

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE
DE BOBO-DIOULASSO

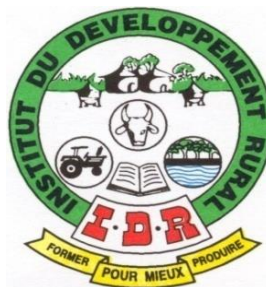
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

01 BP. 1091 BOBO-DIOULASSO 01

Tél. : (00226) 97-33-72 / 98-06-35

Fax : 97-33-72 / 98-25-77

idr@univ-bobo.bf



BURKINA FASO

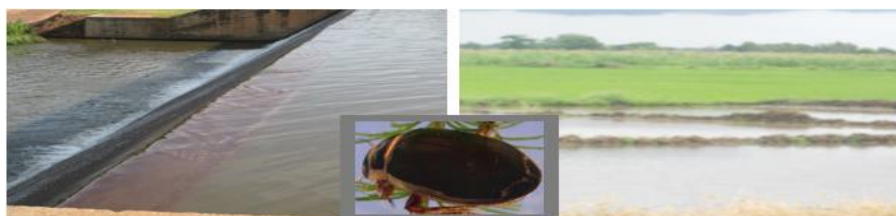
Unité – Progrès – Justice

ECOLE DOCTORALE SCIENCES NATURELLES ET AGRONOMIE

THÈSE DE DOCTORAT UNIQUE EN DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : Systèmes de Production Forestière

Spécialité: Production Halieutique



**Inventaire des macroinvertébrés de différents plans d'eau du
bassin de la Volta en vue de l'identification des taxons
bioindicateurs dans un continuum barrage hydroagricole-
effluent-fleuve au Burkina Faso.**

Présentée par **SANOGO Souleymane**

Devant le JURY composé de :

M. SAWADOGO Laya,	Professeur titulaire,	Université de Ouagadougou,	Président
M. BELEM Adrien Marie Gaston,	Professeur titulaire,	Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso,	Rapporteur
M. ATSE Boua Célestin,	Directeur de recherche,	Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan,	Rapporteur
M. NITIEMA Pierre Clovis,	Maître de Conférences,	Université de Ouagadougou,	Rapporteur
M. KABRE Tinkoudgou Jean André,	Maître de Conférences,	Université Polytechnique de Bobo- Dioulasso,	Directeur de thèse
M. PODA Jean-Noël,	Directeur de recherche,	IRSS/CNRST Ouagadougou,	Examineur

N° : 035-2014/E&F, Thèse

05 Décembre 2014

Signification des photographies sur la page de garde:

- Photographie de gauche : Déversoir du barrage hydroagricole de Boura dans la province de la Sissili, Burkina Faso;
- Photographie de droite : Plaine irriguée au niveau de la vallée du Kou à Bama dans la province du Houet, Burkina Faso;
- Les macroinvertébrés coléoptères abondent dans les plans d'eau du bassin de la Volta.

Institutions impliquées dans la réalisation de la thèse



Université Polytechnique de Bobo Dioulasso
(Burkina Faso)



Consultative Group on International
Agricultural Research (Groupe Consultatif
pour la Recherche Agricole Internationale) /
Challenge Program on Water and Food



Centre de Coopération Internationale en
Recherche Agronomique pour le
Développement / Gestion de l'Eau, Acteurs,
Usages



Institut de Recherche pour le Développement

DEDICACE

Je dédie ce travail

A

Ma famille

Et

A

Tous mes amis

REMERCIEMENTS

Les travaux de cette thèse ont été réalisés au sein du Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et en Faune (LaRFPPF) de l'Institut du Développement Rural (IDR) de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso (UPB). C'est le moment ici d'exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur le Professeur KABRE Tinkoudgou Jean André. Le Professeur KABRE a d'abord créé un cadre virtuel qui a permis à bon nombre d'entre nous de pouvoir poursuivre nos études. Ces études nous ont permis de nous initier à la recherche et le présent travail est le fruit de sa très grande disponibilité. Le Professeur KABRE a été mon Directeur de mémoire de Master et maintenant mon Directeur de thèse. Monsieur le Professeur, acceptez mes très sincères remerciements.

Cette recherche a été effectuée dans le cadre du CPWF (Challenge Program on Water and Food) du CGIAR (Consultative Group on International Agriculture Research), qui est consolidé par le Département du ROYAUME-UNI pour le Développement International (DFID), la Commission européenne (CE), le Fond International pour le Développement Agricole (FIDA), et l'Agence Suisse pour le Développement et la Coopération (SDC). Le CPWF nous a octroyé une bourse de doctorat par le biais du CIRAD (Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement). C'est l'occasion de remercier toutes ces institutions, ainsi que tous ceux qui ont facilité l'obtention de la bourse. Je pense à Monsieur le Docteur CECCHI Philippe de l'IRD (Montpellier) qui m'a accompagné maintes fois sur le terrain, et surtout m'a permis de faire un voyage d'étude à Montpellier où j'ai pu rencontrer Madame le Docteur FOSSATI Odile de l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture) de Montpellier. Je remercie infiniment Madame le Docteur FOSSATI qui m'a aidé dans la détermination de certaines espèces de macroinvertébrés. Je profite de l'occasion pour dire grand merci à Monsieur le Docteur JAMIN Jean Ives du CIRAD de Montpellier pour son accueil et sa disponibilité pendant mon séjour à Montpellier.

Je suis très reconnaissant à Monsieur le Professeur SAWADOGO Laya de l'université de Ouagadougou qui a accepté présider mon jury de soutenance.

Il me plaît de témoigner toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur GUENDA Wendengoudi pour ces nombreux conseils lors de ses passages dans notre laboratoire. Nous avons énormément bénéficié de son expertise pour la détermination des macroinvertébrés.

Je remercie Monsieur le Professeur BELEM Adrien Marie Gaston qui a accepté être rapporteur de ma thèse et aussi pour ses encouragements. Je remercie de même Messieurs les Professeurs NITIEMA Pierre Clovis et ATSE Boua Célestin pour avoir bien voulu être également rapporteurs de ma thèse mais aussi pour leurs conseils. J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur le Docteur PODA Jean Noël pour ses conseils et d'accepter être membre de mon jury de thèse.

Mes remerciements vont à l'endroit de Monsieur le Professeur OUEDRAOGO Georges Anicet, président de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso pour les facilités administratives qui ont permis la tenue de ma soutenance. Mes remerciements vont à l'endroit de monsieur le Professeur NACRO Bismark Hassan et à Monsieur le Docteur BACYE Bernard du Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol (LERF) de l'IDR, pour m'avoir fait profiter du matériel de leur laboratoire et aussi de leurs encouragements. Je remercie également Monsieur le Professeur SOMDA Irénée ainsi que tous les Enseignants de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Monsieur le Docteur OUEDA Adama de l'Université de Ouagadougou et Monsieur le Docteur SYLLA Soumaïla du Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan (Côte d'Ivoire) pour leurs encouragements et leurs marques de sympathie à mon égard.

Je suis très reconnaissant envers les personnes suivantes pour de petits gestes, qui m'ont été très utiles :

- Mes amis OUEDRAOGO Abdoulaye, GUIRA Alassane, Docteur SARR Serigne Modou pour m'avoir accompagné très souvent sur le terrain ;
- OUEDRAOGO Richard de l'Institut de Recherche en Science de la Santé (IRSS) pour avoir lu et porté des corrections à mes articles et au document final ;
- BADOLO Bodoua César pour la correction de mon abstract ;
- Les pêcheurs Bassirou de Bama, Médard et Solo de Bala, Ousmane de Boura pour m'avoir transporté dans leurs pirogues à la recherche de macroinvertébrés ;
- Mes collègues de laboratoire N'DIAYE Sérigne Abdoul Aziz, NEYA Augustin Bapian, PALENFO Serge, OUEDRAOGO Blaise, SAWADOBO Boureima et BAMBA Djénéba pour leurs encouragements ;
- Mes amies étudiantes du CPWF, SANOU Korotimi de l'Université de Ouagadougou et NAPON Katian de l'Université de Koudougou ;

- Les membres du Cercle d'Etude de Recherche et de Formation Islamique (CERFI) de la section Houet, qui n'ont cessé de faire des bénédictions tout le long de cette thèse ;

Je termine par un grand remerciement à toute ma famille, qui a supporté mes longues absences.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES	xv
LISTE DES CARTES	xvii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	xviii
LISTE DES SCHEMAS.....	xix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	xx
RESUME.....	xxiii
ABSTRACT	xxv
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Généralités	4
I.1- Généralités sur les macroinvertébrés	5
Introduction :	5
I.1.1- Etat de connaissance sur quelques groupes taxonomiques de macroinvertébrés benthiques	5
I.1.1.1- Etat de connaissance sur quelques ordres d'insectes de macroinvertébrés benthiques	5
I.1.1.1.1- Ordres des Diptères.....	6
I.1.1.1.1 – Chironomidés.....	6
I.1.1.1.2- Ceratopogonidés.....	8
I.1.1.1.3- Tabanidés	9
I.1.1.1.4- Chaoboridés.....	9
I.1.1.2- Ordres des Ephéméroptères	9
I.1.1.2.1- Caenidés	10
I.1.1.2.2- Ephéméridés	10
I.1.1.2.3- Baetidés	11
I.1.1.2.4- Potamanthidés	11
I.1.1.3- Ordre des Odonates	11

I.1.1.3.1- Libellulidés	12
I.1.1.3.2 Gomphidés	13
I.1.1.3.3- Coenagriidés	13
I.1.1.4 Ordre des Coléoptères.....	13
I.1.1.5- Ordre des Trichoptères.....	15
I.1.1.5.1- Philopotamidés	17
I.1.1.5.2- Polycentropodidés	17
I.1.1.5.3 Ecnomidés	17
I.1.1.6- Ordre des Hémiptères/ Hétéroptères	18
I.1.1.7- Ordre des Plécoptères	19
I.1.2- Etat des connaissances sur d'autres macroinvertébrés benthiques	20
I.1.2.1- Oligochètes	20
I.1.2.2- Gastéropodes et les Lamellibranches	21
I.1.2- Ecologie des macroinvertébrés benthiques d'eau douce.....	22
I.1.2.1-Différentes communautés benthiques	22
I.2.2- Zonation des communautés dans un lac.....	22
I.2.3- Groupes trophiques	23
I.2.4- Influence de facteurs environnementaux	24
I.1.3- Concept du continuum écologique et bioindication par les macroinvertébrés benthiques	24
I.1.3.1- Concept du continuum écologique.....	24
I.1.3.2- Bioindication	26
I.1.3.3- Importance des macroinvertébrés en tant que bioindicateurs	27
I.1.3.4- Traits biologiques et écologiques	28
I.1.4- Synthèse de travaux sur les macroinvertébrés en Afrique de l'Ouest.....	29
I.1.4.1- Luttés vectorielles et leur conséquence sur la connaissance des macroinvertébrés ..	29
I.1.4.2- Macroinvertébrés et bioindication en Afrique de l'Ouest	30
I.1.4.3- Etat de connaissance des macroinvertébrés du Burkina Faso	32
I.2- Généralité sur le Burkina Faso	39
Introduction	39
I.2.1- Climat et Pluviométrie du Burkina Faso	39
I.2.2- Végétation du Burkina Faso	40

I.2.3- Géologie du Burkina Faso	41
I.2.4- Relief du Burkina Faso	42
I.2.5- Ressources en eaux et utilisation de l'eau du Burkina Faso	42
I.2.5.1- Ressources en eaux du Burkina Faso	42
I.2.5.2- Besoin en eau du Burkina Faso	43
Chapitre II : Méthodologie	46
II.1- Milieu d'étude : le bassin de la Volta	47
II.2.1- Hydrographie du bassin de la Volta	47
II.2.2- Climat du bassin de la Volta	48
II.2.3- Végétation du bassin de la Volta	49
II.2.4- Relief et pente au niveau du bassin de la Volta	50
II.2.5- Géologie du bassin de la Volta	50
II.2.6- Principales activités économiques au niveau du bassin de la Volta	50
II.3- Les petits barrages	51
II.2- Matériel et Méthodes	53
II.2.1- Etude de la structuration des macroinvertébrés	53
II.2.1.1- Choix des stations	53
II.2.1.1.1- A l'échelle du bassin	53
II.1.1.1.1- Caractéristiques des stations hydroagricoles	55
II.1.1.1.1.1- Station de Bama	55
III.1.1.1.1.2- Station de Boura	56
II.2.1.2- A l'échelle du barrage	56
II.2.1.2.1- Caractéristiques des stations d'étude	57
II.2.2- Matériel et méthodes d'échantillonnage	58
II.2.3- Analyses des données	63
II.2.3.1- Tri et identification des macroinvertébrés	63
II.2.3.2- Analyses statistiques	63
III.2.2.3- Indices écologiques	64
II.2.2.4- Caractérisation physico-chimiques des stations d'étude	65
II.2.2- Bioessais	67

II.2.2.1- Matériel.....	67
II.2.2.1.1- Matériel biologique.....	67
II.2.2.1.2- Matériel de récolte	69
II.2.2.2.- Protocole expérimental.....	71
II.2.2.3- Analyse des données des tests de Bioessais	74
Chapitre III : Résultats et discussion	75
III.1- Etude comparée de la structuration des macroinvertébrés du lac naturel de Bala et de celles des retenues hydroagricoles de Bama et de Boura	76
III.1.1- Caractéristiques physico-chimiques des trois stations.....	76
III.1.2- Structuration des macroinvertébrés du lac naturel de Bala et de ceux des retenues hydroagricoles de Bama et de Boura.....	81
III.1.2.1- Macroinvertébrés aquatiques collectés au niveau des trois retenues	81
III.1.2.1.1- Insectes aquatiques.....	85
III.1.2.1.1.1- Ordre des Coléoptères	85
III.1.2.1.1.2- Ordre des Hétéroptères	88
III.1.2.1.1.3- Ordre des Diptères.....	89
III.1.2.1.1.4- Ordre des Odonates.....	89
III.1.2.1.1.5- Ordre des Ephéméroptères	89
III.1.2.1.2- Vers aquatiques	89
III.1.2.1.3- Crustacés	89
III.1.2.1.4- Mollusques.....	90
III.1.2- Classifications hiérarchiques de dissemblance des retenues en fonction du matériel biologique collecté	90
III.1.3- Etude de l'évolution de la densité des macroinvertébrés benthiques au niveau des retenues de Bama, de Boura et de Bala	91
III.1.4- Diversité des macroinvertébrés des trois retenues.....	92
III.1.4.1- Fréquence d'occurrence (F).....	92
III.1.4.2- Diversité de Shannon	94
III.1.5- Regroupement des macroinvertébrés benthiques en fonction du nombre.....	95
III.1.5.1- Caractéristiques d'une station de référence.....	95
III.1.5.2- Regroupement des Macroinvertébrés caractéristiques des lacs hydro-agricoles du bassin de la Volta.....	96
III.1.6- Discussion.....	102

III.1.6.1- Choix de la station de Bala comme station de référence	102
III.1.6.2- Discussion sur la structuration des macroinvertébrés au niveau des stations de Bala, Bama et de Boura.....	102
Conclusion.....	105
III.2 : Etude de la structuration des macroinvertébrés le long d'un continuum lac de barrage – effluents issus des périmètres irrigués – fleuve	106
III.2.1- Discrimination des populations de macroinvertébrés des stations d'échantillonnage	106
III.2.2- Variabilité structurelle des peuplements de macroinvertébrés	112
II.2.2.1-A l'échelle du lac de barrage.....	112
III.2.2.2- A l'échelle du continuum lac de barrage-effluents-fleuve.....	113
III.2.3- Regroupement des macroinvertébrés caractéristiques de l'effluent issu des périmètres irrigués	117
III.2.4- Discussion.....	121
Conclusion.....	123
III.3- Tests de toxicité d'herbicides sur <i>Crenitis sp</i> (Coléoptères, Hydrophilidés)	123
III.3.1- Mesures des variables physico-chimiques.....	123
III.3.2- Résultats des différents bioessais.....	124
III.3.3- Recherche graphique des EC ₅₀ de chaque herbicide.....	129
III.3.4- Comparaison des EC ₅₀ des deux produits, seul et en mélange (mélange 1)	132
III.3.4- Discussion.....	133
Conclusion.....	134
DISCUSSION GENERALE	135
CONCLUSION GENERALE ET PERPECTIVES	137
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	139
Webographie.....	157
ANNEXES.....	a
Annexe1 : Présentation de la thèse à des activités internationales	b
Annexe 2 : Résumé de l'article sur la distribution des macroinvertébrés au niveau du lac naturel de Bala et des retenues hydro-agricoles de Bama et de Boura.....	c

Annexe 3 : Résumé de l'article sur la distribution des macroinvertébrés au niveau du continuum.....	e
Annexe 4 : Résumé de l'article sur le bioessai.....	g
Annexe 5: Tableau d'identification des espèces, genres et familles rencontrés dans les plans d'eau de Bama, Bala et de Boura.....	i
Annexe 6 : Synthèse des différences entre les valeurs mensuelles des indices de diversité de Shannon au niveau des stations	k
Annexe 7 : Fiche pour les bioessais au laboratoire.....	l
Annexe 8 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Bama de Juin 2011 à janvier 2012	m
Annexe 9 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Bala de Juin 2011 à janvier 2012	n
Annexe 10 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Boura de Juin 2011 à janvier 2012	o

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Etat de l'inventaire faunistique des Diptères du Burkina Faso	34
Tableau 2: Etat d'inventaire des diptères du Burkina Faso (suite 1)	35
Tableau 3: Etat de l'inventaire faunistique des Diptères du Burkina Faso (suite 2)	35
Tableau 4: Etat de l'inventaire faunistique des Trichoptères du Burkina Faso	35
Tableau 5: Etat d'inventaire des Trichoptères du Burkina Faso (Suite).....	36
Tableau 6: Etat d'inventaire des Plécoptères du Burkina Faso	37
Tableau 7: Etat d'inventaire des Ephéméroptères du Burkina Faso	37
Tableau 8: Etat d'inventaire des Coléoptères du Burkina Faso	37
Tableau 9: Etat d'inventaire des Odonates du Burkina Faso	37
Tableau 10: Etat d'inventaire des Hétéroptères du Burkina Faso	38
Tableau 11: Etat d'inventaire des Lépidoptères du Burkina Faso	38
Tableau 12: Etat d'inventaire des Annélides et Mollusques du Burkina Faso	38
Tableau 13: Besoin en eau du Burkina Faso (Source: http://www.eauburkina.bf).....	44
Tableau 14: Ressources en eau du Burkina Faso (Source: http://www.eauburkina.bf) ..	44
Tableau 15: Composition minérale de l'eau de dilution.....	71
Tableau 16: Différentes concentrations d'atrazine ayant servi aux expérimentations	72
Tableau 17: Différentes concentrations de diuron ayant servi aux expérimentations	73
Tableau 18: Mélanges des différentes concentrations d'atrazine et de diuron (Mélange 1) selon une direction allant des plus fortes aux plus petites concentrations.....	73
Tableau 19: Mélanges des différentes concentrations d'atrazine et de diuron (Mélange 2) selon des directions opposées de la plus forte additionnée à la plus faible dose	74
Tableau 20: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la mare aux hippopotames de Bala.....	76
Tableau 21: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la retenue d'eau hydro-agricole de Bama	77
Tableau 22: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la retenue hydro-agricole de Boura.....	77
Tableau 23: Probabilités pour que les variables physico-chimiques du littoral soient identiques à celles du sublittoral (en gras: valeurs indiquant une différence statistique)	78
Tableau 24: Concentrations de nitrate et d'orthophosphate mesurées au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura	78

Tableau 25: Variation de la profondeur et de la transparence au niveau du littoral et du sublittoral dans la mare de Bala et des retenues d'eau de Bama et de Boura de février à avril (mesure en cm)	79
Tableau 26: Variation de la profondeur et de la transparence au niveau du littoral et du sublittoral dans la mare de Bala et dans les retenues d'eau de Bama et Boura de mai à juillet (mesures en cm).....	80
Tableau 27: Abondance numérique des macroinvertébrés collectés au niveau de la mare aux hippopotames de Bala de février à juillet 2012.....	82
Tableau 28: Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau du plan d'eau de Bama de février à juillet 2012	83
Tableau 29: Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Boura de février à juillet 2012.....	84
Tableau 30: Résultats du t-test sur les moyennes des densités de macroinvertébrés benthiques (valeurs mensuelles, N=6) des retenues de Bala, Bama et de Boura avec p étant la probabilité que les moyennes soient identiques.....	91
Tableau 31: Fréquence d'occurrence des différentes familles de macroinvertébrés échantillonnées dans les retenues de Bala, Bama et de Bala	93
Tableau 32: Résultat du t-test sur les moyennes des indices de diversités (valeurs mensuelles, N=6) des retenues de Bala, Bama et Boura avec p étant la probabilité que les moyennes soient identiques	95
Tableau 33: Pourcentage des familles de macroinvertébrés échantillonnées seulement dans la mare aux hippopotames de Bala	97
Tableau 34: Groupes de macroinvertébrés caractéristiques de retenues d'eau du bassin de la Volta	99
Tableau 35: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Insectes) échantillonnés au niveau de deux stations d'observation du barrage de Boura pendant la période de février à juillet 2012.....	108
Tableau 36: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Crustacés, Vers, Mollusques) échantillonnés au niveau de deux stations d'observation du barrage de Boura pendant la période de février à juillet 2012	109
Tableau 37: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Coléoptères, Hétéroptères, Ephéméroptères et Odonates) échantillonnés au niveau des stations situées sur l'effluent issu du lac de barrage de Boura de février à juillet 2012	110

Tableau 38: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Diptères, Crustacés, Vers, Mollusques) échantillonnés au niveau des stations situées sur l'effluent issu du lac de barrage de Boura de février à juillet 2012	111
Tableau 39: Comparaison de la variation mensuelle de l'indice de diversité de Shannon suivant un transept allant du littoral au sublittoral du lac de barrage de Boura; la Plus Petite Différence Significative de Fisher (PPDS avec $\alpha = 5\%$) est utilisée.....	112
Tableau 40: Indice de similarité de Sørensen entre les différents sites du lac de barrage au fleuve.	114
Tableau 41: Comparaison de la variation mensuelle de l'indice de diversité de Shannon le long du continuum lac de barrage-effluent-fleuve Mouhoun; la comparaison utilise la Plus Petite Différence Significative de Fisher (PPDSF avec $\alpha = 0,05$)	115
Tableau 42: Variables chimiques mesurées au niveau du réservoir de Bama et des zones de récoltes de l'espèce <i>Crenitis sp.</i>	124
Tableau 43: Nombre de <i>Crenitis sp</i> immobiles en présence de concentrations d'atrazine	125
Tableau 44: Nombre de <i>Crenitis sp</i> immobiles en présence de différentes concentrations de diuron	126
Tableau 45: Nombre de <i>Crenitis sp</i> immobiles en présence d'un mélange d'atrazine et de diuron différentes concentrations (mélange1)	127
Tableau 46: Nombre de <i>Crenitis sp</i> immobiles en présence d'un mélange d'atrazine et de diuron à différentes concentrations (mélange 2)	128
Tableau 47: Comparaison des EC_{50} de l'atrazine et du diuron (seul et en synergie) utilisés dans les tests de toxicité avec les individus de l'espèce <i>Crenitis sp.</i>.....	133

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution du nombre de réservoirs au Burkina Faso. Base de données DGRE 2001. (Source : Cecchi et al., 2009).....	53
Figure 2: Formule chimique du diuron	70
Figure 3: Formule chimique de l'atrazine	70
Figure 4: Variation du nombre d'espèces par famille de Coléoptères au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura	87
Figure 5: Variation mensuelle du nombre d'individus des espèces <i>H. ferruginicollis</i> , <i>H. iricollis</i> et <i>H. atripennis</i> de la famille des Notéridés communément rencontrées dans les plans d'eau de Bala, Bama et Boura	88
Figure 6: Classification hiérarchisée des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura basée sur la similarité des assemblages de familles de macroinvertébrés	90
Figure 7: Evolution de la densité de macroinvertébrés benthiques au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura.	92
Figure 8: Evolution de l'indice de diversité de Shannon au niveau des plans d'eau de Bala, de Bama et de Boura.	94
Figure 9: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés de la mare aux hippopotames de Bala présents dans les retenues hydro-agricoles de Bama et de Boura	100
Figure 10: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés des retenues d'eau hydro-agricoles présents dans la mare aux hippopotames de Bala.	101
Figure 11: Classification hiérarchisée des différentes stations basée sur la similarité des assemblages de familles de macroinvertébrés	107
Figure 12: Comparaison des régressions linéaires des indices de diversité de Shannon obtenues au niveau du littoral et du sublittoral dans le barrage de Boura de février à juillet 2012.....	113
Figure 13 : Répartition spatiale de macroinvertébrés non communs aux stations situées sur l'effluent du lac de barrage jusqu'au fleuve Mouhoun.	116
Figure 14: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés du lac de barrage de Boura	118
Figure 15: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés échantillonnés au niveau des périmètres irrigués	119

Figure 16: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés échantillonnés au niveau du fleuve Mouhoun et de la zone intermédiaire.....	120
Figure 17: Concentration efficace (EC₅₀) de l'atrazine et des mélanges sur l'espèce <i>Crenitis sp.</i>.....	130
Figure 18: Concentration efficace (EC₅₀) du diuron et des mélanges sur l'espèce <i>Crenitis sp.</i>	131
Figure 19: Comparaison des EC₅₀ de l'atrazine et du diuron seul et en synergie utilisés dans les tests de toxicité aux individus de l'espèce <i>Crenitis sp.</i>.....	132

LISTE DES CARTES

Carte 1: Zones climatiques du bassin de la Volta (Source: UNEP/GEF, 2008)	49
Carte 2: Carte représentant les différents bassins du Burkina Faso et la situation des retenues d'eau de Bala, Bama et de Boura	55
Carte 3: Carte représentant la situation des stations d'échantillonnage au niveau du lac de barrage de Boura et au niveau du continuum	58

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1: <i>Derallus sp</i> (Coléoptères, Hydrophilidés)	15
Photographie 2 : <i>Nepa sp</i>.....	19
Photographie 3 : Individus de la famille des Népidés.....	19
Photographie 4 : Prolifération de plantes aquatiques au niveau de la mare aux hippopotames de Bala.....	62
Photographie 5 : Disque de Secchi	66
Photographie 6 : Multiparamètre de type Multi 3430 WTW	66
Photographie 7 : <i>Crenitis punctatostrata</i> Letzner, 1840 (Source: ICONOGRAPHIA COLEOPTERORUM POLONIAE, Copyright © by Lech Borowiec	69
Photographie 8 : <i>Hydrocanthus ferruginicollis</i> (Source : © Zoological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Curator Assistant Professor Alexey Solodovnikov : Photo: Nicolas Ioannou, 2009)	86

LISTE DES SCHEMAS

Schéma 1: Larve, Nymphe et adulte d'espèce de Chironomidés	7
Schéma 2: Larve, nymphe et adulte d'espèce de Cératopogonidés.....	8
Schéma 3: Vue d'ensemble des Ephéméroptères (Moisan, 2010)	10
Schéma 4: Exemples d'Odonates	12
Schéma 5: Vue d'ensemble des Coléoptères. a) vue ventrale; b) vue dorsale.....	14
Schéma 6: Vue d'ensemble des Trichoptères (Source : Moisan, 2010).....	16
Schéma 7: Différents sortes d'étui chez les Trichoptères	17
Schéma 8: Vue d'ensemble des Plécoptères (Source : Moisan, 2010).....	20
Schéma 9: Coquilles de Gastéropodes	21
Schéma 10: Coquilles de Bivalves	22
Schéma 11: Disposition des points d'échantillonnage au niveau d'une retenue	60
Schéma 12: Exemple de positionnement théorique des points d'échantillonnage des invertébrés benthiques dans un plan d'eau naturel (Mazzela et al., 2009).....	61
Schéma 13: Forme générale de <i>Crenitis sp</i>	68
Schéma 14: Palpe maxillaire de <i>Crenitis sp</i>	68

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACR : Approche fondée sur les Conditions de Référence

AFNOR: Association Française de Normalisation

CE: Commission Européenne

CGIAR: Consultative Group on International Agricultural Research

CPWF: Challenge Program on Water and Food

CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

cm : centimètre

CNRST : Centre national de la recherche scientifique et technologique

CPOM : Coarse Particulate Organic Matter

DCE : Directive Cadre Européenne de l'Eau

DGRE : Direction Générale des Ressources en Eau

EC₅₀ : Concentration efficace qui neutralise cinquante pour cent des organismes tests

EPT: Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères

FIDA : Fond International pour le Développement Agricole

FPOM: Fine Particulate Organic Matter

GEF: Global Environment Facility

g/l: gramme par litre

GLOWA: Global Change and Hydrological Cycle

ha : hectare

IBEM : Indice Biologique des Etangs et Mares

IBGN: Indice Biologique Global Normalisé

IBL : Indice Biologique Lacustre

IMOL : Indice Mollusques (de qualité des systèmes lacustre)

IRD : Institut de Recherche et de Développement

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences appliquées et technologie

IRSS : Institut de Recherche en Science de la Santé

IRSTEA : Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture

ISO : International Organization for Standardization

IOBL : Indice Oligochète de Bioindication Lacustre

IOBS : Indice Oligochète de Bioindication des Sédiments

km : kilomètre

km² : kilomètre carré

km³ : kilomètre cube

m : mètre

m² : mètre carré

m³ : mètre cube

ml : millilitre

mm : millimètre

OCP : Programme de lutte contre l'Onchocercose en Afrique de l'Ouest

ONEA : Office National d'Eau et de l'Assainissement

SDC: Agence Suisse pour le Développement et la Coopération

SIEREM: Système d'Informations Environnementales sur les ressources en Eaux

UMR G-eau : Unité Mixte de Recherche, Gestion de l'Eau Acteurs et Usages

UNEP : United Nations Environment Programme

UPOM : Ultrafine Particulate Organic Matter

US EPA: United States Environmental Protection

°C : degré Celsius

© : Copyright – droit exclusif d'un auteur sur l'exploitation de son oeuvre

RESUME

Une étude d'inventaire des macroinvertébrés (Insectes, Mollusque, Vers et Crustacés) et de bioessais s'est déroulé au niveau de plan d'eau du bassin de la Volta (Burkina Faso) en vue de l'identification des taxons bioindicateurs au niveau de continuum barrage hydroagricole-effluent-fleuve. L'échantillonnage des macroinvertébrés s'est inspiré de la méthode conventionnelle de la « Directive Cadre sur l'Eau de l'union européenne (DCE) » préconisée pour l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques. L'étude comparative de retenues hydroagricoles (Bama et Boura) au lac naturel de Bala a permis d'identifier 33 familles de macroinvertébrés dont 25 étaient présentes à Bama, 23 à Boura et 30 à Bala. Le plan d'eau naturel de Bala se distingue des deux réservoirs artificiels par la présence endémique de Crustacés de l'ordre des Cladocères et de 7 familles d'Insectes dont des Gyrinidés (Coléoptères), des Pleidés (Hétéroptères), des Baetidés et des Ephémérellidés (Hépheméroptères), des Tabanidés, des Cératopogonidés et des Canaceidés (Diptères). Inversement, les deux plans d'eau de Bama et Boura abritent des insectes des familles des Cucurlionidés et des Hydrochidés (Coléoptères) et des Psychodidés (Diptères) qui n'ont jamais été collectées à Bala. Vingt-deux familles de macroinvertébrés restent communes aux trois plans d'eau. Ce sont : a) cinq familles de mollusques à savoir les Bulinidés, les Unionidés, les Lymneidés, les Planorbidés et les Valvatidés ; b) une seule famille de vers à savoir les Hirudinés ; c) les familles des Syrphidés et des Chironomidés de l'ordre des Diptères ; d) trois familles de l'ordre des Odonates : Gomphidés, Libellulidés et Coenogronidés ; e) sept familles de l'ordre des Hétéroptères : Notonectidés, Naucoridés, Bélostomatidés, Népidés, Gerridés, Herbridés et Hydrométridés ; f) quatre familles de l'ordre des Coléoptères : Hydrophilidés, Dytiscidés, Carabidés et Notéridés. Cette dernière famille des Notéridés se distingue des autres Coléoptères par la présence de ses 3 espèces (*Hydrocanthus iricolor*, *H. atripennis*, *H. ferruginicollis*) dans tous les échantillons. L'espèce *H. ferruginicollis* reste dominante particulièrement au niveau des retenues hydroagricoles de Bama (30,52% des Coléoptères) et Boura (27,32% des Coléoptères) tandis qu'elle ne représente que 7,51% des coléoptères récoltés dans le lac naturel de Bala. Au niveau du continuum lac de barrage-effluent-fleuve, un total de 35 familles a été échantillonné dont 27 au niveau du lac de barrage et des stations de l'effluent proches du périmètre irrigué et 32 au niveau de la station de l'effluent loin du périmètre irrigué et au niveau du fleuve. La présence d'individus appartenant à la famille des Baetidés et des Ephémérellidés (ordre des Ephéméroptères) au niveau du fleuve permet de croire à une possible récupération du cours d'eau car cet ordre d'Insectes est considéré comme sensible aux perturbations des cours

d'eau. Les études de bioessais ont porté sur la toxicité du diuron et de l'atrazine, deux herbicides sur une espèce qui prolifère au niveau des lacs de barrages hydro-agricoles : *Crenitis sp* (Coléoptères, Hydrophilidés). Il ressort que les toxicités de ces deux contaminants sur l'espèce peuvent être accentuées lorsque ces deux produits sont en synergie. En effet, la concentration efficace qui immobilise 50% (EC_{50}) des individus pour le diuron est de 44,96 g/l seul, mais descend à 11,72 g/l dans le cas du mélange. Et celle de l'atrazine passe de 11,75 g/l seul à 7,33 g/l en synergie. La différence est significative dans le cas du diuron.

Mots clés : macroinvertébrés benthiques, bioindicateurs, structuration, continuum, barrage-effluent-fleuve, bassin de la Volta.

ABSTRACT

A survey of inventory of the macroinvertebrates (Insects, Molluscs, Worms and Crustaceans) and bioassays took place to the level of water bodies of the Volta basin (Burkina Faso) in view of identification of taxonomic bioindicators to the level of continuum hydroagricultural dam - sewage- river. The macroinvertebrates sampling was based upon the conventional method of "Water Framework Guidance of the European Union (DCE)", recommended for the sampling of benthic macroinvertebrates. The comparative study of hydro-agricultural water bodies (Bama and Boura) and the natural lake of Bala identified 33 families of macroinvertebrates of which 25 were present at Bama, 23 at Boura and 30 at Bala. The natural water body of Bala is different from the two artificial reservoirs (Boura and Bama) by an endemic presence of Crustaceans including Cladocera and 7 families of Insects including Gyrinidae (Coleoptera), Pleidae (Heteroptera), of Baetidae and Ephemerellidae (Ephemeroptera), Tabanidae, Ceratopogonidae and the Canaceidae (Diptera). Conversely, the two water bodies of Bama and Boura house Insects from the families of Cucurionidae and Hydrochidae (Coleoptera) and Psychodidae (Diptera) that have never been collected in Bala. Twenty-two families of macroinvertebrates are common to the three water bodies. These are : a) five families of mollusks namely Bulinidae, Unionidae, Lymneidae, Planorbidae and Valvatidae; b) one family of worms ie Hirunidae, c) families Syrphidae and Chironomidae including Diptera; d) three families including Odonata: Gomphidae, Libellulidae and Coenagrionidae; e) seven families of the Order Heteroptera: Notonectidae, Naucoridae, Belostomatidae, Nepidae, Gerridae, Herbridae and Hydrometridae; f) four families of the Order Coleoptera: Hydrophilidae, Dytiscidae, Carabidae and Noteridae. This last family of Noteridae differs from the other Coleoptera by the presence of its three species (*Hydrocanthus iricolor*, *H. atripennis*, *H. ferruginicollis*) in all the samples. The *H. ferruginicollis* species remains dominant particularly in the hydroagricultural reservoirs of Bama (30.52% of Coleoptera) and Boura (27.32% of Coleoptera) while it accounts only for 7.51% of the Coleoptera collected in the natural lake of Bala. At the level of the continuum reservoir-effluent-river, a total of 35 families were sampled, including 27 at the reservoir and stations near the agricultural irrigated area and 32 at the station near the effluent far away from the irrigated area at the river. The presence of individuals belonging to the family of Baetidae and Ephemerellidae (Order Ephemeroptera) at the river supposes a possible recovery of the river because this order of insects is considered to be sensitive to the disturbances of waters. Bioassay studies were carried on the toxicity of diuron and atrazine, two herbicides on a species frequently encountered in dams: *Crenitis* sp (Coleoptera Hydrophilidae). It appears that the toxicity of

these two contaminants on the species may be stronger when these two products are used synergistically. Indeed, the effective concentration that immobilizes 50% (EC_{50}) of the individuals for the diuron is 44.96 g/l only, but drops to 11.72 g/l in the mixture. And the concentration of atrazine is 11.75 g/l when taken alone, then drops to 7.33 g/l when in synergy. The difference is significant in the case of diuron.

Keywords: benthics macroinvertebrates, bioindicators, structuration, dam-effluent-river, continuum, Volta basin.

INTRODUCTION GENERALE

Les macroinvertébrés benthiques d'eau douce ou macroinvertébrés dulcicoles font partie du benthos, c'est à dire qu'ils vivent au fond des ruisseaux, des lacs, et des marais. Leur habitat est fait de matière submergée comme de la litière, des branches, des débris de bois et des algues. Ce sont des organismes que l'on peut voir à l'œil nu car ils mesurent au moins 3 à 5 mm au dernier stade de leur développement (Cummins, 1975). Ces organismes aquatiques sont surtout des insectes sous la forme de larves et de nymphes. Ils comprennent aussi des vers, des mollusques et des crustacés.

Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils constituent une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Moisan et Pelletier, 2008). Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat. Ils représentent de ce fait, un important groupe faunistique des écosystèmes. De plus, bon nombre d'entre eux sont reconnus comme hébergeant des stades de vie de certains parasites humains et animaux. L'étude de leur écologie s'avère donc nécessaire. Durand et Lévêque (1981) estiment qu'une des difficultés majeures aux études écologiques est l'identification des espèces.

En Europe et en Amérique, les études concernant les macroinvertébrés benthiques sont très anciennes: on peut citer entre autres Le Bon de Férusac (1902) sur les Mollusques et Portier (1911) sur les insectes aquatiques. Les avancées technologiques en termes de matériel de laboratoire ont favorisé le développement de la systématique des macroinvertébrés avec comme résultats la production de nombreuses clés de déterminations ; on peut citer, des plus récentes, en Amérique, la publication de « An introduction to the Aquatic Insects of North America » de Merrit et al. (2008), avec plus de 1000 pages illustrées de macroinvertébrés et en Europe, « Invertébrés d'eau douce, Systématique, Biologie, écologie » de Tachet et al. (2000). De ces études de systématique, les connaissances écologiques sur les macroinvertébrés se sont améliorées et approfondies. Les méthodes d'échantillonnage de ces macroinvertébrés ont été standardisées et leur utilisation est plus orientée vers l'évaluation écologique des écosystèmes aquatiques. Beaucoup d'indices ont été élaborés entre autres l'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) et l'IOBS (Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments) au niveau des cours d'eau et au niveau des systèmes lacustres, l'IBL (Indice

Biologique Lacustre), l'IOBL (Indice Oligochète de Bioindication Lacustre), l'IMOL (Indice Mollusque) et l'IBEM (Indice Biologique des Etangs et Mares).

En Afrique, plus précisément en Afrique de l'Ouest, les études sur les macroinvertébrés sont récentes. Particulièrement au Burkina Faso, les études ont débuté par les travaux de Blanc et Daget (1957) au niveau de la rivière Kou (un affluent du fleuve Mouhoun) et à la mare aux hippopotames de Bala. Ensuite, elles se sont poursuivies avec celles de Biswas (1967) dans le cours inférieur du fleuve Volta. Yaméogo et al. (1988) rapportent que le grand programme de lutte contre *Simulium damnosum* (Diptères, Simuliidae), vecteur de l'onchocercose humaine a aussi permis la prise en compte de l'écologie des communautés de macroinvertébrés non vecteurs de la maladie. Déjoux (1977) a fait l'état des Chironomes du lac Bam dans la partie centrale du Burkina Faso. Les travaux plus récents sur la structuration des communautés de macroinvertébrés sont ceux de Guenda (1985, 1996) au niveau des eaux lotiques et ceux de Kabré et al. (2000 et 2002) au niveau des lacs de barrages. L'importance de ces macroinvertébrés dans l'évaluation de l'impact environnemental a, depuis un certain temps, orienté des travaux sur le sujet. On peut citer ceux de Sanogo (2010) et de Sirima (2013) sur la structuration spatio-temporelle des macroinvertébrés benthiques dans différents habitats au Burkina Faso.

