 01 to the Archeogasteropods. The most diverse families are Thiariidae and Planorbidae with respectively 05 and 04 taxa. Bivalves are the least diversified class with only one taxon (*Musculium*) belonging to the family Sphaeriidae of the order Veneroids.

Spatial variations of the diversity index data are presented in Tables III. The station ST11 had the greatest taxonomic richness while the largest number of individuals (387 ind.) was harvested at the station ST10. However, in open water any taxon of snail has been recorded at the station ST5. Globally, the stations on the banks have more diversified taxonomic richness than those located in open water (ST3, ST5, ST7 and ST9). The Shannon H index at the stations ST2 and ST4 are the highest (1,913 and 1,912) while the station ST3 has the lowest value (0.9743). For equitability, the stations ST4 and ST9 had the higher values (0.9195 and 0.9366) while the lowest value is noted at the station ST10.

Table III : Spatial variations of diversity index

Diversity	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11
Taxa											
Richness_S	7	9	3	8	0	10	5	12	4	12	15
Individuals	87	183	8	172	0	67	36	208	19	387	149
Shannon_H	1.432	1.913	0.9743	1.912	0	1.797	1.343	1.868	1.298	1.584	1.895
Equitability_J	0.7359	0.8706	0.8869	0.9195	0	0.7804	0.8343	0.7516	0.9366	0.6374	0.6999

III.3 Seasonal variation of Snails abundance

Seasonal variation of snail's abundance was indicated in Figure 3. The short wet season recorded the highest abundance of snails with 433 individuals collected while the lowest abundance is recorded in the short dry season. At the taxa level, *Indoplanorbis exustus* was most abundant during the short wet season. The *Melanoïdes tuberculata*, *Indoplanorbis exustus*, *Lymnaea natalensis*, *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca* *Potadoma liricincta* and *Aplexa marmorata* taxa were recorded in all four seasons. However, *Bulinus guernei* and *Bulinus truncatus* were only harvested in a single season.

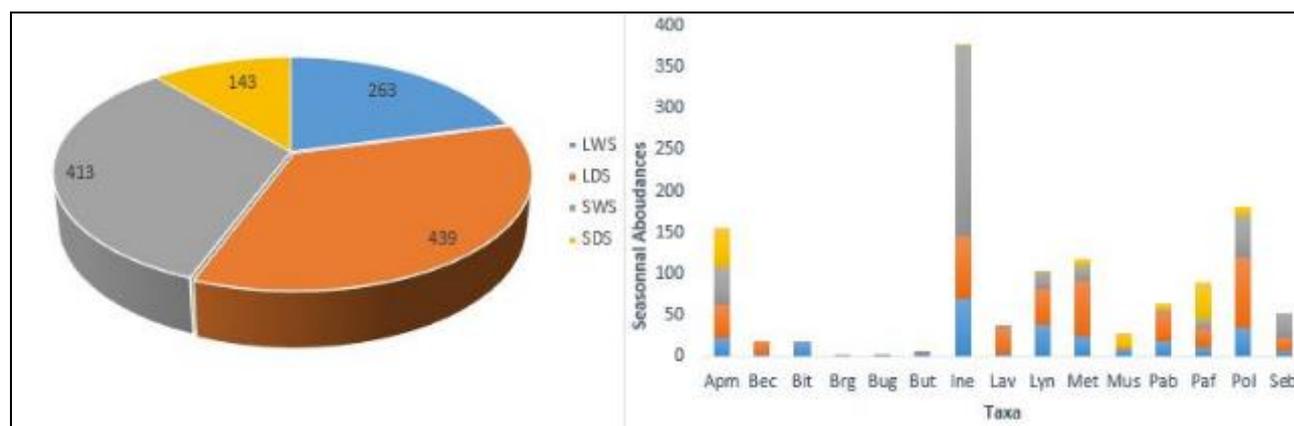


Figure 3 Seasonal abundances of snails

III.4 Snails Occurrences

The taxa occurrences are presented in Table IV. Taxa such as *Melanoïdes tuberculata*, *Indoplanorbis exustus* and *Lymnaea natalensis* have appeared frequently in all stations located on the banks of the Aghien lagoon (ST1, ST2, ST4, ST6, ST8, ST10 and ST11). However, in the stations located in the middle of lagoon, there is sporadic appearance of taxa like *Musculium sp.* and *Melanoïdes tuberculata*, whereas the Thiariidae *Pachymelania byronensis*, *Pachymelania fusca* and *Potadoma liricincta* were collected infrequently in the downstream station of the lagoon (ST7 and ST9).

Table IV: List and occurrences of aquatic snails taxa in the Aghien lagoon: Code: **** = very frequent taxa (F ≥ 70%); *** = frequent taxa (40% F <70%); ** = infrequent taxa (10% F <40%); * = sporadic taxa (F <10%).

ORDRE	FAMILLE	TAXON	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11	
Vénéroïdes	Sphaeriidae	<i>Musculium sp.</i>	-	-	*	-	-	-	*	*	-	**	**	
Archaeogastéropodes	Neritidae	<i>Septaria borbonica</i>	-	*	-	*	-	-	-	****	-	***	**	
Basommatophores	Lymnaeidae	<i>Lymnaea natalensis</i>	**	***	-	***	-	**	-	**	-	**	*	
	Physidae	<i>Aplexa marmorata</i>	**	***	-	**	-	**	-	-	-	***	**	
	Planorbidae	<i>Bulinus guernei</i>	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
		<i>Bulinus truncatus</i>	-	-	-	-	-	-	*	-	**	-	-	-
		<i>Indoplanorbis exustus</i>	**	****	-	***	-	**	-	**	**	-	***	***
	Viviparidae	<i>Bellamya capillata</i>	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
Cénogastéropodes	Ampullariidae	<i>Lanistes varicus</i>	*	**	-	**	-	**	-	-	-	**	**	
	Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	-	-	-	**	-	-	-	*	-	-	*	
	Hydrobiidae	<i>Hydrobia gabonensis</i>	*	*	-	**	-	**	-	-	-	*	*	
	Thiaridae	<i>Bridouxia giraudis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*
		<i>Melanoïdes tuberculata</i>	**	***	*	****	-	**	*	**	**	*	***	**
		<i>Pachymelania byronensis</i>	-	-	-	-	-	-	*	**	***	**	**	**
		<i>Pachymelania fusca</i>	-	*	-	-	-	-	-	**	***	**	*	***
<i>Potadoma liricineta</i>	*	-	*	-	-	-	**	**	****	***	***	***		