Tous ces travaux ont accordé une place importante à la structuration des macroinvertébrés benthiques tant dans les milieux des eaux lenthiques que lotiques.

La problématique qui soutient cette étude est que les inventaires de macroinvertébrés et la description de leur structuration n'ont jamais été faits dans le cadre du continuum barrage-effluent-fleuve et aucune étude n'a songé à l'identification de taxons bioindicateurs. L'objectif général de cette étude est donc de faire un inventaire de taxons de macroinvertébrés bioindicateurs en relation avec des plans d'eau hydro-agricoles du bassin de la Volta.

Les objectifs spécifiques sont :

- Etudier la structuration des macroinvertébrés des différents plans d'eau du bassin de la Volta ;
- Etudier la structuration des macroinvertébrés le long d'un continuum lac de barrage-effluent-fleuve issu de périmètre irrigué ;
- Effectuer des tests de toxicité de deux pesticides sur un macroinvertébré susceptible d'être utilisé comme biomarqueur de la qualité des eaux.

Les macroinvertébrés sont utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Cette évaluation étant basée sur la pollusensibilité différentielle de groupes taxonomiques, nous émettons l'hypothèse selon laquelle, l'utilisation agricole des berges des hydro-systèmes du bassin de la Volta induit une distribution différentielle des macroinvertébrés.

Le présent document qui fait l'économie de cette recherche comprend trois chapitres. Le chapitre I est consacré à l'état de connaissance générale sur les macroinvertébrés, à savoir la taxonomie, l'importance écologique et à une présentation générale du Burkina Faso. Le chapitre II est consacré à la méthodologie. Le chapitre III donne les résultats et la discussion. Dans ce chapitre il sera question d'inventorier la faune potentielle de macroinvertébrés (Cellot et al., 1987) des retenues et stations lotiques étudiées, et d'en ressortir des groupes de taxons d'intérêt écologique comme cela a pu être fait récemment par exemple en Bolivie (Moya et al., 2011) en s'inspirant en particulier des travaux réalisés en Europe dans le cadre de la DCE (Colas et al., 2011 ; Mondy et al., 2012). Spécifiquement, nous aborderons la structuration spatio-temporelle des communautés de macroinvertébrés à l'échelle du bassin de la Volta. Les macroinvertébrés sont échantillonnés au niveau de trois plans d'eau dont deux hydro-agricoles et un lac naturel qui est un site RAMSAR. L'étude spatio-temporelle des macroinvertébrés est aussi abordée dans ce chapitre au niveau d'un continuum plan d'eau-effluents issus des périmètres irrigués-fleuve. Deux échelles d'étude ont ainsi été définies : l'échelle du lac de barrage et l'échelle du continuum lac de barrage-effluent-fleuve. Les investigations ont concerné aussi le fleuve où se jette l'effluent issu du lac de barrage. Il sera aussi question d'éco-toxicologie où les réponses de macroinvertébrés face à certains herbicides couramment utilisés par les agriculteurs, au niveau des plans d'eau hydro-agricoles. Des tests en milieu contrôlé ont donc été réalisés au laboratoire.

Le document se termine par une discussion générale et une conclusion générale avec des perspectives de thème de recherches.

Chapitre I : Généralités

I.1- Généralités sur les macroinvertébrés

Introduction :

Au niveau des eaux continentales, les macroinvertébrés benthiques représentent l'un des groupes faunistiques ayant une grande diversité et une répartition géographique assez diversifiée (Neveu, 2001). Le peuplement de ces eaux par ces organismes se situe à la fin de l'ère primaire pour certains et au début de l'ère secondaire pour d'autre (Tachet et al., 2000). Pour Hutchinson (1967), leur peuplement a une double origine : d'une part à partir du milieu marin, via le milieu saumâtre ou à partir des estuaires par isolement d'un bras de mer ; et d'autre part à partir du milieu terrestre. La classification des différentes espèces connaît une dynamique comme dans toute étude systématique. Il est donc important de faire un état de connaissance sur certains groupes taxonomiques étudiés.

I.1.1- Etat de connaissance sur quelques groupes taxonomiques de macroinvertébrés benthiques

I.1.1.1- Etat de connaissance sur quelques ordres d'insectes de macroinvertébrés benthiques

Selon Tachet et al. (2000), les insectes sont essentiellement terrestre au stade adulte et se développe au stade larvaire en eau douce pour la plupart. Certains ordres sont toutefois entièrement aquatiques. On distingue un groupe à métamorphoses graduelles (Hémimétaboles) constitué d'Hémiptères, Odonates, Plécoptères et Ephéméroptères dont les fourreaux alaires se développent progressivement à chaque mue et un groupe à métamorphose complète (Holométaboles) composé de Diptères, Trichoptères, Mégaloptères, Coléoptères et Lépidoptères (Pyralidés).

Le corps d'un insecte comprend fondamentalement :

- une tête portant une paire d'antennes, les yeux (œil composé et ocelles chez les larves et adultes d'hétérométaboles et chez les hémimétaboles).
- un thorax constitué de trois segments portant chacun fondamentalement une paire de pattes articulées et chez l'adulte normalement deux ailes.
- un abdomen de 11 segments ne portant pas d'appendice articulé (excepté une paire de prolongement tels que les cerques).

Parmi les 27 ordres d'insectes connus, 12 possèdent des représentants ayant au moins une phase de leur développement adaptée à la vie aquatique (Elouard, 1981).

I.1.1.1.1- Ordres des Diptères

Johannsen (1977) rapporte que les Diptères constituent avec les Coléoptères le groupe des ordres d'insectes les plus variés en espèces et abondants dans le monde. Les formes aquatiques sont par contre moins nombreuses que les formes terrestres. Ce groupe, à métamorphose complète, est le plus important des insectes aquatiques aussi bien en milieu lentique que lotique. Selon le même auteur, en fonction des espèces, les stades larvaires (3 à 4 mues) aquatiques durent plusieurs semaines à près de 2 ans. La plupart des espèces ont une période de ponte par an, certains en ont deux. La plupart des larves ont une respiration cutanée ou branchiale.

I.1.1.1.1 – Chironomidés

Parmi les diptères aquatiques, les Chironomidés aquatiques sont un groupe d'un grand intérêt pour l'hydrologie. Ils représentent en effet, numériquement l'une des dominantes faunistiques de nombreux milieux aquatiques (Vergon et Bourgeois, 1993). Pour Déjoux (1981) le grand nombre des adultes, qui sont terrestres, est rarement une menace pour les hommes. Ces insectes ont en général, sous les climats tropicaux un cycle de développement court, leur importance dans la chaîne trophique est souvent un élément majeur dans la production de certains milieux. Les importantes sous-familles rencontrées sont les Chironominés (les Chironomini et les Tanytarsini en sont les deux tribus), les Tanypodiné, les Orthocladiinés.

A l'état adulte, les Chironomidés ont l'aspect d'un moustique (Schéma 1), bien que d'une espèce à l'autre il soit susceptible de grandes variations. D'une manière générale, les Chironomini et Tanypodinae dominent dans les milieux stagnants ou les cours d'eau à courant lent.

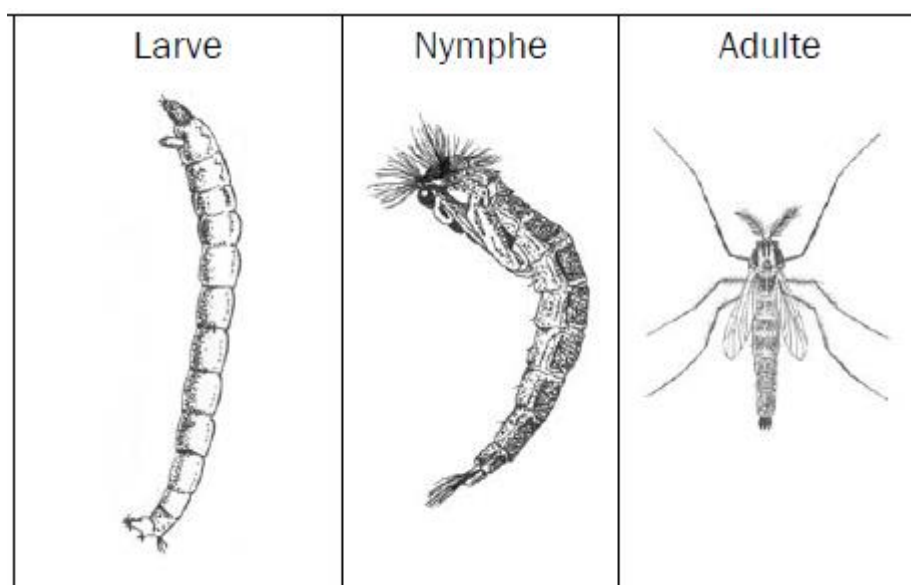


Schéma 1: Larve, Nymphe et adulte d'espèce de Chironomidés

Contrairement, les Tanytarsini et les Orthocladiinae recherchent les eaux plus oxygénées donc à courant plus rapide (Déjoux et al., 1981).

- **Tribu des Chironomini**

Les formes larvaires de cette tribu présentent des particularités bien visibles au microscope. La tête bien individualisée, a une couleur plus foncée que le reste du corps et comporte deux taches oculaires de chaque côté. La segmentation du corps est nette. Les parties thoracique et anale portent des pseudopodes qui leur permettent de s'accrocher aux substrats benthiques. Certaines espèces ont des crochets au niveau des pseudopodes (*Stenochironomus sp.*). La partie anale porte également une touffe de poils et 2 à 3 paires de branchies. Cette tribu renferme des individus de taille très variée allant de 4 mm à 24 mm (Déjoux et al., 1981).

- **Tanypodiné**

Les formes larvaires de cette sous-famille présentent les mêmes caractéristiques que les Chironomini. Elles se différencient de ceux-ci par la présence d'une seule tache oculaire de chaque côté de la tête, des pseudopodes anaux bien développés et un premier segment

thoracique volumineux. De nombreuses espèces appartenant aux Tanypodinéés sont carnivores, se nourrissent de petits crustacés planctoniques ainsi que de jeunes larves d'insectes. Presque tous les Chironomidéés sont à l'opposé, la proie de nombreux poissons mais également d'insectes aquatiques comme les Trichoptères et les Odonates. Leur rôle dans la chaîne trophique est donc de premier ordre (Déjoux, 1981).

I.1.1.1.2- Ceratopogonidéés

Les Ceratopogonidéés sont de minuscules insectes d'importance économique. Ils sont d'une nuisance importante pour l'homme et le bétail par la transmission de nombreuses maladies. Ils ont également un rôle important en agriculture en intervenant dans la pollinisation des plantes cultivées (Cornet et Château, 1969).

Les larves des Ceratopogonidéés se reconnaissent par la forme allongée de leur corps (Schéma 2). Elles présentent un corps nu, sans pseudopodes, et un faciès anguilliforme. La partie anale porte des branchies en touffe semblables à des poils. La tête et le dernier segment anal sont très effilés.

Certains Ceratopogonidéés adultes sont hémaphages (Culicoïdes) et leurs piqûres sont difficilement supportables par l'homme. *Culicoides austeni* est une espèce de forêt très répandue, rencontrée principalement le long des berges en courant lent ou nul, sur un fond sableux (Déjoux et al., 1983).

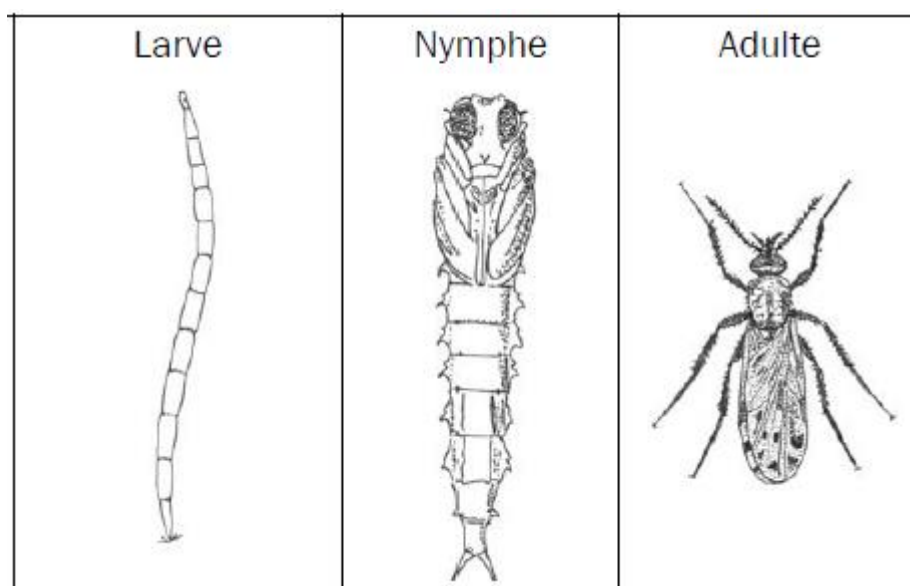


Schéma 2: Larve, nymphe et adulte d'espèce de Cératopogonidéés

I.1.1.1.3- Tabanidés

Les Tabanidés adultes sont généralement de grande taille. Ils sont d'un grand intérêt vétérinaire du fait de maladies qu'ils transmettent au bétail (Toufflieb, 1981). De nombreuses larves sont aquatiques et sont surtout inféodées aux eaux stagnantes où elles vivent dans la vase, près du rivage. On peut également les trouver en abondance dans la végétation aquatique d'eau courante (Déjoux et al., 1983).

I.1.1.1.4- Chaoboridés

Les Chaoboridés peuplent les eaux des milieux stagnants et les fleuves à l'étiage. Ils sont détritivores et vivent généralement au fond de l'eau. Les formes larvaires sont transparentes et présentent une morphologie très caractéristique. Elles portent deux sacs pneumostatiques situés respectivement sur le thorax et le septième segment abdominal. La segmentation du corps est nette et le corps est composé de 9 à 10 segments. Les Chaoboridés sont caractéristiques d'un milieu eutrophe et pollué (Dussart, 1966).

I.1.1.2- Ordres des Ephéméroptères

Les Ephéméroptères sont presque totalement aquatiques. D'après Demoulin (1981), la longévité de l'adulte terrestre est très courte (de quelques minutes à quelques heures et exceptionnellement une semaine). Les œufs sont déposés dans l'eau ou sur des objets submergés et l'éclosion a lieu quelques semaines plus tard. Le nombre de mues est toutefois considérable (20 à 40).

Quelques espèces vivent à l'état nymphal pendant plus de deux ans. Les larves des Ephéméroptères sont hétérométaboles et se distinguent essentiellement par leurs 3 cerques (Schéma 3), plus rarement 2 et leurs branchies présentes sur l'abdomen et non sur le thorax. Les griffes sont toujours simples. La distinction des familles se fait en grande partie par l'examen des branchies (nombre, taille, forme, disposition) et des cerques (longueurs relatives, position des soies). Ces caractères sont utilisées dans la détermination du genre (Landa, 1969 ; Macan, 1979; Merrit et Cummins, 1984).

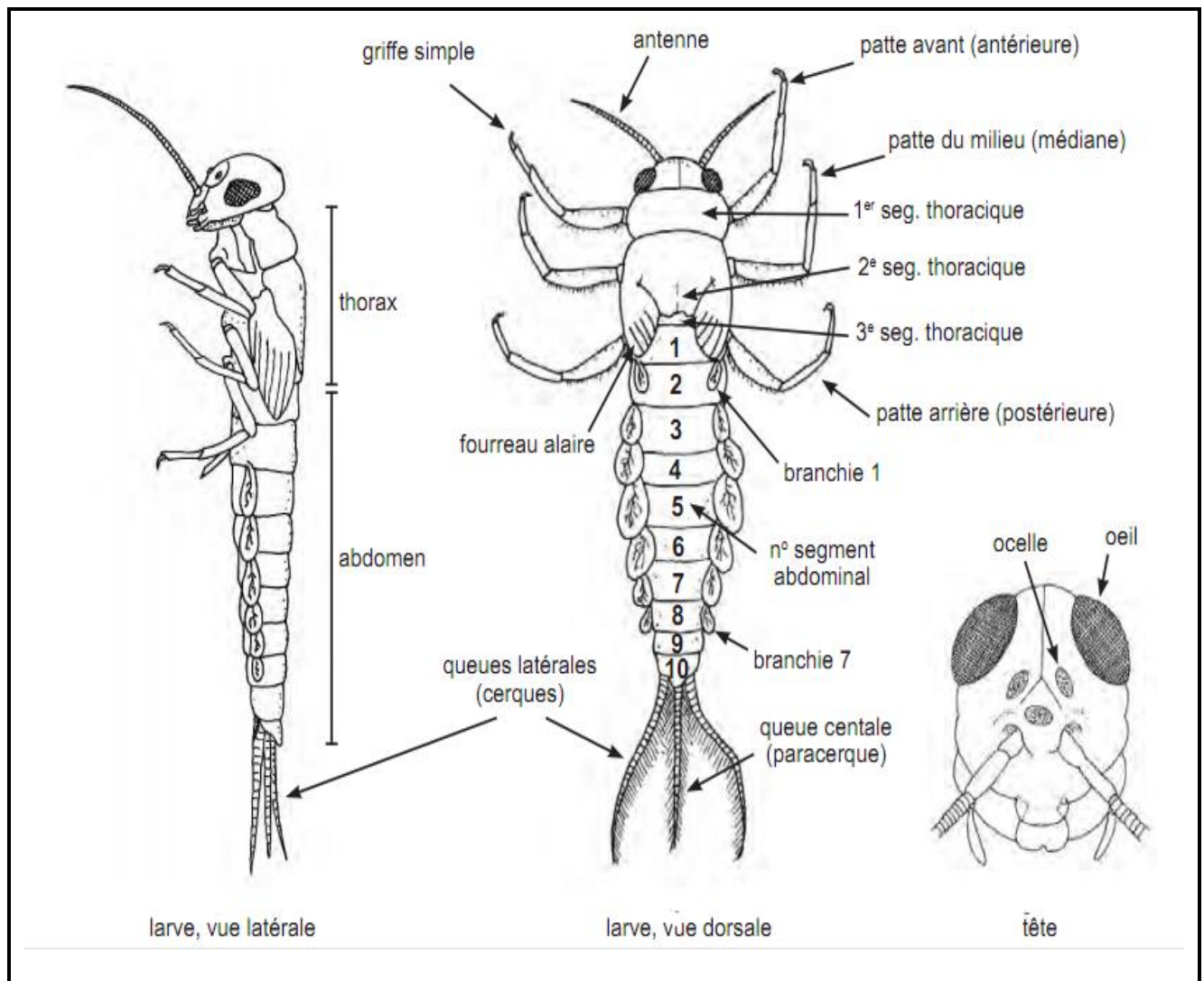


Schéma 3: Vue d'ensemble des Ephéméroptères (Moisan, 2010)

I.1.1.2.1- Caenidés

Les Caenidés sont de petite taille, ayant 6 paires de branchies : la 1^{ère} réduite à un petit prolongement portant des soies, la 2^e, assez épaisse, consiste en une grande plaque quadrangulaire qui couvre les 4 dernières paires de branchies. Ces dernières sont foliacées et frangées de longues digitations. On distingue 2 genres dans cette famille : *Brachycercus* et *Caenis* (Macan, 1979 ; Déjoux et al., 1983).

I.1.1.2.2- Ephéméridés

Les Ephéméridés ont 7 paires de branchies, la première très réduite, les six autres semblables, bifides, frangées en deux séries de digitations leur donnant l'aspect d'une plume

d'oiseau, rabattues sur la face dorsale de l'abdomen (larves fouisseuses). Le rachis médian de la branchie est étroit et porte de longues digitations. Les Mandibules portent une longue expansion externe, nettement saillante à l'avant de la tête et incurvée vers l'extérieur. Les deux prolongements des deux mandibules sont donc divergents à leur extrémité distale. Cette famille est représentée par un seul genre : le genre *Ephemera* (Macan, 1979).

I.1.1.2.3- Baetidés

Les Baetidés ont un corps aplati, des yeux composés latéro-dorsaux et des cerques franges de soies uniquement sur le bord interne. Ils sont munis de segments abdominaux à angles, postéro-externes droits. Les branchies sont en lamelle simple ou double. Les 4 genres constituant cette famille se différencient par la forme des lamelles branchiales et la longueur relative du paracerque par rapport aux cerques, ainsi que par l'emplacement des anneaux sombres sur les cerques. Les 4 genres représentés sont les *Baetis*, *Afroptilum*, *Centroptilum*, et *Procloeon* (Macan, 1979 ; Déjoux et al., 1983 ; Guenda, 1985).

I.1.1.2.4- Potamanthidés

La famille des Potamanthidés se caractérise par 7 paires de branchies bifides en plume d'oiseau (sauf la 1^{ère} paire très réduite) étalées sur le côté du corps et des mandibules munies d'un prolongement externe court. Cette famille est représentée par un seul genre, les *Potamanthus* (Macan, 1979).

I.1.1.3- Ordre des Odonates

Les Odonates communément appelés libellules (schéma 4), renferment des insectes prédateurs qui associent des caractères de structure archaïque à d'autres d'un développement très poussé et très original. Ils ont une tête mobile portant des pièces de type broyeur, des antennes courtes et des yeux très gros (les Libellules sont des insectes qui ont une vision bien développée). Ils ont des pattes faibles, mais de grandes ailes semblables ou de formes différentes pourvues d'abondantes nervures longitudinales et transversales. L'abdomen est cylindrique ou aplati, longuement étiré et le corps est glabre. Après la fécondation, les Odonates déposent leurs œufs sur l'eau, sur un substrat végétal émergent ou à proximité de l'eau. Les œufs éclosent au bout de 2 à 5 semaines. La durée de vie des larves est variée de 5

semaines à 5 ans de même que le nombre de mues de 8 à 15 (Robert, 1958). Les nymphes quittent alors l'eau le long d'un substrat émergent. Comme les insectes parfaits, les larves de Libellules sont des animaux prédateurs (Aguesse, 1968 ; Robert, 1958 ; Déjoux et al., 1983).

Le développement préimaginal des Libellules se déroule en six phases. Au cours du premier stade larvaire, la larve grimpe sur un fragment végétal qui émerge. Au deuxième stade, le thorax se fend en croix et il en sort une libellule. Au troisième stade, la Libellule dégage ses pattes de l'enveloppe larvaire et se repose. Le quatrième stade correspond au développement des ailes. Au cinquième stade, l'abdomen s'étire à son tour et absorbe de l'air et enfin au sixième stade, l'abdomen rejette par l'anus quelques gouttes de liquide et de l'air et commence alors à prendre sa forme définitive (Aguesse, 1968).

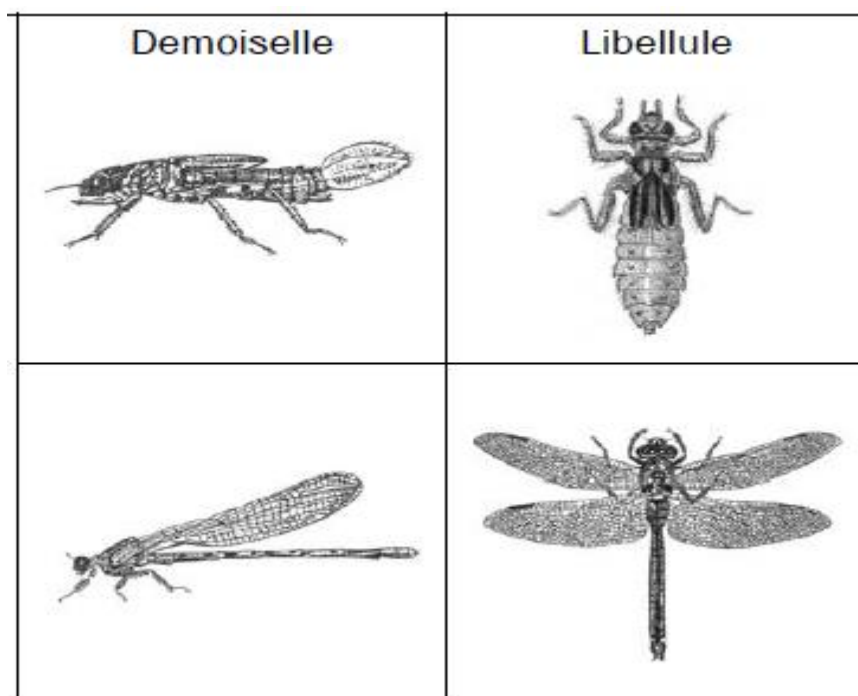


Schéma 4: Exemples d'Odonates

I.1.1.3.1- Libellulidés

La famille des Libellulidés est la plus abondante et aussi la plus consommée par les poissons. Les libellules se caractérisent par un mentum en forme de cuillère, pourvu de soies, recouvrant la face ventrale de la tête. Le bord interne des palpes labiaux est de forme subrectiligne. Les cercoïdes sont en général moins longs que la moitié de la longueur des cerques (Aguesse, 1968 ; Merrit et Cummins, 1984).

I.1.1.3.2 Gomphidés

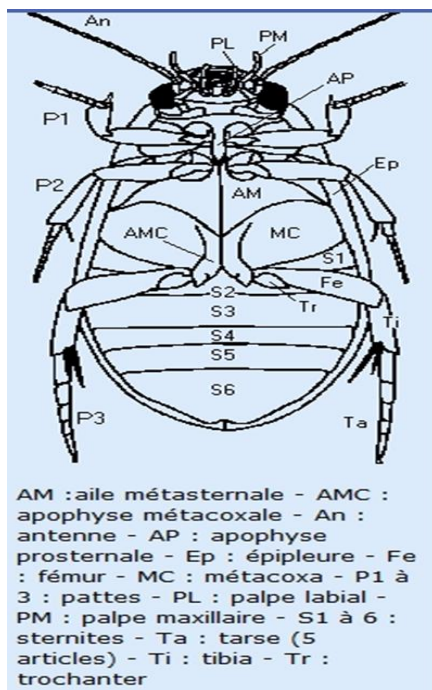
Les larves des Gomphidés sont généralement grosses en fin de phase larvaire. Elles sont aplaties dorso-ventralement et plus sombres que les larves des Libellulidés et ont un mentum plat sans soies laissant voir les autres pièces buccales. Les antennes sont courtes et trapues et munies de 4 articles (Testard, 1981). Les tarses I et II ont 2 articles et les tarses III ont 3 articles. L'abdomen est déprimé et velu. Les téguments sont très sclérifiés (Aguesse, 1968 ; Déjoux et al., 1983).

I.1.1.3.3- Coenagriidés

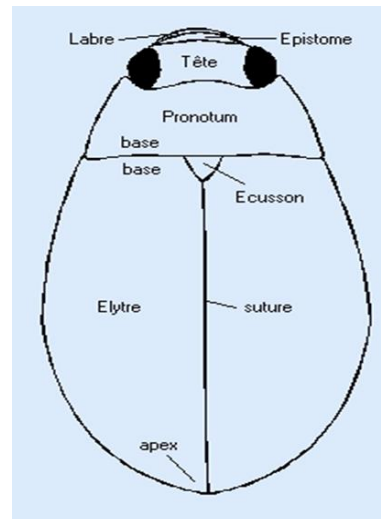
Les larves de cette famille présentent une forme effilée, le 1^e article des antennes est très court. Le mentum est sans ouverture et porte 6 soies au moins disposées en 2 rangées obliques, La palpe labial a des soies (non le crochet mobile) et il est constitué de 2 crochets, un inférieur et un supérieur, ce dernier non divisé. Les lamelles branchiales sont pointues ou arrondies et présentent souvent un étranglement plus ou moins marqué (Aguesse, 1968 ; Déjoux et al., 1983).

I.1.1.4 Ordre des Coléoptères

L'ordre des Coléoptères est celui qui a le plus grand nombre d'espèces à l'échelle mondiale avec environ 350000 espèces recensées (Richoux, 1982). La systématique de ces insectes adultes est très avancée avec les travaux de Guignot (1933, 1947) et Franciscolo (1979) pour ne citer que ceux-là. Ils se caractérisent généralement par des ailes antérieures (élytres) épaisses et cornées, des ailes postérieures membraneuses et repliées sous les élytres (Photographie 1) et des pièces buccales broyeuses (Schéma 5). Par contre les larves ne sont pas bien documentées. Klausnitzer (1977) a néanmoins présenté une clé de détermination des genres de larves. Ces insectes se sont adaptés au milieu aquatique (larves et adultes) et sont phylogénétiquement les plus primitifs. Deux familles semi-aquatiques sont rencontrées en grand nombre au niveau du 1^e mètre précédant le niveau d'eau. Il s'agit de la famille des Hydraenidés et des Staphylinidés caractérisées par des espèces ayant une respiration aérienne. Parmi celles rencontrées dans l'eau, la famille des Dytiscidés, des Staphylinidés et celle des Hydraenidés sont majoritaires (Auber, 1976 ; Déjoux et al., 1983).



a



b

Schéma 5: Vue d'ensemble des Coléoptères. a) vue ventrale; b) vue dorsale



Photographie 1: *Derallus* sp (Coléoptères, Hydrophilidés)

I.1.1.5- Ordre des Trichoptères

Les cohortes d'adultes de Trichoptères émergent pendant les périodes les plus chaudes de l'année. Les œufs fécondés sont déposés sur des substrats immergés et se développent de 1 à 3 semaines. Les larves de la plupart des espèces construisent des fourreaux (Schéma 6 et 7) avec des particules du substrat en sable, graviers ou feuilles. Elles se distinguent de celles des Coléoptères avec lesquelles on pourrait les confondre, par la présence d'une paire de crochets anaux (Rousseau, 1921). Ces crochets sont soit disposés latéralement à l'extrémité de l'abdomen chez les larves de type éruciforme, soit porte à l'extrémité de fausses pattes (les pygopodes) chez les larves de type campodéiforme. Certaines larves de Coléoptères (Gyrinidés) portent des crochets à l'extrémité de l'abdomen, mais ces crochets n'ont jamais la disposition observée chez les larves de Trichoptères (Edington et Hildrew, 1981).

La faune imaginale de cet ordre d'insecte de l'Afrique est bien connue mais les stades préimaginales sont très peu étudiés (Guenda, 1996). La connaissance des Trichoptères s'est développée au Burkina Faso avec le programme de lutte contre l'onchocercose (Gibon et al., 1994 ; Gibon, 2001) et les premières données ont été fournies par Marlier (1978).

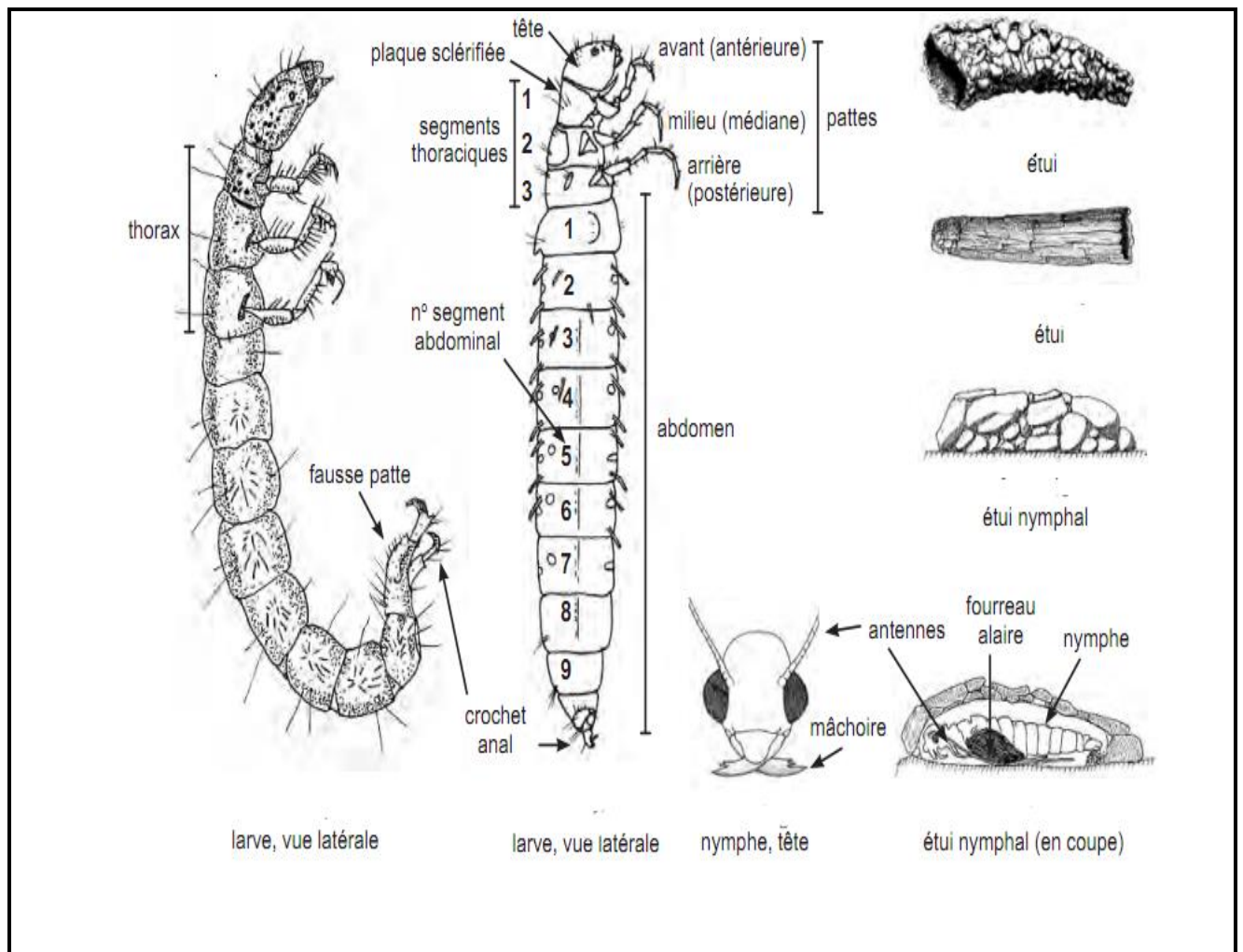


Schéma 6: Vue d'ensemble des Trichoptères (Source : Moisan, 2010)

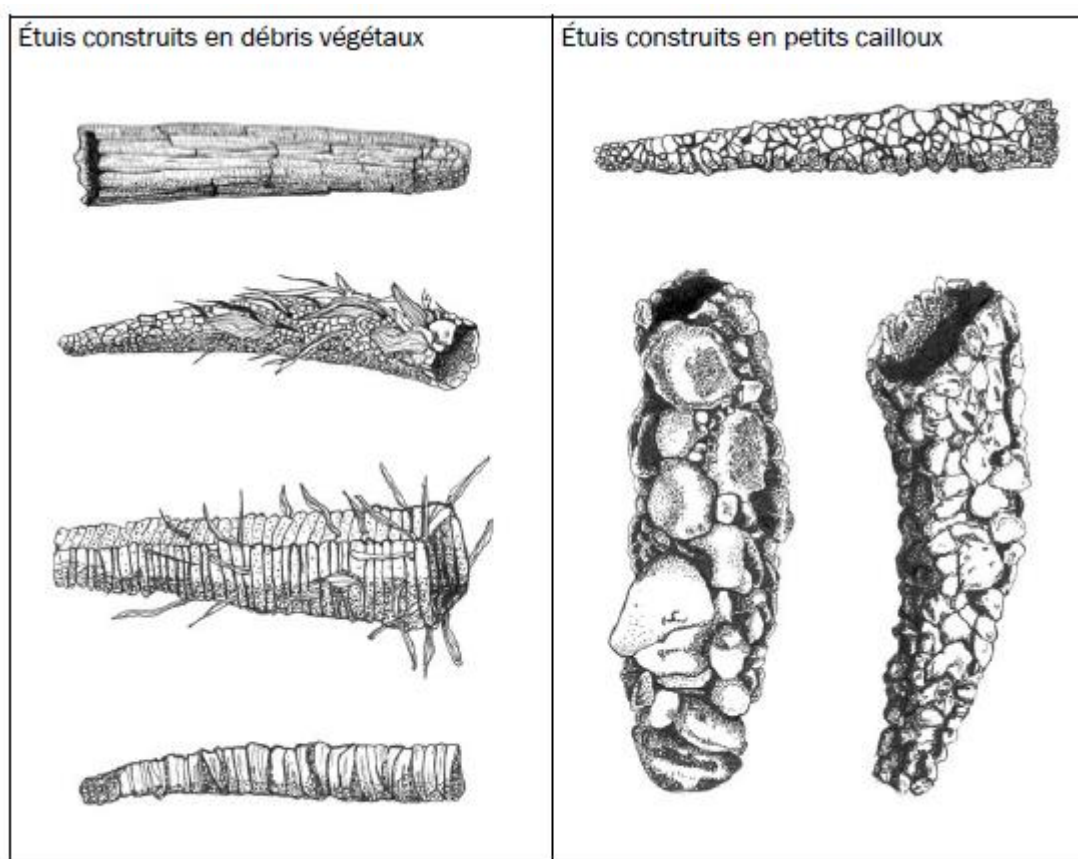


Schéma 7: Différentes sortes d'étui chez les Trichoptères

I.1.1.5.1- Philopotamidés

Les larves des Philopotamidés ont uniquement le pronotum sclérifié, les pygopodes sont constitués de 2 articles, la tête et le pronotum sont souvent jaune oranges, la partie membraneuse est blanche. Le labre est triangulaire, membraneux et bordé de soies et l'extrémité du trochanter est arrondie (Déjoux et al., 1983).

I.1.1.5.2- Polycentropodidés

Le Pronotum est le seul organe sclérifié, les pygopodes ont 2 articles. Les griffes des pattes postérieures sont plus longues ou aussi longues que le tarse et le trochanter à une extrémité effilée (Déjoux et al., 1983).

I.1.1.5.3 Ecnomidés

Les larves de cette famille ont l'aspect général d'une larve de Polycentropodidés, mais avec 3 notums thoraciques sclérifiés. Les larves vivent dans les galeries de soie (Déjoux et al., 1983).

I.1.1.6- Ordre des Hémiptères/ Hétéroptères

Ce groupe essentiellement terrestre présente quelques espèces semi-aquatiques et quelques rares espèces totalement aquatiques. Les œufs fécondés sont déposés sur des substrats semi-aquatiques ou dans les macrophytes aquatiques. Les œufs éclosent rapidement (1 à 4 semaines). Les larves se développent également rapidement (1 à 2 mois) en effectuant 5 mues. Les caractères distinctifs les plus saillants sont la présence de pièces buccales formant un rostre de type labial, piqueur-suceur, des ailes antérieures transformées en hémélytres et divisées en corium (opaque) et membrane (transparente), la fréquente présence d'une ou de deux glandes odoriférantes métathoraciques provoquant l'odeur de Punaise. Cet ordre présente une nette dominance des Gymnocérates semi-aquatiques ou des Amphibicorisae, ils sont constitués d'insectes qui ne nagent pas, mais marchent ou patinent à la surface de l'eau (China et Usinger, 1949). La famille des Veliinae est la plus nombreuse, suivie de la famille des Nepinae et Hydrometrinae. Les Veliinae sont des insectes de taille moyenne, allongés et souvent macroptères. Le mésonotum est largement recouvert par le pronotum chez les individus aptères.

Les Nepinae sont des insectes légèrement aplatis portant une tête courte triangulaire, très mobile et munie de gros yeux et d'un rostre court et conique apparemment non segmenté. Les stylets mandibulaires et maxillaires sont de type non-piqueur, ils servent à dilacérer les algues filamenteuses et les larves des Diptères. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont : *Nepa sp* et *Ranatra sp* de la famille des Népidés (Photographie 2 et 3). Les Hydrometrinae, sont des insectes qui présentent les mêmes caractéristiques que les Nepinae, mais ayant une taille au moins égale à 6 mm. Les antennes comportent 4 articles, pas d'ocelles ni d'omphalium, le seul et unique genre en Afrique est le genre *Hydrometra* (Poisson, 1957 ; Micha et Noiset, 1982 ; Déjoux et al., 1983).



Photographie 2 : *Nepa* sp



Photographie 3 : Individus de la famille des Népidés

I.1.1.7- Ordre des Pléoptères

Les larves des Pléoptères sont très proches morphologiquement de celles des Ephéméroptères. Elles s'en distinguent essentiellement par la présence de 2 griffes aux tarsi (une seule chez les Ephéméroptères). Il y a toujours 2 cerques articulés (Schéma 8). Lorsqu'il

Il y a des branchies, celles-ci sont soit sous le cou, soit coxales, soit anales, mais jamais abdominales comme chez les Epheméroptères.

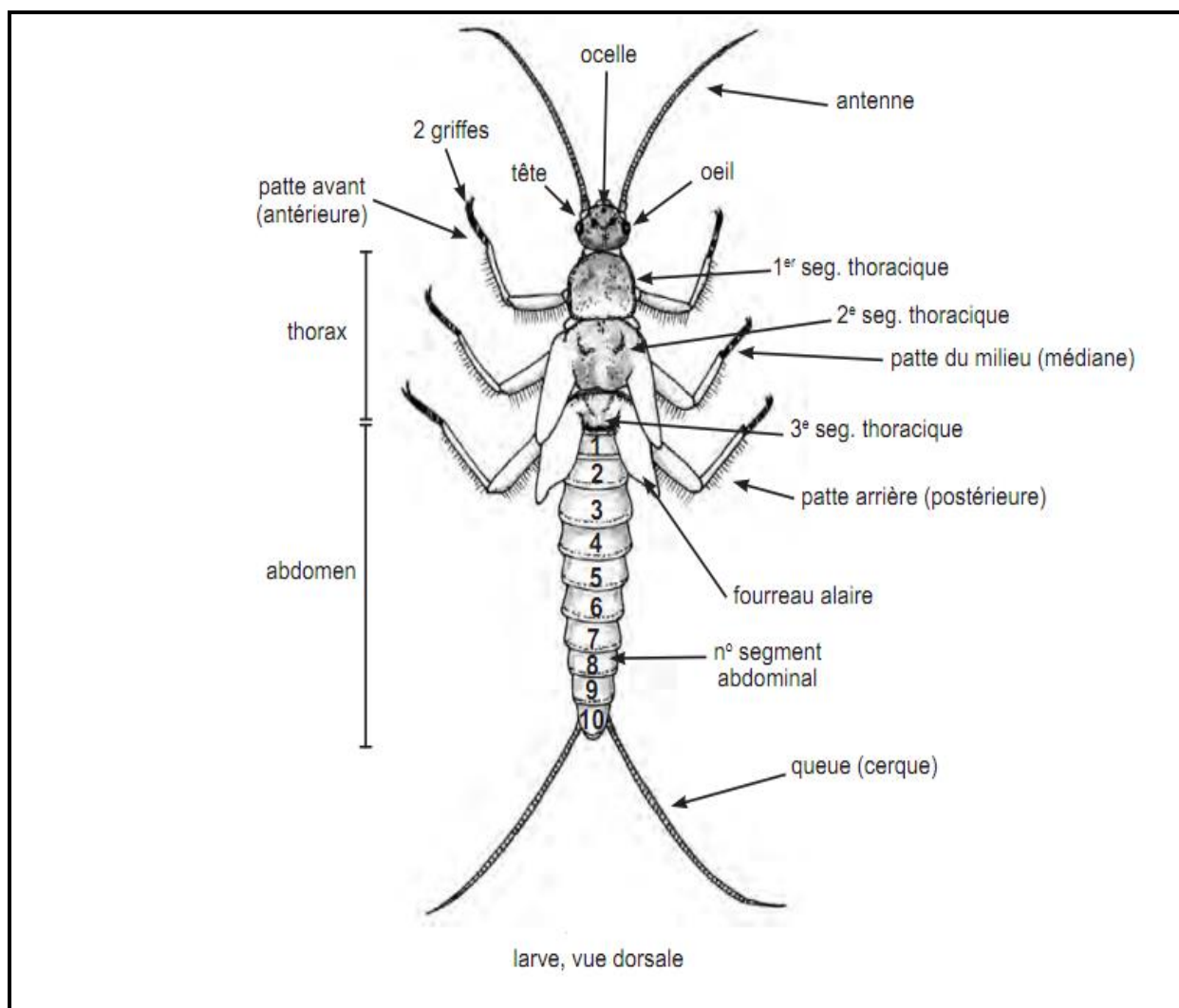


Schéma 8: Vue d'ensemble des Plécoptères (Source : Moisan, 2010)

I.1.2- Etat des connaissances sur d'autres macroinvertébrés benthiques

I.1.2.1- Oligochètes

La classe des Oligochètes appartient à l'embranchement des Annélides. Cette classe est caractérisée fondamentalement par un corps cylindrique à symétrie bilatérale métamérisée (Lafont, 1983). On observe une présence de faisceaux de soies sur le corps : une paire latéro-dorsale et une paire latéro-ventrale. La famille des Naididés est fréquemment rencontrée dans les lacs. Les Naididés sont des Oligochètes avec plus de 2 soies par faisceau. Cette famille constitue avec la famille des Tubificidés, les deux principales familles d'Oligochètes aquatiques. Elles ont en commun : des faisceaux sétigères renfermant plus de 2 soies, des

soies capillaires ou non dans les faisceaux dorsaux, les faisceaux sétigères ventraux qui, débutant au deuxième segment, sont toujours constitués de crochets bifides. Les Naididés ont une taille inférieure à 20 mm, alors que les Tubificidés sont supérieurs à 25 mm (Brikhurst et Jamieson, 1971).

I.1.2.2- Gastéropodes et les Lamellibranches

La classe des Gastéropodes sont des Mollusques fondamentalement asymétriques (Tachet et al., 2000). Les différentes familles peuvent être déterminées uniquement avec la forme de la coquille (Schéma 9). Plusieurs familles sont décrites en Afrique de l'ouest dont les plus importantes sont la famille des Planorbidés qui présente des coquilles enroulées dans un plan, enroulement senestre. Le diamètre atteint jusqu'à 15 mm. Cette famille comprend 8 genres. La seconde famille est la famille des Valvatidés qui présente des coquilles plus larges que hautes et ombiliquées. L'ouverture de la coquille est arrondie. Le diamètre dépasse rarement 5 mm. Le genre *Valvata* est le seul genre de cette famille (Ellis, 1978).

La classes des Lamellibranches comprend les palourdes, les huîtres, les moules, les pétoncles et les coquillages (Schéma 10). Leur corps aplati latéralement est recouvert d'une coquille constituée de deux parties distinctes plus moins symétriques. La taxonomie de cette classe est basée sur la structure de la forme de la coquille (Moore, 1969). Carter et al. (2011) ont identifié 324 familles dont 214 à partir des fossiles.

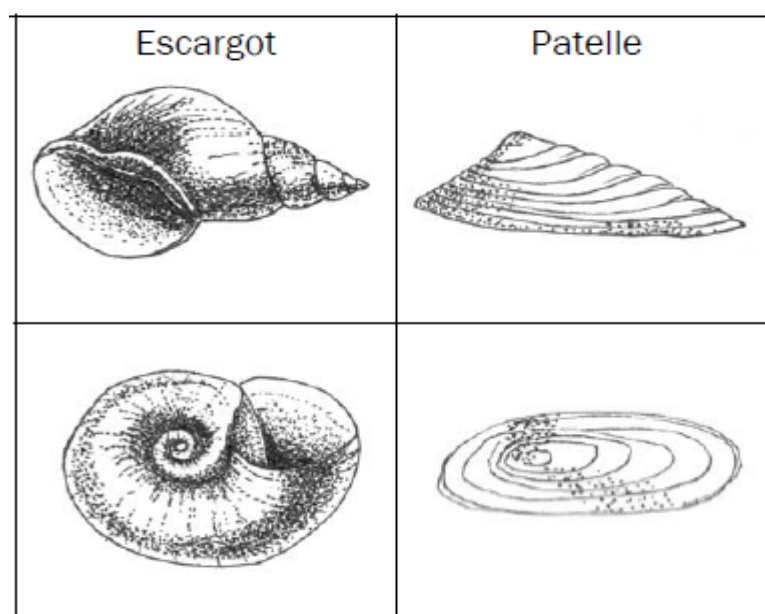


Schéma 9: Coquilles de Gastéropodes

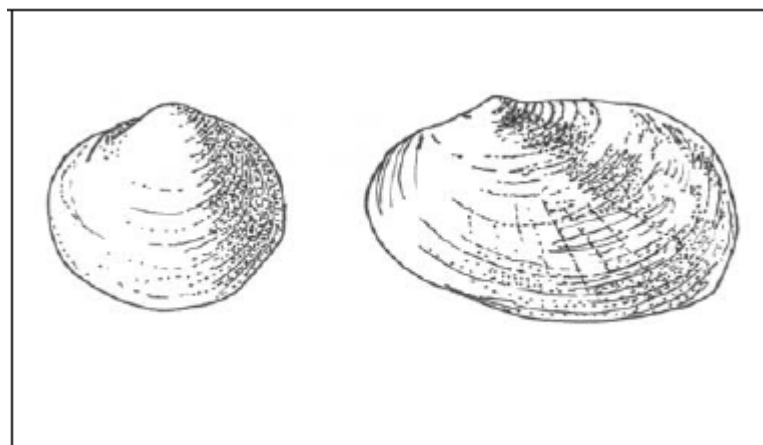


Schéma 10: Coquilles de Bivalves

I.1.2- Ecologie des macroinvertébrés benthiques d'eau douce

I.1.2.1-Différentes communautés benthiques

On regroupe les macroinvertébrés en plusieurs compartiments (Tachet et al., 2000) :

- 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 (exemple d'organismes : 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.

I.2.2- Zonation des communautés dans un lac

Dans un lac, la répartition des macroinvertébrés varie selon la profondeur. La topographie d'un lac 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 (Mouthon, 1993). La zone littorale est la plus diversifiée et formée de macroinvertébrés épibenthiques (gastéropodes, larves d'éphémères 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.

On note que la zonation, dans le sédiment, des organismes fouisseurs dépend de leur propre comportement. En effet, l'activité des larves de chironomes et des oligochètes peut aller jusqu'à 50 cm de profondeur (en période d'hivernage) alors qu'elle est à 10 cm de profondeur en période d'alimentation.

Dans une rivière, la répartition des macroinvertébrés dépend surtout de la vitesse du courant, de la granulométrie du substrat, de la quantité de lumière incidente, de la transparence des eaux et de l'enrichissement en nutriments (Moisan et Pelletier, 2008).

I.2.3- Groupes trophiques

Les macroinvertébrés benthiques ont un régime alimentaire très varié : bactéries, détritus, algues, micro-benthos et macro-benthos. Tachet et al. (2000) ont définis 8 groupes trophiques :

- Les absorbeurs (certains Oligochètes et Diptères) qui absorberaient des macromolécules à travers leurs téguments
- Les Mangeurs de sédiments fins (Certains Oligochètes) qui se nourrissent des fines particules organiques qui se sont déposées à la surface de sédiments meubles
- Les Broyeurs (Insectes et Crustacés)
- Les Racleurs et Brouteurs de substrat (les Gastéropodes Ancyliidés et Lymnaeidae, les Hémiptères Héptageniidae, les Trichoptères Glossosomatidae)
- Les Filtreurs (bivalves, ostracodes, chironomes) : filtrent de fines particules en suspension dans l'eau.
- Les Prédateurs (nématodes, oligochètes, odonates, hémiptères, trichoptères...) : se nourrissent de zooplancton (cladocères, copépodes) ou d'autres macroinvertébrés benthiques.
- Les Perceurs (Trichoptères Hydroptilidae, Diptères Tabanidae)
- Les Parasites (Piscicola, Achètes) qui sucent le sang des poissons grâce à une trompe.

I.2.4- Influence de facteurs environnementaux

Tous les macroinvertébrés benthiques sont des organismes poïkilothermes, donc leur température corporelle varie fortement en fonction de celle de l'environnement (Firmignac et Lascaux, 2008). Ces organismes sont donc très dépendants de la température de leur milieu de vie car elle conditionne leur cycle biologique (développement des œufs, croissance des larves). L'anoxie des eaux, la nature des plantes aquatiques et la granulométrie des substrats sont aussi des facteurs importants. Par exemple on note que les abondances les plus fortes en organismes sont retrouvées sur des sédiments fins et riches en détritux. Les espèces les plus tolérantes aux conditions d'anoxie sont les oligochètes et les chironomes car ils ont développé un pigment rouge ressemblant à l'hémoglobine, leur permettant de survivre même avec de faible quantité d'oxygène (Vergon et Bourgeois, 1993).

Dans les cours d'eau, la vitesse de courant est un facteur important car elle conditionne le transport des nutriments, le renouvellement de l'oxygène et la dérive des insectes. Certains organismes ont d'ailleurs développé des adaptations morphologiques pour résister au courant. Ainsi les larves de Trichoptères sont recouvertes de petits cailloux et de bouts de bois, ceci leur permet de se protéger et de s'orienter face au courant (Tachet, 2000). Certaines larves d'éphémères sont aplaties afin de réduire la surface de leur corps exposée au courant, d'autres ont des ongles courts et crochus qui sont des moyens d'encrage, ce qui leur permet de moins se faire entraîner (Demoulin, 1981).

I.1.3- Concept du continuum écologique et bioindication par les macroinvertébrés benthiques

I.1.3.1- Concept du continuum écologique

La notion de continuum écologique s'est développée avec les travaux de Vannote et al. (1980). Ces auteurs ont introduit le concept de continuum fluvial (River Continuum Concept) qui est un modèle descriptif longitudinal du fonctionnement écologique des cours d'eau qui intègre à la fois les indicateurs biologiques et la géomorphologie. En effet, de la tête des eaux à l'embouchure, un réseau fluvial offre un gradient continu de conditions physiques. Ce gradient devrait susciter, chez les populations habitant dans le réseau, une série de réponses aboutissant à un emmagasinage de la matière organique sur tout le parcours d'une rivière. Dans des réseaux fluviaux naturels, les communautés biologiques forment un continuum temporel de remplacements synchronisés d'espèces. Grâce à ce remplacement continu, il y a répartition dans le temps de l'utilisation des apports énergétiques. Ainsi, le système

biologique vise à un équilibre entre une tendance vers l'utilisation efficace des apports d'énergie en partageant les ressources (nourriture, substrat, etc.), d'une part, et une tendance opposée vers un taux uniforme de transformation de l'énergie durant l'année, d'autre part. Les communautés biologiques habitant dans des cours d'eau naturels adoptent des stratégies de transformation comportant une perte minimale d'énergie. Les communautés d'aval sont organisées de façon à tirer profit de l'inefficacité de transformation des communautés d'amont.

Une classification des invertébrés dans ce continuum a été proposée par Vannote et al. (1980). Il s'agit des broyeurs, des collecteurs, des brouteurs et des prédateurs. À l'exception des prédateurs, tous ces organismes sont saprophytes. Les broyeurs ont pour rôle de déchiqueter le matériel organique grossier (CPOM = Coarse Particulate Organic Matter), de taille millimétrique, tel que des lambeaux de feuillage (exemples de broyeurs : les amphipodes, les larves d'Ephéméroptères et de Plécoptères). Les collecteurs sont capables de récolter la matière organique en suspension dans l'eau courante ou piégée dans les sédiments. Les particules dont ils se nourrissent ont une taille comprise entre 0,5 et 50 micromètres (UPOM = Ultrafine Particulate Organic Matter et FPOM = Fine Particulate Organic Matter). Les larves de similie, les nématodes et de nombreuses larves de chironomidés appartiennent à ce groupe des collecteurs. Les brouteurs se nourrissent de ce qui se développe (algues, micro-organismes...) sur les pierres (le périphyton), les morceaux de bois mort et les grandes plantes aquatiques qui structurent le lit des cours d'eau. Parmi eux, on dénombre les gastéropodes et certaines larves de chironomidés. Quant aux prédateurs, comme les larves de libellules et différents coléoptères, ils se nourrissent des autres animaux.

Du fait de l'évolution du matériel organique disponible, la représentation de ces différents groupes varient de l'amont vers l'aval du cours d'eau. En amont, c'est-à-dire dans la partie torrentielle, où le matériel organique grossier est abondant, on trouve une forte proportion de broyeurs mais aussi de collecteurs et les brouteurs sont peu représentés. La proportion de brouteurs augmente ensuite, ainsi que celle des collecteurs, au détriment des broyeurs dont les populations régressent significativement, pour finalement disparaître complètement. En aval, où subsiste presque uniquement le matériel organique particulaire, les collecteurs constituent le groupe dominant. Quant aux prédateurs, leur proportion reste toujours à peu près constante ; seule varie la représentation des espèces au sein du groupe, qui suit l'évolution des proies disponibles. Des variations atypiques dans la répartition des différents groupes d'invertébrés le long d'un cours d'eau sont le signe d'une perturbation du milieu naturel.

Cependant, la « River Continuum Concept », ne peut pas prévoir le comportement d'écosystèmes de grandes rivières et de fleuves à larges plaines inondables (Sedell, 1989). Pour cet auteur, les divers zones de grands cours d'eau peuvent être indépendantes les unes des autres.

I.1.3.2- Bioindication

Bélanger (2009) définit la bioindication comme l'évaluation de la qualité des milieux à l'aide de bioindicateurs c'est-à-dire d'organismes vivants connus pour leurs capacités à refléter l'état des écosystèmes et à identifier les problèmes et les risques encourus par ceux-ci. Un bioindicateur peut être un individu, une partie d'individu ou même une communauté d'individus renfermant de l'information sur la qualité du milieu (Fränzle, 2003). Le principe de la bioindication est basé sur la pollu-sensibilité différentielle des organismes face aux perturbations physico-chimiques de leur habitat. Cette méthode a évolué depuis les constats de Kolkwitz et Marsson (1908) sur les changements de structuration des organismes aquatiques face aux effets pervers de l'anthropisation. Sa dynamique réside dans l'amélioration des méthodes d'échantillonnage des organismes pris comme bioindicateurs. Parmi ces bioindicateurs ou indicateurs biologiques, certains sont particulièrement sensible à un ou plusieurs polluants susceptibles de provoquer des perturbations ou des changements dans un milieu donné. Ces espèces appelées espèces sentinelles, par leur sensibilité, ont la capacité de mettre en évidence des signes précurseurs d'altération du milieu naturel avant même que les effets soient ressentis à l'intérieur du milieu affecté. Ils agissent par conséquent comme une sorte de signal d'alarme pour l'ensemble de l'écosystème (Markert et al., 2003). De façon générale, une espèce sentinelle susceptible d'être utilisée à des fins d'évaluation des risques pour l'environnement devrait posséder les caractéristiques suivantes : être relativement facile à capturer ; être présente dans le milieu en nombre suffisant ; posséder une aire de répartition connue ; posséder une taille propice à la manipulation ; avoir déjà fait l'objet d'études confirmant ses qualités en tant que bioindicateur.

Le bon indicateur doit en effet d'être fiable quant à sa capacité à détecter les différents stress environnementaux, apte à différencier les stress d'origine anthropique de ceux émanant du milieu naturel et enfin simple d'utilisation et applicable dans plusieurs écosystèmes différents dans le but de permettre l'échange et la comparaison des données et des résultats (Burger et al., 2006; Daby, 2006). Plusieurs caractéristiques contribuent à faire de certaines espèces de meilleurs indicateurs que d'autres. L'abondance, l'accessibilité, la longévité ainsi qu'une taille facilitant les manipulations sont quelques-unes des caractéristiques recherchées

(Burger et al., 2006). Un bon indicateur doit être facile à utiliser par les scientifiques, facile à gérer par les gestionnaires de programmes, facile à employer par les mandataires et facile à interpréter par les décideurs politiques lorsque vient le temps de mettre sur pied des mesures législatives et d'intervention (Burger et al., 2006). Neveu (2001) donne un certains nombres de critères qui sont : être déterminable facilement grâce à sa taille et aux connaissances faunistiques, être échantillonnable facilement, si possible quantitativement, à un coût limité, avoir une répartition géographique large pour être généralisable, avoir une autoécologie connue, c'est-à-dire le niveau individuel de sensibilité et/ou de tolérance des espèces, être un bio-accumulateur (ayant la capacité d'accumuler certains contaminants présents dans l'environnement dans des proportions nettement supérieures à celles du milieu naturel), être facile à élever pour des tests, être peu variable sur le plan génétique.

Au niveau aquatique, particulièrement au niveau des eaux douces, plusieurs travaux ont été menés sur la pollu-sensibilité des groupes faunistiques, en fonction des milieux d'étude et des objectifs. L'intérêt porté sur les poissons par Leynaud et Trocherie (1980) puis Adams (1990) est basé sur leur rôle important vis-à-vis de la structure et du fonctionnement des réseaux trophiques aquatiques. Monod (2001) présente à cet effet cette fonction trophique comme une des deux voies d'absorption de polluants par les poissons. L'autre voie étant la filtration d'eau au niveau branchial. Les polluants bio-accumulés chez les poissons ont sans doute des effets létaux, ou sublétaux. Très souvent, il est bien tard lorsqu'un diagnostic est exclusivement porté sur la structuration des poissons. Berger (1989) et Berger et Rybacki (1998) ont porté leur étude sur les têtards de grenouilles vertes dans les zones agricoles et ont constaté une réduction de la population de ces organismes sous l'influence des nitrates. Cet élément chimique participe également à la prolifération des macrophytes (Herbert et Légaré, 2000). Parmi ces plantes, le genre *Ceratophyllum*, très présent dans les lacs et étangs ouest africains, détecté comme ayant des qualités dans le raffinage des eaux usées (Foroughi et al. 2010), est aussi liée à la prolifération de *Bulinus rohlfsi*, un mollusque hébergeant les cercaires des *Schistosoma haematobium* responsable de la bilharziose (Klumpp et Chu, 1980).

I.1.3.3- Importance des macroinvertébrés en tant que bioindicateurs

Neveu (2001) estiment qu'un bon indicateur biologique devrait :

- Etre déterminable facilement grâce à sa taille et aux connaissances faunistiques.
- Etre échantillonnable facilement, si possible quantitativement, à un coût limité.

- Avoir une répartition géographique large pour être généralisable
- Avoir une autoécologie connue, c'est-à-dire le niveau individuel de sensibilité et/ou de tolérance des espèces.
- Etre un bio-accumulateur des toxiques pour des analyses.
- Etre facile à élever pour des tests.
- Etre peu variable sur le plan génétique.

Pour ces mêmes auteurs, les macroinvertébrés benthiques semblent remplir ces critères. Ces organismes sont considérés comme d'excellents indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (Moisan et Pelletier, 2008). Ils permettent également d'évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Barbour et al., 1999). Ce sont, dans la plupart des cas, des organismes abondants, faciles à collecter. Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux. Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physiques (modifications de l'habitat), biologiques et chimiques dans les cours d'eau (Moisan et Pelletier, 2008). Ils sont abondants dans la plupart des rivières et faciles à récolter. De plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour et al., 1999).

I.1.3.4- Traits biologiques et écologiques

Les traits biologiques et écologiques rassemblent l'ensemble des informations qualitatives associées à la biologie des organismes et à leurs relations avec l'environnement (Archambault et al., 2010). Les traits biologiques sont décrits comme caractérisant le cycle de vie, les potentialités de résistance, ou de résilience, mais aussi la morphologie, la physiologie ou le comportement d'un taxon. Les traits écologiques sont décrits par des variables caractérisant les affinités d'un taxon (sensibilité/tolérance) pour certaines caractéristiques de l'habitat, comme sa distribution spatiale, ses préférences en matière d'habitat ou encore aux principaux paramètres physicochimiques de la colonne d'eau : nutriments, matière organique, salinité, oxygénation etc...

Les descripteurs taxonomiques (indices de diversité, richesse taxonomique, abondances relatives, espèces indicatrices) sont les plus couramment employés, mais les

mesures non taxonomiques (traits biologiques et écologiques) peuvent aussi se révéler riches d'informations. Pour ces mêmes auteurs, il est intéressant de travailler sur les traits plutôt que sur des indices pour deux raisons : les indices reflètent difficilement la variabilité naturelle des communautés selon les zones géographiques, et aboutissent à une trop grande réduction de l'information écologique. Par ailleurs, ces indices génèrent rarement une diversité de réponses en rapport avec la diversité des perturbations naturelles ou anthropiques à décrire. Ils ne permettent pas d'établir un diagnostic précis sur l'origine de la dégradation du milieu, et discriminent rarement dans leur évaluation, l'impact des perturbations, des fluctuations naturelles (temporelles et/ou spatiales) de la composition des communautés vivantes.

Stark et al. (2004) ont par exemple montré le rôle que jouaient les stratégies biologiques dans la sensibilité des macroinvertébrés au stress toxique. Ils ont mis en évidence la capacité de certains traits biologiques, comme les modes de reproduction et de dispersion, mais aussi la durée du cycle de vie et le nombre de génération par an, à influencer les capacités de récupération après un stress toxique.

I.1.4- Synthèse de travaux sur les macroinvertébrés en Afrique de l'Ouest

En Afrique de l'Ouest, les grandes endémies invalidantes notamment l'onchocercose et la bilharziose ont été au centre de beaucoup de recherche. La lutte contre ces maladies a nécessairement engendré des recherches sur l'autoécologie de leurs vecteurs qui sont pour la plupart des macroinvertébrés aquatiques. Aujourd'hui, bien de ces macroinvertébrés et leur structuration sont connus. Si le but principal de l'étude des macroinvertébrés était leur rôle dans la prolifération de ces maladies spécifiquement, la connaissance faunistique s'est améliorée, leur rôle dans la nutrition des poissons n'en demeure pas moindre.

I.1.4.1- Luites vectorielles et leur conséquence sur la connaissance des macroinvertébrés

En matière de vaste programme de lutte contre un vecteur de maladie, l'OCP (Programme de lutte contre l'Onchocercose en Afrique de l'Ouest) reste un cas unique au monde d'une grande envergure qui a accordé une place de choix à l'étude de l'impact écologique de ses activités (Yaméogo et al., 1988). Selon ces auteurs, la mise en place en 1974 de cette lutte chimique menée contre *Simulium damnosum* Théobald, était une alternative à l'absence de médicaments. De cette lutte, les travaux de Guenda (1996) au niveau du Mouhoun (fleuve du Burkina Faso et zone endémique) restent une source

didactique en matière d'hydrobiologie, ne serait-ce que la clé de détermination des larves de Simuliidae et les nouvelles espèces de Trichoptères qui y sont décrites.

Les recherches sur les insectes vecteurs de maladies se rencontrent depuis les travaux de Cornet (1969) au Sénégal. En effet, cette étude sur l'épidémiologie des arbovirus a aussi permis l'échantillonnage de spécimen de Ceratopogonidae (Diptères) encore ignorés de la science à ce jour.

Parent et al. (1997) lient la prolifération du mollusque (*Bulinus rohlfsi*), hôte intermédiaire de l'agent causal de la bilharziose, à l'aménagement des ouvrages hydroagricoles. En effet Poda et al. (2006) affirment que la bilharziose est une menace pour les populations riveraines des aménagements hydro-agricoles ; en conséquence Poda et al. (2003) indiquent que la connaissance de la structuration de ces macroinvertébrés reste important dans la lutte contre cette maladie d'où l'amélioration des conditions de vie de ces populations. Klumpp et Chu (1980), au Ghana, ont mis en évidence la forte corrélation entre *Bulinus rohlfsi* et la prolifération de *Ceratophyllum*, une plante aquatique envahissante, dans les plans d'eau. La publication de la clé sur les gastéropodes par Brown (1980) constitue actuellement un apport important sur la connaissance de l'écologie des mollusques en Afrique et leur rôle dans la propagation des maladies hydriques.

I.1.4.2- Macroinvertébrés et bioindication en Afrique de l'Ouest

Aucun indice basé sur les macroinvertébrés benthiques n'a été élaboré en Afrique de l'ouest pour l'évaluation de la qualité biologique des plans d'eau. Néanmoins, plusieurs chercheurs Ouest Africains, en combinant les données de littérature sur la bioindication et les échantillonnages de terrain ont pu faire l'état de qualité de l'eau au niveau de systèmes aquatiques.

La distribution faunistique abordée par Guenda (1996) au niveau du fleuve Mouhoun (Burkina Faso) a permis de comprendre l'état biologique de ce cours d'eau qui semblait de bonne qualité à cette période. En effet, les fortes colonies d'EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères) rencontrées dans ce cours d'eau pendant son étude, témoignent d'une bonne qualité biologique. Il est à signaler qu'au Burkina Faso, Déjoux (1977), s'intéressait déjà à la structuration des macroinvertébrés des lacs. On rencontre ainsi, cette même conclusion sur les ETP avec Diomandé et al. (2009) au niveau de la rivière Agnéby en Côte d'Ivoire. Ces études ressortent également les stratifications spatiales des macroinvertébrés. Dans ce même pays, Edia Oi et al. (2013) ont réalisé une étude de

bioindication au niveau de cours d'eau en utilisant la méthode IndVal (Dufrêne et Légendre, 1997) qui est une méthode permettant la recherche de bioindicateurs par l'étude de la distribution des espèces indépendamment pris par sites. Les démarches de Diomandé et al. (2009) sont observées avec Kabré et Illé (2000) et Kabré et al. (2002). Mouthon (1993) avait en effet procédé à cette stratification spatiale au niveau des lacs pour la détermination de l'indice malacologique de qualité des systèmes lacustres (IMOL).

A l'instar de Klumpp et Chu (1980), Kouamé et al. (2011) ont également enrichi les connaissances sur la structuration des macroinvertébrés liés aux macrophytes aquatiques principalement *Eichhornia crassipes* et les végétaux indigènes. Si on s'en tient au protocole d'échantillonnage de la directive cadre européenne de l'eau en vue du calcul de l'IBGN (AFNOR, 2009), la prise en compte des habitats jugés marginaux (plantes aquatiques) est préconisée. Ces études réalisées sont pour la plupart des études d'inventaire qui cherchent à fournir la couverture faunistique en macroinvertébrés d'écosystèmes restés inconnus. Les travaux de Camara et al. (2012) au niveau du Banco en Côte d'Ivoire, s'inscrivent dans ce registre.

Si des travaux songeaient à l'élaboration d'indice de surveillance de qualité de l'eau basé sur les macroinvertébrés ce sont ceux de Gnohossou (2006). En effet cette étude consacrée aux invertébrés aquatiques en général mené sur la lagune Nokoué au Bénin, avait comme un des buts : étude de l'influence de la pollution sur la composition et la structure des invertébrés en vue d'élaborer un indice biotique de la pollution pour la surveillance des lagunes ouest Africaines. En effet, cette étude dédiée à l'écologie spécifique de communautés a eu bien son sens après des travaux sur la Biyémé au Cameroun (Afrique Centrale) mené par Foto et al. (2011). En effet ces travaux recommandaient une relecture à la baisse de la côte de tolérance des Atyidae de l'Ordre des décapodes sous les tropiques, en dépit des résultats de Thorne et Williams (1997) qui stipulent que les réponses des macroinvertébrés benthiques à la pollution restent moyennement sensibles à travers le monde. En effet, les résultats de ces chercheurs découlent des études menées sur trois rivières de conditions climatiques bien différentes : la rivière Ping à Chiang Mai au nord de la Thaïlande, la rivière Odaw dans la région d'Accra au Ghana et le Rio Tieté à Sao Paulo au Brésil.

I.1.4.3- Etat de connaissance des macroinvertébrés du Burkina Faso

Bien avant la mise en place du programme de lutte contre l'onchocercose dont le vecteur est un Diptère Simuliidés (*Simulium damnosum*), Grenier et al. (1960) avaient déjà inventorié seize espèces de cette famille au Burkina Faso. Ce sont :

- *Simulium aderi*
- *S. alcocki alcocki*
- *S. alcocki djallonense*
- *S. alcocki occidentale*
- *S. bovis*
- *S. dentulosum*
- *S. domnosum*
- *S. griseicolle*
- *S. griseicolle tridens*
- *S. medusaeforme hargreavesi*
- *S. loutetense*
- *S. nigratarsis*
- *S. ruficorne*
- *S. schoutedeni*
- *S. unicornutum*
- *S. vorax*

Parmi les moyens de lutte contre *S. damnosum*, la lutte biologique était aussi préconisée. Il était question d'élevage de prédateur de cette espèce nuisible. Parmi ces prédateurs, figurent les insectes de l'ordre des Trichoptères dont les études menées par Guenda (1996) ont aboutit à l'identification de 14 nouvelles espèces :

- *Catoxyethira fonensis*
- *C. vanandeli*
- *C. djenebae*
- *C. kourinioni*
- *C. botosaneanui*
- *C. giudicellii*
- *Orthotrichia guinkoi*
- *O. musssoi*

- *O. bolyi*
- *O. prevori*
- *O. dapola*
- *O. legieri*
- *O. cazauboni*
- *Psychomyiellodes badalus*

Les tableaux 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12 regroupent les macroinvertébrés des études de Guenda (1996) dont la liste non exhaustive fut complétée par les inventaires des Chironomidés par Déjoux (1977) au niveau du lac Bam (centre du Burkina Faso). Déjoux (1977) avait inventorié 25 espèces dont 7 étaient nouvelles pour la Haute Volta (Burkina Faso) à savoir :

- *Cryptochironomus stilifer*
- *C. sp*
- *Dicrotendipes fusconotallis*
- *Nilodorum rugosum*
- *N. brevibucca*
- *N. fractilobus*
- *Pentaneura cygnus*

Tableau 1: Etat de l'inventaire faunistique des Diptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Simuliidae	<i>Simulim adersi</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. alcocki alcocki</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. alcocki djallonense</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. alcocki occidentale</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. bovis</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. dentulosum</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. damnosum</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. griseicollae ss.</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. griseicollae tridens</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. medusaeforme hargreavesi</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. loutetense</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. nigritartus</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. ruficornis</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>Schoutedeni</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. unicornutum</i>	Grenier et al. (1960)
	<i>S. vorax</i>	Grenier et al. (1960)
Chironomidés	<i>Ablabesmya pictipes</i>	Déjoux (1977)
	<i>A. dusoleili</i>	Déjoux (1977)
	<i>Chironomus formosipennis</i>	Déjoux (1977)
	<i>Cladotanytarsus lewisi</i>	Déjoux (1977)
	<i>C. pseudomancus</i>	Guenda (1996)
	<i>Cryptochironomus nudiforceps</i>	Déjoux (1977)
	<i>C. duceras</i>	Déjoux (1977)
	<i>C. graminicolor</i>	Déjoux (1977)
	<i>C. sp</i>	Déjoux (1977)
	<i>C. Stilifer</i>	Déjoux (1977)
	<i>Cricotopus kisantuensis</i>	Guenda (1996)
	<i>C. quadrifasciatus</i>	Guenda (1996)
	<i>C. sp1</i>	Guenda (1996)
	<i>C. sp2</i>	Guenda (1996)
	<i>C. sp3</i>	Guenda (1996)
	<i>Dicrotendipes fusconotallis</i>	Déjoux (1977)
	<i>D. fusconotatus</i>	Déjoux (1977)
	<i>D. sudanensis</i>	Déjoux (1977)
	<i>Nanocladius sp</i>	Déjoux (1977)
	<i>Nilodorum rugosum</i>	Déjoux (1977)
	<i>Nilodosis fusea</i>	Déjoux (1977)
	<i>N. Brevibucca</i>	Déjoux (1977)
	<i>N. fractilobus</i>	Déjoux (1977)
	<i>N. brevibucca</i>	Déjoux (1977)
	<i>Orthocladius sp</i>	Déjoux (1977)
	<i>Pentaneura cygnus</i>	Déjoux (1977)
	<i>Polypedilum griseoguttatum</i>	Déjoux (1977)
	<i>Popypedilum deletum</i>	Déjoux (1977)
	<i>P. laterale</i>	Déjoux (1977)
	<i>P. melanophilus</i>	Guenda (1996)
	<i>P. fuscipenne</i>	Déjoux (1977)
	<i>Procladius brevipetiolatus</i>	Déjoux (1977)
	<i>Tanytus brevipalis</i>	Déjoux (1977)
	<i>T. sp</i>	Guenda (1996)
	<i>Tanytarsus angustus</i>	Guenda (1996)
	<i>T. spadiceonotatus</i>	Déjoux (1977)
	<i>T. sp1</i>	Guenda (1996)
	<i>T. sp2</i>	Guenda (1996)
	<i>Strictochironomus festivus festivus</i>	Guenda (1996)
	<i>S. caffarius</i>	Déjoux (1977)
	<i>S. puripennis</i>	Guenda (1996)
	<i>S. sp</i>	Guenda (1996)

Tableau 2: Etat d'inventaire des diptères du Burkin Faso (suite 1)

Familles	Espèces	Autres de l'inventaire
Ceratopogonidés	<i>Bezzia sp</i>	Guenda (1996)
	<i>Culicoides austeni</i>	Guenda (1996)
	<i>Corynoneura sp</i>	Guenda (1996)
	<i>Dusyhelea sp</i>	Guenda (1996)
Chaoboridés	<i>Eucorethra yunder</i>	Guenda (1996)
	<i>Machlonyx sp</i>	Guenda (1996)
Tabanidés	<i>Chrysops furcatus</i>	Guenda (1996)
	<i>C. excitans</i>	Guenda (1996)
	<i>Leucotabanus annulatus</i>	Guenda (1996)
	<i>Tabanus reinwardtii</i>	Guenda (1996)

Tableau 3: Etat de l'inventaire faunistique des Diptères du Burkina Faso (suite 2)

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
<i>Stratyomyidés</i>	<i>Eurorysphus sp</i>	Guenda (1996)
<i>Psychodidés</i>	<i>Mariuna sp</i>	Guenda (1996)
<i>Canaceidés</i>	<i>Canace matateei</i>	Guenda (1996)
<i>Syrphidés</i>	<i>Chrysogaster sp</i>	Guenda (1996)
<i>Muscidés</i>	<i>Lymnophora sp</i>	Guenda (1996)
<i>Tipulidés</i>	<i>Antocha sp</i>	Guenda (1996)

Tableau 4: Etat de l'inventaire faunistique des Trichoptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs et années d'inventaire
Hydropsychidés	<i>Aethaloptera dispar</i>	Guenda (1996)
	<i>A. maxima</i>	Guenda (1996)
	<i>Amphipsyche senegalensis</i>	Guenda (1996)
	<i>Cheumatopsyche afra</i>	Guenda (1996)
	<i>C. copiosa</i>	Guenda (1996)
	<i>C. digitata</i>	Guenda (1996)
	<i>C. falcifera</i>	Guenda (1996)
	<i>C. lesnei</i>	Guenda (1996)
	<i>C. macentae</i>	Guenda (1996)
	<i>C. sexfasciata</i>	Guenda (1996)
	<i>C. tournii</i>	Guenda (1996)
	<i>Leptonema sp</i>	Guenda (1996)
	<i>Macrostemum inscriptum</i>	Guenda (1996)
	<i>M. distinctum</i>	Guenda (1996)
	<i>Protomacronema splendens</i>	Guenda (1996)
Hydroptilidés	<i>Hydroptila mariatheresae</i>	Guenda (1996)
	<i>Oxyethira burkina</i>	Guenda (1996)
	<i>O. tenei</i>	Guenda (1996)
	<i>Catoxyethira pinhery</i>	Guenda (1996)
	<i>C. fonensis</i>	Guenda (1996)
	<i>C. vanandeli</i>	Guenda (1996)
	<i>C. djenebae</i>	Guenda (1996)
	<i>C. kourinioni</i>	Guenda (1996)
	<i>C. botosaneanui</i>	Guenda (1996)
	<i>C. giudicellii</i>	Guenda (1996)
	<i>Orthotrichia straeleni</i>	Guenda (1996)
	<i>O. aequatoriana</i>	Guenda (1996)
	<i>O. verbekei</i>	Guenda (1996)
	<i>O. alboguttata</i>	Guenda (1996)
	<i>O. petiti</i>	Guenda (1996)
	<i>O. nova</i>	Guenda (1996)
	<i>O. guinkoi</i>	Guenda (1996)
	<i>O. mussoi</i>	Guenda (1996)
	<i>O. bolyi</i>	Guenda (1996)
	<i>O. prevoti</i>	Guenda (1996)
	<i>O. dapola</i>	Guenda (1996)
	<i>O. legieri</i>	Guenda (1996)
	<i>O. cazauboni</i>	Guenda (1996)