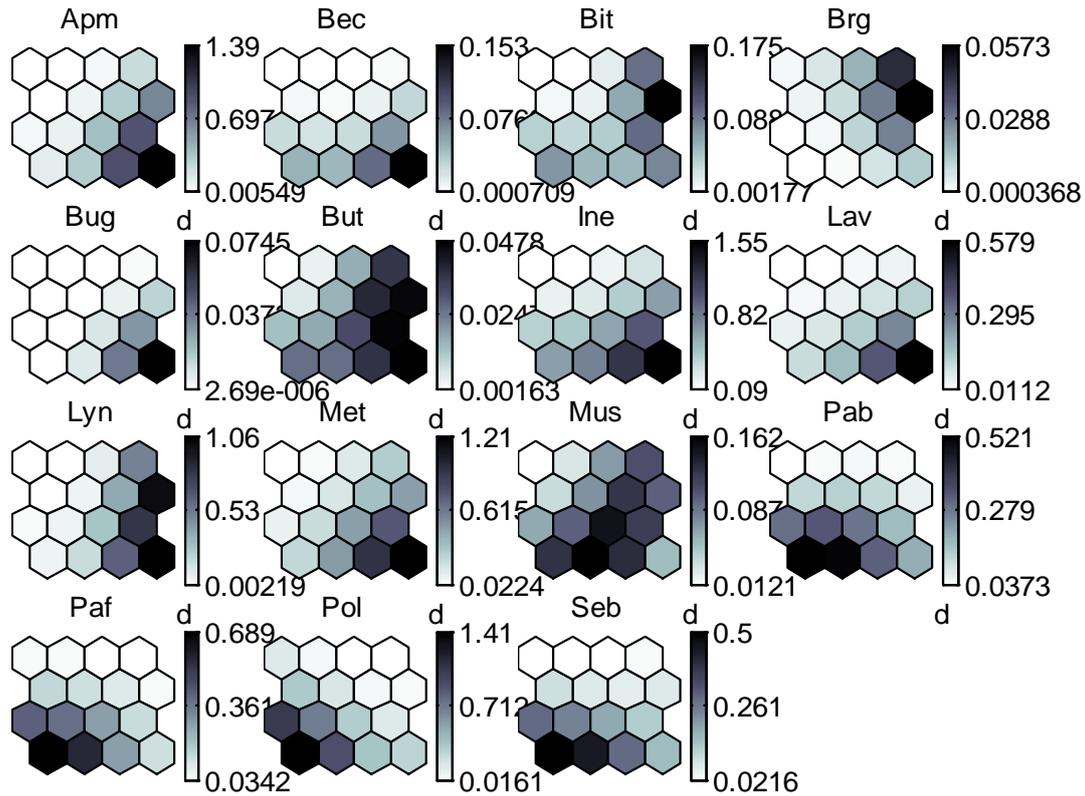


Figure 5. Component planes displaying the contribution of each environmental variable to classification of samples. Dark represents high values of each variable, whereas pale is for low values. The values were calculated during the learning process of the network. **Apm**=*Aplexa marmorata*, **Bec**=*Bellamya capillata*, **Bit**=*Bithynia tentaculata*, **Brg**=*Bridouxia giraudis*, **But**=*Bulinus truncatus*, **Bug**=*Bulinus guernei*, **Ine**=*Indoplanorbis exustus*, **Lav**=*Lanistes varicus*, **Lyn**=*Lymnaea natalensis*, **Met**=*Melanoïdes tuberculata*. **Mus**=*Musculium sp*, **Pab**=*Pachymelania byronensis*, **Paf**=*Pachymelania fusca*, **Pol**=*Potadoma liricincta*, **Seb**=*Septaria borbonica*

III.6 Influence of physicochemical parameters on the distribution of snails:

A redundancy analysis (RDA) was performed between the 10 physico-chemical parameters and the abundances of the 15 taxa of aquatic snails (Figure 6). The representativity of all the axes is very significant (p-value<0.05). Axis I is significant (p-value = 0.0017) and expresses 51.16% of the information, Axis II expresses 27.1%, for a total of 78.26% for both axes. The analysis of the graph shows that phosphorus, pH and turbidity was most influenced the variation of abundances of snails. Axis I reveals an association of phosphorus, ammonia, nitrite and nitrate with *Aplexa marmorata*, *Bulinus guernei* and *Melanoïdes tuberculata* while *Pachymelania fusca*, *Potadoma liricincta*, *Septaria borbonica*, *Bridouxia giraudis* and *Bulinus truncatus* are associated with turbidity. This taxa are negatively pegged to parameters like pH, phosphorus, temperature, nitrates and ammonia. On this same axis I, the conductivity is associated with *Pachymelania byronensis* and negatively correlated with *Bellamya capillata* and *Bithynia tentaculata* which are associated with phosphate. On axis II, *Pachymelania fusca*, *Potadoma liricincta*, *Septaria borbonica*, *Bridouxia giraudis* and *Bulinus truncatus* are influenced by very low temperatures, pH and dissolved oxygen levels. However, taxa such as *Indoplanorbis exustus* and *Lymnaea natalensis* are almost unaffected by the measured physicochemical parameters.

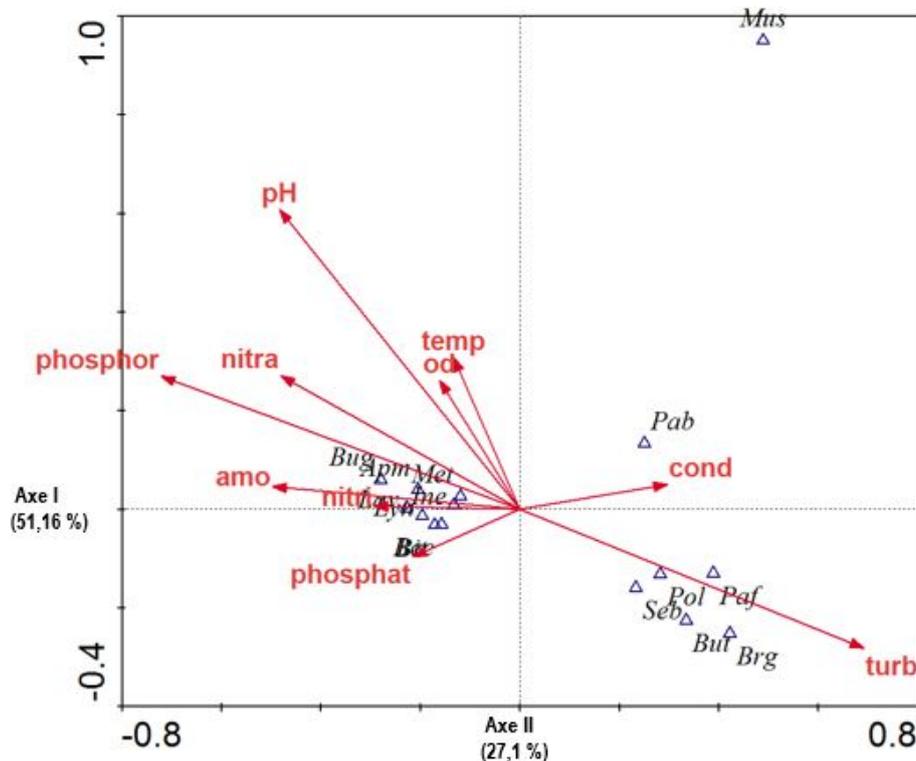


Figure 6: Canonical correspondence analysis (RDA) highlighting the influence of physicochemical parameters on the distribution of snails in Aghien lagoon. **Apm**=*Aplexa marmorata*, **Bec**=*Bellamya capillata*, **Bit**=*Bithynia tentaculata*, **Brg**=*Bridouxia giraudis*, **But**=*Bulinus truncatus*, **Bug**=*Bulinus guernei*, **Ine**=*Indoplanorbis exustus*, **Lav**=*Lanistes varicus*, **Lyn**=*Lymnaea natalensis*, **Met**=*Melanoïdes tuberculata*, **Mus**=*Musculium sp.*, **Pab**=*Pachymelania byronensis*, **Paf**=*Pachymelania fusca*, **Pol**=*Potadoma liricincta*, **Seb**=*Septaria borbonica*

IV. DISCUSSION

Overall, at the spatial level, all the means of the abiotic variables do not differ significantly between the stations while they differ according to the seasons, this shows that the variations of these parameters correlate with the impacts induced by the seasons but are not influenced by human activities in their immediate environment. The fluctuations observed would be attributable to a homogeneous distribution at all the stations of the Aghien lagoon of the impacts of anthropogenic and seasonal activities such as domestic and industrial discharges, runoff water (Humbert, 2012).

In general, the faunal composition of lagoon snails corresponds to that described in African freshwaters (Ogbeibu and Oribhabor, 2002; Diomandé and Gourène, 2005). The gastropods are divided into three orders: Basommatophores, Cenogasteropods and Archeogasteropods. This class contains 09 families. However, the order of the Cenogasteropods are quite well diversified with 08 species belonging to 04 families. The most diverse families are Thiariidae and Planorbidae. Species such as *Lymnaea natalensis*, *Melanoïdes tuberculata*, *Indoplanorbis exustus*, *Aplexa marmorata*, which are intermediate hosts of parasites of *Schistosoma mansoni* (Diomandé, 2009) frequently appeared in the records. The best indices of diversity namely great taxonomic richness, abundance and Shannon index were recorded at the stations located on the banks of the Aghien lagoon, which would be linked to favorable conditions for the proliferation of certain species of snails such as plants. This is not the case at the stations located in the open where all the organisms such as *Potadoma liricincta*, *Pachymelania fusca* and *Pachymelania byronensis* have only taken from the bottom of the water. This finding is consistent with the results of stations located along the longitudinal axis of the lagoon which are preferentially populated by Thiariidae.

This observation is correlated with the SOM map result which classifies them in group III, which states that these snails are found preferentially in downstream of the Aghien lagoon towards the canal with the Potou lagoon. Group II given by the SOM shows that the snails have a preference for shelters located on the bank and near to habitations where there are domestic discharges that would induce a change in environmental conditions.

- [26] Salanki, J., (1989). New avenues in the biological indication of environmental pollution. *Acta Morphologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 40, 295-328.
- [27] Traoré, A., Soro, G., Kouadio, K. E, Bamba, S.B., Oga, M. S., Soro. N. and Biémie J., (2012). "Evaluation of physical, chemical and bacteriological parameters of the water of tropical lagoon during low water: the Aghien lagoon (Ivory Coast)" *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (6), 7048-7058.

AUTHORS

First Author- ALLOUKO Jean-Renaud, Junior Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

E-mail: aljeanreno@yahoo.fr.

Second Author: BONY Kotchi Yves, Senior Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

E-mail: bonyyves@yahoo.fr.

Third Author: KONAN Koffi Félix, Senior Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

E-mail: konanfelix@yahoo.fr.

Fourrth Author: ASSEMIAN N'guessan Emmanuel, Senior Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

CORRESPONDING AUTHOR

ALLOUKO Jean-Renaud, Junior Professor, Department of Environment, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa City (Côte d'Ivoire).

E-mail: aljeanreno@yahoo.fr.

Tel : +225 08508358

Publication n°3

Allouko Jean-Renaud, Bony Kotchi Yves and Aliko N'guessan Gustave, **2019**. Aquatic Insects distribution pattern focused on water quality in Aghien lagoon (Côte d'Ivoire; West Africa. *International Journal of Fauna and Biological Studies*; 6(2): 31-37.

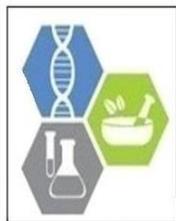


<http://www.faunajournal.com>

Online ISSN: 2347-2677

Print ISSN: 2394-0522

Impact Factor (RJIF): 4.68



ISSN 2347-2677

IJFBS 2019; 6(2): 31-37

Received: 15-01-2019

Accepted: 20-02-2019

Allouko Jean-Renaud

Jean Lorougnon Guédé
University, Department of
Environment, BP: 150 Daloa
Côte d'Ivoire

Bony Kotchi Yves

Jean Lorougnon Guédé
University, Department of
Environment, BP: 150 Daloa
Côte d'Ivoire

Aliko N'guessan Gustave

Jean Lorougnon Guédé
University, Department of
Environment, BP: 150 Daloa
Côte d'Ivoire

Aquatic Insects distribution pattern focused on water quality in Aghien lagoon (Côte d'Ivoire; West Africa)

Allouko Jean-Renaud, Bony Kotchi Yves and Aliko N'guessan Gustave

Abstract

This study was carried to know the ecological status of Aghien lagoon water's using aquatic Insects. Insects and physicochemical variables were sampled monthly from June 2014 to MAY 2015 at eleven sampling site. Samplings were performed by the kick sampling technique and Van Veen Grab methods. A total of 7230 individuals from 68 taxa belonging to 08 orders and 46 families were identified. Diptera order was best represented with 11 families. The analysis of diversity index indicated that study site are low diversified although some physicochemical parameters presented some signs of disturbance unfavorable to insect's community proliferation. EP/C index and Chironomidae percentage showed a predominance of Chironomidae over others families of Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT) groups that are pollen-sensitive organisms. These results suggest that waters of Aghien lagoon are moderately polluted and should be subject to biomonitoring.