Tableau 5:Etat d'inventaire des Trichoptères du Burkina Faso (Suite)

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Ecnomidés	<i>Ecnomus ulmeri</i>	Guenda (1996)
	<i>E. ugandanus</i>	Guenda (1996)
	<i>E. niouniouroui</i>	Guenda (1996)
	<i>E. foliatus curvatus</i>	Guenda (1996)
	<i>E. dinderessoii</i>	Guenda (1996)
	<i>E. complex</i>	Guenda (1996)
	<i>E. wendmanegrei</i>	Guenda (1996)
	<i>E. kunenensis</i>	Guenda (1996)
	<i>E. sakoi</i>	Guenda (1996)
	<i>Psychomyiellodes obscurus</i>	Guenda (1996)
	<i>P. dentatus</i>	Guenda (1996)
	<i>P. excavatus</i>	Guenda (1996)
	<i>P. badalus</i>	Guenda (1996)
	<i>Chimarra occidentalis</i>	Guenda (1996)
	<i>C. callasae</i>	Guenda (1996)
	<i>C. sassandrae</i>	Guenda (1996)
	<i>C. petri</i>	Guenda (1996)
	<i>Dipseudopsis capensis</i>	Guenda (1996)
	<i>D. njalana</i>	Guenda (1996)
	<i>D. fasciata</i>	Guenda (1996)
	<i>D. limbarenica</i>	Guenda (1996)
	<i>Athripsodes caeruleatus</i>	Guenda (1996)
	<i>A. sp</i>	Guenda (1996)
	<i>A. thibauti</i>	Guenda (1996)
	<i>Ceraclea njalaensis</i>	Guenda (1996)
	<i>C. schoutedeni</i>	Guenda (1996)
	<i>C. giudicellii</i>	Guenda (1996)
	<i>Hemileptocerus gregarius</i>	Guenda (1996)
	<i>Leptocerus intricatus</i>	Guenda (1996)
	<i>L. maguirus</i>	Guenda (1996)
	<i>Leptocerina mlanjensis</i>	Guenda (1996)
	<i>Oecetis acuta</i>	Guenda (1996)
	<i>O. africana</i>	Guenda (1996)
	<i>O. akimi</i>	Guenda (1996)
	<i>O. ghibensis</i>	Guenda (1996)
	<i>O. gradata</i>	Guenda (1996)
	<i>O. rama</i>	Guenda (1996)
	<i>O. reticulatella</i>	Guenda (1996)
	<i>O. Sunyani</i>	Guenda (1996)
	<i>Parasetodes tumbana</i>	Guenda (1996)
	<i>Setodes gracilis</i>	Guenda (1996)
	<i>S. baccatus</i>	Guenda (1996)
	<i>Triaenodella prozinskii</i>	Guenda (1996)
	<i>Triaenodes elegantus</i>	Guenda (1996)
	<i>T. serratus</i>	Guenda (1996)
	<i>Trichosetodes semibrunneus</i>	Guenda (1996)
Philopotamidés		Guenda (1996)
Dipseudopsidae		Guenda (1996)
Leptoceridés		Guenda (1996)

Tableau 6: Etat d'inventaire des Plécoptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Perlides	<i>Neoperla spio</i>	Guenda (1996)
Taeniopterygides		Guenda (1996)

Tableau 7: Etat d'inventaire des Ephéméroptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Beatides	<i>Beatis sp</i> <i>Afroptilum sp</i> <i>Cleon sp</i> <i>Pseudocleon sp</i> <i>Pseudopannota bertrandi</i> <i>Centroptiloides sp</i>	
Caneides	<i>Caenomedea sp</i> <i>Caenodes sp</i>	
Polymitarcyides	<i>Epheron sp</i>	
Ephémérides	<i>Ephemera sp</i>	
Potamanthides	<i>Potamanthus sp</i>	
Heptageniides	<i>Afronurus sp</i>	
Leptophlebiides	<i>Choroterpes</i>	
Oligoneuriides	<i>Elassoneria sp</i>	
Tricorythides	<i>Tricorythus sp</i>	

Tableau 8: Etat d'inventaire des Coléoptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Dytiscides	<i>Clypeodytes coartaticolis</i> <i>Cathydrus kopi</i> <i>Guignotus dakarensis</i> <i>Guignotus fusillus</i> <i>Hydrovatus regimbarti</i> <i>Laccophilus addendus</i> <i>Synchortus sparsus</i> <i>Yolula dohmi</i>	Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996) Guenda (1996)
Elmides	<i>Potamodytes sp</i>	Guenda (1996)
Gyrinides	<i>Aulonogyrus sp</i>	Guenda (1996)
Hydrophilides	<i>Enochrus sp</i>	Guenda (1996)

Tableau 9: Etat d'inventaire des Odonates du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Libellulides	<i>Zygonix sp</i>	Guenda (1996)
Coenagriides	<i>Pseudagrion wellani</i>	Guenda (1996)
Gomphides	<i>Paragomphus sp</i>	Guenda (1996)
Chlorocyphides	<i>Chlorocypha sp</i>	Guenda (1996)

Tableau 10: Etat d'inventaire des Hétéroptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Bélostomidés	<i>Diplonychus sp</i>	Guenda (1996)
Gerridés	<i>Eurymetra sp</i>	Guenda (1996)
Veliidés	<i>Microvelia sp</i>	Guenda (1996)
	<i>Rhagovelia reitteri</i>	Guenda (1996)
Corixidés	<i>Micronecta sp</i>	Guenda (1996)
Notonectidés	<i>Anisops sardea</i>	Guenda (1996)
Nepidés	<i>Nepa sp</i>	Guenda (1996)

Tableau 11: Etat d'inventaire des Lépidoptères du Burkina Faso

Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Noctuidés		Guenda (1996)
Pyralidés		Guenda (1996)

Tableau 12: Etat d'inventaire des Annélides et Mollusques du Burkina Faso

	Familles	Espèces	Auteurs de l'inventaire
Vers (Annélides)	Hirudinés		
	Naïdidés		
Mollusques (Lamellibranches)			Guenda (1996)
Mollusques (Gastéropodes)	Bulinidés	<i>Bulinus rohlfsi</i>	
	Planorbidés		Guenda (1996)
	Valvatidés		

En conclusion les études sur les macroinvertébrés benthiques en Afrique de l'Ouest sont assez récentes avec la production de documents d'écologie générale; par contre la dynamique de structuration de ces insectes est mal documentée d'une part et le rôle de bioindicateurs que jouent ces insectes n'a pas été bien élucidé. Cependant le rôle écologique que jouent ces organismes sont connus. La place qu'occupent certains d'entre eux dans la transmission de certaines maladies vectorielles est également abondamment décrite. Finalement l'effet induit des différents programmes de lutte contre les grandes endémies (onchocercose surtout) ou les ravageurs de culture (lutte antiacridienne par exemple) a permis une meilleure connaissance de la faune de macroinvertébrés dite alors non-cible. Malheureusement très peu d'information existent sur le rôle de bioindicateurs de certains taxons de macroinvertébrés ; la bioindication est un outil efficace dans l'évaluation d'impact environnemental.

I.2- Généralité sur le Burkina Faso

Introduction

Le Burkina Faso est enclavé au cœur de l'Afrique de l'Ouest. Il est situé entre les parallèles 9°3' et 15° Nord et les méridiens 2°30' Est et 5°30' Ouest. Les ressources en eau sont exclusivement tributaires des pluies qui assurent la recharge des nappes d'eau souterraines et le remplissage à des degrés divers, les lacs d'eau de surface. Le recours à la construction d'ouvrages de stockages de l'eau tels les petits barrages, s'est avéré comme une solution adéquate. Dans ce paysage sahélien, où les systèmes lacustres naturels étaient rares voire inexistant, ces lacs artificiels représentent des habitats nouveaux pour un ensemble de communautés aquatiques tels les macroinvertébrés qui apparaissent comme de meilleurs indicateurs biologiques (Lévêque, 1987).

I.2.1- Climat et Pluviométrie du Burkina Faso

La pluviométrie au Burkina Faso est caractérisée par une forte variation interannuelle et une mauvaise répartition spatiale. On distingue trois zones climatiques aux caractéristiques suivantes :

- La zone sud soudanienne : elle a une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 900 mm et est située au sud du parallèle 11°30'N ;
- La zone nord soudanienne : elle a une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 900 mm et est située entre les parallèles 11°30' et 14°N ;
- La zone sahélienne : elle est au-dessus du parallèle 14°N et a une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à 600 mm.

Dans la zone sahélienne, les précipitations durent environ 3 mois. Elles durent 4 à 5 mois dans la zone nord soudanienne et 6 à 7 mois dans la zone sud soudanienne.

Les pluies de forte intensité sur les sols limoneux nus (début de saison des pluies) provoquent la formation d'une croûte sur laquelle les eaux ruissellent et favorisent l'érosion régressive et le creusement des chéneaux d'écoulement. De telles pluies remplissent les marigots et les bas-fonds mais ne favorisent pas l'infiltration.

Depuis les années 1970, la pluviométrie a fortement baissé. Toutes les isohyètes ont connu une importante translation vers le sud du pays. Les conséquences immédiates de cette sécheresse prolongée ont été :

- la chute des débits des rivières (notamment ceux d'étiage liés au déversement des nappes);
- la baisse des réserves totales en eau souterraine ;
- la dégradation du couvert végétal suite à une mortalité massive des ligneux ;
- la pénurie d'eau potable au niveau des centres urbains et des villages.

L'eau devient donc rare au moment où la démographie croissante et l'urbanisation accélérée ont accru les besoins de l'agriculture, de l'élevage, de l'industrie, de l'énergie, des mines, etc. Par ailleurs la nécessité de prélever des débits ponctuels, est élevée.

I.2.2- Végétation du Burkina Faso

Au Burkina Faso, on distingue trois grands types de végétation qui sont les steppes, les savanes et les forêts. Cette distribution de la végétation correspond plus ou moins au découpage des zones climatiques du pays.

Guinko (1985) distingue deux domaines phytogéographiques au Burkina Faso, qui sont subdivisés en secteurs et districts: le domaine sahélien et le domaine soudanien.

- Le domaine sahélien : la végétation y est dominée par des steppes à plusieurs faciès (herbeuse, arbustive, arborée) dont la monotonie est rompue çà et là par des fourrés de densité croissante du nord vers le sud, et des galeries forestières. La physionomie et la composition floristique de la végétation permettent de différencier deux secteurs :

- le secteur sahélien strict au nord du 14ème parallèle est caractérisé par des steppes à herbes annuelles faisant place vers le Sud à une steppe arbustive à fourrés plus ou moins dense ;

- le secteur sub-sahélien situé entre les 13ème et 14ème parallèles est caractérisé par des steppes arbustives évoluant vers le sud en steppes arborées.

- Le domaine soudanien : il constitue la zone d'extension des savanes. Le tapis herbacé plus haut et plus dense facilite le passage annuel des feux considérés comme un puissant moyen de maintien du dynamisme de ces formations savanicoles. La distribution de l'espèce grégaire *Isberlina doka* permet de distinguer deux secteurs:

- le secteur nord-soudanien situé entre les 13ème et 12ème parallèles correspond à la zone la plus intensément cultivée du pays du fait de la forte poussée démographique. La végétation présente l'allure des paysages agricoles dominés par des espèces protégées comme *Butyrospermum paradoxum*, *Tamarindus indica*, *Adansonia digitata* etc. On y rencontre également, proche des habitations des "bois sacrés" protégés par les pratiques coutumières qui témoignent l'existence d'une végétation climatique constituée de forêts claires ;
- le secteur sud-soudanien bénéficie des climats les moins xériques du pays et des formations denses les moins perturbées en raison de la faible densité de la population.

Il est important de souligner que le milieu est en dégradation à cause des sécheresses répétées, des feux de brousse, de l'agriculture itinérante, du surpâturage et de coupe anarchique du bois. Les conséquences de cette dégradation sur la disponibilité en eau sont :

- une augmentation du ruissellement et des transports de matières solides par les eaux ;
- une diminution de l'infiltration et donc des réserves d'eau souterraine.

I.2.3- Géologie du Burkina Faso

L'histoire géologique du Burkina commence avec la formation du craton Ouest Africain, vaste noyau stable précambrien qui forme l'ossature de la majeure partie du pays et dans lequel on distingue :

- Les formations antébirimiennes, essentiellement des granites et des gneiss qui constituent une grande partie du pays ;
- Les formations birimiennes comprenant des roches métamorphisées d'origine sédimentaire ou volcanique et des granites syntectoniques ;
- des intrusions granitiques post-tectoniques qui recoupent les formations précédentes.

Sur ce socle cristallin sont venues se déposer des formations sédimentaires marines précambriennes (grès, schistes, calcaires, flanc sud du bassin de Taoudéni) et des dépôts beaucoup plus récents (Tertiaire) dits du "Continental Terminal".

Cette géologie détermine très largement les ressources en eau du pays. Dans les zones de socle cristallin, l'eau se trouve soit dans la zone altérée, plus ou moins épaisse, soit dans les fractures de la roche saine sous-jacente. Si la roche mère est de type acide (granites, gneiss, granodiorites, migmatites, etc.), la roche altérée (dite arène) est d'aspect sableux et peut contenir une nappe continue relativement facile à exploiter ; si la roche mère est de type basique (roches vertes, gabbros, amphibolites, schistes, etc.), la roche altérée est beaucoup plus argileuse et les potentialités aquifères sont moins bonnes. Dans le socle sain, les fractures offrent des débits très variables selon leur configuration (état d'ouverture, de colmatage, etc.), mais elles restent difficiles à localiser, même avec les moyens techniques tels que photo-interprétation et prospection géophysique. Les débits moyens obtenus dans les forages en zone de socle sont de l'ordre de 5 m³/h. Dans la zone sédimentaire par contre, les aquifères sont beaucoup plus épais et continus. Au Burkina Faso, la bordure sud du bassin de Taoudeni (Nord de Bobo-Dioulasso) est constituée d'une accumulation de roches à dominante gréseuse atteignant plusieurs centaines (et peut-être plusieurs milliers) de m d'épaisseur. Ces roches abritent plusieurs niveaux aquifères superposés parfois très productifs. Certains aquifères sont en charge et même artésiens, dans la région au nord d'Orodara. Certains forages de la zone sédimentaire débitent plusieurs centaines de m³/h.

I.2.4- Relief du Burkina Faso

Le territoire du Burkina se caractérise par son uniformité et sa planéité. Plus de 98 % du pays se situe entre 160 et 480 m d'altitude. Les ¾ du pays se présentent comme une vaste pénéplaine où se distinguent deux types de morphologie :

- une succession de buttes tabulaires cuirassées dominant de longs glacis ;
- une succession de croupes molles à versants convexes et de talwegs plus marqués et plus nombreux.

I.2.5- Ressources en eaux et utilisation de l'eau du Burkina Faso

I.2.5.1- Ressources en eaux du Burkina Faso

Le réseau hydrographique est formé de nombreux cours d'eau et mares dans la partie méridionale du pays. Il se divise en trois principaux bassins:

- le bassin de la Volta (divisé en deux sous-bassins le Mouhoun, 91000 km² et le Nakambé 81000 km²) qui s'étend sur 63% du territoire au centre et à l'ouest et est constitué des fleuves Mouhoun, Nakambé, Nazinon et Pendjari qui se rejoignent au Ghana;
- le bassin du Niger (83162 km²), qui occupe 30% du pays, draine l'est et le nord avant de se jeter dans le fleuve Niger;
- le bassin de la Comoé (18326 km²), qui s'étend sur 7% du pays, traverse la Côte d'Ivoire avant de se jeter dans le golfe de Guinée.

Le pays compte de nombreuses zones humides qui occupent près de 180 000 ha de plans d'eau.

La pluviométrie moyenne est de 748 mm pour l'ensemble du pays. Compte tenu de la partie commune des ressources en eau de surface et souterraine, le total des ressources en eau renouvelables internes est estimé à 12,5 km³/an.

Les ressources en eau renouvelables de surface sont évaluées à 8 km³/an. A l'exception de celles du sud-ouest du pays, toutes les rivières du Burkina Faso sont temporaires. En année sèche ce potentiel tombe à 4,3 km³/an. Le volume total des ressources en eau souterraine renouvelables est de l'ordre de 9,5 km³/an. Cependant, d'après l'état des lieux des ressources en eau, préparé par le Ministère de l'environnement et de l'eau en 2001, les fluctuations observées au niveau des aquifères depuis 20 ans permettent de conclure qu'il n'existe pratiquement pas de ressources en eau souterraine renouvelables au Burkina Faso.

I.2.5.2- Besoin en eau du Burkina Faso

Les besoins annuels en eau du Burkina Faso sont estimés à 2,5 milliards de m³ (Tableau 13). L'irrigation représente 10% de cette quantité tandis que l'alimentation en eau des populations et du cheptel ne représente que moins de 7%.

L'évapotranspiration est très forte, 84% des 190 milliards de m³ (quantité de pluies annuelle) sont évaporés et 67% des ressources disponibles s'infiltrant (Tableau 14). Les eaux souterraines restent la majeure partie de la ressource potentielle théorique.

Tableau 13: Besoin en eau du Burkina Faso (Source: <http://www.eaiburkina.bf>)

Besoins	Quantité en milliards de m ³
Eau potable	0,10 (3,9%)
Irrigation	0,25 (9,9%)
Elevage	0,07 (2,8%)
Hydroélectricité	2,09 (83%)
Industries et mines	0,01 (0,2%)
Total	2,52

Tableau 14: Ressources en eau du Burkina Faso (Source: <http://www.eaiburkina.bf>)

Ressources	Quantité en milliards de m ³
Pluie annuelle moyenne	190 (100%)
Evapotranspiration	159 (83,7%)
Ressource disponible	31 (100%)
Ruissellement	7,8 (25,2%)
Infiltration	20,7 (66,8%)
Volume total des barrages	2,7 (8,7%)
Ressource souterraine totale	455

Même s'il semble que les besoins en eau à l'échelle du pays puissent être largement couverts, cette estimation ne doit cependant pas cacher l'existence d'importantes disparités locales qui peuvent être à l'origine de problèmes d'adéquation entre la ressource localement disponible et la demande. C'est en particulier le cas pour les gros besoins ponctuels (urbains, industriels, périmètres irrigués) en zone de socle cristallin qui ne peuvent pas être satisfaits à

partir des eaux souterraines. Cette raison explique pourquoi le Burkina Faso continue résolument à se tourner vers la mobilisation d'eaux de surface, principalement au travers de la création continue de nouveaux réservoirs : les petits barrages.

Chapitre II : Méthodologie

II.1- Milieu d'étude : le bassin de la Volta

La superficie du Burkina Faso est divisée en 3 grands bassins versants qui par ailleurs sont des bassins internationaux : le bassin du Niger, le bassin de la Comoé et celui de la Volta. Le bassin hydrographique de la Volta, couvre une superficie de 172000 Km² (le Niger et la Comoé font respectivement 83162 km² et 18326 km²), soit environ 63 % du territoire national.

II.2.1- Hydrographie du bassin de la Volta

Le bassin de la Volta est drainé par les fleuves Mouhoun, Nakanbé et Nazinon, antérieurement dénommés respectivement Volta Noire, Volta Blanche et Volta Rouge. Ces trois cours d'eaux forment deux bassins nationaux qui sont le bassin du Mouhoun avec une superficie de 91000 km² et le bassin du Nakanbé d'une superficie de 81000 km². Le réseau hydrographique du bassin peut être divisé en 4 réseaux qui sont :

- Réseau hydrographique du Mouhoun

Seul cours d'eau pérenne, le Mouhoun prend sa source sur le versant nord du massif gréseux de la falaise de Banfora, dans une région où les précipitations dépassent 1000 mm par an. Il coule d'abord vers le nord-est puis s'infléchit brusquement vers le sud. Ses principaux affluents sont le Poni, la Bougouriba, le grand Balé, le Vranso, le Sourou, le Voun Hou et le Kou. Au confluent du Sourou, le Mouhoun et ses principaux affluents fournissent un débit moyen de 25 m³ /S. Ce volume est cependant très irrégulier. Le Mouhoun coule vers le sud-ouest et forme la frontière administrative du Burkina avec le Ghana. Il parcourt le Burkina sur une distance d'environ 860 km.

- Réseau hydrographique du Nakanbé:

Il prend sa source à l'Est de Ouahigouya, dans une région qui reçoit 500 à 600 mm d'eau par an. Il draine toute la partie centrale et le nord du plateau central et ne coule que pendant la saison des pluies. Les premiers écoulements intermittents peuvent se produire en mai, mais ce n'est qu'en juillet/août que les débits deviennent permanents.

- Le réseau hydrographique du Nazinon:

Le cours d'eau et son principal affluent la Sissili, drainent la partie sud-ouest du plateau centrale avec un bassin versant de 20 000 km². Leur régime hydrologique est quasi similaire à celui du Nakanbé.

- Le réseau hydrographique de la Pendjari :

Le cours d'eau forme la frontière sud-est du Burkina avec le Bénin et reçoit en rive droite trois affluents (le Doudodo, le Singou et la Kompienga) dont les bassins versants totalisent 21600 km². Ces affluents apportent moins de 30% du débit moyen de la Pendjari qui elle-même tarit au moins une année sur deux à partir du mois d'avril au niveau de Porga (Bénin).

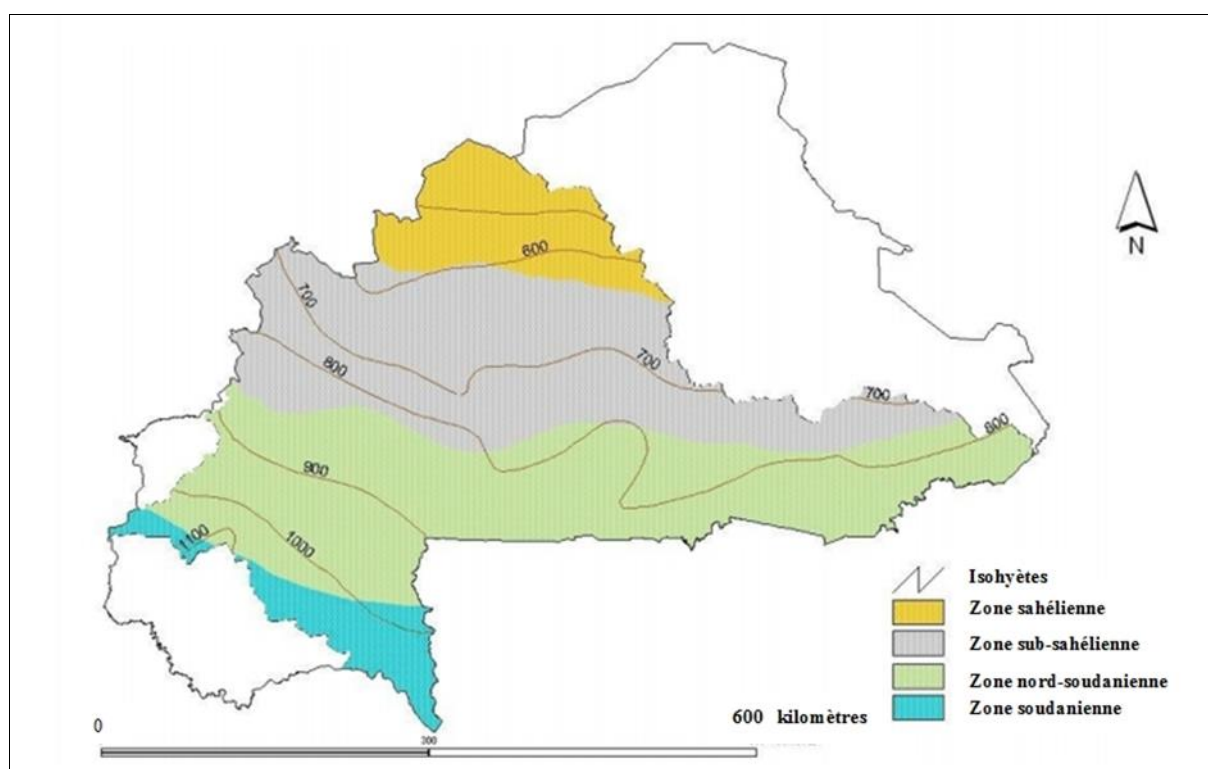
II.2.2- Climat du bassin de la Volta

Le bassin de la Volta est sous un climat tropical de type soudanien dans lequel alternent deux saisons de longueurs inégales. Une longue saison sèche (octobre à avril), due au passage d'un flux d'air sec (harmattan) originaire des hautes pressions sahariennes, suivie d'une courte saison humide (mai à septembre) due au flux provenant des hautes pressions océaniques de l'hémisphère sud qui déclenche la saison des pluies. La durée de la saison des pluies et la pluviométrie totale annuelle permettent de distinguer quatre grandes zones climatiques (carte 1)

- zone sahélienne située au Nord du 14^e parallèle reçoit environ 400 à 600 mm de pluie par an. La saison des pluies a une durée moyenne de 3 à 4 mois ;
- La zone sub-sahélienne située au nord du plateau mossi entre le 13^e et le 14^e parallèle reçoit une pluviométrie annuelle de 600 à 800 mm pour une durée de 4 mois ;
- La zone nord-soudanienne couvre la région centrale du bassin entre 11°30' et 13° Nord. Elle reçoit une pluviométrie comprise entre 800 et 1 000 mm pour une saison d'environ 4 à 5 mois ;
- La zone soudanienne qui reçoit une pluviométrie entre 1000 et 1100 mm. Elle occupe la partie sud-ouest du pays.

Les précipitations sur le bassin sont extrêmement variables d'une année à l'autre, et au cours de la même saison, d'une zone à une autre. On note également une période de sécheresse avec translation des isohyètes vers le sud depuis ces deux dernières décennies.

Les amplitudes journalières et annuelles des températures augmentent du sud vers le nord. Les maxima sont de l'ordre de 38° au sud et 42° C au Nord durant les mois de mars-avril. Cependant, les minima sont de 13° au sud et 10° au Nord au cours des mois de décembre janvier.



Carte 1: Zones climatiques du bassin de la Volta (Source: UNEP/GEF, 2008)

II.2.3- Végétation du bassin de la Volta

La végétation est marquée par la prédominance des formations végétales à couvert peu fermé et l'existence d'une strate herbacée sur l'ensemble du territoire. Trois grands types de végétation sont réparties en bandes parallèles aux isohyètes avec de légères variations en fonction des conditions pédologiques :

- la bande sud-sahélienne, composée de savanes arbustives et de formations herbeuses (Andropogon) ;

- la bande nord-soudanienne qui est formée d'une juxtaposition de formations résultant de la diversité des conditions pédologiques. La forte densité de peuplement fait que l'on rencontre rarement des formations ligneuses d'origine ;

- la bande sud-soudanienne localisée au sud-ouest et au sud-est est composée de forêts claires et des galeries forestières en bordures des cours d'eau permanents.

II.2.4- Relief et pente au niveau du bassin de la Volta

Dans l'ensemble, le bassin a une morphologie plate avec une altitude moyenne comprise entre 250 et 350 m. Les altitudes les plus élevées sont situées à l'ouest près de la ville de Orodara (ouest du pays) où on observe des buttes de 733 m et sur une dorsale Nord–Est–Sud s'étirant des environs de la ville de Yako au nord jusqu'aux environs de la ville Kampti au sud où les altitudes dépassent 500 m. Les altitudes inférieures à 200 m se rencontrent aux frontières avec le Togo et le Benin.

II.2.5- Géologie du bassin de la Volta

Les formations géologiques du bassin se rattachent à deux grands ensembles pétrographiques et comprennent la couverture sédimentaire tertiaire, primaire, et infracambrienne et le socle précambrien comprenant des formations métamorphiques et éruptives.

Le bassin est occupé essentiellement par trois types de sols qui sont :

- Les sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires qui s'étendent d'Ouagadougou jusqu'à la frontière nord du bassin, ainsi qu'à l'est du bassin ;

- Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés sur matériaux sableux et argileux occupant toute la partie sud du bassin ;

- Les sols hydromorphes, minéraux sur matériaux à texture variée qui occupent la partie ouest du bassin ainsi que le long des axes de drainage.

II.2.6- Principales activités économiques au niveau du bassin de la Volta

La principale activité économique du bassin est l'agriculture qui est dominée par la culture du coton et du maïs. Vue l'importance du coton dans les revenus des zones rurales,

les superficies cotonnières ne cessent d'augmenter d'année en année, ce qui n'est pas sans conséquence sur l'environnement.

Les céréales occupent 67% de la superficie et les cultures de rente 30% de celle-ci. La superficie des terres aménagées et actuellement mise en valeur ou niveau du Mouhoun, est d'environ 5360 ha dont 3315ha pour les aménagements au Sourou et dans les vallées du Kou et de Banzon. Les superficies aménagées dans les bas-fonds totalisent environ 2090 ha.

Le Nakanbé dispose de peu de ressources en eau souterraine, car entièrement situé en zone de socle cristallin. En revanche, il est le bassin disposant de plus de barrages, tant en volume d'eau stocké qu'en nombre. On y dénombre environ plus de 400 barrages dont les plus importants sont : Bagré, Kompienga, Ziga et Toécé.

Sur le plan agricole, 47 périmètres irrigués sont identifiés dans le bassin du Nakanbé mais les superficies aménagées ne sont que de 2620 ha dont 1000 ha pour Bagré (barrage à vocation mixte hydroagricole et hydroélectrique). Les bas-fonds couvrent presque 2175 ha. Les réalisations en superficie irriguée sont très faibles par rapport au volume d'eau qui peut être stocké.

Dans le domaine industriel, notamment minier, le bassin du Nakanbé regorge de nombreux sites aurifères. En termes de mobilisation d'eau de surface, il abrite les plus grands barrages du pays. (Bagré avec 1,7 milliards de m³, Kompienga avec 2 milliards de m³, Ziga avec 200 millions de m³, barrage de Toécé avec 75 millions de m³).

II.3- Les petits barrages

Les petits barrages ont d'abord été créés en réponse aux grandes sécheresses qui ont affecté toute la sous-région à la fin du siècle dernier (Figure 1). Petits, nombreux, dispersés, ces aménagements ont rapidement constitué des îlots de diversité et de productivité que les populations rurales se sont appropriées à des fins artisanales et domestiques (Cecchi, 2007). En effet, on compte environ 2000 ouvrages construits au Burkina Faso. Les plus anciens datant de la fin du XIX^{ème} siècle, sont situés dans la région de Bam et étaient l'œuvre de missionnaires (Cecchi, 2006). Au-delà de performances économiques souvent sous-optimales, la valeur de ces écosystèmes artificiels repose d'abord sur leur potentiel multi-usage, autorisant la succession ou la juxtaposition d'un ensemble d'activités et pratiques parfois concurrentes mais le plus souvent complémentaires (Venot et Cecchi, 2011). Ces Petits

Barrages jouent vraisemblablement un rôle important dans le déterminisme des dynamiques démographiques. Ce rôle peut être de deux ordres : les réservoirs et les ressources qu'ils génèrent contribuent à fixer les populations locales ; réservoirs et ressources peuvent également exercer un véritable tropisme et attirer de nouvelles populations (Cecchi, 2006). Pourtant la densification démographique et l'intensification agricole restent des causes majeures de dégradation des écosystèmes aquatiques (Leight et al., 2010 ; Sass et al., 2010). En effet, les contaminants issus des intrants agricoles jouent sur le développement du biote présent. De manière générale, au Burkina Faso la dégradation des écosystèmes liés aux plans d'eau artificiels et naturels devient une préoccupation croissante (GIRE, 2001).

Le nombre exact des petits barrages reste mal connu, car, la plupart n'existe aujourd'hui que de nom ; ils ont été dégradé par l'ensablement, perturbant ainsi les systèmes de pêche (Kabré et Illé, 2000 ; Kabré, 2001). Il faut aussi noter les défauts de conception et de réalisation de ces ouvrages. Beaucoup de retenues ont été financées par les associations et réalisées sans contrôle adéquat. Les études de Demonfaucon (2011) ont montré que, pour des raisons économiques, les études hydrologiques sont souvent menées très rapidement et les digues de protection parfois sous dimensionnées qui cèdent souvent sous l'action des fortes crues.

La vulnérabilité écologique de ces retenues est aussi mal perçue par les utilisateurs. Ceux-ci ne perçoivent les perturbations écologiques seulement lorsqu'ils entravent à leurs activités de pêche telle la prolifération de plantes aquatiques décrit par Herbert et Légaré (2000). Néanmoins, ils sont conscients, pour la plupart des dangers des pesticides (Gomgnimbou et al., 2010).

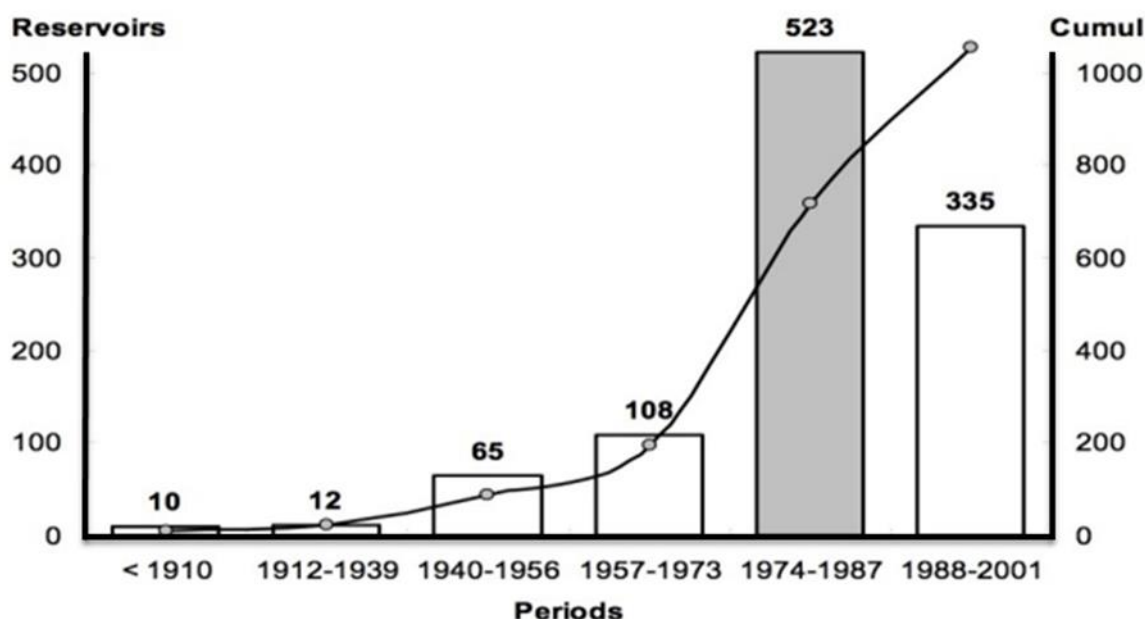


Figure 1: Evolution du nombre de réservoirs au Burkina Faso. Base de données DGRE 2001. (Source : Cecchi et al., 2009).

II.2- Matériel et Méthodes

II.2.1- Etude de la structuration des macroinvertébrés

II.2.1.1- Choix des stations

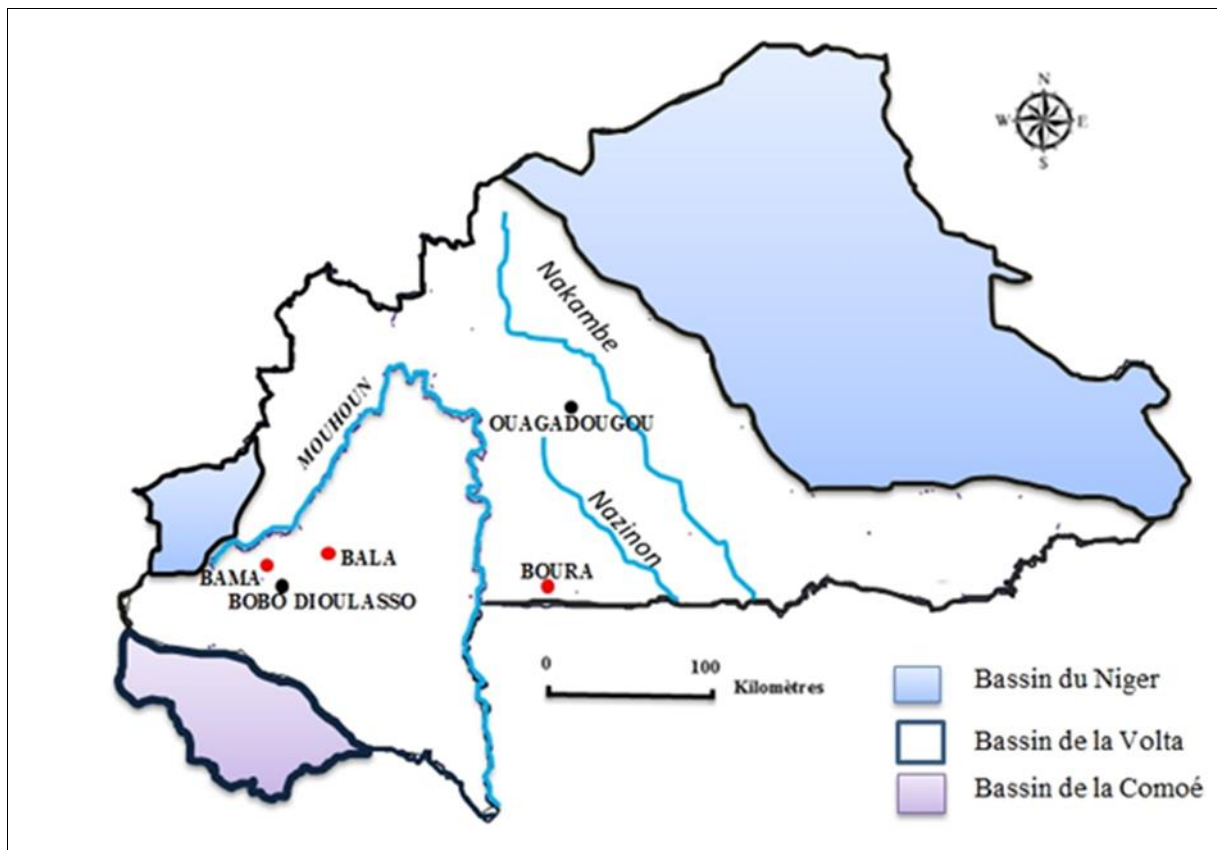
II.2.1.1.1- A l'échelle du bassin

Pour une meilleure représentativité de la biodiversité des communautés de macroinvertébrés benthiques, il est nécessaire de procéder à des suivis chronologiques de ces communautés. En effet, les différentes communautés ont des cycles biologiques différents dans le temps et dans l'espace lesquels sont régis par des facteurs environnementaux. Les descripteurs taxonomiques tels l'indice de diversité, la richesse taxonomique peuvent évoluer en fonction de la sensibilité des individus susceptibles de coloniser le milieu considéré. Selon Cremona (2007), la biomasse et la densité des macroinvertébrés au niveau des systèmes lacustres subissent des changements lors des variations des facteurs environnementaux. Bry (2001) estime que les suivis chronologiques permettent de surmonter les problèmes de variation multiples des facteurs environnementaux lorsque ceux-ci apparaissent de manière simultanée.

Dans le cadre d'étude d'identification de bioindicateurs, les résultats obtenus sont les fruits de comparaison de suivis chronologiques de milieux anthropisés à un milieu peu ou pas

perturbé, considéré comme une situation de référence (Moisan et Pelletier, 2008). Green (1979) décrit le plan d'échantillonnage qui consiste à établir une base de données biologiques (macroinvertébrés benthiques) et environnementales (chimiques et physiques) à partir de stations présentant des conditions peu ou pas altérées (stations de référence). Ce plan nommé ACR (Approche fondée sur les Conditions de Référence) mesure la variabilité du biote (communauté de macroinvertébrés benthiques) à des stations de référence d'un territoire (Reynoldson et al., 1997).

A l'échelle du bassin, trois plans d'eau dont les usages sont contrastés ont été choisis pour l'étude spatio-temporelle de la structuration de macroinvertébrés. Il s'agit des retenues d'eau hydroagricoles de Bama et de Boura et le lac naturel de Bala (Carte 2). Ce lac naturel qui est un site RAMSAR est considéré comme un site de référence dans notre étude. Les études de comparaison des différents échantillons permettent ainsi de définir des espèces d'intérêt écologiques dans la détermination de bioindicateurs des retenues du bassin de la Volta.