Keywords: Aquatic Insects, diversity, water quality, Aghien lagoon, Côte d'Ivoire

1. Introduction

The water availability has always been the priority all development programs. Water bodies was crucial in biodiversity conservation, organism functioning and organic cycles ^[1, 2]. However, the efficient use of waters, especially for drinking water, requires knowing his status by monitoring and evaluating it's ecological integrity. Therefore, their monitoring must be done through the evaluation of reliable and adequate indicators such as biological indicators ^[3, 4]. Thus, new generations of surface water quality monitoring systems have consisted in the establishment of biotic indices from aquatic organisms such as macroinvertebrates which are organisms whose size at the end of larval development is greater than millimeter ^[5]. Several studies on macroinvertebrates have shown their importance in the food chain and in aquatic environments. This class of organisms includes aquatic insect larvae, some adult aquatic Insects, Crustaceans, Molluscs and Worms ^[6]. The main orders of aquatic insects included in the macroinvertebrates are Ephemera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera, Coleoptera, Megaloptera, Hemiptera, Odonata and Lepidoptera ^[7]. These methods, using living organisms, have the advantage of being easy to implement. These methods respond to factors that affect water quality in addition to the effects of natural environmental features and anthropogenic influences. In Côte d'Ivoire, data on the use of macroinvertebrates for the development of biological index are few. However, their use routinely in several countries ^[8, 9] makes it possible to transpose and adapt proven experimental protocols to other contexts, particularly the Ivorian context. However, the ecological integrity status of Aghien lagoon water's has not yet been evaluated to detect the possible presence of health risks. It's macrofaunical diversity also remains very little known. This study main to study the diversity of aquatic insects and to estimate the water quality of the Aghien lagoon.

2. Material and Methods

2.1. Study site

The Aghien Lagoon is located in the South-eastern of Côte d'Ivoire between latitudes 5°22'N and 5°26'N and longitudes 3°49'W and 3°55'W (Figure 1). This lagoon is located to the north of the Ebrié Lagoon from which it is separated by the Potou Lagoon. The Aghien and Potou Lagoons communicate through a natural channel ^[10]. The Aghien Lagoon could reach 11 m deep ^[11]. This lagoon covers an area of 20 km² for a perimeter of 40.72 Km. It is supplied by two main tributaries, Djibi and Bété Rivers, and is almost exclusively continental all year long ^[12]. This gives to the hydrosystem a fluvial character ^[13]. Aghien Lagoon is subject to an equatorial climate characterized by four seasons ^[14].

Correspondence

Allouko Jean-Renaud

Jean Lorougnon Guédé
University, Department of
Environment, BP: 150 Daloa
Côte d'Ivoire

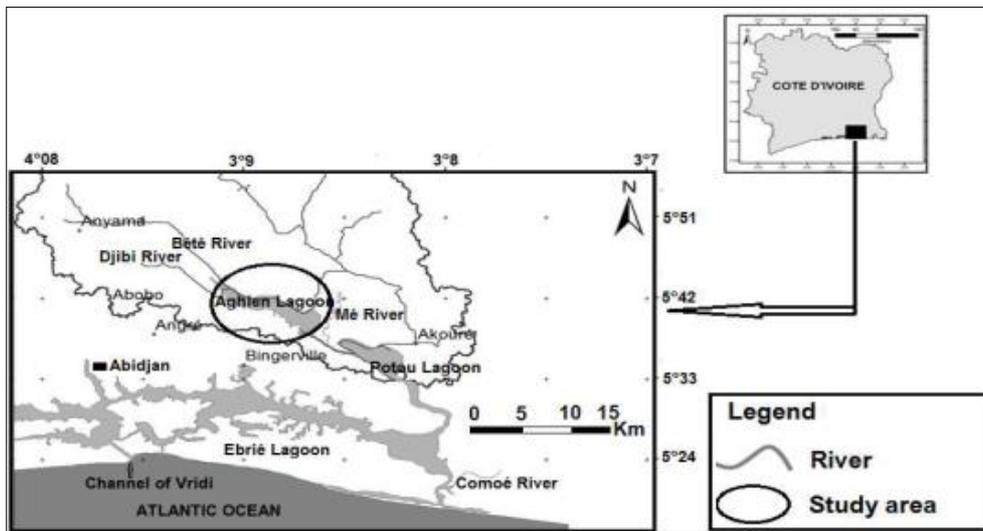


Fig 1: Location of the Aghien Lagoon in the South-Eastern of Côte d'Ivoire.

2.2 Sampling procedure

Sampling sites were selected to cover a fair degree of habitat heterogeneity in Aghien Lagoon. Studies stations are located along the main axis of the lagoon with two transects perpendicular to the longitudinal transect (Figure 2). The first transect is located opposite the of Akandjé city in order to determine if the water quality varies according to the distance to shore. The second transect is located in the western area of the lagoon. Macroinvertebrates sampling was carried out for twelve months at monthly intervals between June 2014 and May 2015. Benthic fauna were sampled in each of the eleven stations defined on Aghien lagoon following a longitudinal rampe with a kick net (250 microns mesh size) following SASS method (South African Scoring System) [15]. The samples were collected for two to three minutes by submerging the kick net and dragging it into the water column. The net has also been banged against the bottom substrate to dislodge and collect sediment organisms. The

collect was also done using a Van Veen grab. At each site, three (03) sediment samples corresponding to a total area of 0.15 m² were taken at several depths. At the exit of water, the contents net were washed on a sieve of 0.5 mm. All samples were fixed in 70% alcohol. In the laboratory, all samples were sorted using a binocular microscope, counted and identified at the lowest taxonomic level by combining the appropriate key [16]. At each campaign, each sampling site was characterized by measuring water temperature (°C), turbidity (NTU), pH, conductivity (µS/cm), and dissolved oxygen (mg/l) with portable sensors. Water were taken from each sample site (station), stored in polyethylene bottles (500 ml) and kept at a temperature below 4°C to stop all the activities and metabolism of the organisms in the water. At the laboratory, these water samples were kept in a refrigerator for further determination of phosphorus, Phosphate, ammonium (NH₄⁺; mg/l), nitrate (NO₃⁻; mg/l) and nitrite (NO₂⁻; mg/l).



Fig 2: Map of Aghien lagoon with sampling sites P1 to P11 [17].

2.3 Data analysis

Biological indices such as Taxa richness (S); Abundance, Shannon index (H) and Equitability (J) have been used in the calculation of taxa richness and diversity [18]. In addition, EPT index, Chironomidae percentage and water pollution tolerance index were calculated to determine water biological quality.

- Taxa richness (S): is a measure of taxa richness;
- Shannon diversity index (H), $H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$. Where p_i represents the relative abundance of taxa in the sample ($p_i = n_i / N$);
- Equitability J index ($H'_{max} = \log_2 S$). $J = H / \log_2 S$. Where; H was the Shannon and weavers index S was the

- number of taxa in samples;
- Occurrence percentage (F): $F = F_i * 100 / F_t$. where F_i = number of records containing taxa and F_t = total number of surveys conducted. Depending on the value of F, three groups are distinguished [19]: - constant taxa ($F \geq 50\%$); - accessory taxa ($25\% < F < 50\%$); - accidental taxa ($F < 25\%$);
- The EPT index is number of taxa belonging to the orders of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) in a station.
- The water pollution tolerance index (EPT/C) is the ratio between the abundance of EPT and Chironomidae. When this ratio is close to 0, it indicates that the water is of poor quality and when it is greater than 10, the water is of good quality [20].
- The percentage of Chironomidae represents the ratio of Chironomidae abundance to the total abundance of organisms present in a site [21]. Thus, [22] proposes the following classification according to the relative abundance of Chironomidae: $\% C > 75\%$: high polluted; $20\% < \% C \leq 75\%$: moderately polluted, $5\% < \% C < 20\%$ low polluted, $\% C < 5\%$: no polluted.

The Chi-2 test was carried out to understand if there is a significant difference ($p = 0.05$) in the distribution of macroinvertebrates according to the stations surveyed.

3. Results

3.1 Averages of physicochemical parameters at stations

Table 1 presents the different Averages of the physicochemical parameters. For all the abiotic descriptors considered, there are no significant differences between the

variations in the different studied stations (Kruskal Wallis test $p > 0.05$).

Table 1: Averages of the physicochemical parameters in the different stations of the Aghien lagoon

Paramètres	Averages
Temperature (°C)	27,55 ± 0,29
Conductivity (µs/cm)	69,42 ± 0,75
Turbidity (UNT)	33,12 ± 3,03
pH	7,57 ± 0,21
Phosphorus (mg/l)	0,26 ± 0,5
Phosphate (mg/l)	0,09 ± 0,03
Dissolved Oxygen (mg/l)	6,47 ± 0,30
Nitrate (mg/l)	1,11 ± 0,9
Nitrite (mg/l)	0,036 ± 0,010
Ammonium (mg/l)	0,19 ± 0,03
DCO (mg/l)	44,31 ± 7,43
DBO (mg/l)	17,49 ± 3,71
MES (mg/l)	14,23 ± 2,30

3.2 Taxonomic Composition and occurrence of aquatic insects

The taxonomic composition and occurrences of aquatic insects are presented in Table 2. A total of 68 taxa from 46 families and 8 orders were collected. Overall, there was a dominance of accidental taxa followed by accessory taxa. However, taxa such as *Centroptilum* sp., *Adenophlebia* sp., Orthocladiinae, *Zygonix* sp. appeared as accessory taxa in six of the seven riverbank stations. In addition, *Diplonychus* sp., *Micronecta* sp., *Mesovelgia* sp. and *Microvelgia* sp. appeared as accessory taxa in all seven stations. In addition, Chironomidae *Chironomus* sp. appeared as a constant taxon in ten of the eleven stations.

Table 2: Taxonomic composition and occurrences of aquatic insects in study stations Aghien lagoon: * = accidental taxa, ** = accessory taxa, *** = constant taxa, - = absent taxa.

Ordre	Famille	Taxon	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	
Coléoptères	Dytiscidae	<i>Bidesus</i> sp.	-	-	-	*	-	*	-	**	-	*	*	
		<i>Laccophilus</i> sp.	-	-	-	*	-	-	-	*	-	*	*	
	Elmidae	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Gyrinidae	<i>Orectogysus</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	
	Haliplidae	<i>Haliplus</i> sp.	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Hydraenidae	-	**	*	-	**	-	-	-	**	-	*	*	
	Hydrophilidae	<i>Coelostoma</i> sp.	**	**	-	*	-	-	-	*	-	-	-	**
		<i>Enochrus</i> sp.	*	*	-	*	-	*	-	*	-	*	*	*
		Hydrobiinae	*	-	-	*	-	*	-	*	-	*	*	*
		<i>Laccobius</i> sp.	*	*	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-
	Psephenidae	<i>Afroebria</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Spercheidae	-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*	
	Sphaeriidae	<i>Microsporus</i> sp.	-	*	-	*	-	*	-	*	-	-	-	*
Ephéméroptères	Baetidae	<i>Centroptilum</i> sp.	**	**	-	**	-	**	-	**	-	**	*	
		<i>Cloeon</i> sp.	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
	Heptageniidae	<i>Afronurus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Leptophlebiidae	<i>Adenophlebia</i> sp.	**	**	-	***	-	**	-	**	-	**	***	
		<i>Adenophlebiodes</i> sp.	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
		<i>Choroterpes</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
Polymitarcyidae	<i>Ephoron</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Trichoptères	Hydropsychidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Hydroptilidae	<i>Afrित्रichia</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
		<i>Hydroptila</i> sp.	*	-	-	*	-	-	-	*	-	*	*	
	Leptoceridae	<i>Leptocerus</i> sp.	-	*	-	*	-	-	-	*	-	-	-	
		<i>Oecetis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
Polycentropodidae	<i>Dipseudopsis</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Plécoptères	Perlidae	<i>Neoperla spio</i>	*	-	-	-	-	-	-	*	-	*	**	
Diptères	Blephariceridae	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	

	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> sp.	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*
		<i>Ceratopogon</i> sp.	-	*	-	-	-	-	-	-	*	*	-
		<i>Dasyhelea</i> sp.	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-
		<i>Forcipomyia</i> sp.	*	-	-	*	-	-	-	*	-	-	*
	Chaoboridae	-	*	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
		Orthoclaadiinae	***	***	**	**	*	**	*	**	**	***	*
		Tanypodinae	*	*	*	-	*	*	*	*	*	**	**
	Culicidae	<i>Culex</i> sp.	-	-	*	-	*	-	-	-	-	*	*
	Empididae	-	**	*	-	*	-	-	-	-	*	-	*
	Muscidae	<i>Musca</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
	Psychodidae	-	*	-	*	**	*	-	*	-	**	**	**
	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
	Stratiomyidae	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	
Lépidoptères	Crambidae	<i>Eoophila</i> sp.	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Pyralidae	-	*	-	-	*	-	*	-	-	*	-	
Hémiptères	Belostomidae	<i>Diplonychus</i> sp.	**	**	-	-	-	*	-	**	-	**	**
	Corixidae	<i>Micronecta</i> sp.	**	**	-	*	-	-	-	**	-	**	**
	Gerridae	<i>Limmogonus</i> sp.	*	**	-	*	-	*	-	*	-	*	*
	Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.	*	*	-	-	-	*	-	*	-	-	*
	Leptopodidae	<i>Valleriola</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	**	**	-	**	-	*	-	**	-	**	***
	Naucoridae	<i>Laccocoris</i> sp.	**	*	-	-	-	-	-	*	-	-	*
		<i>Macrocosis</i> sp.	*	-	-	*	-	-	-	*	-	*	-
		<i>Naucoris</i> sp.	**	*	-	-	-	-	-	**	-	**	***
	Notonectidae	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	
	Nepidae	<i>Ranatra</i> sp.	**	**	-	*	-	-	-	*	-	*	**
	Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.	**	**	-	*	-	-	-	**	-	**	**
		<i>Rhagovelia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
Odonates	aeshnidae	<i>Aeshna</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	
	Coenagrionidae	<i>Coenagrioncnemis</i> sp.	***	***	-	***	-	**	-	***	-	***	***
		<i>Pseudagrion</i> sp.	**	***	-	***	-	***	-	***	-	***	***
	Corduliidae	<i>Hemicordulia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
	Isostictidae	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	
	Libellulidae	<i>Crocothemis</i> sp.	-	*	-	*	-	*	-	*	-	-	-
		<i>Diplacodes</i> sp.	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
<i>Orthetrum</i> sp.		-	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Pantala</i> sp.		*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Zygonyx</i> sp.	***	**	-	**	-	**	-	**	-	**	**		