Carte 2: Carte représentant les différents bassins du Burkina Faso et la situation des retenues d'eau de Bala, Bama et de Boura

II.1.1.1.1- Caractéristiques des stations hydroagricoles

II.1.1.1.1.1- Station de Bama

Le réservoir de Bama ($11^{\circ}23' N$, $4^{\circ}24' W$) est localisé à une trentaine de kilomètre de la ville de Bobo-Dioulasso. Il est situé au cœur d'aménagements hydro-agricoles couvrant une superficie totale de près de 3000 ha dont un périmètre rizicole irrigué établi en 1972 de 1260 ha. On observe une multitude de collections d'eau majoritairement issues des activités anthropiques (Gimonneau, 2010). D'innombrables parcelles y sont par ailleurs cultivées (bananes, maïs, papayes, choux, maraîchage) avec les mêmes cultures en hivernage qu'en contre saison. D'une superficie de 50 ha environ, le lac de Bama est le fruit des déficiences techniques et du manque d'entretien des aménagements hydrauliques : il est situé au centre de nombreuses parcelles dont il draine une partie des écoulements. Des mutations génétiques ayant favorisé l'adaptation des moustiques de la zone aux insecticides ont été démontrées par Dabiré et al. (2008).

III.1.1.1.2- Station de Boura

Le lac du barrage de Boura (11°02'N, 2°30'W) est situé dans la commune de Boura à 50 km de Léo, chef-lieu de la province de la Sissili et à environ 200 km à l'Est de Bobo-Dioulasso. Cette commune rurale est constituée de 22 villages et d'environ 40 000 habitants. La digue du barrage avait été mise en place en 1950 par les villageois sur l'affluent principal de la rivière Kabarvaro et fut reconstruite en 1983 par l'Office National des Barrages et de l'Irrigation (ONBI). Ce réservoir de 4,2 millions de m³ (Compaoré et al., 2011) répond aux besoins pastoraux, humains et agricoles des populations riveraines. Son bassin versant (110 km²) est intensément cultivé, principalement à des fins vivrières. Le réservoir soutient l'irrigation de plusieurs périmètres situés tant sur les rives du réservoir (environ 30 ha de cultures maraîchères et de maïs) qu'en aval de la digue (de l'ordre de 75 ha de riziculture et de maïs) et exploités tant durant la saison des pluies qu'en contre-saison. Une quarantaine de pêcheurs exploitent le site tandis que de très nombreux troupeaux viennent s'y abreuver, notamment en saison sèche, ce point d'eau étant l'un des rares pérennes de toute la province de la Sissili.

III.1.1.1.2- Caractéristiques de la station de Bala (site RAMZAR)

La mare aux hippopotames de Bala (11°34'N, 4°10'W) est un lac naturel, avec une superficie variant de 80 à 350 ha (Béarez, 2003) et une capacité de l'ordre de 0,14 millions de m³, situé dans le village de Bala, département de Satiri à une soixantaine de kilomètres au Nord-est de Bobo-Dioulasso. La mare et l'intégralité de son bassin versant (192 km²) ont été classées Réserve de la Biosphère par L'UNESCO en 1987, puis site RAMSAR en 1990 : toute activité agricole y est strictement interdite. D'une longueur de 2,6 km pour 700 m de largeur en moyenne, le lac est alimenté par le Tinamou, prenant lui-même sa source au niveau de diverses résurgences phréatiques 4 km plus au sud. Le lac est localisé dans la pleine d'inondation du Mouhoun correspondant à une dépression au niveau de la rive droite du cours d'eau (Béarez, 2003). La mare aux hippopotames est située dans une zone de climat sud-soudanien, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm. La profondeur maximale du plan d'eau varie saisonnièrement entre 1m et 4m (Dibloni et al., 2010). Ce lac a été choisi comme référence puisqu'aucune activité agricole n'est autorisée à proximité immédiate.

II.2.1.2- A l'échelle du barrage

Pendant les périodes de crue, un continuum naturel s'établit entre les lacs de barrage et les cours d'eaux en aval. En effet, les eaux excédentaires se déversent au-delà de la digue et se dirigent vers les cours d'eau importants. Pendant les périodes de basses eaux, l'eau du lac de

barrage alimente les périmètres irrigués autour du lac et en aval de la digue. Les eaux usées des périmètres irrigués en aval sont aussi drainées vers ces cours d'eau importants. Le continuum est ainsi permanemment maintenu.

Leight et al. (2010) et Sass et al. (2010) liaient la dégradation des écosystèmes aquatiques à l'intensification agricole. L'objectif de cette étude à l'échelle du barrage est de ressortir les contrastes dans la structuration des macroinvertébrés dans un continuum lac de barrage-effluent issu de périmètres irrigués - fleuve. Il est donc question d'identifier les taxons de macroinvertébrés inféodés aux habitats tributaires des aménagements agricoles. La station de Boura (Barrage hydro-agricole) a été choisie pour cette étude.

II.2.1.2.1- Caractéristiques des stations d'étude

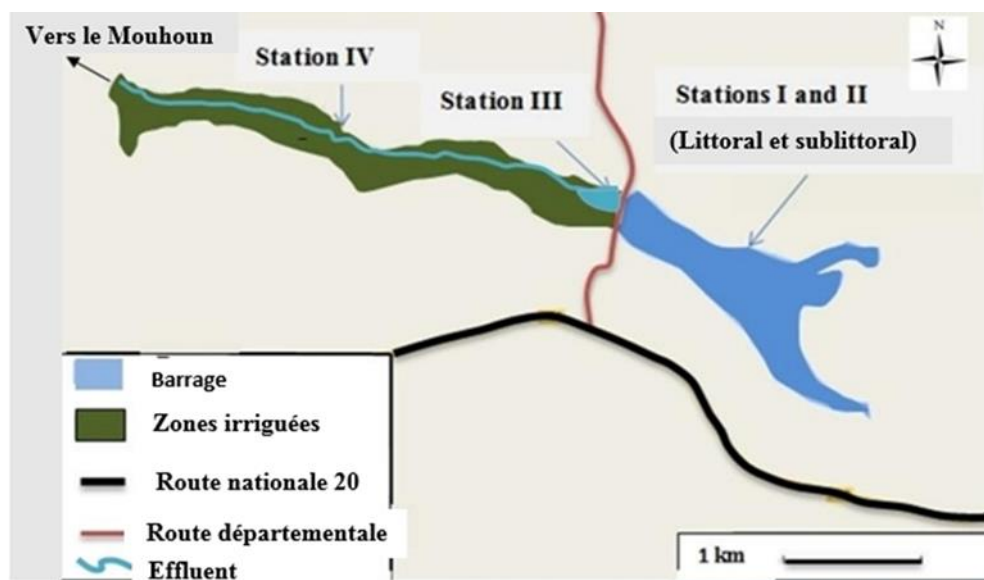
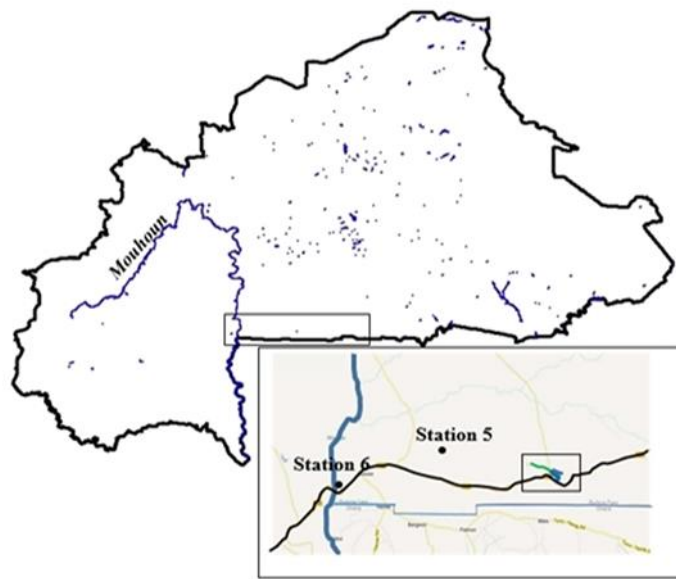
Pour cette étude, deux sous-échelles ont été définies à savoir, au niveau du lac de barrage et au niveau du continuum établi entre le lac de barrage et le fleuve Mouhoun (Carte 3). Les eaux excédentaires de la retenue d'eau se déversent en aval dans l'affluent qui les draine vers le fleuve et de passage collecte les eaux usées de la plaine irriguée. C'est ainsi que nous l'appelons effluent. Au niveau du lac de barrage, deux stations d'échantillonnage sont identifiées à savoir :

- Station I : littoral du lac du barrage (moins d'un mètre de la rive) ;
- Station II : sublittoral du lac de barrage (plus d'un mètre de la rive)

Quatre stations ont enfin été identifiées au niveau du continuum à savoir :

- Station III : début de l'effluent à 50 m en aval du déversoir du barrage ;
- Station IV : sur l'effluent en plein périmètre irrigué, à 2 km en aval du déversoir ;
- Station V : sur l'effluent à 14 km en aval du déversoir (zone intermédiaire entre le périmètre irrigué et le fleuve Mouhoun) ;
- Station VI : au niveau du fleuve Mouhoun à 36 km de la digue

Les plantes aquatiques majoritairement présentes au niveau de la retenue et son l'effluent sont du genre *Azolla*, *Ceratophyllum*, *Nymphaea* et *Oriza*.



Carte 3: Carte représentant la situation des stations d'échantillonnage au niveau du lac de barrage de Boura et au niveau du continuum

II.2.2- Matériel et méthodes d'échantillonnage

L'échantillonnage mensuel s'est déroulé de juin 2011 à juillet 2012 au niveau de toutes les stations définies dans cette étude. Les analyses ont cependant concerné la période de février à juillet 2012. Ces mois correspondent à la saison sèche qui est une période de fort stress pour ce type d'écosystème aquatique tel que décrit par Aka et al. (2000), Thomas et al. (2000) et

Arfi et al. (2001): absence d'écoulements et donc de renouvellement, forte évaporation, contraction des habitats. Cette période de basses eaux correspond à une période où les différents plans d'eau sont très accessibles. Les résultats des mois de juin 2011 à juin 2012 (Annexes 8, 9 et 10) étaient infimes pour des analyses statistiques.

A l'échelle du bassin, chaque retenue comporte deux stations à savoir le littoral et le sublittoral comme indiqué au niveau du schéma 11. Cette disposition est inspirée de celui proposé par Mazzela et al. (2009) au schéma 12 dans le cadre de la DCE. A l'échelle du barrage de Boura, les six (6) stations ont été prises en compte. Vue l'importance de la couverture végétale (Photographie 4) au niveau des zones d'échantillonnage, les 12 coups de filets préconisés par la Directive Cadre Européenne de l'Eau (AFNOR, 2009) en tenant compte des potentiels habitats, ont été répartis également entre la vase et les zones d'herbiers à savoir 6 par zones d'échantillonnage. Les espèces de surfaces ont aussi été capturées. Au niveau de chaque station, les macroinvertébrés ont été collectés à l'aide d'un filet de type Surber d'ouverture 25 cm et d'un filet troubleau d'une ouverture de 30 cm de diamètre. Le filet Surber qui a servi à collecter les espèces benthiques est tiré sur une longueur de 1 m. La surface de balayage correspond donc à 3 m² par échantillonnage. Après capture, les espèces de macroinvertébrés sont triées et conservées dans de l'alcool 90°. Le reste du benthos contenant éventuellement des macroinvertébrés, est conservé dans des bocaux avec de l'alcool 90° pour un tri au laboratoire. Le filet troubleau a servi à collecter les espèces inféodées aux chevelures racinaires des macrophytes. Pendant une période d'environ 30 secondes, le filet est passé sous les plantes. Le contenu du filet, composé de parties de plantes de macroinvertébrés et de boue est rincé à l'eau, puis les macroinvertébrés sont retirés et conservés à l'alcool 90°, le reste étant conservé dans des bocaux avec de l'alcool 90° pour un tri au laboratoire. Ce filet troubleau a également servi à la capture des espèces de surface afin de compléter notre échantillonnage.

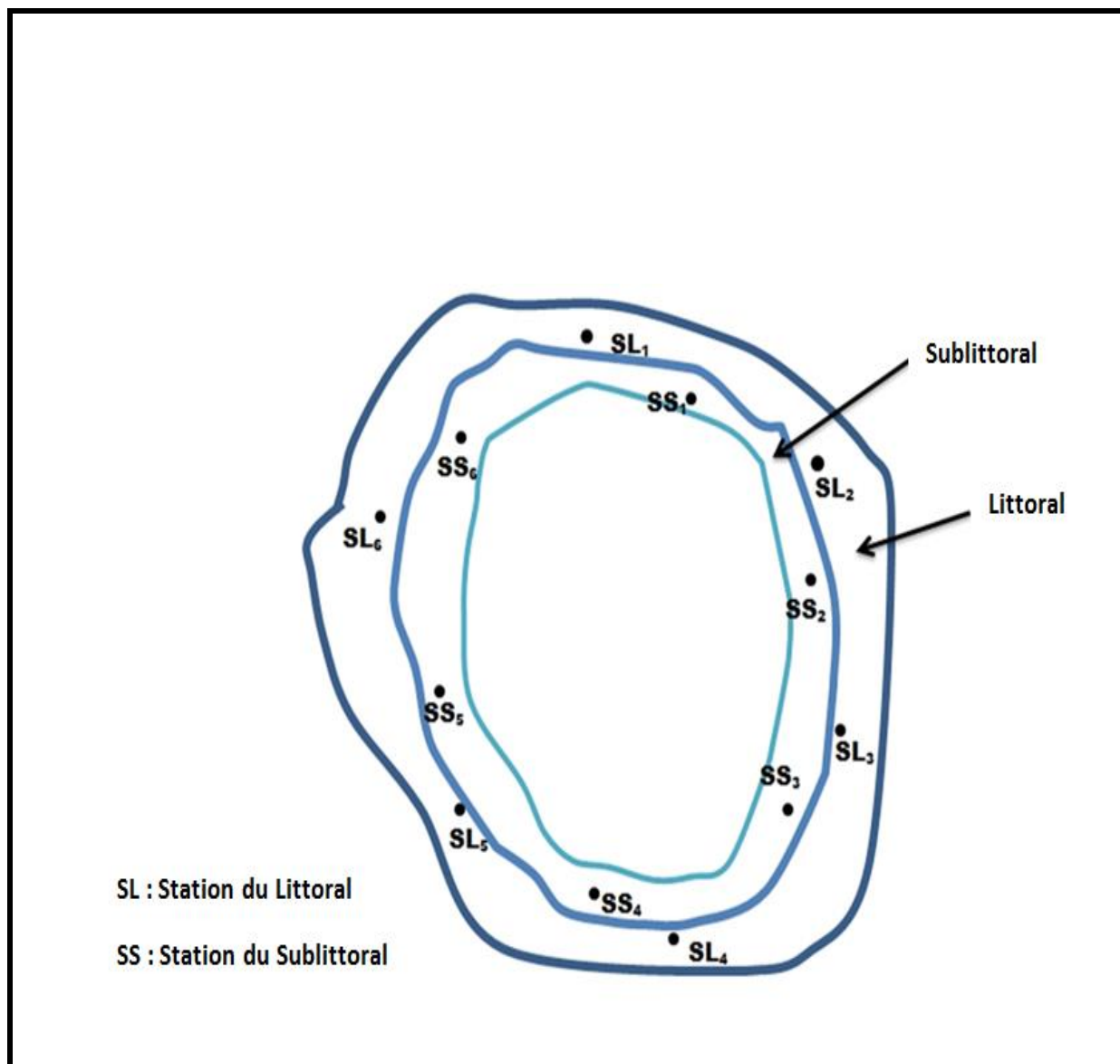


Schéma 11: Disposition des points d'échantillonnage au niveau d'une retenue

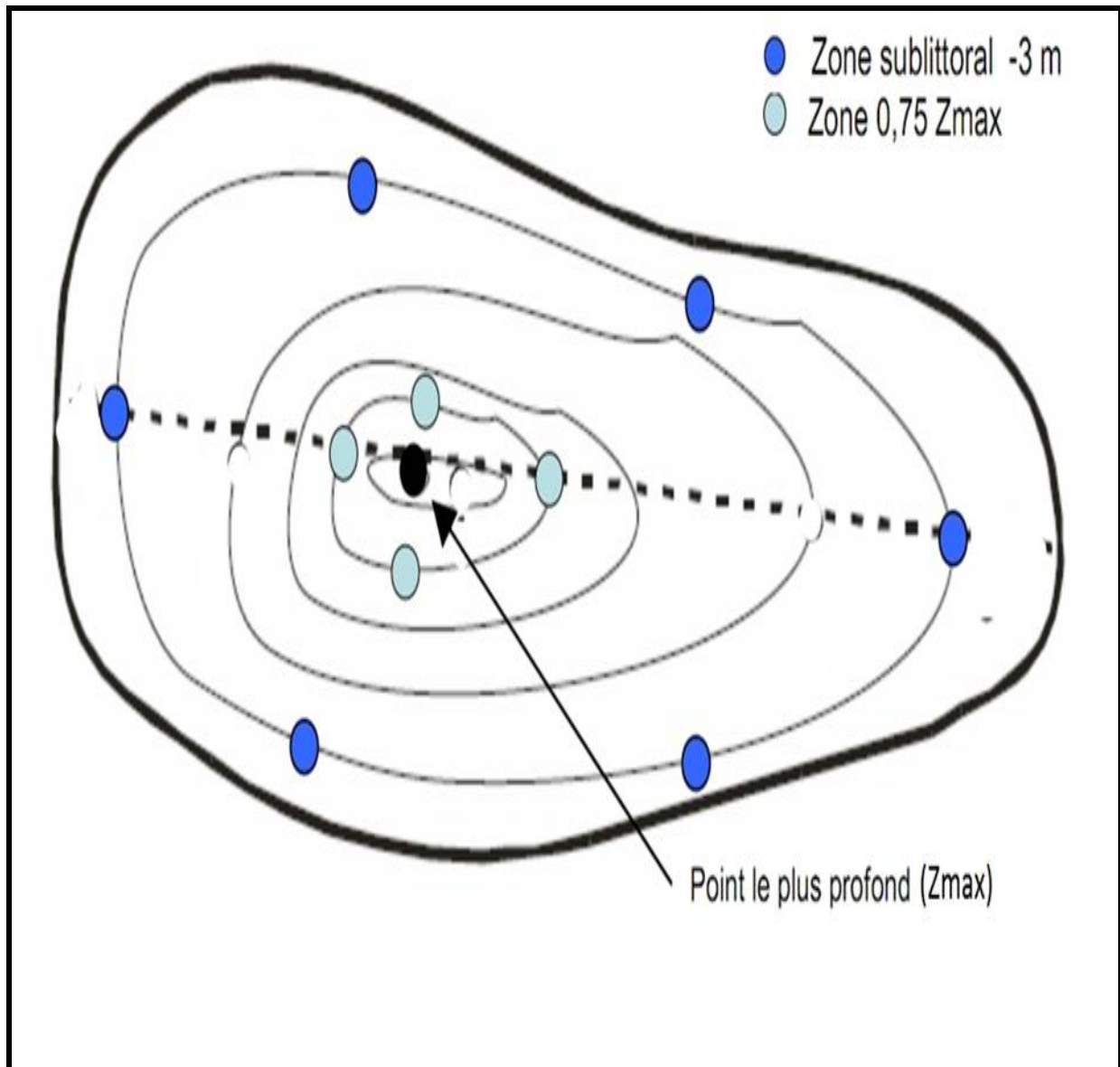


Schéma 12: Exemple de positionnement théorique des points d'échantillonnage des invertébrés benthiques dans un plan d'eau naturel (Mazzela et al., 2009)



Photographie 4 : Prolifération de plantes aquatiques au niveau de la mare aux hippopotames de Bala

II.2.3- Analyses des données

II.2.3.1- Tri et identification des macroinvertébrés

Au laboratoire, la première étape du tri consiste à classer les macroinvertébrés de chaque station par embranchement dans des bocaux de 100 cl avec de l'alcool. L'identification s'est poursuivie par la famille avec une loupe et un microscope binoculaire. Chaque taxon est ainsi conservé dans un bocal de 100 cl avec de l'alcool 90° C et étiqueté (Station, Date d'échantillonnage, Nom, Nombre). Le reste de la vase précédemment mis dans des bocaux avec de l'alcool est subdivisé dans des boîtes de pétri et observé avec un microscope. Les individus identifiés au niveau de chaque station sont mis dans les bocaux correspondants à l'étiquetage de la station.

Les insectes ont été identifiés grâce aux clés d'identification de Durand et Levêque (1981), Merritt et Cummins (1984), Tachet et al. (2000), Stals et De Moor (2007), Moisan (2006) et Roger et Jaques (1978). Les mollusques ont été identifiés à l'aide des clés d'identification de Moisan (2010) et Brown (1980). Les annélides ont été identifiés avec les clés fournies avec Introduction Pratique à la Systématique des Organismes des Eaux Continentales Françaises : 3. Annélides Oligochètes de Lafon (1983) et avec le document de Moisan (2010). Le niveau taxonomique reste la famille pour la plupart des individus néanmoins, l'identification de certains genres et de certaines espèces fut possible en utilisant les documents déjà cités et les ressources du site web <http://bugguide.net/node/view/351669/tree>.

II.2.3.2- Analyses statistiques

- Les densités des macroinvertébrés benthiques (nombre d'individus au m²) ont été calculées en pondérant les abondances obtenues par la surface effective de balayage qui est de 3 m².

$$\text{Densité benthique (nbres d'individus au m}^2\text{)} = \frac{\text{Nombres d'individus (de la vase)}}{3 \text{ m}^2}$$

- Le logiciel Past (PAleontological STatistics, Version 2.16, Hammer et al., 2001) a été utilisé pour construire le dendrogramme de classification hiérarchisée et le « Neighbour joining » (Saitou et Nei, 1987) qui est un regroupement en arbres tels les Clusters permettant respectivement la discrimination des retenues d'eau à l'échelle du

bassin d'une part et les stations d'échantillonnage à l'échelle du barrage de Boura d'autre part et d'identifier les groupes de macroinvertébrés. La distance euclidienne est utilisée comme distance d'assemblage. Comme indices écologiques, nous avons calculé les fréquences d'occurrence et les indices de diversité de Shannon (Indice de Shannon calculé avec le logiciel Past). Les différents tests de comparaison ont été effectués avec le logiciel SIGMA PLOT (Version 3.5).

III.2.2.3- Indices écologiques

- La fréquence d'occurrence (F) d'un taxon est le ratio entre le nombre d'échantillon (P_a) d'une station où le taxon est présent par le nombre total (P) d'échantillon.

$$F = \frac{P_a}{P} \times 100$$

- Trois groupes sont ainsi définis (Dajoz, 1985): le premier concerne les taxons "très fréquents" avec $F \geq 50\%$; le deuxième groupe correspond aux individus "fréquents" avec $50\% > F \geq 25\%$; les taxons rares forment le troisième groupe avec $F < 25\%$. Dans cette étude de comparaison de retenues, nous avons défini un quatrième groupe : il s'agit des individus absents avec $F = 0\%$.
- L'indice de diversité de Shannon (Shannon et Weaver, 1949) est donné par la formule

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

$$p_i = N_i / N.$$

N_i : nombre d'individus d'un taxon donné, i allant de 1 à S (nombre total de taxons).

N : nombre total d'individus.

H' est minimal ($=0$), si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, H' est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, excepté une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon équitable sur toutes les espèces.

Moisan et Pelletier (2008), estime que la structuration de communautés de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau, regroupant les variables métriques et des indices tel l'indice de diversité de Shannon peuvent être calculés en considérant la famille comme niveau taxonomique. Ce niveau taxonomique a en effet permis à Zouggaghe et Moali (2009) de montrer que des zones polluées ont des indices faibles par rapport aux zones non polluées dans un cours d'eau algérien. En référence à la démarche de ces auteurs nous avons opté pour la famille comme niveau taxonomique pour le calcul de l'indice de diversité.

A l'échelle du barrage, nous avons utilisé la plus petite différence significative de Fisher avec $\alpha=0,05$ (PPDSF) a permis de comparer les indices de diversité entre les différents au niveau d'une même station d'une part et entre les stations d'autre part. La différence est significative lorsque PPDSF est inférieur à la valeur absolue de la différence entre deux moyennes.

A cette même échelle, la comparaison faunistique des stations a été réalisée en calculant le coefficient de similitude (Cs) de Sørensen (1948) : $Cs = \frac{2c}{a+b} * 100$

Cs : coefficient de similitude de Sorensen

a : nombre de taxon dans le milieu A

b : nombre de taxon dans le milieu B

c : nombre de taxon commun à A et B

II.2.2.4- Caractérisation physico-chimiques des stations d'étude

Des mesures ponctuelles ont été réalisées au niveau de chaque retenues et ont concerné les mesures de profondeur avec un mètre ruban, de la turbidité avec le disque de Secchi (Photographie 5); de la température, de l'oxygène dissout, de la conductivité et du pH avec un multiparamètre (Photographie 6) de type MULTI 3430 WTW (Entreprise ZEISS, Allemagne). Toutes ces mesures ont été réalisées en 5 points de stationnement. Au niveau des lacs de barrage, des mesures de nitrates et d'ortho-phosphate ont été réalisé sur des échantillons d'eau au niveau du laboratoire d'analyse de l'ONEA (Ouagadougou).



Photographie 5 : Disque de Secchi



Photographie 6 : Multiparamètre de type Multi 3430 WTW

II.2.2- Bioessais

Les écosystèmes font face à des agressions multiformes dont les plus importantes sont les agressions chimiques causées par les pesticides dues à l'intensification agricole (Leight et al., 2010 ; Sass et al., 2010 ; Vénot et Cecchi, 2011). Cependant, les effets isolés et additifs de ces pesticides sur les insectes aquatiques ainsi que leurs temps de résiliences restent non élucidés.

La FAO (2010) indique qu'en plus de certaines formules de pesticides à base de diuron, autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP), d'autres types de formules interdites sont utilisés par les paysans au niveau des zones d'intenses activités agricoles. C'est le cas des produits à base d'atrazine dont la toxicité directe sur l'homme n'est plus à démontrer (Toé et al. 2013). De plus, Kurt (2005) estime que des risques environnementaux causés par ces pesticides sont accentués par les effets additifs de certains polluants. Un tel effet additif peut être démontré sur des macroinvertébrés polluo-résistants dont les coléoptères en filigrane des conclusions de Barbour et al. (1999) qui confirment que dans le milieu aquatique, les macroinvertébrés benthiques sont les organismes les mieux indiqués pour les études de la bioindication de la qualité des eaux. Gnohossou (2006) souligne que les investigations sur l'impact des pesticides doivent se porter sur des organismes in situ car des niveaux de sensibilités différentielles peuvent être constatés entre différents continents (exemple l'Afrique comparée à l'Europe ou l'Amérique). Soleri (2013) a montré la présence de l'atrazine et du diuron dans les lacs de barrages hydroagricoles du bassin de la Volta en utilisant des capteurs passifs. Sanogo et al. (2014) ont constaté la prolifération de certaines espèces de macroinvertébrés au niveau de ces mêmes sites dont notamment l'espèce *Crenitis sp* qui est un coléoptère de la famille Hydrophilidae polluo-résistant au même titre que *Hydrocanthus ferruginicollis* (Noteridae).

C'est dans le but de fournir des données utiles sur les effets individuels et conjugués (en additifs ou en synergie) de ces deux polluants d'une part ainsi que leurs temps de résilience en milieu pur d'autre part, que cette étude en bioessai a été menée sur des individus de *Crenitis sp*.

II.2.2.1- Matériel

II.2.2.1.1- Matériel biologique

Le matériel biologique est composé de 3690 individus de l'espèce *Crenitis sp* (Coléoptères, Hydrophilidae) récoltés au niveau des collections d'eau près du réservoir de Bama. *Crenitis sp* est de l'ordre des Coléoptères. Il fait partie de la famille des Hydrophilidés, sous-familles des Hydrobiinés. Les adultes ont une taille comprise entre 3,5mm et 4mm (Schéma 13). Les

élytres ont deux sillons suturaux et à ponctuation régulière. Elles sont reconnaissables par les derniers articles des palpes maxillaires plus longs que les précédents avec une tache noire sur le bout (Schéma 14 et Photographie 7). Les larves ont des pattes courtes avec griffes. Le corps à des prolongements latéraux (Richoux, 1982).

Cette espèce a été choisie pour les tests de toxicité en raison de son abondance numérique au niveau du réservoir de Bama au moment de l'échantillonnage.

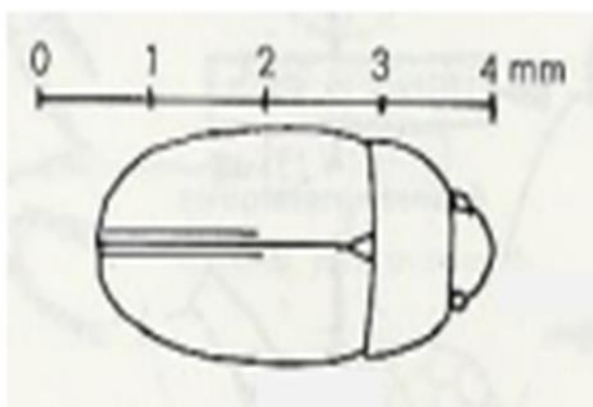


Schéma 13: Forme générale de *Crenitis sp*



Schéma 14: Palpe maxillaire de *Crenitis sp*



Photographie 7 : *Crenitis punctatostriata* Letzner, 1840 (Source: ICONOGRAPHIA COLEOPTERORUM POLONIAE, Copyright © by Lech Borowiec

II.2.2.1.2- Matériel de récolte

Les espèces ont été récoltées avec un filet troubleau de 30 cm de diamètre et des mailles de 1mm². Un tamis de maille 1 mm² a servi au tri des macroinvertébrés après récolte. En plus de la récolte des macroinvertébrés des mesures de températures, de l'oxygène, de la conductivité et du pH ont été effectuées en vue de caractériser le milieu de vie des macroinvertébrés. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'une sonde multiparamètre en 5 points de stationnement au niveau de la zone de récolte d'une part et 5 autres au niveau du plan d'eau d'autre part. Un bac de 30 litres de capacité a servi au transport des macroinvertébrés du lieu de récolte au laboratoire. Quarante et un (41) bocaux de capacités 300 ml ont servi de récipient pour les tests.

Les produits utilisés pour cette expérience sont deux herbicides à base de d'atrazine (ATRAZILA 500g/l en suspension concentrée) et de diuron (ACTION 80, en granulé mouillable 800g/kg).

Le diuron (Figure 2) est un pesticide et plus précisément, un herbicide du type urée substitué. Il appartient à la famille des phénylamine et à la sous classe des phénylurées. Son nom est le N-(3,4-dichlorophényl)-N, N-diméthyl-urée. L'atrazine (Figure 3) est un composé organique de masse molaire 215,7 g/mol et de solubilité 30 mg/l à 20° C.

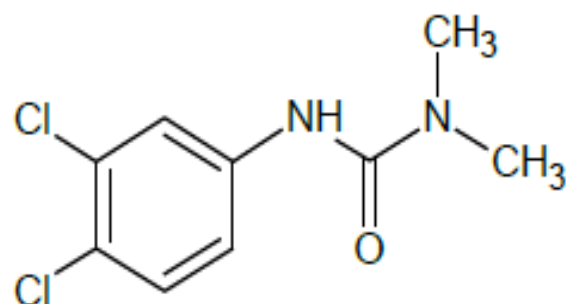


Figure 2: Formule chimique du diuron

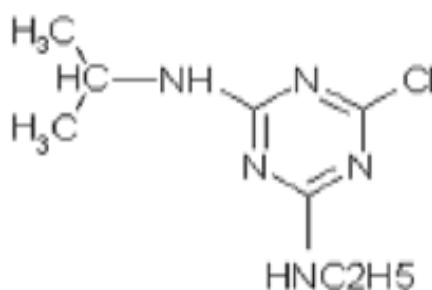


Figure 3: Formule chimique de l'atrazine

Ces produits ont été achetés sur le marché de Bobo-Dioulasso où s'approvisionnent les agriculteurs des villages environnants. L'eau qui a servi aux différentes dilutions est de l'eau minérale dont la composition est consignée dans le tableau 15.

Tableau 15:Composition minérale de l'eau de dilution

Elément minéral	Concentration en mg/l
Calcium Ca ⁺⁺	2
Magnésium Mg ⁺⁺	0,70
Potassium K ⁺	0,24
Sodium Na ⁺	1
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	12
Sulfate SO ₄ ⁻⁻	1
Silice SiO ₂ ⁻⁻	15,4

II.2.2.2.- Protocole expérimental

Les macroinvertébrés ont été échantillonnés au niveau du littoral du réservoir à l'aide filet troubleau en raclant la vase. Le contenu est automatiquement rincé à l'eau sur un tamis. Les macroinvertébrés sont ensuite conservés dans un bac ouvert contenant de l'eau. Ils sont transportés au laboratoire et placés par groupe de 30 dans des solutions préalablement préparées comme indiqué dans les tableaux 16, 17, 18 et 19. Les tableaux 16 et 17 représentent respectivement les différentes concentrations d'atrazine et de diuron. La plus forte concentration de l'atrazine considérée est la concentration de commercialisation de 500 g/l. A partir de cette concentration, 10 concentrations ont été élaborées avec comme facteur de dilution 0,5 (Tableau 16). Pour le diuron, nous avons considéré la concentration masse/masse de 800 g/kg du produit de commerce et le dilué dans de l'eau pour avoir une concentration en masse/volume de 800 g/l. A partir de cette concentration initiale nous avons obtenu 10 concentrations avec comme facteur de dilution 0,5 (Tableau 17). Des mélanges des deux produits ont été élaborés en combinant premièrement les fortes concentrations ensemble jusqu'aux plus faibles (Tableau 18) et deuxièmement en combinant les plus fortes concentrations d'atrazine aux faibles concentrations de diuron (Tableau 19). En marge de ces préparations, 30 individus sont placés dans de l'eau qui a servi à la dilution des produits. A chaque 30 mn, le contenu de chaque solution est passé sur le tamis et les individus immobiles sont comptés et cela pendant 12 heures. Les individus mobiles sont remis dans les solutions en remuant pour éviter les décantations des différentes solutions. Les expériences se sont

déroulées à trois reprises. Pour chaque série d'expérience, la récolte de nouveaux macroinvertébrés a été nécessaire. La température du laboratoire est maintenue à 30°C.

La toxicité d'un produit très dangereux s'exprime en quelques microgrammes par litre (Boucheseiche et al., 2002). Dans notre expérience où le matériel biologique est un macroinvertébré résistant, l'utilisation des fortes doses s'est avérée nécessaire pour un temps d'exposition de 12 heures. Ce temps reste en deçà des 24 à 48 heures préconisé dans les tests de toxicité aigus pour les tests normalisés (Bessi et Al Alami, 2009). Néanmoins, Sekkat et al. (2001) estiment que le choix de tests peut se faire dans le cadre de l'évaluation globale du risque écotoxicologique de milieux complexes, d'où notre intérêt pour cette méthode

Tableau 16: Différentes concentrations d'atrazine ayant servi aux expérimentations

Code	Concentration (g/l)	Atrazila (ml)	Eau (ml)
A ₁₀	500	100	0
A ₉	250	50	50
A ₈	125	25	75
A ₇	62,5	12,5	87,5
A ₆	31,5	6,2	93,7
A ₅	15,6	3,1	96,8
A ₄	7,8	1,5	98,4
A ₃	3,9	0,7	99,2
A ₂	1,9	0,3	99,6
A ₁	0,9	0,19	99,8

Tableau 17: Différentes concentrations de diuron ayant servi aux expérimentations

Code	Concentration (g/l)	Action 80 (g)	Eau (ml)
D ₁₀	800	100	100
D ₉	400	50	100
D ₈	200	25	100
D ₇	100	12,5	100
D ₆	50	6,2	100
D ₅	25	3,1	100
D ₄	12,5	1,5	100
D ₃	6,2	0,7	100
D ₂	3,1	0,3	100
D ₁	1,5	0,19	100

Tableau 18: Mélanges des différentes concentrations d'atrazine et de diuron (Mélange 1) selon une direction allant des plus fortes aux plus petites concentrations

Code	Concentrations [Atrazine (g/l) + Diuron (g/l)]	Atrazila (ml)	Action 80 (g)	Eau (ml)
A ₁₀ /D ₁₀	500+800	100	100	0
A ₉ /D ₉	250+400	50	50	50
A ₈ /D ₈	125+200	25	25	75
A ₇ /D ₇	62,5+100	12,5	12,5	87,5
A ₆ /D ₆	31,5+50	6,25	6,2	93,7
A ₅ /D ₅	15,6+25	3,1	3,1	96,8
A ₄ /D ₄	7,8+12,5	1,5	1,5	98,4
A ₃ /D ₃	3,9+6,2	0,7	0,7	99,2
A ₂ /D ₂	1,9+3,1	0,3	0,3	99,6
A ₁ /D ₁	0,9+1,5	0,19	0,19	99,8

Tableau 19: Mélanges des différentes concentrations d'atrazine et de diuron (Mélange 2) selon des directions opposées de la plus forte additionnée à la plus faible dose

Code	Concentrations [Atrazine (g/l) + Diuron (g/l)]	Atrazila (ml)	Action 80 (g)	Eau (ml)
A ₁₀ /D ₁	500+1,5	100	0,19	0
A ₉ /D ₂	250+3,1	50	0,3	50
A ₈ /D ₃	125+6,2	25	0,7	75
A ₇ /D ₄	62,5+12,5	12,5	1,5	87,5
A ₆ /D ₅	31,5+25	6,2	3,1	93,
A ₅ /D ₆	15,6+50	3,1	6,2	96,8
A ₄ /D ₇	7,8+100	1,5	12,5	98,4
A ₃ /D ₈	3,9+200	0,7	25	99,2
A ₂ /D ₉	1,9+400	0,3	50	99,6
A ₁ /D ₁₀	0,9+800	0,19	100	99,8

II.2.2.3- Analyse des données des tests de Bioessais

Ces tests étant de courtes durées, il était essentiellement question de rechercher la concentration effective 50% (CE₅₀) ; nous avons utilisé le logiciel SigmaPlot 10.0 pour cette détermination ; la CE₅₀ se définit comme étant la concentration du produit toxique qui a un effet induit de 50% de mortalité des macroinvertébrés. Cette valeur a été recherchée graphiquement pour chaque pesticide pris individuellement et puis en synergie.

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1- Etude comparée de la structuration des macroinvertébrés du lac naturel de Bala et de celles des retenues hydroagricoles de Bama et de Boura

III.1.1- Caractéristiques physico-chimiques des trois stations

Des mesures ponctuelles en mai 2013 ont été réalisées au niveau du littoral et du sublittoral dans les trois retenues (Tableaux 20, 21 et 22). Le test de Student indique que la conductivité est différente entre le littoral et le sublittoral au niveau de Bala et au niveau de Boura et une différence de température littoral/sublittoral au niveau de Bala (Tableau 23).

Les mesures de l'ortho-phosphate et de nitrate réalisées au niveau du laboratoire de l'ONEA (Ouagadougou) sur des échantillons d'eau sont mentionnées dans le tableau 24. Le nitrate se trouve en forte concentration au niveau de la station hydro-agricole de Bama.

Des mesures de la transparence et de la profondeur indiquent que la luminosité est excellente au niveau des macroinvertébrés benthiques du littoral dans toutes les stations (Tableaux 25 et 26).

Tableau 20: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la mare aux hippopotames de Bala

	Littoral				Sublittoral			
N°	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)
1	33,3	172,2	7,33	6,56	32,6	123,8	7,78	6,62
2	31,04	168,5	7,05	6,22	30,8	133,3	7,06	7,01
3	34,6	281	8,91	8,44	30,6	133,2	7,63	7,05
4	34,4	267	8,54	7,03	30,7	131,6	7,58	7,95
5	33	150,8	8,01	6,59	30,6	131,7	7,60	7,50
Moyenne	33,26	207,9	7,96	6,96	31,06	130,72	7,53	7,22

Tableau 21: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la retenue d'eau hydro-agricole de Bama

	Littoral				Sublittoral			
N°	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)
1	34,8	139,6	8,22	8,12	33,10	144,3	7,2	6,11
2	34,5	155,5	7,13	7,7	34,16	163,2	6,25	6,2
3	33,2	154,7	6,33	5,75	30,25	163	7,14	7,33
4	31,8	161,2	8,01	5,47	32,7	161,9	7,19	6,9
5	33,6	159,1	7,59	6,31	34,5	159,3	7,28	7,1
Moyenne	33,58	154,02	7,45	6,67	32,94	158,34	7,01	6,72

Tableau 22: Variables physico-chimiques mesurées au niveau de la retenue hydro-agricole de Boura

	Littoral				Sublittoral			
N°	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)
1	34,6	74,4	8,25	7,71	32	78,9	8,33	9,4
2	34,9	74,3	8,20	7,65	34,1	77,2	8,4	7,13
3	34,6	74,6	8,27	8,34	33,9	76,8	7,9	8,22
4	34,4	74,1	8,18	7,65	33,5	77,8	8,6	8,22
5	33	73,9	8,18	7,13	33,8	75,3	8,12	8,1
Moyenne	34,3	74,26	8,21	7,69	33,46	77,2	8,27	8,21

Tableau 23: Probabilités pour que les variables physico-chimiques du littoral soient identiques à celles du sublittoral (en gras: valeurs indiquant une différence statistique)

	Température	Conductivité	pH	Oxygène
Bala	0,018	0,008	0,548	0,584
Bama	0,507	0,151	0,421	0,923
Boura	0,095	0,001	0,690	0,310

Tableau 24: Concentrations de nitrate et d'orthophosphate mesurées au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura

	Bala	Bama	Boura
Orthophosphate (mg/l)	0,63	0,27	0,26
Nitrate (mg/l)	0,1	6,1	0,6

Tableau 25: Variation de la profondeur et de la transparence au niveau du littoral et du sublittoral dans la mare de Bala et des retenues d'eau de Bama et de Boura de février à avril (mesure en cm)

Mois	N°	Littoral						Sublittoral					
		Profondeur			Transparence			Profondeur			Transparence		
		Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura
Février	1	28,5	33,6	35,6	28,5	26	26,7	123	69	95	54	35,4	37
	2	27	35	36	27	29	32	129	73	102	57	33	39
	3	31	35	32,8	31	25	28	125	71	91	61	38	41
	Moyenne	28,83	34,53	34,8	28,83	26,66	28,9	125,66	71	96	57,33	35,46	39
Mars	1	19,8	20,6	26,6	19,8	20,6	26,6	114	88,2	100	62,8	40,6	33,4
	2	22	25	26	22	25	26	124	93	105	59	36,5	35,8
	3	24	22	22	24	22	22	109	91	95	65	39	36
	Moyenne	21,93	22,53	24,86	21,93	22,53	24,86	115,66	90,73	100	62,26	38,7	35,06
Avril	1	28	39	23	28	26,2	23	102	109,6	95,2	53	35,2	32
	2	36	42,5	26	36	35	26	118	117	88	61	35	33
	3	25	36	28	25	33	28	105	105	96	49	35	30,8
	Moyenne	29,66	39,16	25,66	29,66	31,4	25,66	108,33	110,53	93,06	54,33	35,06	31,93

Tableau 26: Variation de la profondeur et de la transparence au niveau du littoral et du sublittoral dans la mare de Bala et dans les retenues d'eau de Bama et Boura de mai à juillet (mesures en cm)

Mois	N°	Littoral						Sublittoral					
		Profondeur			Transparence			Profondeur			Transparence		
		Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura	Bala	Bama	Boura
Mai	1	40	40	19,4	40	30,4	19,4	118	118	91,4	55	51,2	54,4
	2	36	46	22	36	33	22	115	115	102	62	55	51,8
	3	37	38	22,5	37	36	22,5	123	125	95	58	63	53
	Moyenne	37,66	41,33	21,3	37,66	33,13	21,3	118,66	119,33	96,13	58,33	56,4	53,06
Juin	1	33	39,2	19,8	33	39,2	19,8	128	128	72	57	56,8	72
	2	27	35	22	27	35	22	119	133,5	86	62	64	59
	3	31	42	23,5	31	42	23,5	120	116	102	51	66,9	68
	Moyenne	30,33	38,73	21,76	30,33	38,73	21,76	122,33	125,83	86,66	56,66	62,56	66,33
Juillet	1	19	28,8	21,2	19	28,8	21,2	57	80	55,4	57	64,4	55,4
	2	22	31	22	22	31	22	65	97,3	63	65	59	58,5
	3	17	25,7	26	17	25,7	26	59	88,3	58	59	62	58
	Moyenne	19,33	28,5	23,06	19,33	28,5	23,06	60,33	88,53	58,8	60,33	61,8	57,3

III.1.2- Structuration des macroinvertébrés du lac naturel de Bala et de ceux des retenues hydroagricoles de Bama et de Boura

III.1.2.1- Macroinvertébrés aquatiques collectés au niveau des trois retenues

Un nombre total 26 405 individus de macroinvertébrés aquatiques ont été capturés pendant la période de collecte : 6666 à Bala, 9825 à Bama et 9914 à Boura. Cette population est très largement dominée par les insectes qui représentent 85,74% des captures. Les mollusques correspondent à 13,62% tandis que les vers (0,57%) et les crustacés (0,05%) constituent des communautés très marginales. Les tableaux 27, 28 et 29 présentent les effectifs des différents macroinvertébrés aquatiques collectés dans chacun des sites. D'une manière globale, les 26405 individus de macroinvertébrés se répartissent en 71 espèces (dont 30 ont été identifiés) et 33 familles au total sur les trois sites de Boura (23 familles), Bama (25 familles) et Bala (30 familles) (Annexe 5 et 5 bis).

Tableau 27: Abondance numérique des macroinvertébrés collectés au niveau de la mare aux hippopotames de Bala de février à juillet 2012

Macroinvertébrés	Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet	
	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos
COLEOPTERES												
Hydrophilidae	82	19	86	69	801	427	301	135	70	38	98	39
Dytiscidae	237	200	257	226	376	293	292	217	172	122	26	12
Gyrinidae	24	24	9	9	26	26	9	9	18	18	35	35
Carabidae	31		11				3					
Noteridae	201	25	127	51	188	12	118	25	55	11	49	17
Cucurliionidae												
Hydrochidae												
HETEROPTERES												
Notonectidae	7				34		12		16		9	
Naucoridae	1		4									
Belostomatidae	33		29		12		16		36		28	
Nepidae	8		18		35		3		2			
Gerridae	11		8		13		6		15		39	
Pleidae	11	11			2						9	3
Herbridae	16		4		10		25					
Hydrometridae	7		4						20		17	
DIPTERES												
Tabanidae	9	9	18	17	4	4					8	8
Ceratopogonidae	6	6	3	3							2	2
Canaceidae	4	4	4	4	2	2	9	9	5	5	3	3
Chironomidae	79	62	205	156	218	181	68	45	65	65	30	30
Syrphidae			7	7	2	2						
Psychodidae												
ODONATES												
Gomphidae	3	3	5	5	3	3	9	9	11	11	8	8
Libellulidae	22	22	34	34	12	12	9	9	17	17	25	25
Coenagrionidae	7	7	11	11	9	9	14	14	6	6	13	13
EPHEMEROPTERES												
Beatidae			6						4		1	
Ephemerellidae	1		1									
VERS												
Hirudinae	2		4		1				13		28	
CRUSTACES												
Cladocères	10						4					
MOLLUSQUES												
Bulinidae	119	21	116	31	121	13	63	9	17		72	28
Unionidae			1	1								
Lymneidae	52	48	25	25	107	107		12	21	21		
Planorbidae	57	57	87	86	33	33	11	11	11	11	2	2
Valvatidae	175	154	91	63	71	58	88	86	18	10	42	28
Total	1215	672	1175	798	2080	1182	1060	590	592	335	544	253

Tableau 28: Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau du plan d'eau de Bama de février à juillet 2012

Macroinvertébrés	Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet	
	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos
COLEOPTERES												
Hydrophilidae	421	67	358	230	1059	677	904	462	336	190	26	
Dytiscidae	200	153	367	259	356	298	190	139	141	120	8	1
Gyrinidae												
Carabidae	3		9		2		23					
Noteridae	673	243	643	333	495	212	303	161	230	86	106	46
Cucurionidae			11									
Hydrochidae	73	49			86	72						
HETEROPTERES												
Notonectidae			23		31		24		18		9	
Naucoridae	14		2		7		9		5		1	
Belostomatidae	34		40		38		10		60		55	
Nepidae	56		42		44	2	19	3	26		5	
Gerridae					16		3				21	
Pleidae												
Herbridae	12		3		18							
Hydrometridae	8		11				14		31		11	
DIPTERES												
Tabanidae												
Ceratopogonidae												
Canaceidae												
Chironomidae	190	161	271	258	129	125	136	124	36	36	53	31
Syrphidae	9	9	33	33	41	41	6	6	7	7		
Psychodidae	3	3			9	9						
ODONATES												
Gomphidae	3	3	11	11	18	18	1	1	8	8	19	19
Libellulidae	18	18	11	11	33	33	6	6	23	23	26	26
Coenagrionidae	7	7	25	25	2	2			2	2	12	12
EPHEMEROPTERES												
Baetidae												
Ephemerellidae												
VERS												
Hirudinae	6		2				7		3		11	
CRUSTACES												
Cladocères												
MOLLUSQUES												
Bulinidae	96	32	61	21	61	6	99	12	23	12	55	
Unionidae	4	4			5	3			6	5		
Lymneidae			80	80	6	6	27	27	19	19	8	8
Planorbidae	14	14	28	28	19	18	22	11	6	6	9	9
Valvatidae	30	18	119	114	36	29	36	36	13	13	13	11
Total	1874	781	2150	1403	2511	1551	1839	988	993	527	448	163

Tableau 29: Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Boura de février à juillet 2012

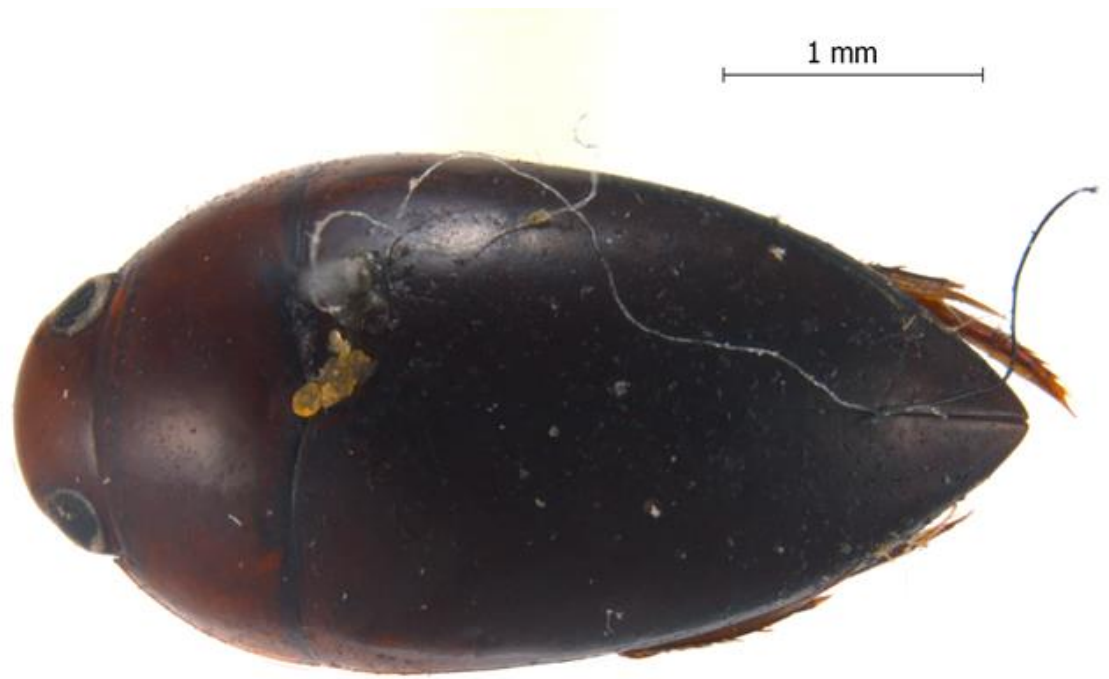
Macroinvertébrés	Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet	
	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos	Total	Benthos
COLEOPTERES												
Hydrophilidae	986	325	444	269	892	496	792	400	364	168		
Dytiscidae	358	215	333	231	263	169	204	138	208	162	59	37
Gyrinidae												
Carabidae	3		11				2					
Noteridae	504	327	777	407	555	185	317	175	150	57	69	31
Cucurionidae												
Hydrochidae												
HETEROPTERES												
Notonectidae	16		25		12		18		22		15	
Naucoridae	7		23						6		9	
Belostomatidae	23		35		31		21		16		18	
Nepidae	38		23		32		16		34		7	
Gerridae			23						13		19	
Pleidae												
Herbridae	22				6		18		21			
Hydrometridae	12		6		22		3		9		8	
DIPTERES												
Tabanidae												
Ceratopogonidae												
Canaceidae												
Chironomidae	58	40	161	148	120	109	48	48	33	29	6	6
Syrphidae	2	2	5	5	13	13						
Psychodidae												
ODONATES												
Gomphidae	15	15	3	3	17	17	11	11	4	4	10	10
Libellulidae	13	13	8	8	22	22	10	10	19	19	6	6
Coenagrionidae	10	10	1	1	6	6	2	2	7	7	6	6
EPHEMEROPTERES												
Baetidae												
Ephemerelidae												
VERS												
Hirudinae	7		14		3		4		26		20	
CRUSTACES												
Cladocères												
MOLLUSQUES												
Bulinidae	143	6	129	23	134	3	47	7	14	3	6	2
Unionidae	4	4	7		15	2	13	1	17	9	6	5
Lymneidae	125	116	60	52	5	5	14	12	26	3	14	14
Planorbidae	21	10	63	41	20	19	5	5	11	10	26	25
Valvatidae	114	88	140	113	88	69	22	11	2		13	8
Total	2481	1171	2291	1301	2256	1115	1567	820	1002	471	317	150

III.1.2.1.1- Insectes aquatiques

Cinq ordres d'insectes ont été collectés au niveau des trois retenues à savoir les Coléoptères, les Hétéroptères, les Odonates, les Diptères et les Ephéméroptères. Les individus de ce dernier ordre ont été échantillonnés seulement au niveau du lac naturel de Bala.

III.1.2.1.1.1- Ordre des Coléoptères

Les familles de Coléoptères présentes dans nos échantillons sont les Hydrophilidés, les Dytiscidés, les Carabidés, les Notéridés, les Curculionidés, les Hydrochidés et les Gyrinidés. Cet ordre des Coléoptères représente plus de la moitié des insectes avec 78,90% à Bama, 85,41% à Boura et 71,13% à Bala. Les familles de Coléoptères communes aux échantillons issus de ces trois retenues sont les Hydrophilidés, les Dytiscidés, les Carabidés et les Notéridés. Les échantillons de Boura ne contiennent que ces quatre familles ; parallèlement, les échantillons du réservoir de Bama contiennent, en plus de ces quatre familles, deux autres familles dont les Curculionidés et les Hydrochidés. Les échantillons du réservoir naturel de Bala se distinguent par la présence, en plus des quatre familles communes, de la famille des Gyrinidés. Les différentes familles de cet ordre des Coléoptères correspondent à 31 espèces (Figure 4) réparties comme suit : Hydrophilidés (13 espèces) ; Dytiscidés (11 espèces); Gyrinidés (1 espèce) ; Carabidés (1 espèce); Notéridés (3 espèces) ; Curculionidés (1 espèce) ; Hydrochidés (1 espèce). Toutes les 11 espèces des Dytiscidés se retrouvent seulement dans les échantillons de Bama en février et dans ceux de Boura en mai. Les trois espèces de la famille des Notéridés sont les seules présentes dans tous les échantillons des trois retenues (Figure 5) ; ces trois espèces sont *Hydrocanthus ferruginicollis* Regimbart, 1895, *Hydrocanthus iricolor* Say, 1823 et *Hydrocanthus atripennis* Say, 1834. L'espèce *H. Ferruginicollis* (Photographie 8) est fortement représenté au niveau des échantillons issus des retenues hydro-agricoles de Bama et de Boura (Figure 2). En effet, au niveau des échantillons de Bama, elles représentent 30,52% des Coléoptères, 27,32% de ceux de Boura et 7,51% de ceux de Bala. Dans la même direction de représentativité l'espèce *Crenitis* sp de la famille des Hydrophilidés a été constamment observée au niveau de toutes les stations avec les proportions suivantes, Bama (8,99%), Boura (8,69%) et Bala (7,72%).



Photographie 8 : *Hydrocanthus ferruginicollis* (Source : © Zoological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Curator Assistant Professor Alexey Solodovnikov : Photo: Nicolas Ioannou, 2009)

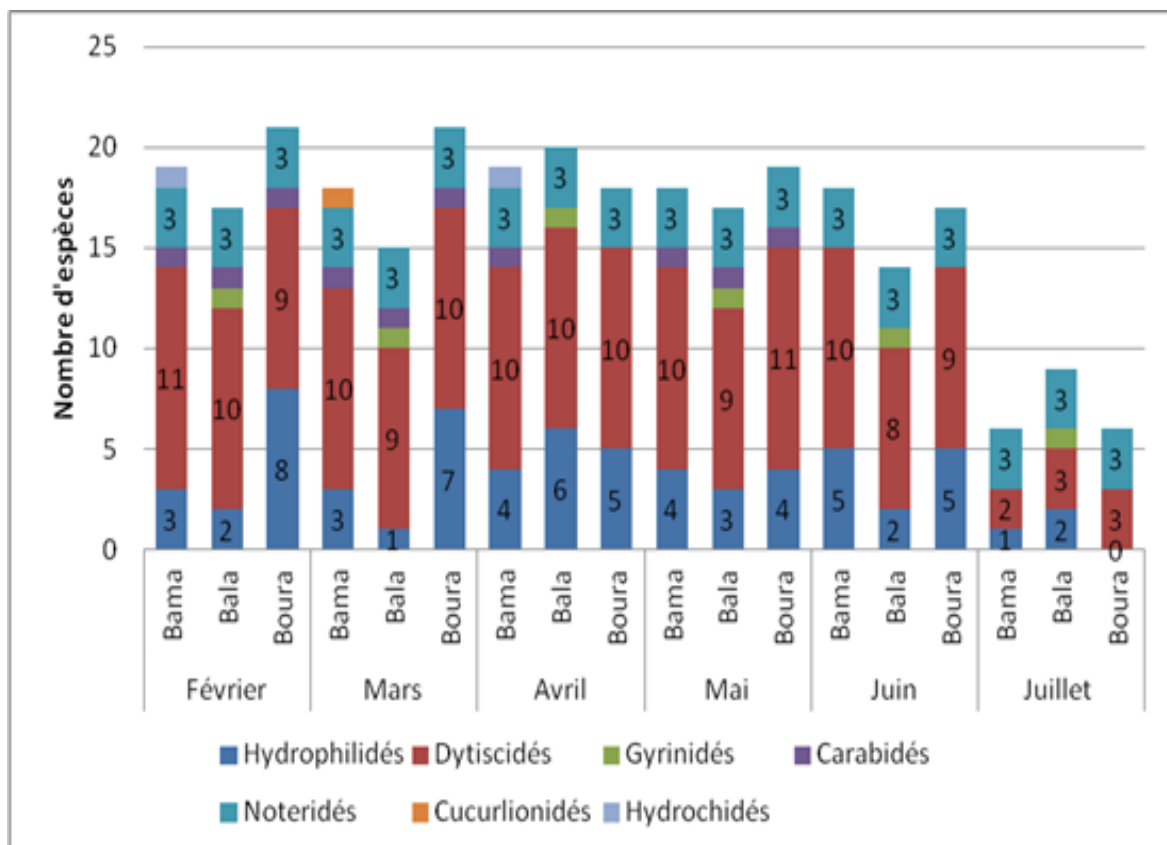


Figure 4: Variation du nombre d'espèces par famille de Coléoptères au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura

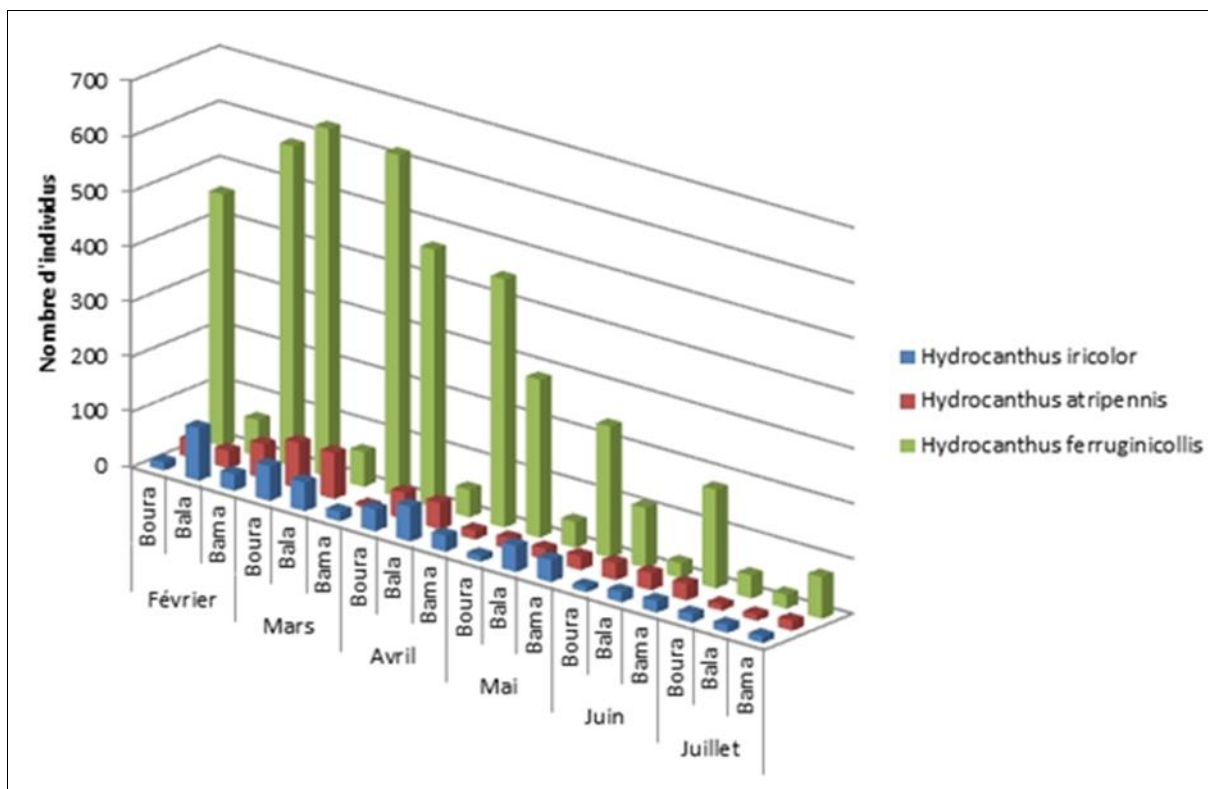


Figure 5: Variation mensuelle du nombre d'individus des espèces *H. ferruginicollis*, *H. iricolor* et *H. atripennis* de la famille des Notéridés communément rencontrées dans les plans d'eau de Bala, Bama et Boura

III.1.2.1.1.2- Ordre des Héteroïptères

Les familles d'Hétéroptères présentes dans nos échantillons ne représentent que moins de 10% des insectes échantillonnés avec 8,20% à Bama, 7,36% à Boura et 9,99% à Bala. Ces insectes ont été échantillonnés pour la plupart au niveau des racines des plantes aquatiques et de la surface de l'eau. On dénombre 8 familles regroupant 11 genres. Ces familles sont : les Notonectidés, les Naucoridés, les Belostomatidés, les Népidés, les Gerridés, les Pleidés, les Herbridés et les Hydrométridés. Chaque genre est représenté par une espèce soit au total 11 espèces. Tous ces genres se retrouvent au niveau des échantillons du réservoir naturel de Bala sauf le genre *Belostoma*, présent seulement au niveau des autres retenues. Les échantillons de ce réservoir naturel contiennent également des individus de la famille des Pléidés, famille absente des échantillons des réservoirs hydro-agricoles.

III.1.2.1.1.3- Ordre des Diptères

Cet ordre des Diptères représente 10,37% des insectes collectés à Bama, 5,22% de ceux de Boura et 14,43% de ceux de Bala. Nous avons dénombré 6 familles dans cet ordre à savoir les Tabanidés, les Cératopogonidés, les Canaceidés, Les Chironomidés, les Syrphidés et le Psychodidés. Les cinq premières familles se rencontrent dans les échantillons de la retenue de Bala, trois au niveau de ceux de Bama (Chironomidés, Syrphidés et Psychodidés) et deux au niveau de ceux de Boura (Chironomidés et Syrphidés). Les Chironomidés représentent 88,30% des Diptères collectés à Bama, 95,52% de ceux collectés à Boura et 88,55% de ceux collectés à Bala.

III.1.2.1.1.4- Ordre des Odonates

Trois familles ont été échantillonnées au niveau des trois sites : les Gomphidés, les Coenagrionidés et les Libellulidés. Les odonates représentent 2,52% des insectes collectés à Bama, 1,99% des insectes collectés à Boura et 4,19% de ceux collectés à Bala. Dans cet ordre les Libellulidés sont présents avec le maximum d'individus de 52% au niveau de Bama, 45,58% à Boura et 54,58% à Bala.

III.1.2.1.1.5- Ordre des Ephéméroptères

Les deux familles qui composent cet ordre à savoir les Beatidés, et les Ephéméréllidés n'ont été échantillonnées que dans le réservoir protégé de Bala. Les individus ont été capturés au niveau des racines des macrophytes. Les valeurs quantitatives restent très faibles. En effet les Beatidés représentent 0,21% des insectes et les Ephéméréllidés en représentent 0,04 %.

III.1.2.1.2- Vers aquatiques

Les vers représentent moins de 1% des macroinvertébrés échantillonnés (0,29% à Bama, 0,75% à Boura et 0,72% à Bala). Une seule famille à savoir les Hirudinés est présente dans nos échantillons. Ces individus ont été capturés avec le filet troubleau. Leur nombre s'accroît pendant le mois de juillet.

III.1.2.1.3- Crustacés

Les Cladocères sont les seuls Crustacées échantillonnés. Ils ont été rencontrés seulement à Bala et représentent 0,21% des macroinvertébrés de cette station.

III.1.2.1.4- Mollusques

Cinq familles ont été échantillonnées au niveau des trois retenues à savoir les Bulinidés, les Unionidés, les Lymneidés, les Planorbidés et les Valvatidés. Ces individus représentent 9,11% des macroinvertébrés collectés à Bama, 13,15% des macroinvertébrés collectés à Boura et 21% de ceux collectés à Bala. Les Bulinidés sont les plus importants de cet Embranchement avec 44,4% à Bama, 36,15% à Bala et 36,33% à Boura.

III.1.2- Classifications hiérarchiques de dissemblance des retenues en fonction du matériel biologique collecté

L'analyse du dendrogramme de dissemblance des trois retenues (Figure 6) donne deux clusters opposant les retenues anthropisées (Bama et Boura) au lac naturel protégé de Bala.

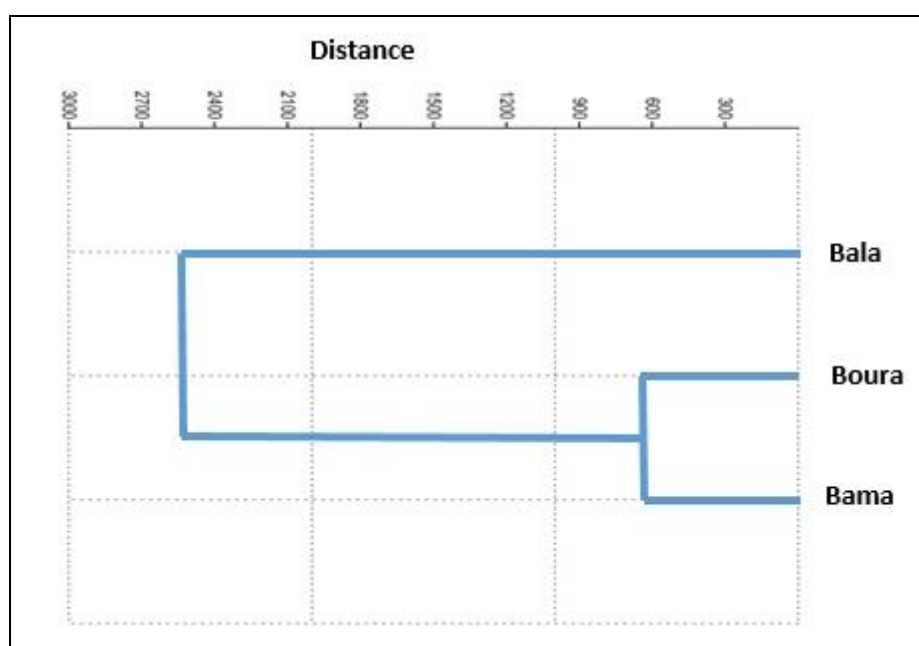


Figure 6: Classification hiérarchisée des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura basée sur la similarité des assemblages de familles de macroinvertébrés

III.1.3- Etude de l'évolution de la densité des macroinvertébrés benthiques au niveau des retenues de Bama, de Boura et de Bala

Les densités de macroinvertébrés benthiques au niveau de ces trois retenues évoluent de manière identique (Figure 7). En effet les densités benthiques sont maximales en saison sèche (mars pour Boura et avril pour Bama et Bala) puis décroissent progressivement. Les densités au niveau des retenues hydro-agricoles restent supérieures par rapport au réservoir naturel de Bala. On obtient pendant les périodes de pic, à Bama 517 individus au m², 434 individus au m² à Boura et 394 individus au m² à Bala. La moyenne des densités est de 301,2± 183,3 individus au m² à Bama, 282,33±154,32 individus au m² à Boura et de 330,37±117,59 individus au m² à Bala. L'analyse des résultats du t-test (Tableau 30) indique qu'il n'y a pas de différence significative entre ces moyennes. En effet, les probabilités étant supérieures à 0,05 les densités benthiques moyennes des trois retenues ne sont pas statistiquement différentes.

Tableau 30: Résultats du t-test sur les moyennes des densités de macroinvertébrés benthiques (valeurs mensuelles, N=6) des retenues de Bala, Bama et de Boura avec p étant la probabilité que les moyennes soient identiques

Comparaison des sites	Bama/Boura	Bama/Bala	Boura/Bala
Test t de moyenne	0,2027	1,0452	0,92153
p (moyennes identiques)	0,84343	0,32054	0,37847

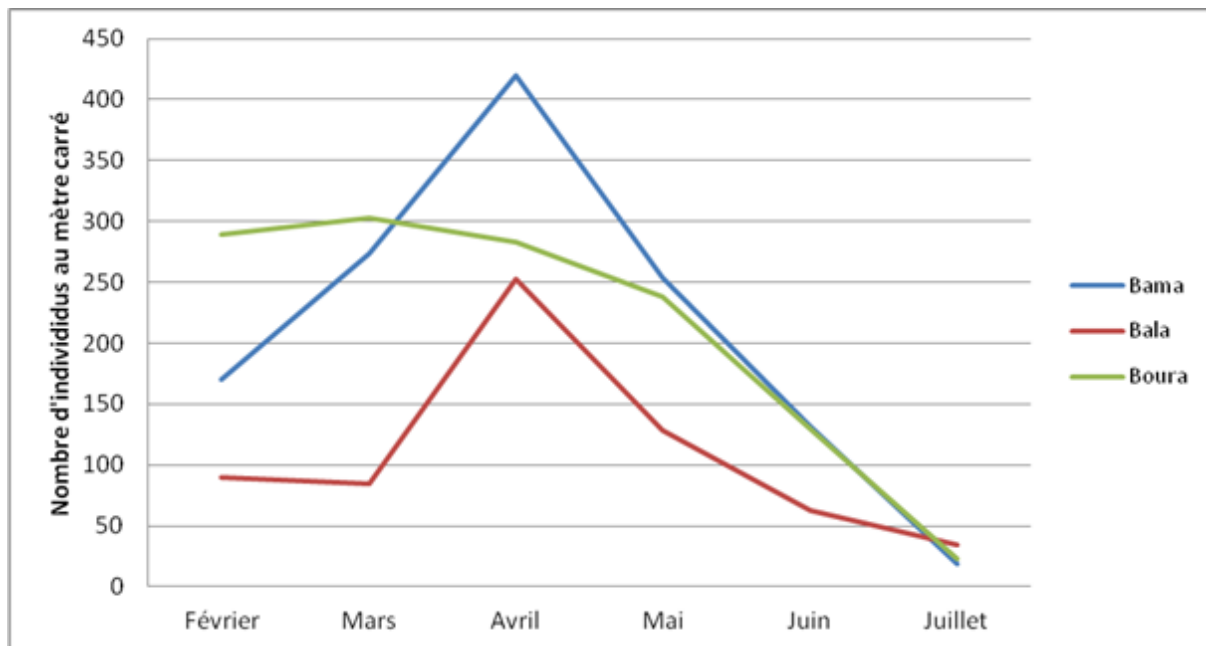


Figure 7: Evolution de la densité de macroinvertébrés benthiques au niveau des plans d'eau de Bala, Bama et de Boura.

III.1.4- Diversité des macroinvertébrés des trois retenues

III.1.4.1- Fréquence d'occurrence (F)

Sur les 33 familles de macroinvertébrés 17 sont très fréquentes au niveau des trois retenues (Tableau 31). Ce sont les familles des Hydrophilidés, des Dytiscidés, des Carabidés, des Notéridés, des Notonectidés, des Bélostomatidés, des Népidés, des Gerridés, des Herbridés, des Hydrométridés, des Chironomidés, des Gomphidés, des Libellulidés, des Coanogrionidés (toutes des Insectes), les Hirudinés (Vers), les Bulinidés, les Lymnéidés, les Planorbidés et les Valvatidés (Mollusques). Les familles absentes au niveau du lac naturel de Bala et présentes dans l'une des retenues anthropisées ont des fréquences d'occurrence inférieures à 50%. Par contre les familles des Gyrinidés, des Pléidés, des Tabanidés, des Cératopogonidés, des Canacéidés et des Beatidés (toutes des Insectes) qui sont absentes des retenues anthropisées sont très fréquentes ($F \geq 50\%$) dans le lac naturel de Bala.

Tableau 31: Fréquence d'occurrence des différentes familles de macroinvertébrés échantillonnées dans les retenues de Bala, Bama et de Bala

Macroinvertébrés	Fréquence d'occurrence			Macroinvertébrés	Fréquence d'occurrence		
	Bama	Boura	Bala		Bama	Boura	Bala
Hydrophilidae	+++	+++	+++	Canaceidae	-	-	+++
Dytiscidae	+++	+++	+++	Chironomidae	+++	+++	+++
Gyrinidae	-	-	+++	Syrphidae	+++	+++	++
Carabidae	+++	+++	+++	Psychodidae	++	-	-
Noteridae	+++	+++	+++	Gomphidae	+++	+++	+++
Cucurlionidae	+	-	-	Libellulidae	+++	+++	+++
Hydrochidae	++	-	-	Coenagrionidae	+++	+++	+++
Notonectidae	+++	+++	+++	Beatidae	-	-	+++
Naucoridae	+++	++	++	Ephemerellidae	-	-	++
Belostomatidae	+++	+++	+++	Hirudinae	+++	+++	+++
Nepidae	+++	+++	+++	Cladocères	-	-	++
Gerridae	+++	+++	+++	Bulinidae	+++	+++	+++
Pleidae	-	-	+++	Unionidae	+++	+++	+
Herbridae	+++	+++	+++	Lymneidae	+++	+++	+++
Hydrometridae	+++	+++	+++	Planorbidae	+++	+++	+++
Tabanidae	-	-	+++	Valvatidae	+++	+++	+++
Ceratopogonidae	-	-	+++				

- : F = 0% (taxons absents)

+

 : F ≠ 0% et inférieure à 25% (taxons rares)

++ : 50% > F ≥ 25% (taxons fréquents)

+++ : 50% ≥ F (taxons très de fréquents)

III.1.4.2- Diversité de Shannon

La Figure 8 indique une évolution identique de l'indice de diversité de Shannon au niveau des trois retenues. Le mois de mai est le mois de faible diversité au niveau des deux retenues anthropisées avec un indice de 1,746 bit/individu à Bama et de 1,624 bit/individu à Boura. Les valeurs sont légèrement plus élevées à Bala, et le mois de faible indice est celui d'avril avec 2,006 bit/individu. On constate néanmoins au niveau des trois sites une augmentation de la diversité des macroinvertébrés à partir de juin. Les fortes valeurs ne s'observent que pendant le mois de juillet avec 2,463 bit/individu à Bama, 2,532 bit/individu à Boura et 2,647 bit/individu à Bala. La moyenne des indices est de 2,0458 bit/individu $\pm$ 0,2547 à Bama, 2,0077 bit/individu $\pm$ 0,3212 à Boura et de 2,3585 bit/individu $\pm$ 0,2751 à Bala. L'analyse des résultats du t-test (Tableau 32) indique qu'il n'y a pas de différence significative entre ces moyennes ($P > 0,05$) : les diversités moyennes des trois sites ne sont pas statistiquement différentes.

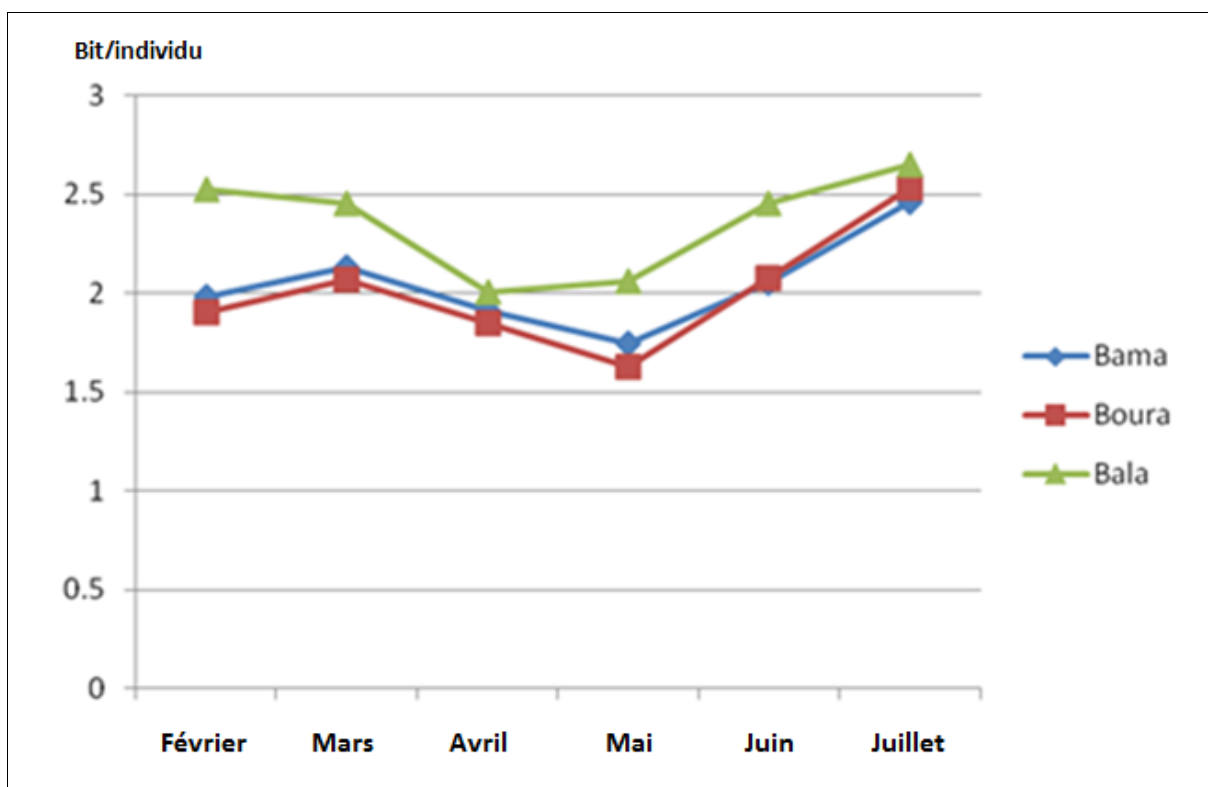


Figure 8: Evolution de l'indice de diversité de Shannon au niveau des plans d'eau de Bala, de Bama et de Boura.