3.3 Structure and diversity of aquatic insects in stations

The summary of insect's Communities structural indicators in stations was presented in Table 3. A total of 68 taxa and 7230 Individuals insects were collected. The highest value of abundance (1588 individuals) was recorded in station P8 near the village of Aguien (Table 1). The station P10 near the mouth of the Bété River has the largest taxonomic richness (40 taxa) with 1000 individuals. The lowest abundance (27 individuals) was recorded in station P3 located at the mouth of

the Djibi River. Globally; Chironomidae represented more than third of Diptera abundance. The taxonomic richness and abundance of the riverbank stations (P1, P2, P4, P6, P8 and P10 P11) are higher than those of the open water stations (P3, P5, P7 and P9). The diversity analysis showed that the stations had relatively low Shannon index values ranging from 1.77 (station P8) to 2.44 bit (station P1). However, equitability values were relatively high in open water stations compared to riverbank stations.

Table 3: Structural Indicators of aquatic insects in stations

Index	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Taxa richness_S	40	31	7	30	5	22	6	37	6	35	38
Total Abundance	1000	1018	27	871	86	316	30	1588	209	1399	686
EPT abundance	78	155	0	33	0	12	0	18	0	19	42
Chironomidae Abundance	420	504	13	577	72	161	26	1304	173	1142	319
Diptera Abundance	438	507	29	393	88	163	33	1310	212	1212	336
Other orders abundance	483	358	0	254	0	142	0	261	0	154	307
Shannon_H	2,44	2,12	1,65	1,38	1,31	1,86	1,3	1,17	1,22	1,25	2,19
Equitability_J	0,66	0,62	0,85	0,41	0,82	0,6	0,72	0,32	0,68	0,35	0,6

3.4 Correlation between water physicochemical parameters and Insects distribution

A canonical correspondence analysis was performed between water physicochemical parameters and the abundances of the

8 orders of Aquatic Insects (Figure 3). The representativity of all the axes was very significant (p-value = 0.0009). Axis I expressed 45.39% of the information, Axis II expressed 24.44%. The first two axes represented 69.83% of total

variability. The analysis of the graph showed that nitrate contents, conductivity and turbidity were most influence the variation of the Aquatic Insects orders abundances. Axis I revealed an association of nitrate with Diptera whereas it is negatively associated with abundances of Lepidoptera orders.

However, on this axis I, turbidity, COD, and BOD are negatively correlated with the abundances of Hemiptera, Plecoptera, Trichoptera and Diptera. On axis II, there was an association between Conductivity and the abundances of Hemiptera, Coleoptera, Odonates, and Ephemeroptera.

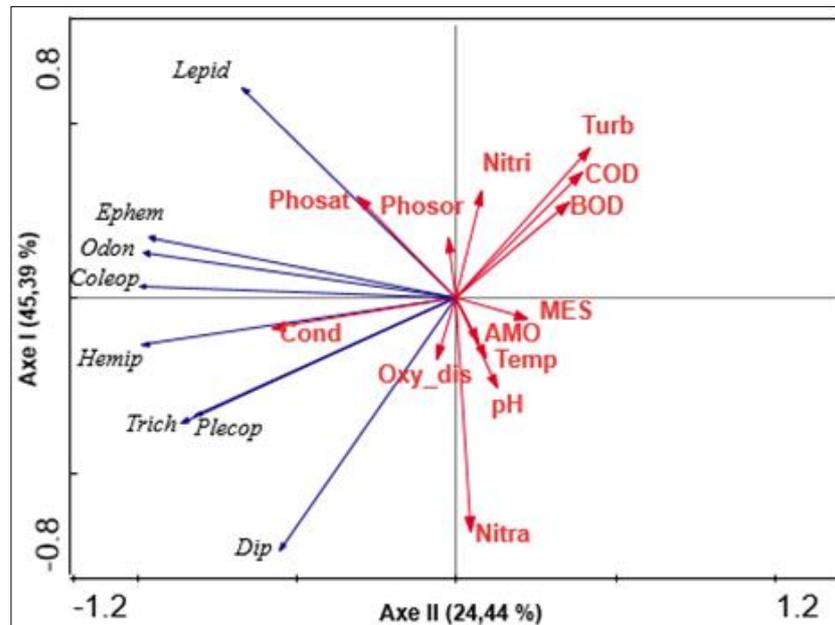


Fig 3: Canonical Correspondence Analysis (CCA) of aquatic insect orders and environmental variables. Temp: Temperature, Nitri: Nitrite, Nitra: Nitrate, AMO: Ammonium, Turb: turbidity, MES: Suspended substance, pH: Hydrogen potential, Cond: Conductivity, BOD: Biological oxygen demand, COD, Chemical oxygen demand, Phosat: Phosphate, Phosor: Phosphorus. Oxy_dis: Dissolved oxygen content. Coleop: Coleoptera, Hemip: Hemiptera, Trich: Trichoptera, Ephem: Ephemeroptera, Odon: Odonata, Plecop: Plecoptera, Lepid: Lepidoptera, Dip: Diptera.

3.5 Water quality evaluation

Table 4 summarizes the quality index data for the different sampling stations. The EPT index of the different stations fluctuated from 2 (station P6) to 7 (at stations P1, P8 and P11). Stations P3, P5, P7 and P9 located in open water had not recorded any individual belonging to the EPT complex. Pollution tolerance index for riverbank stations range from

0.01 (P8 station) to 0.31 (P2 station). Overall, the P3, P5, P7 and P9 stations located in the open water of Aghien lagoon have pollution tolerance index values equal to 0. From these two index of pollution tolerance and Chironomidae, the Sampling stations waters (P1, P2, P3, P4, P6 and P11) are moderately polluted, while P5, P7, P8, P9 and P10 have the characteristics of highly polluted water.

Table 4: Water quality index in the study stations. MP: moderately polluted, HP: high polluted.