Tableau 32: Résultat du t-test sur les moyennes des indices de diversités (valeurs mensuelles, N=6) des retenues de Bala, Bama et Boura avec p étant la probabilité que les moyennes soient identiques

Comparaison des sites	Bama-Boura	Bama-Bala	Boura-Bala
Test t de moyenne	0,23934	-2,1437	-2,1328
p(moyennes identiques)	0,81567	0,05767	0,05874

III.1.5- Regroupement des macroinvertébrés benthiques en fonction du nombre

III.1.5.1- Caractéristiques d'une station de référence

Pour Balvay et al. (2001), aucun milieu aquatique, d'eau stagnante ou courante, et quelle que soit sa taille ne peut être considéré comme une entité totalement indépendante des autres écosystèmes. Il est directement soumis à de nombreux facteurs externes qui conditionnent ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques et, par voie de conséquence, sa productivité. Les écosystèmes se trouvent ainsi dans un équilibre qui peut se dégrader en fonction de certaines activités en amont. Pour Jones et al. (2005) une station de référence se définit après une enquête de terrain et les informations suivantes devraient permettre la caractérisation :

- Les contaminations ponctuelles devraient être absentes, et tout rejet répertorié doit être pris en compte.
- Le niveau de l'eau ne devrait pas avoir un impact majeur sur la faune résidente.
- La végétation riveraine naturelle remplit plusieurs rôles primordiaux, dont la rétention des polluants, la protection contre l'érosion et la régulation de la température (Gagnon et Gangbazo, 2007). Elle devrait être omniprésente aux stations de référence.
- La déforestation du bassin versant située en amont d'une station de référence devrait être minimale.
- Le dragage et les modifications du lit d'un cours d'eau doivent idéalement être absents à la station de référence et en amont de celle-ci.
- Les villes et les industries majeures devraient être absentes ou situées le plus loin possible en amont d'une station de référence.
- Les terres agricoles ne devraient pas être présentes dans la partie du bassin située en amont de la station.

- Les secteurs acidifiés par certaines activités industrielles, dont les activités minières, ne devraient pas être sélectionnées comme station de référence.

Pour la caractérisation par les macroinvertébrés, Moisan et Pelletier (2008) estiment qu'un grand nombre de taxons de cette faune se rencontre dans une station de référence. Klemm et al. (1990) ainsi que Resh et al. (1995) associent une station non polluée à la présence des espèces appartenant aux ordres des Ephéméroptères, des Plécoptères et des Trichoptères.

Au niveau du bassin de la Volta, le fleuve Mouhoun dont l'écoulement des eaux est permanente, assure une connectivité écologique des différents écosystèmes aquatiques. De ce fait, une similarité devrait être observée au niveau de la faune de macroinvertébrés au niveau des plans d'eau étudiés ; en effet les trois plans d'eau (Bama, Bala et Boura) se retrouvent dans la même zone climatique. Les contrastes observés sont donc dus à des variations des constantes physico-chimiques de chaque plan d'eau. En somme, les 33 familles de macroinvertébrés inventoriés doivent se retrouver en cette période de basses eaux dans un plan peu ou pas perturbé. Les contrastes observés permettront de définir des familles de macroinvertébrés à considérer dans un inventaire dont les objectifs seraient de définir la santé biologique du milieu étudié.

III.1.5.2- Regroupement des Macroinvertébrés caractéristiques des lacs hydro-agricoles du bassin de la Volta

Dans cette étude les macroinvertébrés seulement inventoriés au niveau de Bala sont considérés comme des sentinelles et leur présence induirait une santé bonne écologique du milieu. Ce sont les Gyrinidés (Coléoptères), les Pleidés (Hétéroptères), les Baetidés et les Ephémérélidés (Ephéméroptères), les Tabanidés, les Cératopogonidés et les Canaceidés (Diptères) et les crustacées de l'ordre des Cladocères. Ces familles sont néanmoins très marginales au niveau de la mare de Bala (Tableau 33). On assiste également à la présence de trois familles très marginales seulement au niveau des retenues hydro-agricoles : les Psychodidés (0,140% des macroinvertébrés de Bama), les Hydrochidéés (1,858% des macroinvertébrés de Bama) et des Cucurionidés (0,159% des macroinvertébrés de Bama).

Tableau 33: Pourcentage des familles de macroinvertébrés échantillonnées seulement dans la mare aux hippopotames de Bala

Macroinvertébrés	Pourcentage
Gyrinidés	1,815%
Pléidés	0,330%
Tabanidés	0,585%
Ceratopogonidés	0,165%
Canaceidés	0,405%
EPT	0,195% (Beatidés 0,165% ; Ephémérélidés 0,030%)
Cladocères	0,210%

En ce qui concerne les macroinvertébrés ubiquistes, une étude du « Neighbour joining » montre que ces plans d'eau sont dominés par les Hydrophilidés. Au niveau de la mare aux hippopotames de Bala, 5 groupes de bioindicateurs se dégagent par les macroinvertébrés ubiquistes qui sont par ordre quantitatif (Figure 9) :

- Groupe A : les Hydrophilidés
- Groupe B : les Dytiscidés
- Groupe C : les Notéridés ; les Chironomidés
- Groupe D : les Bulinidés et les Valvatidés
- Groupe E : les Lymneidés, les Planorbidés, les Libellulidés, les Unionidés, les Bélostomatidés, les Notonectidés, les Népidés, les Carabidés, les Herbridés, les Coenogronidés, les Naucoridés, les Syrphidés, les Gomphidés, les Gerridés, les Hirudinés et les Hydrométridés.

Par contre, un regroupement des macroinvertébrés au niveau des plans d'eau hydro-agricoles permet de définir 4 groupes par ordre quantitatif (Figure 10) :

- Groupe A : les Hydrophilidés

- Groupe B : les Notéridés
- Groupe C : les Dytiscidés
- Groupe D : les Chironomidés, les Bulinidés, les Valvatidés, les Lymneidés, les Unionidés, les Bélostomatidés, Planorbidés, les Libellulidés, les Notonectidés, les Népidés, les Carabidés, les Herbridés, les Coenogrionidés, les Naucoridés, les Syrphidés, les Gomphidés, les Gerridés, les Hirudinés et les Hydrométridés.

Considérant la mare aux hippopotames de Bala comme station de référence au niveau du bassin (Sanogo et al., 2014) trois (3) grands groupes de bioindicateurs se dégagent au niveau d'une retenue de ce bassin (Tableau 34) :

- Des pollu-sensibles
- Des ubiquistes
- Des individus inféodés aux systèmes hydro-agricoles

Tableau 34: Groupes de macroinvertébrés caractéristiques de retenues d'eau du bassin de la Volta

Groupes			Familles de macroinvertébrés
I	Pollu-sensibles		Gyrinidés, Pleidés, Baetidés, Ephéméridés, Tabanidés, Cératopogonidés, Canaceidés, famille de Cladocères (non identifiée)
II	Ubiquistes	A	Hydrophilidés
		B	Dytiscidés
		C	Notéridés, Chironomidés
		D	Bulinidés, Valvatidés
		E	Lymnéidés, Planorbidés, Béstomatidés, Libellulidés, Notonectidés, Népidés, Carabidés, Hébridés, Coenogronidés, Unionidés, Naucoridés, Syrphidés, Gomphidés, Gerridés, Hirudinés, Hydrométridés.
III	Familles inféodées aux systèmes hydro-agricoles		Psychodidés, Hydrochidés, Cucurlionidées

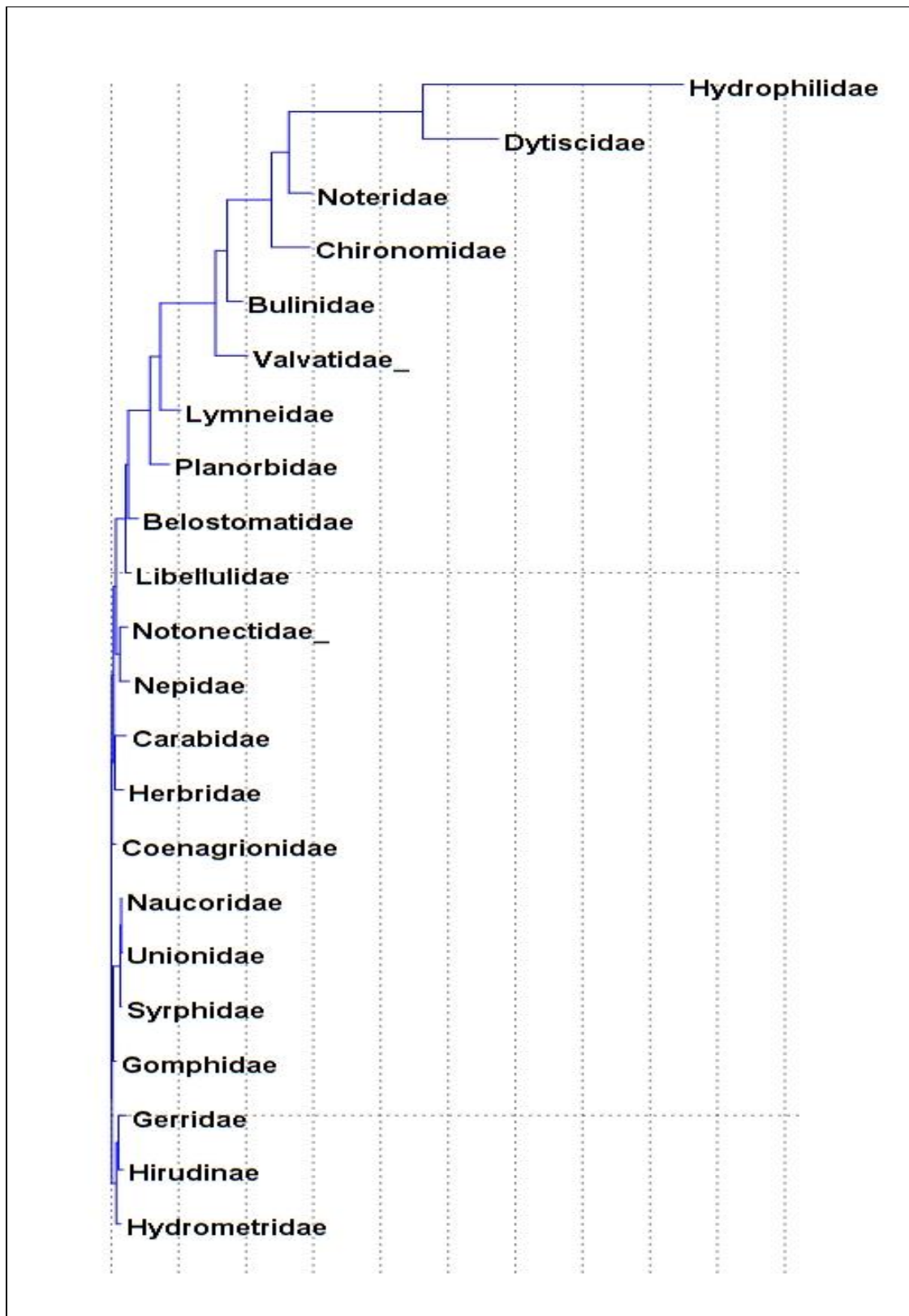


Figure 9: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés de la mare aux hippopotames de Bala présents dans les retenues hydro-agricoles de Bama et de Boura

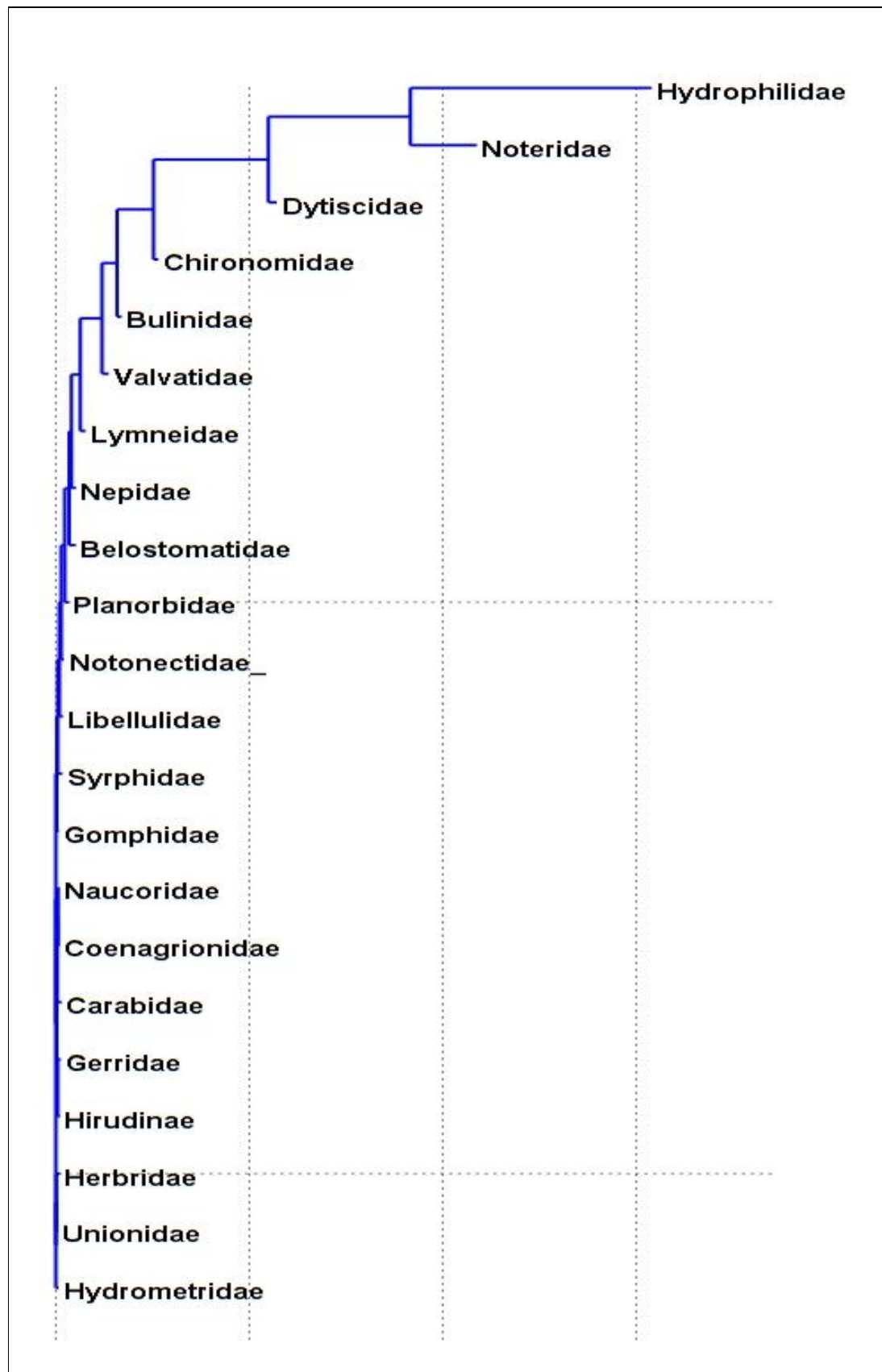


Figure 10: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés des retenues d'eau hydro-agricoles présents dans la mare aux hippopotames de Bala.

III.1.6- Discussion

III.1.6.1- Choix de la station de Bala comme station de référence

De manière officielle, la réserve de Bala reste une entité soumise aux réglementations de conservation telle que défini par l'UICN (2013). En effet, la mare et toute sa biosphère sont protégées. Seule la pêche est autorisée au niveau de la mare. Ce qui n'entrave en rien son caractère de site protégé (Triplet, 2009). En effet, la conservation d'une seule entité dans un site confère à ce site le caractère de site protégé. Le prélèvement des autres composantes est soumis à une réglementation pour ne pas entraver au bon fonctionnement de l'écosystème. Au niveau de la biosphère associée à la mare de Bala, Dibloni et al. (2009) ont relevé des activités néfastes des agropasteurs tel que le prélèvement de bois et de gibier.

Dans cette zone de fortes activités agricoles, la mare aux hippopotames apparaît comme la meilleure référence pour notre étude au milieu d'un réseau hydrographique burkinabé de plus en plus impacté par les activités humaines (GIRE, 2001). En outre, la présence des individus appartenant à l'ordre des Ephéméroptères confère à ce site le statut de site de référence : cet ordre d'Insectes avait été classé par Klemm et al. (1990) et Resh et al. (1995) comme taxon sensible au niveau des écosystèmes aquatiques.

III.1.6.2- Discussion sur la structuration des macroinvertébrés au niveau des stations de Bala, Bama et de Boura

Les études antérieures sur les macroinvertébrés aquatiques faites par Guenda (1996) au fleuve Mouhoun et Kabré et al. (2000 et 2002) aux lacs de barrages de Bagré et de la Comoé respectivement rapportent que les insectes sont les communautés les plus dominantes. Nos résultats (Tableaux 27, 28 et 29) restent en adéquation avec ces études antérieures. En outre, le nombre de familles de macroinvertébrés présents dans les échantillons des plans d'eau hydro-agricoles (25 à Bama, 23 à Boura) confirme les travaux de Kabré et al. (2002). Ces Chercheurs ont en effet obtenus 23 familles de macroinvertébrés benthiques au niveau du barrage de la Comoé du bassin de la Comoé. Comparativement à ces résultats, des études en Côte d'Ivoire, pays voisin du Burkina Faso, mais plus arrosé, révèlent une plus grande richesse taxinomique. En effet Kouamé et al. (2011) ont obtenu 40 familles de macroinvertébrés dans le lac de barrage hydroélectrique de Taabo, en n'échantillonnant seulement au niveau des macrophytes. Yapo et al. (2012) confirmaient cette richesse taxinomique en obtenant 45 familles de macroinvertébrés au niveau des étangs piscicoles dans le même pays.

Les taxons rencontrés durant la saison sèche dans les différents sites, et en particulier dans les retenues hydro-agricoles subissent les stress liés aux intempéries climatiques et aux agressions physico-chimiques dus à l'utilisation des pesticides et la dégradation des berges. Kabré et al. (2002) avaient mis en exergue l'effet négatif de la période d'étiage sur les populations de macroinvertébrés notamment les Diptères des systèmes lacustres. Dans nos échantillons, cet ordre d'insecte est très largement dominé par les Chironomidés, surtout au niveau du sédiment. Les travaux de Kabré et al. (2000) sur le lac de barrage de Bagré au centre du pays confirment cette dominance des Chironomidés au niveau du benthos des plans d'eau. En outre, la prolifération de Bulinidés au niveau de la vase constatée au niveau de nos trois retenues reste en adéquation avec les observations de Poda et al. (2006). En effet, pour ces auteurs les aménagements hydrauliques présentent des risques sanitaires avec la prolifération des Bulinidés, hôtes intermédiaires des parasites des bilharzioses. Les individus appartenant à ces deux familles (Chironomidés et Bulinidés) sont ubiquistes. Les Coléoptères, autres insectes ubiquistes dans les trois retenues, se sont illustrés dans les travaux de Oertli et al. (2005), Indermuehle et al. (2010) et Angélibert et al. (2010) pour la caractérisation de bonne qualité de l'eau des mares et étangs européens. Ces chercheurs associaient la bonne qualité des eaux aux Coléoptères, Odonates, Gastéropodes, Amphibiens et Plantes aquatiques présents. Dans le même sens, les espèces de Coléoptères sont diversement représentées au niveau de nos trois retenues (Figure 4). Il est une réalité que ces plans d'eau européens sont plus grands et naturellement ont des conditions climatiques différentes. Cependant, l'utilisation donc des Coléoptères en bioindication des plans d'eau du bassin de la Volta est réaliste nonobstant des études plus approfondies sur leur niveau de sensibilité aux polluants, particulièrement l'espèce *Hydrocanthus ferruginicollis* de la famille des Notéridés fortement présents au niveau des retenues hydroagricoles (Figure 5). Toledo et Heydrich (2006) avaient néanmoins remarqué la prolifération du genre *Hydrocanthus* au niveau de petites retenues d'eau. Si les conclusions des travaux de Thorne et Williams (1997) ne trouvaient pas de différence significative dans la pollu-sensibilité des macroinvertébrés en général dans divers plans d'eau dans le monde, ceux de Foto et al. (2011) reclassent les Atyidés (Crustacées décapodes) comme taxons moins tolérants sous les tropiques contrairement à la côte de tolérance qui leur est octroyée en Europe.

Le dendrogramme de dissemblance (Figure 6) reste d'intérêt pour notre étude orientée vers la bioindication. Son analyse révèle que l'utilisation de la famille comme niveau taxinomique permet de discriminer les plans d'eau par rapport à leur usage. D'une part, les

retenues anthropisées et d'autre part le lac naturel. Ce niveau taxinomique est classiquement utilisé dans les calculs d'indice de qualité biologique des cours d'eau au niveau européen (AFNOR, 2004 ; AFNOR, 2009 ; Moisan et Pelletier, 2008). Les impacts humains ont en général un effet sur le nombre de famille d'un écosystème aquatique. En effet, Foto et al. (2011) ont obtenu 28 familles tout comme Diomandé et al. (2009) lors d'études menées respectivement dans deux cours d'eau anthropisés du Cameroun et de la Côte d'Ivoire, tandis que Foto et al. (2010) obtenaient 59 familles au niveau d'un cours d'eau de référence non impacté au Cameroun.

Les densités moyennes de macroinvertébrés benthiques (57,33 à 517 individus au m²) sont statistiquement identiques pour les trois sites (Tableau 30). Kabré et al. (2000) avaient obtenus dans le lac de barrage de Bagré des résultats comparables aux nôtres (129,2 à 483,3 individus au m²). Guenda (1996) constate de plus grande valeurs au niveau des cours d'eau du Mouhoun avec des valeurs qui variaient de 808 à 13057 individus au m². Cette donnée écologique qui semble être identique au niveau des retenues d'eau ne tient pas compte de la variabilité des taxons mais du nombre d'individus au niveau d'une surface donnée. Un seul taxon peut ainsi l'influencer, d'où sa non utilisation dans les études de bioindication basé exclusivement sur la polluo-sensibilité différentielle de plusieurs taxons. Les courbes de variation de l'indice de diversité des trois stations (Figure 8) indique une légère différence entre les stations anthropisées et la station de référence malgré que cette différence ne soit statistiquement pas significative. Fisher et al. (1982) avaient émis, en effet, le principe selon lequel l'indice de diversité est d'autant plus élevé que les conditions du milieu favorisent l'installation de nombreuses espèces. Le niveau taxinomique atteint dans notre étude n'a pas permis de constater cette différence significative au niveau du lac naturel de Bala.

Pour cette première étude d'inventaire de macroinvertébrés en période d'étiage des plans d'eau du bassin de la Volta, les observations des groupes présents dans les échantillons couplés à leur fréquence d'occurrence (Tableau 31) permettent de dégager des taxons de macroinvertébrés que l'on peut qualifier de polluo-sensibles. En effet, ces taxons sont seulement présents au niveau du lac naturel de Bala avec des fréquences d'occurrence supérieures à 50%, et totalement absent des deux autres sites. Ce sont, les Gyrinidés (Coléoptères), les Pleidés (Hétéroptères), les Baetidés et les Ephéméridés (Ephéméroptères), les Tabanidés et les Cératopogonidés, les Canaceidés (Diptères) et les crustacées de l'ordre des Cladocères. Les familles qui n'ont été rencontrées que dans les retenues anthropisées (Bama et Boura) peuvent être considérés comme des polluo-résistants et pourraient être d'un

autre type d'intérêt pour la bioindication de ces hydro-systèmes car leurs fréquences restent inférieures à 50%.

Conclusion

Le lac naturel de Bala possède une diversité de macroinvertébrés permettant de la qualifier de station de référence dans un réseau hydrographique de plus en plus impactés par les activités humaines. En effet ce plan d'eau comporte des individus classés comme pollu-sensibles à savoir les individus appartenant à l'ordre des Ephéméroptères.

Les communautés de macroinvertébrés de nos trois retenues restent largement dominées par les insectes avec plus de 85,74% de représentativité. Plus de la moitié de cet embranchement de macroinvertébrés est représenté par l'ordre des Coléoptères avec 78,90% dans la retenue de Bama, 85,14% au niveau du lac de barrage de Boura et 71,13% dans le lac naturel de Bala. D'une manière globale, l'étude a permis d'identifier 26405 individus de macroinvertébrés répartis en 71 espèces et 33 familles au total sur les trois sites de Boura (23 familles), Bama (25 familles) et Bala (30 familles). Les 7 familles à savoir les Gyrinidés (Coléoptères), les Pleidés (Hétéroptères), les Baetidés et les Ephéméridés (Hépheméroptères), les Tabanidés, les Cératopogonidés et les Canaceidés (Diptères) et les crustacées de l'ordre des Cladocères sont considérées comme des familles pollu-sensibles ; par contre les deux espèces de coléoptères *H. ferruginicollis* (Notéridés) et *Crenitis sp.* (Hydrophilidés) proliférant au niveau des retenues hydro-agricoles sont considérées comme des espèces pollu-résistantes.

Trois grands groupes de macroinvertébrés de bioindicateurs sont ainsi définis de cette étude à savoir les pollu-sensibles, les ubiquistes et les individus inféodés aux systèmes hydro-agricoles. Il est conclu de cette étude que les taxons décrits respectivement à Bala et à Bama et Boura peuvent être considérés comme de potentiels bioindicateurs des plans d'eau du bassin de la Volta. Ces bioindicateurs, sans nul doute, permettront des investigations futures de calculs d'Indice pour les petits plans d'eau stagnante en zone sahélo-soudanienne.

III.2 : Etude de la structuration des macroinvertébrés le long d'un continuum lac de barrage – effluents issus des périmètres irrigués – fleuve

III.2.1- Discrimination des populations de macroinvertébrés des stations d'échantillonnage

Ces échantillonnages ont permis de récolter 27177 individus dont 8644 individus au niveau du littoral du barrage et 1272 au niveau du sublittoral respectivement station I et station II (Tableaux 35 et 36). En aval de la digue du barrage dans l'effluent 5618 individus ont été récoltés au niveau de la station III, 5572 au niveau de la station IV et 3051 à la station V ; au niveau du fleuve Mouhoun 3020 individus à la station VI (Tableaux 37 et 38). Ces macroinvertébrés se composent d'Insectes, de Crustacés, de Vers et de Mollusques regroupés en 35 familles, parmi lesquelles une famille d'Amphipodes et une de Cladocères ; toutes des crustacées non identifiées à cause leur petite taille et leur fragilité à la conservation. Les stations I, II, III et IV considérées comme théoriquement impactées par les activités agricoles comptent 27 familles et au niveau des stations V et VI qui sont loin des périmètres irrigués, 32 familles. Les insectes sont les plus dominants avec 89,23% au niveau du littoral et 65,64% pour le sublittoral ; 85,81%, 86,49% et 75,22% respectivement aux stations III, IV et V dans l'effluent ; finalement 89,11% au niveau du fleuve, station VI.

La classification hiérarchisée des stations basée sur la similarité des familles de macroinvertébrés (Figure 11) permet de regrouper ces stations en quatre :

- Groupe 1 : la station du littoral du lac de barrage (station I)
- Groupe 2 : les stations au niveau des périmètres irrigués (stations II et III)
- Groupe 3 : les stations après les périmètres irrigués (stations IV et V)
- Groupe 4 : la station du sublittoral du lac de barrage (station VI)

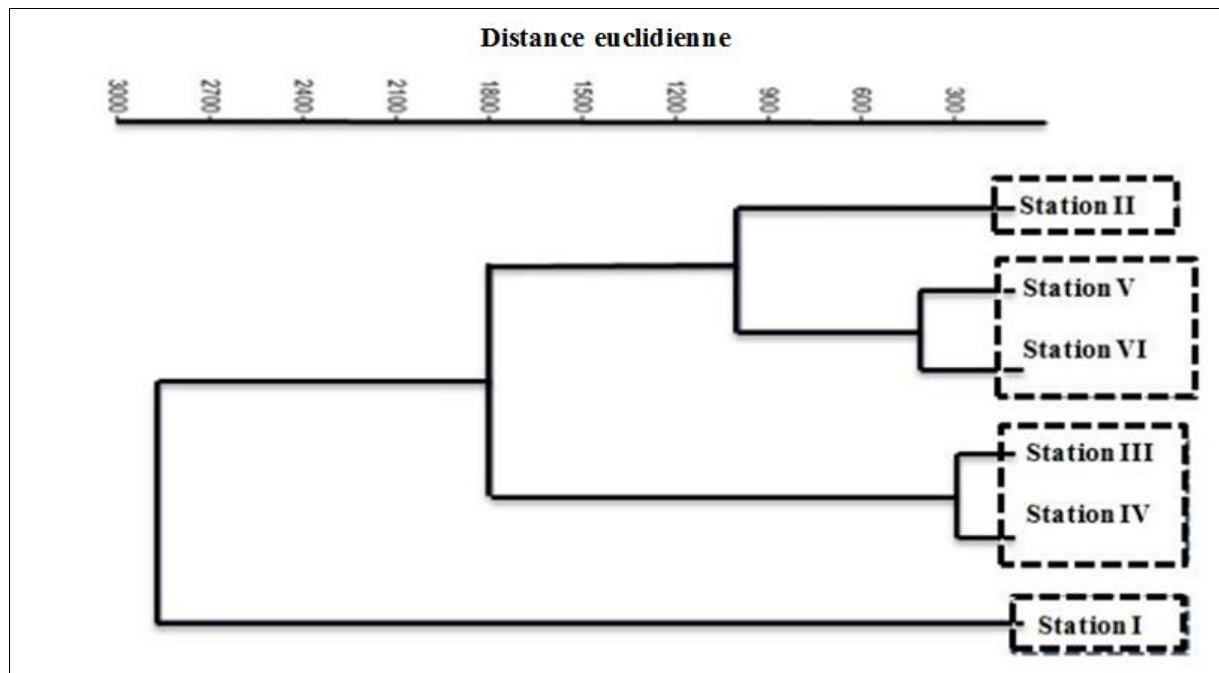


Figure 11: Classification hiérarchisée des différentes stations basée sur la similarité des assemblages de familles de macroinvertébrés

Tableau 35: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Insectes) échantillonnés au niveau de deux stations d'observation du barrage de Boura pendant la période de février à juillet 2012.

Macroinvertébrés	Station I (littoral lac de Barrage)						Station II (sublittoral lac de barrage)					
	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet
Coléoptères												
Hydrophilidae	986	418	845	704	356			17	47	88	8	
Dytiscidae	358	313	263	188	208	59		20		16	21	
Gyrinidae												
Carabidae	3	11		2								
Noteridae	419	687	398	244	104	69	85	90	157	73	46	
Chrysomelidae												
Elmidae												
Hétéroptères												
Notonectidae	16	25	12	18	22	15						
Naucoridae	7	23		6		9						
Belostomatidae	23	27	20	6	9	13		8	11	15	7	5
Nepidae	38	17	29	15	31	6		6	3	1	3	1
Gerridae		23			13	19						
Herbridae	22		6	18	21							
Hydrometridae	12	6	22	3	9	8						
Veliidae												
Ephéméroptères												
Baetidae												
Ephemerellidae												
Odonates												
Gomphidae	15	3	17	11	4	10						
Libellulidae	13	8	22	10	19	6						
Coenagrionidae	10	1	6	2	7	6						
Diptères												
Chironomidae	46	112	98	31	26	6	12	49	22	17	7	
Syrphidae	2	5	13									
TOTAL	1970	1679	1751	1258	829	226	97	190	240	210	92	6

Tableau 36: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Crustacés, Vers, Mollusques) échantillonnés au niveau de deux stations d'observation du barrage de Boura pendant la période de février à juillet 2012

Macroinvertébrés	Station I (littoral lac de Barrage)						Station II (sublittoral lac de barrage)					
	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Crustacés												
Potamidae												
Amphipodes												
Cladocères												
Vers												
Hirudinae	3	14	3	4	20	11	4				6	9
Lumbricidae												
Naididae												
Mollusques												
Bulinidae	114	56	51	29	14	5	29	73	83	18		1
Unionidae	4	7	15	3	12	6		3		10	5	
Pleuroceridae												
Lymneidae	140	84	20	20	3	8	44	52	12	3		8
Ampullariidae	10	58	44	8	2	8	27	6	6			
Planorbidae	21	41	14	2	11	26		22	6	3		
Valvatidae	15	6	11	5		3	3	4				
Total	307	266	158	71	62	67	107	160	107	34	11	18

Tableau 37: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Coléoptères, Hétéroptères, Ephéméroptères et Odonates) échantillonnés au niveau des stations situées sur l'effluent issu du lac de barrage de Boura de février à juillet 2012

Macroinvertébrés	Périmètres irrigués												Zone intermédiaire						Fleuve Mouhoun					
	Station III						Station IV						Station V						Station VI					
	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul
Coléoptères																								
Hydrophilidae	512	311	355	356	511	17	47	469	188	608	600		165	182	149		13		299		234	54	13	7
Dytiscidae	274	279	183	120	109	28	320	250	148	221	108		183	193	224	85	15		232	230	159	127	42	
Gyrinidae									8			13			4		17		9		7		3	
Carabidae	21				3				16	3			3		11									
Noteridae	131	232	109	121	44	18	166	314	130	104	49	18	35	25	22	25			3		23		3	
Chrysomelidae	13	6	41	12	12			14	25				12	25	7	17	4		26	3	15	18		
Elmidae		14	2	3	13		11	15	12		13	24	27	3	9			3	44	12	15	11		18
Hétéroptères																								
Notonectidae															33	10	7							
Naucoridae	3			8			2	4		10	5	26												
Belostomatidae	18	31	11	41	23	25	18	28	13	12	20	34		15	21	19	46	21	9	23	19	11	23	41
Nepidae	21	39	10	22	43	3	29	28	36	9	7	10	2	73	32	54	19	6	6	7	15			
Gerridae	14		23	13	11	7	31	20	6	14	39	22		39	7	12	41	37	36	49	61	40	21	32
Herbridae	37	12	41	10			18	24	2	11				9	26	13			4	7	2	18		
Hydrometridae	9		3	9	2		9	2	6	11		1		7	12	3			9	1	6	2		
Veliidae	44	7	17		11		33	7		12			2		11		5	10	12	1	14	11	41	32
Ephéméroptères																								
Baetidae																			1		3		2	
Ephemerellidae																			2		1			4
Odonates																								
Gomphidae	9	6	18	17	1	4	3	5	8	10	9	17		15	3	2	14		22	19	3	6	7	18
Libellulidae	16	22	6	13	6	23	14	9	22	13	5	11		21	17	9	8	4	36	38	16	25	17	23
Coenagrionidae	2	8	13	9	7	10	9	11	3	5	2	1		6	11	5	4	2	14	21	24	10	3	11
Total	1124	967	832	754	796	135	710	1200	623	1043	873	177	43	599	593	550	275	111	764	411	617	333	175	186

Tableau 38: Nombre d'individus par famille de macroinvertébrés (Diptères, Crustacés, Vers, Mollusques) échantillonnés au niveau des stations situées sur l'effluent issu du lac de barrage de Boura de février à juillet 2012

Macroinvertébrés	Périmètres irrigués												Zone intermédiaire							Fleuve Mouhoun					
	Station III						Station IV						Station V							Station VI					
	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	
Diptères																									
Chironomidae	41	18	77	10	36		58	20	16	44	9			11	36	15	26	12	65	19	82	21	11	7	
Syrphidae	6	11	8	6			23	11	11	17				8	3	13									
Crustacés																									
Potamidae																									
Amphipodes																									
Cladocères																									
Vers																									
Hirudinae	8			11	9	16	31	16	18	7	12	31	21			7	3	21	38			1	6		
Lumbricidae		5		14	4	4		41	18	22	31	15	8												
Naididae																									
Mollusques																									
Bulinidae	55	18		5	52		16			91	26	12													
Unionidae	40	33	28	30	18	13	23	39	15	13	25	11		35	18	39	15	29	10	54	32	54	27	22	16
Pleuroceridae														63	21	2	107	21							
Lymneidae	55	34	25	22	12	22	32	14	15	13					25	20	13			15	5				
Ampullariidae	11	18	7	2		23	10	9	15	11					7	16	11			6	2	3			
Planorbidae	27	11	15	6		11		14	6		3				21	39	24			3	13	11	9		
Valvatidae	23	14	20	19	10	16	34	23	13	8	14	8		5	11	12	8	6	6	9	8	7			
Total	266	162	210	160	96	116	253	166	211	175	109	48		103	139	209	244	114	71	159	79	177	63	33	23

III.2.2- Variabilité structurelle des peuplements de macroinvertébrés

II.2.2.1-A l'échelle du lac de barrage

Au niveau du sublittoral, 13 familles d'insectes (Hydrophilidés, Dytiscidés, Notéridés, Bélostomatidés, Népidés, Chironomidés) de Vers (Hirudinés), et de Mollusques (Bulinidés, Unionidés, Lymnéidés, Ampullariidés, Planorbidés, Valvatidés) échantillonnées se retrouvent aussi au niveau du littoral. Cette station compte, en plus 10 familles d'insectes à savoir les Carabidés, les Notonectidés, les Naucoridés, les Gerridés, les Herbridés, les Hydrométridés, les Gomphidés, les Libellulidés, les Coenogronidés et les Syrphidés. Le constat est que toutes les familles de Mollusques colonisent aussi bien le littoral que le sublittoral.

En outre, l'indice de similarité de Sørensen est de 72,22% ce qui indique une différence entre ces deux stations du point de vue de leur diversité. En effet ces différences sont mises en évidence par le test de Fisher (PPDF) avec $\alpha = 5\%$ (Tableau 39). L'utilisation de cette valeur (PPDF 0,05) permet de constater une différence entre le mois de juillet et les autres mois au niveau du littoral et une différence entre le mois de mars et les autres mois au niveau du sublittoral. En comparant les droites de régressions linéaires des indices par mois des deux stations (Figure 12) pendant la période qui s'étend de février à juillet, on note une croissance de l'indice au niveau du littoral pendant qu'il décroît au niveau sublittoral.

Tableau 39: Comparaison de la variation mensuelle de l'indice de diversité de Shannon suivant un transept allant du littoral au sublittoral du lac de barrage de Boura; la Plus Petite Différence Significative de Fisher (PPDS avec $\alpha = 5\%$) est utilisée.