Index	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
EPT/C	0,19	0,31	0	0,09	0	0,07	0	0,01	0	0,02	0,13
EPT Index	7	5	0	4	0	2	0	7	0	6	7
% Chironomidae	42	49,51	48,15	66,25	83,72	50,95	86,67	82,12	82,78	81,63	46,5
Quality class	MP	MP	MP	MP	HP	MP	HP	HP	HP	HP	MP

3. Discussion

The spatial variation of the different abiotic descriptors of the Aghien lagoon reveals that the parameters considered do not vary significantly from one station to another. This non-significant variability of the abiotic parameters between the prospected sites could be explained by a permanent exchange of the water of the various stations considered under the impulse of the waves, current on the surface of the lagoon, which could cause important circulations of water masses [23]. Moreover, this result shows that the physicochemical parameters of the water were at times beyond the thresholds required for good quality water [24]. These fluctuations could be explained by several phenomena including exposure to solar radiation, the extent of photosynthetic activity of algae and aquatic plants, the presence of dissolved solids, the impacts of human activities in the watershed of lagoon

(agriculture, waste dumping ...) [25]. The results obtained during this study showed that entomological composition of lagoon waters is similar to those described in many African waters. They corroborated several studies that have shown the predominance of the class of insects in aquatic environments [26, 27, 28]. However, each station had a low diversity imputed to environmental conditions. Similarly, very low values of equitability index were observed in some stations would reflect unbalanced insect's population organization. Other stations showed a balanced stand in terms of taxon ($E > 0.6$). This result is linked to habitat stability and biotic interactions [29]. Plecoptera, Ephemeroptera and Trichoptera are considered indicator organisms that tend to disappear when water becomes polluted. Consequently, the presence of Perlidae of the order Plecoptera, of four respective families of the orders

of Ephemeroptera and Trichoptera in some stations could reflect the average quality of these waters [27]. This situation was confirmed by the low values of the EPT index in the different stations. However, the results of the EPT/C index confirmed that Aghien lagoon waters were fair quality [20]. This was confirmed by the relative abundance of Chironomidae, which is an indicator of water pollution of heavy metals [22]. The values of this index indicated an average polluted water overall. Physicochemical factors conditioned life in the aquatic environment. Among these parameters, the most important are the temperature and the dissolved oxygen level [20]. Indeed, the temperature of the water influenced the quantity of oxygen and available energy for the biological productivity and the chemical processes in the lakes necessary for aquatic life. This assertion confirmed the results of the canonical correspondence analysis, which showed that that nitrate contents, conductivity and turbidity were most influence the variation of the Aquatic Insects orders abundances. Second, this would be justified by the impact of anthropogenic releases on the distribution of these organisms [8].

4. Conclusion

This study was carried to characterize the entomological fauna of Aghien lagoon waters and to appreciate the ecological quality. The different physicochemical parameters considered did not varied significantly in stations. All the insects collected in the Aghien lagoon are quite diversified with 68 taxa from 46 families. The waters of the studied stations are moderately polluted and seem to show signs of disturbance reflected by the physicochemical parameters. The waters of the Aghien Lagoon are full of taxa such as *Diplonycus* sp. *Micronecta* sp. which are vectors and/or potential parasitic hosts of *Microbacterium ulcerans*, causative agent of Buruli ulcer. Thus, this lagoon should be subject to bio-surveillance.

5. Acknowledgement

Data of this study were collected during the project "Study of the water quality of the Aghien Lagoon" and authors are grateful to the promoters of this project: "Agence Française pour le Développement" (AFD), Jean Lorougnon Guédé University and "Ministère des Eaux et Forêts de Côte d'Ivoire".

6. References

1. Weiss VH, McBride AE, Soriano MA, Filman DJ, Silver PA, Hogle JM. The structure and oligomerization of the yeast arginine methyltransferase; *Nature Structural Biology*. 2000; 7(12):1165-71.
2. Kinzig A, Pacala SW, Tilman D. *The Functional Consequences of Biodiversity*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2002, 6.
3. Diomandé D, Bony KY, Edia OE, Konan KF, Gourène G. Diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*. 2009; 35(3):368-377.
4. Ben Moussa A, Chahlaoui A, Rour E, Chahboune M. Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*. 2014; 1:183-198.

5. Mary N, Archaimbault V. Amélioration des méthodes indiciaires Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio-sédimentaire (IBS). Phase 2. Rapport Ethyc'o Et Irstea, Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie, Nouméa, 2012, 75.
6. Moisan J, Pelletier L. Réponses des macroinvertébrés benthiques à la contamination métallique–Site minier de Notre Dame de Montauban, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2014, 24.
7. Gagnon E, Pedneau J. Surveillance Volontaire (SurVol) Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec, Canada, 2006, 25.
8. Mary N, Archaimbault V. Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie et Indice Biosédimentaire: guide technique, Davar, Pôle de l'Observatoire de la Ressource en Eau, 2011, 58.
9. Gratton N. Les communautés des macroinvertébrés benthiques, un indicateur de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Etat du Saint-laurent, Bibliothèque et Archives Canada, 2010. ISBN 978-1-100-96184-2.
10. Koffi KJP, N'go YA, Yéo KM, Koné D, Savané I. Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune. *Larhyss Journal*. 2014; 19:19-35.
11. Guiral D, Ferhi A. Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical: La lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Oceanologica Acta*. 1989; 12:47-55.
12. Traoré A, Ahoussi KE, Aka N, Traoré A, Soro N. Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (sud-est de la côte d'ivoire). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*. 2015; 3(4):312-322.
13. Aliko GN, Boussou KC, Konan KF, Bony KY. Seasonal variations in condition factor of two freshwater fish species belonging to the genus *Schilbe* oken, 1817 (*Schilbe Mandibularis* and s. *intermedius*) in an estuarine ecosystem, aghien lagoon (Côte d'ivoire, West Africa). *International Journal of Advanced Research*. 2017; 5(9):1333-1339.
14. Durand JR, Chantraine JM. L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes. *Revue Hydrobiologie Tropicale*. 1982; 15(2) :85-113.
15. Dickens CWS, Graham PM. The South African Scoring System (SASS) Version 5 rapid Bioassessment methods for Bergers. *African Journal of Aquatic Sciences*. 2002; 27:1-10.
16. Dejoux C, Elouard JM, Forge P, Maslin JL. Catalogue Iconographique des Insectes Aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, Bouaké, 1981, 172.
17. Humbert JF. Rapport sur la mission « lagune Aghien ». Rapport d'expertise, AFD-MINEF-SODECI-C2D, 2012, 25p.
18. Ramade F. *Elément d'écologie : Ecologie fondamentale*. Dunos, (éd.), Paris, 2, 2003, 190p.
19. Albertoni EF, Prellvitz LJ, Palma-Silva C. Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphaoides indica* insubtropical lakes (south Brazil).

- Brazilian Journal of Biology. 2007; 67(3):499-507.
20. Koumba M, Mipounga HK, Koumba AA, Koumba CRZ, Mboye BR, Liwouwou JF *et al.* Diversité familiale des macroinvertébrés et qualité des cours d'eau du Parc National de Moukalaba Doudou (sud-ouest du Gabon). *Entomologie Faunistique*. 2017; 70(1-3):107-120.
 21. Rosa BJFV, Rodrigues LFT, Da Gama Alves R, De-Oliveira GS. Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014; 186:7771-7779.
 22. Mary N. Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Thèse de doctorat, Nouméa, Nouvelle-Calédonie: Université Française du Pacifique, 1999, 181 p.
 23. Kouamé KM. 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, 2014, 201 p.
 24. Bernard C, Humbert JF, Montuelle B, Quiblier C, Troussellier M. Paramètres pour la surveillance des cyanobactéries & cyanotoxines et notion d'indicateurs Université de Daloa, Formation université de Daloa, Programme Wasaf/ AFD, Institut Pasteur, Côte d'Ivoire, 2016, 380-443.
 25. Yéo KM. Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments, et statut trophique du système lagunaire périurbain Adjinpou (Côte d'Ivoire). Thèse unique. Université Abobo-Adjamé, 2015, 189.
 26. Edia OE. Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2008, 171.
 27. Alhou B, Micha JC, Dodo A, Awais A. Etude de la qualité physicochimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2009; 3:240-254.
 28. Mboye B. Etude préliminaire du bassin de l'Ivindo. Rapport de mission, Libreville, 2014, 16.
 29. Massolou AM. Utilisation des traits bioécologiques des macroinvertébrés comme outils complémentaires à l'indice Biologique global Normalisé pour l'évaluation des risques de pollution des écosystèmes aquatiques. Master II Recherche Université de Montpellier 2, France, 2010, 77.

RESUME

La lagune Aghien est une lagune d'eau douce périurbaine située au sud-est de la Côte d'Ivoire qui constitue une alternative pour l'approvisionnement en eau potable des villes environnantes. Cependant, avant d'envisager l'exploitation de cette ressource, il est nécessaire de s'assurer des potentialités réelles de la lagune Aghien. L'utilisation efficace de ce plan d'eau impose d'en connaître son fonctionnement qui passe par l'évaluation de sa qualité écologique. La présente étude a pour but d'évaluer la qualité écologique de la lagune Aghien et l'influence de ses affluents à travers les macroinvertébrés aquatiques. La collecte des données a été faite à un rythme mensuel entre juin 2014 et mai 2015 dans onze stations définies sur cette lagune à l'aide d'une benne Van Veen (0,15 m² de sédiment par échantillon) et d'un filet troubleau (250 µm vide de maille). L'inventaire effectué a mis en évidence 90 taxons de macroinvertébrés aquatiques appartenant à 62 familles réparties en 17 ordres. La richesse taxonomique est majoritairement dominée par les Insectes suivis des Mollusques. Dans ces deux groupes, les Cénogastéropodes, les Diptères, les Coléoptères et les Hémiptères sont les plus diversifiés. Trois taxons, *Chironomus* sp., Orthocladiinae et Oligochètes, sont communs à toutes les stations. La composition faunistique des Mollusques est dominée par les Thiaridae et les Planorbidae, avec pour principaux taxons *M. tuberculata* et *P. loricincta*. Concernant les Arthropodes, les familles des Belostomatidae; Chironomidae, Coenagrionidae, Culicidae, Leptophlebiidae, Mesoveliidae, et Psychodidae sont dominantes en termes d'abondances. Les Chironomidae (*Chironomus* sp.) et les Thiaridae (*P. byronensis*, *P. fusca*, *P. loricincta*) sont les plus importantes familles des communautés benthiques. Les habitats situés sur les berges sont quant à eux caractérisés par *Enochrus* sp., *Coenagriocnemis* sp., *Pseudagrion* sp. et *Zygonix* sp., *Labiobaetis* sp. et *Adenophlebia* sp., *Limmogonus* sp., *M. vittigera* et *Microvelia* sp., *L. natalensis*, *I. exustus*, *M. tuberculata* et *A. serrata*. L'organisation trophique de stations, indique une prépondérance des prédateurs et des détritivores. Globalement, les communautés sont peu diversifiées et la variabilité est faible entre les stations d'échantillonnage. Les paramètres physico-chimiques influencent peu la structure des communautés de macroinvertébrés de la lagune Aghien. Cependant, les teneurs en nitrate et en DBO sont les paramètres les plus déterminants. La diversité des peuplements et les indices biologiques utilisés indiquent globalement que l'eau de la lagune Aghien est de qualité passable et serait soumise à une pollution organique.

Mots clés : Diversité, macroinvertébrés, qualités des eaux, bioindicateurs, lagune Aghien, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The Aghien Lagoon is a periurban freshwater lagoon located in the southeast of Côte d'Ivoire which is an alternative for the drinking water supply of the surrounding towns. However, before considering the exploitation of this resource, it is necessary to ensure the real potentialities of the Aghien lagoon. The efficient use of this waterbody requires knowing its functioning by evaluating the ecological quality. This study aimed to evaluate the ecological quality of the Aghien lagoon and the influence of its tributaries with the use of aquatic macroinvertebrates. Data collection was carried out monthly between June 2014 and May 2015 in eleven sampling sites using a Van Veen grab methods (0.15 m² of sediment per sample) and a hand net (mesh size: 250µm). The inventory revealed 90 aquatic macroinvertebrate taxa belonging to 62 families and 17 orders. Taxonomic richness is mainly dominated by Insects followed by Molluscs. In these two groups, caenogaasteropoda, Diptera, Coleoptera and Hemiptera are most diversified. Three taxa, *Chironomus* sp., Orthocladiinae and Oligochaeta, were common to all stations. Molluscs fauna composition is dominated by Thiaridae and Planorbidae families with *M. tuberculata* and *P. loricincta* as main taxa. Concerning Arthropoda, families of Belostomatidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Culicidae, Leptophlebiidae, Mesoveliidae and Psychodidae were dominant in abundance. Chironomidae (*Chironomus* sp.) and Thiaridae (*P. byronensis*, *P. fusca*, *P. loricincta*) are the most important families of benthic communities. The habitats located on the banks are characterized by *Enochrus* sp., *Coenagriocnemis* sp., *Pseudagrion* sp. and *Zygonix* sp., *Labiobaetis* sp. and *Adenophlebia* sp., *Limmogonus* sp., *M. vittigera* and *Microvelia* sp., *L. natalensis*, *I. exustus*, *M. tuberculata* and *A. serrata*. Stations trophic organization indicated a preponderance of predators and scavengers. Globally, the communities are not very diversified and variability is low between sampling sites. Physicochemical parameters have little influence on the structure of macroinvertebrate communities in the Aghien lagoon. However, the nitrate content and the BOD are the most important parameters. The diversity of the stands and the biological index used indicate globally that the water of the Aghien lagoon is of fair quality and will be subjected to an organic pollution.

Key words: Diversity, macroinvertebrates, water quality, bioindicators, Aghien lagoon, Côte d'Ivoire.