	Littoral (Station I)	Sublittoral (Station II)
Février	1,804	1,546
Mars	1,988	2,037
Avril	1,792	1,554
Mai	1,577	1,718
Juin	1,951	1,664
Juillet	2,501	1,326
Moyenne	1,935	1,640
PPDSF 0,05	0,289	0,289

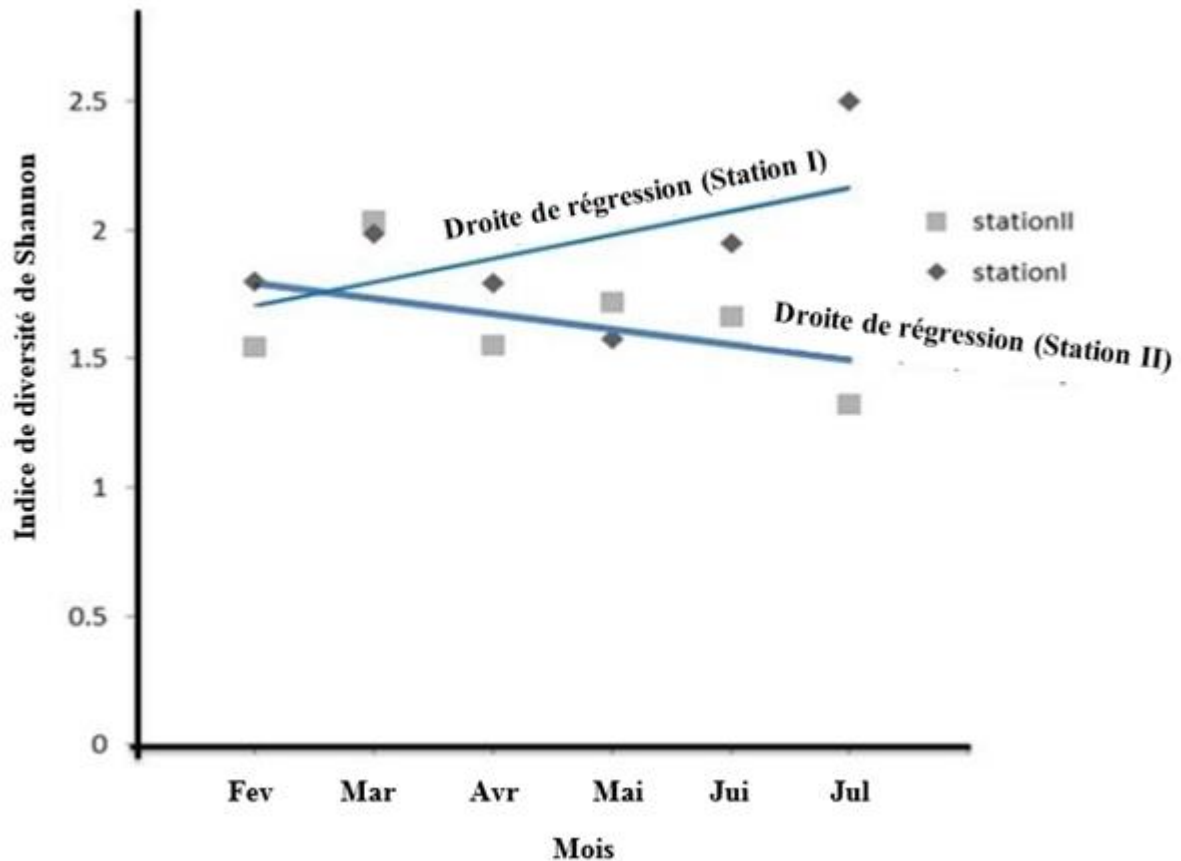


Figure 12: Comparaison des régressions linéaires des indices de diversité de Shannon obtenues au niveau du littoral et du sublittoral dans le barrage de Boura de février à juillet 2012.

III.2.2.2- A l'échelle du continuum lac de barrage-effluents-fleuve

L'indice de Sørensen indique une similarité minimum de 80% entre ces quatre stations (Tableau 40) : le lac de barrage, les périmètres irrigués, la zone intermédiaire et le fleuve. L'utilisation de la plus petite différence significative de Fisher (Tableau 41) met en évidence d'une part des différences entre les indices de diversité de Shannon mensuels au niveau de chaque station et d'autre part des différences des indices mensuels entre les stations pour un mois choisi. En outre, une comparaison entre les valeurs moyennes des trois zones écologiques barrage, effluent et fleuve indique une différence significative entre les barrages et les deux autres pendant la période de février, avril et mai (Annexe 6). Au niveau du barrage (station I et II) et de l'effluent (station III et IV, zones théoriquement impactées), les indices de diversité de Shannon du mois de juillet sont différents de ceux des autres mois.

Des 35 familles de macroinvertébrés présents dans nos échantillons, 18 sont communes aux 4 zones à savoir les Hydrophilidés, les Dytiscidés, les Notéridés, de l'ordre des Coléoptères, les Bélostomatidés, les Népidés, les Gerridés, les Herbridés, les Hydrométridés de l'Ordre des Hétéroptères, les Gomphidés, les Libellulidés et les Coenagrionidés de l'ordre des Odonates, les Chironomidés de l'ordre des Diptères, les Hirudinés de l'embranchement des Vers, les 5 familles de Mollusques à savoir les Unionidés, les Lymnéidés, les Ampullariidés, les Planorbidés et les Valvatidés.

Tableau 40: Indice de similarité de Sørensen entre les différents sites du lac de barrage au fleuve.

	Lac de barrage (stations I et II)	Périmètres irrigués (stations III et IV)	Zone intermédiaire (station V)	Fleuve (station VI)
Lac de barrage (station I et II)	100%	92%	82,35%	85,71%
Périmètres irrigués (stations III et IV)	92%	100%	98,18%	81,48%
Zone intermédiaire (station V)	82,35%	98,18%	100%	86,79%
Fleuve (station VI)	85,71%	81,48%	86,79%	100%

Tableau 41: Comparaison de la variation mensuelle de l'indice de diversité de Shannon le long du continuum lac de barrage-effluent-fleuve Mouhoun; la comparaison utilise la Plus Petite Différence Significative de Fisher (PPDSF avec $\alpha = 0,05$)

	Lac de barrage (station I et II)	Périmètres irrigués (station III et IV)	Station intermédiaire (V)	Fleuve (station VI)
Février	1,9	2,438	1,456	2,204
Mars	2,092	2,117	2,479	1,994
Avril	1,876	2,484	2,602	2,347
Mai	1,648	2,072	2,426	2,293
Juin	1,989	1,679	2,559	2,231
Juillet	2,551	2,830	2,317	2,14
Moyenne	2,009	2,270	2,306	2,201
PPDSF _{0,05}	0,340	0,340	0,340	0,340

Nous avons choisi à la faire de la Figure 13, une représentation spatiale des familles (au nombre de 17) qui ne sont pas communes aux différentes stations ; ceci permet de mieux magnifier le contraste ou la discrimination entre les zones écologiques. Sur le transect allant du lac de barrage (stations I et II) aux deux première stations de l'effluent (stations III et IV) on constate une présence permanente de Naucoridés et de Bulinidés ; ces stations, proches des activités agricoles comptent au total 27 familles de macroinvertébrés.

Deux familles de Coléoptères, présentes au niveau des stations de l'effluent jusqu'au fleuve sont absentes au niveau du lac de barrage. Il s'agit de la famille des Chrysomélidés et de celle des Elmidés. Au niveau des stations III et IV, on a une présence endémique des Lumbricidés et des Véliidés. On rencontre également la famille des Véliidés au niveau du fleuve. Les Potamidés, les Naididés et les Pleuroceridés se retrouvent seulement au niveau de la station intermédiaire (zone dont les berges ne sont pas utilisées). La zone intermédiaire et le fleuve sont considérés comme des stations non impactées comptent 32 familles.

Finalement, les Gyrinidés commencent à apparaître au niveau de la dernière station de l'effluent (station VI) jusqu'au fleuve Mouhoun (station VI). Ce fleuve (station VI) se caractérise par la présence des Baetidés, des Ephémérellidés, des Amphipodes et des Cladocères, toutes absentes des autres stations. Ces autres stations se distinguent du fleuve par la présence des Carabidés et des Syrphidés.

Gyrinidae			1	1	1	
Carabidae	1	1	1	1		
Chrysomelidae		1	1	1	1	
Elmidae		1	1	1	1	1 : Présent
Notonectidae	1			1		
Naucoridae	1	1	1			
Veliidae		1	1			1
Baetidae						1
Ephemerellidae						1
Syrphidae	1	1	1	1		
Potamidae				1		
Amphipodes						1
Cladocères						1
Lumbricidae		1	1			
Naididae				1		
Bulinidae	1	1	1			
Pleuroceridae				1		
	Station I et II (Lac de barrage)	Station III Périmètres irrigués	Station IV	Station V (intermédiaire)	Station VI (Fleuve Mouhoun)	
						
	Sens d'écoulement de l'eau					

Figure 13 : Répartition spatiale de macroinvertébrés non communs aux stations situées sur l'effluent du lac de barrage jusqu'au fleuve Mouhoun.

III.2.3- Regroupement des macroinvertébrés caractéristiques de l'effluent issu des périmètres irrigués

La caractérisation d'effluent se fait par la comparaison de cette zone avec les stations en amont (lac de barrage) et celles en aval (zone intermédiaire et fleuve Mouhoun). En amont, au niveau du barrage, quatre groupes de famille de macroinvertébrés se définissent après analyse du « Neighbour joining » (Figure 14) :

- Groupe I : les Hydrophilidés
- Groupe II : les Notéridés
- Groupe III : les Dytiscidés
- Groupe IV : les Bulinidés, les Chironomidés, les Lymnéidés, les Ampullariidés, les Népidés, les Planorbidés, les Bélostomatidés, les Notonectidés, les Libellulidés, les Hirudinés, les Herbridés, les Unionidés, les Carabidés, les Syrphidés, les Coenagrionidés, les Naucoridés, les Valvatidés, les Gerridés, les Hydrométridés, et les Gomphidés.

Au niveau des effluents, on retrouve quatre groupes (Figure 15), tout comme au niveau du lac de barrage.

- Groupe I : les Hydrophilidés
- Groupe II : les Dytiscidés
- Groupe III : les Notéridés
- Groupe IV : les Chironomidés, les Unionidés, les Bulinidés, les Bélostomatidés, les Népidés, les Lymnéidés, les Valvatidés, les Gerridés, les Hirudinés, les Lumbricidés, les Libellulidés, les Herbridés, les Véliidés, les Chrysomélidés, les Gyrinidés, les Carabidés, les Hydrométridés, les Naucoridés, les Coenagrionidés, les Syrphidés, les Planorbidés, les Ampullariidés, les Elmidés et les Gomphidés.

Au de l'aval (fleuve et zone intermédiaire), on retrouve six groupes de familles de macroinvertébrés (Figure 16):

- Groupe I : les Dytiscidés
- Groupe II : les Hydrophilidés
- Groupes III : les Gerridés et les Unionidés.
- Groupe IV : les Bélostomatidés, les Chironomidés, les Népidés et les Pleuroceridés.

- Groupe V : les Elmidés, les Notéridés, les Chrysomélidés et les Planorbidés.
- Groupe VI : les Coenagrionidés, les Gomphidés, les Veliidés, les Naididés, les Herbridés, les Lymnéidés, les Hirudinés, les Valvatidés, les Notonectidés, les Ampullariidés, les Gyrinidés, les Syrphidés, les Potamidés, les Ephémérélidés, les Cladocères, les Carabidés, les Beatidés et les Amphipodes.

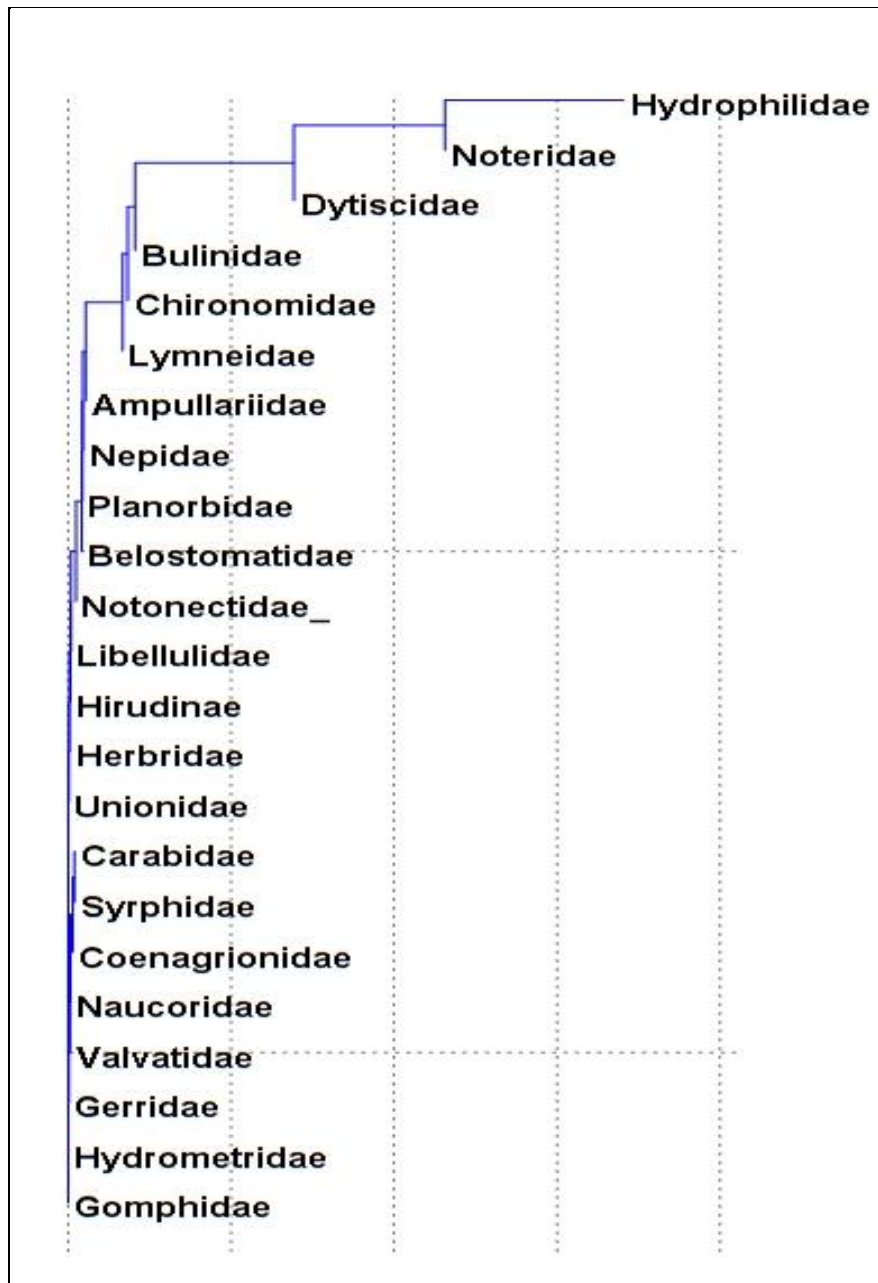


Figure 14: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés du lac de barrage de Boura

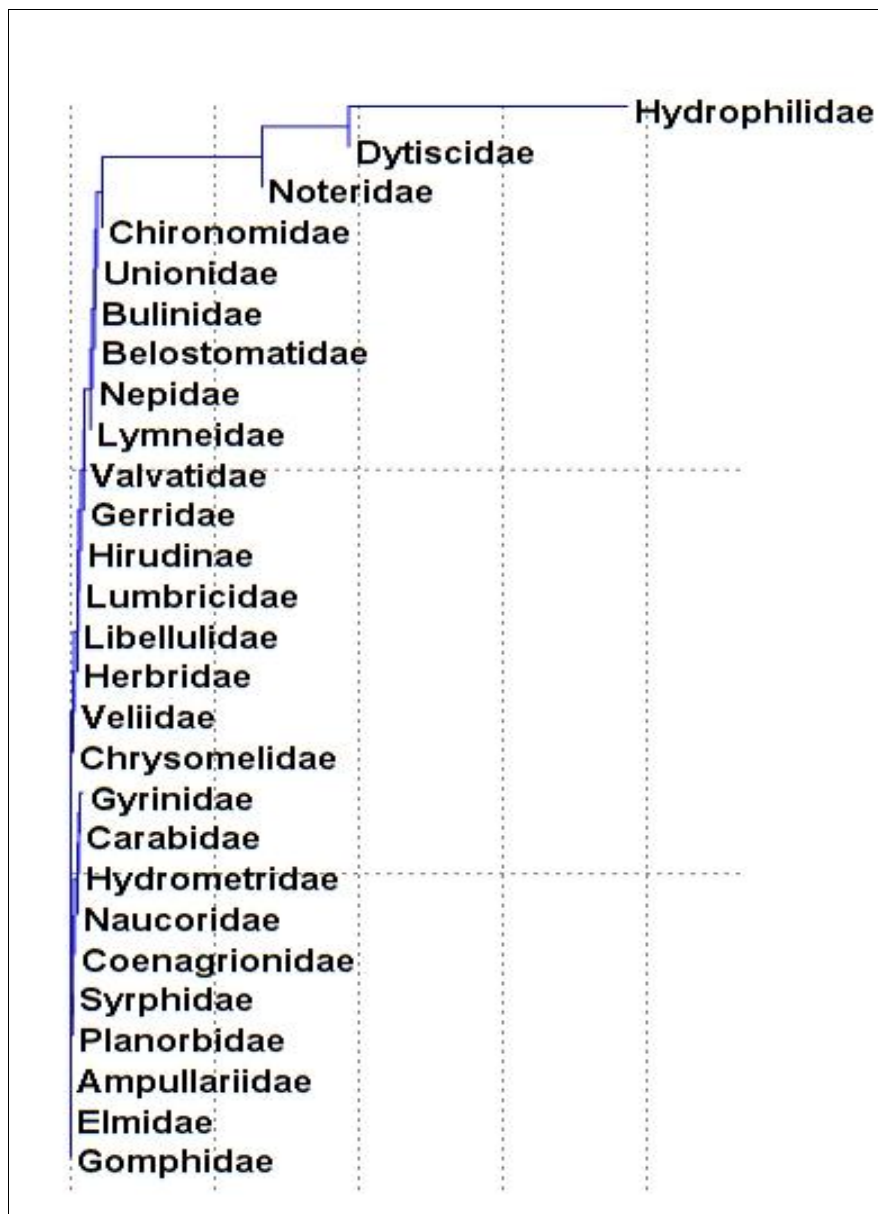


Figure 15: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés échantillonnés au niveau des périmètres irrigués

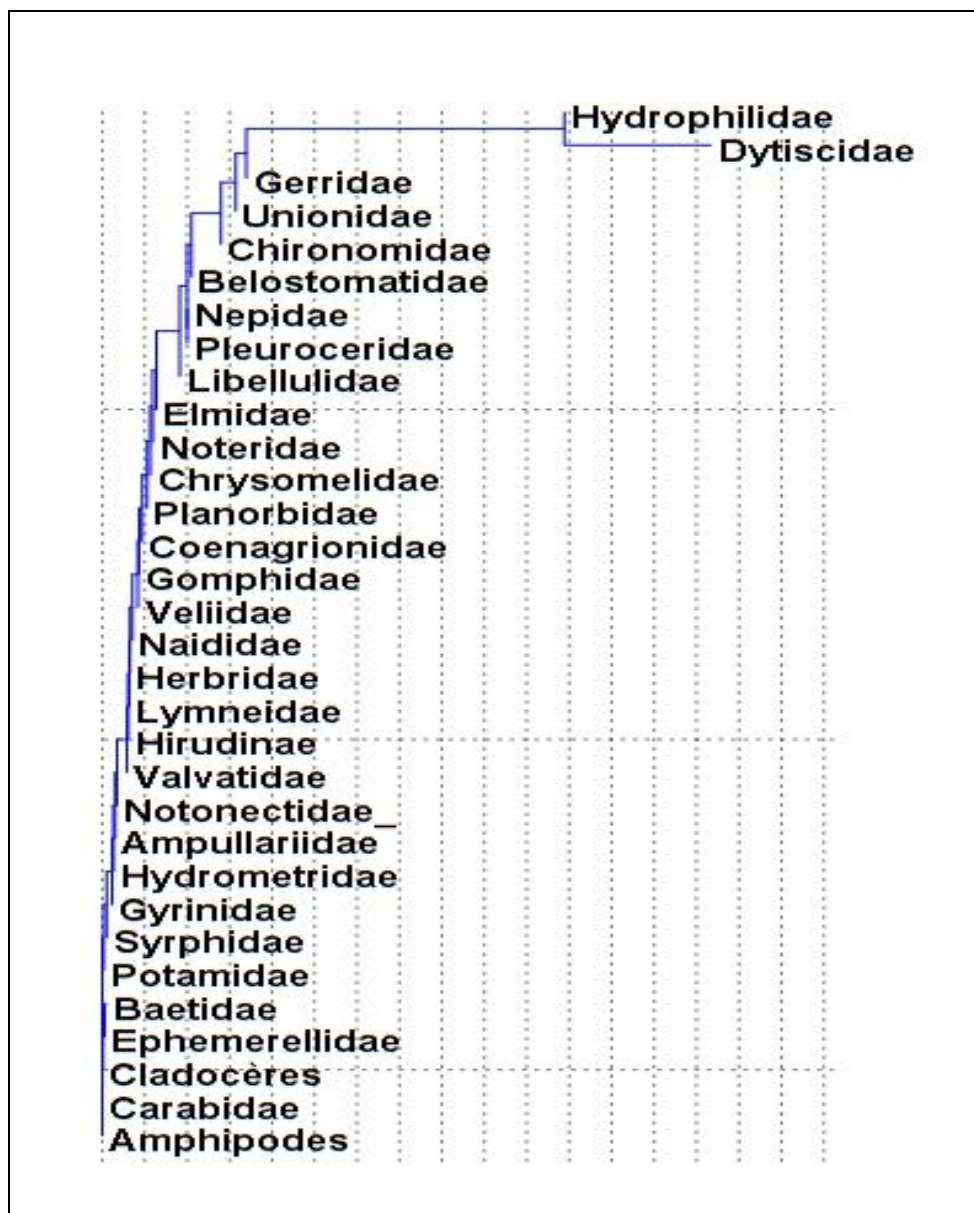


Figure 16: Classification hiérarchisée des macroinvertébrés échantillonnés au niveau du fleuve Mouhoun et de la zone intermédiaire

III.2.4- Discussion

Dans la caractérisation de zone de référence au niveau d'un cours d'eau, Foto et al. (2010) ont identifié 59 familles de macroinvertébrés au Cameroun. Ces résultats confirment d'une part, les remarques de Davis et al. (2011) concernant les actions néfastes des pesticides sur les peuplements de macroinvertébrés au niveau des zones d'irrigation et d'autre part, nos résultats de 27 familles au niveau du lac de barrage et des périmètres irrigués. En effet, des résultats en adéquation avec les nôtres révèlent qu'au niveau des zones d'intenses activités agricoles on assiste à une diminution du nombre de famille. Il s'agit de ceux de Diomandé et al. (2009) et de Foto et al. (2011) qui ont obtenu 28 familles au niveau de zones impactées par les activités agricoles et des rejets urbains respectivement en Côte d'Ivoire et au Cameroun.

La distinction observée entre les stations du lac de barrage à la figure 9 confirmée par la comparaison des droites de régression de la figure 10 indique une forte colonisation des zones du littoral par les macroinvertébrés par rapport au sublittoral. Des études de Kouamé et al. (2011) indiquaient une concentration des macroinvertébrés d'un barrage au niveau des plantes aquatiques. Au niveau du lac de barrage de Boura, l'utilisation des berges pour les activités agricoles a engendré une concentration de plantes aquatiques dans le littoral d'où cette concentration de macroinvertébrés à ce niveau. Dans ce transect littoral-sublittoral, les droites de régression (Figure 10) des indices de diversité mensuels de Shannon, indiquent que la fin de la saison sèche équivaut à une grande diversité des familles de macroinvertébrés au niveau du littoral pendant qu'elle diminue au niveau du sublittoral. Le calcul de la plus petite différence de Fisher ressort une différence entre les indices de diversité des deux stations au mois de juillet, qui correspond à la pleine saison pluvieuse au niveau du bassin de la Volta. Malgré cette dissemblance, on constate que le littoral et le sublittoral comportent les mêmes populations de mollusques. En effet, dans l'étude de la distribution bathymétrique des mollusques, Mouthon (1993) avait constaté que les mollusques avaient la capacité d'occuper ces deux zones au niveau d'un lac. Pequeux (2006) les trouvait aussi dans les zones profondes aquatiques surtout les fonds marins. Parmi ceux échantillonnés au niveau du lac de barrage de Boura, on constate une prolifération de Bulinidés. Ce constat avait été fait par Poda et al. (2006) au niveau des aménagements hydrauliques couramment appelés petits barrages au Burkina.

Au niveau du continuum lac de barrage-effluent-fleuve, 18 des 35 familles de macroinvertébrés sont communes à toutes les stations. La figure 9 regroupe sur ce continuum, les stations du périmètre irrigué de l'effluent et celle de la station intermédiaire à celle du

fleuve. Ces résultats indiquent que les modifications de l'habitat déterminent la structure des communautés de macroinvertébrés. En effet, aucune station n'est parfaitement identique à une autre sur ce continuum. Des différences significatives sont observées lorsque les écarts entre les indices mensuels sont comparés à la différence significative de Fisher, surtout au niveau des écarts entre l'indice au niveau du lac de barrage et les autres stations (Annexe 6) pendant les mois de février, avril et mai. En effet, au niveau de cet habitat (lac de barrage), on constate que la moyenne arithmétique des indices de diversité mensuels est la plus basse dans ce continuum pendant ces mois. En outre, la différence observée entre les zones de cultures et les zones non impactées pendant le mois de juillet (mois de fortes pluies) indique une augmentation notable de la diversité au niveau de ces zones (cours d'eau) non impactées pendant les saisons pluvieuses ; en filigrane Foto et al. (2010) avaient par ailleurs constaté une abondance de taxons au niveau des cours d'eau pendant ces saisons. En effet au niveau de l'effluent, l'indice de similarité de Sørensen (Tableau 40) entre les stations au niveau du périmètre irrigué et la zone intermédiaire de 98,18% indique que ces stations situées sur l'effluent sont très proches d'un point de vue composition faunistique en macroinvertébrés. Ces stations partagent en plus des 18 familles, 5 autres familles représentées au niveau de la figure 11. Le rapprochement de la station intermédiaire avec la station du fleuve observé au niveau de la figure 8 est sans doute révélateur d'une possible récupération (i.e. une recolonisation de la diversité biologique) de ce cours d'eau. En effet, notre théorie de possible récupération se base d'une part sur les observations de Cissé (1997) qui avait remarqué une diminution de la concentration des produits chimiques au fur et à mesure qu'on s'éloigne des zones d'utilisation anthropiques et d'autre part de la présence dans les échantillons au niveau du fleuve des individus de la famille des Baetidés et des Ephémérellidés (Ordre des Ephéméroptères). L'ordre des Ephéméroptères est présenté par Moisan et Pelletier (2008) comme indicateur de bonne qualité de l'eau. L'augmentation du nombre de groupe constaté dans la caractérisation au niveau des stations loin des périmètres irrigués par rapport aux autres stations (Figures 12, 13 et 14) démontre de la grande diversité de taxons au niveau de ces zones très peu impactées.

La notion de « River Continuum Concept » développé par Vannote et al. (1980) se retrouve dans notre continuum à petite échelle. En effet, la distribution des invertébrés suit un gradient de l'amont à l'aval. Dans notre étude, ce gradient part du lac de barrage au fleuve avec une succession de groupe taxonomique. L'utilisation des berges de ce cours d'eau régit cette succession.

Conclusion

Les basses eaux sont des périodes d'intense activités agricoles au niveau des barrages hydroagricoles du bassin de la Volta. Les communautés de macroinvertébrés subissent par conséquent les agressions de cette intensification agricoles. Au niveau du lac de barrage de Boura et du continuum établit avec le fleuve Mouhoun, l'étude de la structuration de cette faune sentinelle révèle une communauté composée majoritairement d'Insectes (plus de 75%) et diversement repartie. Au niveau du transect littoral-sublittoral dans le lac de barrage, 23 familles de macroinvertébrés ont pu être échantillonnées. Toutes se trouvaient au niveau du littoral et seulement 10 au niveau du sublittoral. L'étude révèle par ailleurs que la différence entre les diversités de Shannon de ces deux zones s'accroît pendant le mois de juillet, période de pluie au niveau du bassin. Au niveau du continuum lac de barrage-effluent-fleuve, un total de 35 familles a été échantillonné dont 27 au niveau du lac de barrage et des stations proches du périmètre irrigué et 32 au niveau de la station de l'effluent loin du périmètre irrigué et du fleuve. La présence d'individus appartenant à la famille des Baetidés et des Ephémérellidés (ordre des Ephéméroptères) au niveau du fleuve permet de croire à une possible récupération du cours d'eau car cet ordre d'insectes est considéré comme sensible aux perturbations des cours d'eau.

III.3- Tests de toxicité d'herbicides sur *Crenitis sp* (Coléoptères, Hydrophilidés)

III.3.1- Mesures des variables physico-chimiques

Les résultats des différentes mesures des variables physico-chimiques sont consignés dans le Tableau 42 qui démontre que la température, la conductivité, le pH et l'oxygène ne sont pas des facteurs limitants. Leurs valeurs étant dans l'intervalle de productivité moyenne en milieux aquatiques (Ministère de l'Environnement du Québec, MENV, 2001).

Tableau 42: Variables chimiques mesurées au niveau du réservoir de Bama et des zones de récoltes de l'espèce *Crenitis sp.*

N°	Réservoir de Bama				Zone de récolte des <i>Crenitis sp</i>			
	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)	Température (° C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène (mg/l)
1	34,8	139,6	8,22	8,12	35,1	165,5	8,81	7,81
2	34,5	155,5	7,13	7,7	34,3	146,4	7,42	8,92
3	33,2	154,7	6,33	5,75	34,5	146,8	7,15	7,53
4	31,8	161,2	8,01	5,47	34,8	155,2	7,27	6,62
5	33,6	159,1	7,59	6,31	33,4	163,2	6,75	6,99
Moyenne	33,58	154,02	7,45	6,67	34,42	155,42	7,48	7,57

III.3.2- Résultats des différents bioessais

En douze heures d'exposition, avec des séquences 30 mn, l'eau minérale (test témoin) n'a aucun effet sur l'espèce *Crenitis sp* dont les individus ont tous survécus. Les tableaux 43 et 44 indiquent respectivement les survies des individus face aux différentes concentrations d'atrazine et de diuron. Au niveau des tableaux 45 et 46, on a les survis des individus face aux différents mélanges de ces deux produits. Les triplicats ont été groupés pour calculer les EC₅₀ globales.

Tableau 43: Nombre de *Crenitis sp* immobiles en présence de concentrations d'atrazine

Temps d'exposition	Nombre d'immobiles (test 1)										Nombre d'immobiles (test 2)										Nombre d'immobiles (test 3)									
	A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁
0 mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 mn	30	25	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	5	0	0	0	0	0	0	0	30	18	4	0	0	0	0	0	0	0
1h		30	13	1	0	1	0	0	0	0			10	0	0	0	1	0	0	0		23	13	1	0	0	0	0	0	0
1h30			18	11	7	1	0	0	2	0			10	7	0	0	1	0	0	0	30	13	1	0	0	0	0	0	0	0
2h			18	11	12	3	0	0	3	1			17	17	11	0	2	0	3	1		13	5	3	1	0	0	0	0	3
2h30			18	11	12	3	1	0	3	1			18	17	12	0	2	0	4	1		14	5	3	1	0	0	3	3	
3h			18	11	12	3	1	0	3	1			18	17	13	0	2	0	4	1		21	12	3	1	4	1	3	3	
3h30			18	17	12	3	2	0	7	6			19	24	17	0	2	0	4	1		26	13	3	1	4	1	3	3	
4h			20	21	14	3	3	0	7	6			19	25	17	9	3	0	4	1		26	13	4	1	4	1	3	3	
4h30			20	21	14	6	8	0	7	6			19	26	17	9	7	0	4	1		30	13	8	5	6	1	3	3	
5h			28	21	17	6	9	2	7	6			27	26	17	9	7	0	4	1			20	11	5	7	1	3	3	
5h30			28	25	17	6	9	2	7	6			28	26	17	9	7	0	5	1			20	11	10	7	3	3	3	
6h			30	26	17	6	9	2	8	6			28	26	17	9	11	0	5	1			26	12	10	7	3	4	3	
6h30				26	17	6	9	3	9	6			28	26	18	13	11	1	5	1			26	19	10	7	5	4	3	
7h				26	17	6	9	4	11	6			28	26	19	13	12	4	5	1			26	19	10	11	5	4	3	
7h30				26	18	13	9	5	11	6			30	26	19	14	12	8	5	1			26	19	10	12	5	7	3	
8h				28	18	13	9	8	11	6				28	19	14	12	10	5	1			29	19	11	12	5	7	3	
8h30				28	18	13	9	8	11	6				29	19	14	12	10	5	1			29	28	11	12	5	7	3	
9h				28	18	13	11	8	11	6				29	23	16	12	10	5	1			29	28	11	12	9	7	3	
9h30				28	18	14	11	8	11	6				30	23	16	12	10	5	1			29	28	11	12	9	7	3	
10h				28	18	15	11	8	11	6					24	16	12	13	5	1			30	28	18	12	9	7	3	
10h30				28	19	16	11	8	12	6					24	16	12	13	5	1				28	18	12	9	9	3	
11h				29	19	16	11	8	12	6					24	16	12	13	5	1				28	18	12	9	9	3	
11h30				30	19	16	11	8	12	6					24	16	13	13	5	1				28	18	13	9	9	3	
12h					19	16	11	8	12	6					24	16	13	13	5	1					30	18	14	9	11	3

Tableau 44: Nombre de *Crenitis sp* immobiles en présence de différentes concentrations de diuron

Temps d'exposition	Nombre d'immobiles (test 1)										Nombre d'immobiles (test 2)										Nombre d'immobiles (test 3)										
	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	
0 mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 mn	30	30	1	0	0	0	0	0	0	0	30	21	6	1	0	1	0	0	0	0	24	30	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1h			15	6	0	0	1	0	0	1		28	6	1	0	1	2	0	0	0	30		21	0	0	0	1	0	0	0	
1h30			17	6	0	0	1	0	0	1		30	17	5	0	1	2	0	0	0			21	4	5	1	1	0	0	0	
2h			17	6	1	2	1	0	0	1			17	5	0	1	2	0	0	0			23	8	5	1	1	0	0	0	
2h30			18	8	1	2	1	0	0	1			17	5	0	1	2	0	0	0			23	10	5	1	1	0	0	0	
3h			25	11	3	2	1	0	0	1			21	5	0	1	2	0	0	0			23	12	6	4	2	0	0	0	
3h30			25	11	3	2	1	0	0	1			21	5	0	1	2	0	0	0			30	12	7	4	2	1	0	0	
4h			26	11	3	2	5	0	0	1			21	10	1	1	2	0	0	0				13	7	4	3	1	0	0	
4h30			29	11	3	2	5	0	0	1			30	10	1	1	4	0	0	0				13	7	4	3	1	0	0	
5h			29	17	7	3	5	0	0	1				10	1	5	4	0	0	0				13	7	4	3	1	0	0	
5h30			30	18	7	6	5	3	0	1				16	2	5	4	0	0	0				15	8	4	3	1	0	0	
6h				19	8	6	5	3	0	1				16	3	5	4	0	0	0				15	10	5	3	1	0	0	
6h30				20	9	6	5	3	0	1				16	9	6	4	0	0	0				24	10	6	3	1	0	0	
7h				20	10	6	5	3	0	1				25	15	9	4	0	0	0				24	11	6	3	1	0	0	
7h30				20	10	6	5	3	0	1				27	15	9	4	0	0	0				24	12	6	3	1	0	0	
8h				20	11	6	5	3	0	1				27	15	9	4	0	0	0				24	12	6	3	1	0	0	
8h30				21	11	6	5	3	0	1				27	15	9	4	1	0	0				29	14	8	3	1	0	0	
9h				21	11	6	5	3	0	1				27	15	9	4	1	0	0				29	14	8	3	1	0	0	
9h30				21	11	6	5	3	0	1				29	16	10	4	1	0	0				29	14	8	3	1	0	0	
10h				22	11	6	6	3	0	1				30	18	10	4	1	0	0				29	14	9	3	1	0	0	
10h30				22	11	6	6	3	0	1					18	10	4	1	0	0				29	14	9	3	1	0	0	
11h				22	11	6	6	3	0	1					18	11	4	1	0	0				29	14	9	3	1	0	0	
11h30				22	11	6	6	3	0	1					18	11	4	1	0	0				30	14	10	3	1	0	0	
12h				22	11	6	6	3	0	1					18	11	4	1	0	0					14	10	3	1	0	0	

Tableau 45: Nombre de *Crenitis sp* immobiles en présence d'un mélange d'atrazine et de diuron différentes concentrations (mélange1)

Temps d'exposition	Nombre d'immobiles (test 1)										Nombre d'immobiles (test 2)										Nombre d'immobiles (test 3)										
	A ₁₀ /	A ₉ /	A ₈ /	A ₇ /	A ₆ /	A ₅ /	A ₄ /	A ₃ /	A ₂ /	A ₁ /	A ₁₀ /	A ₉ /	A ₈ /	A ₇ /	A ₆ /	A ₅ /	A ₄ /	A ₃ /	A ₂ /	A ₁ /	A ₁₀ /	A ₉ /	A ₈ /	A ₇ /	A ₆ /	A ₅ /	A ₄ /	A ₃ /	A ₂ /	A ₁ /	
	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₁₀	D ₉	D ₈	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	
0 mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 mn	30	30	30	22	16	6	0	0	3	0	30	30	22	22	0	0	0	0	1	1	30	30	30	29	9	3	0	0	0	0	0
1h				22	24	9	0	0	3	0			22	24	17	7	0	0	2	1				30	22	14	0	0	0	0	0
1h30				25	25	9	0	0	3	0			25	24	17	7	0	0	2	1					25	14	1	0	0	0	0
2h				30	26	9	0	0	3	0			30	24	21	10	0	0	2	1					25	16	1	0	0	0	0
2h30					29	9	0	6	3	0				29	21	10	0	0	2	1					25	16	2	0	0	0	0
3h					29	9	1	6	3	0				29	30	10	0	1	2	1					25	16	2	0	2	0	0
3h30					29	12	1	6	3	0				29		10	3	1	2	1					25	16	4	0	2	0	0
4h					29	13	3	6	3	0				30		10	4	1	2	2					30	17	4	3	3	0	0
4h30					29	13	3	6	3	0						10	4	1	2	2						19	9	3	3	0	0
5h					30	13	3	6	3	0						19	4	1	2	2						19	9	3	3	0	0
5h30						20	3	6	3	5						19	4	1	2	3						24	11	3	3	0	0
6h						20	3	6	3	5						19	4	1	2	3						30	12	7	5	0	0
6h30						20	3	6	3	5						24	4	3	2	3							12	7	5	2	0
7h						27	9	6	3	5						24	6	3	2	3							13	7	5	2	0
7h30						27	15	6	3	5						25	6	3	2	3							17	8	7	2	0
8h						30	15	6	3	5						25	6	8	2	3							17	8	9	2	0
8h30							15	6	3	5						26	7	8	2	3							17	8	10	2	0
9h							15	7	3	5						27	9	8	2	3							17	8	10	2	0
9h30							15	7	3	5						30	9	8	2	3							17	8	10	2	0
10h							15	7	4	5							14	8	2	3							17	8	10	3	0
10h30							15	7	4	5							14	9	2	3							17	8	10	3	0
11h							15	7	4	5							15	9	2	3							17	9	10	3	0
11h30							16	7	4	5							15	9	2	3							17	9	11	3	0
12h							16	7	4	5							15	9	2	3							17	9	11	3	0

Tableau 46: Nombre de *Crenitis sp* immobiles en présence d'un mélange d'atrazine et de diuron à différentes concentrations (mélange 2)

Temps d'exposition	Nombre d'immobiles (test 1)										Nombre d'immobiles (test 2)										Nombre d'immobiles (test 3)									
	A10/ D1	A9/ D2	A8/ D3	A7/ D4	A6/ D5	A5/ D6	A4/ D7	A3/ D8	A2/ D9	A1/ D10	A10/ D1	A9/ D2	A8/ D3	A7/ D4	A6/ D5	A5/ D6	A4/ D7	A3/ D8	A2/ D9	A1/ D10	A10/ D1	A9/ D2	A8/ D3	A7/ D4	A6/ D5	A5/ D6	A4/ D7	A3/ D8	A2/ D9	A1/ D10
0 mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 mn	30	30	30	10	0	0	29	30	30	30	30	30	30	23	0	1	3	10	22	30	30	30	30	21	0	0	12	30	30	30
1h				10	0	0	30							23	3	1	22	17	26					21	0	0	19			
1h30				11	0	0								23	3	1	26	30	30					28	0	5	22			
2h				23	7	0								23	5	1	26							28	1	12	30			
2h30				30	7	0								27	5	2	26							28	2	12				
3h					14	0								27	5	3	26							29	9	12				
3h30					14	0								27	11	7	30							30	15	15				
4h					14	3								30	11	7									15	19				
4h30					14	3									11	7									15	19				
5h					14	3									19	7									15	19				
5h30					14	5									21	10									17	19				
6h					14	6									21	11									17	19				
6h30					17	6									21	11									17	24				
7h					25	6									21	11									23	26				
7h30					25	19									21	11									23	29				
8h					25	19									21	11									26	29				
8h30					25	19									21	13									26	29				
9h					25	19									21	13									26	30				
9h30					25	19									21	13									29					
10h					25	19									21	13									29					
10h30					25	19									21	13									29					
11h					25	19									21	13									29					
11h30					25	20									21	15									29					
12h					25	20									21	15									29					

III.3.3- Recherche graphique des EC_{50} de chaque herbicide

La concentration effective (EC_{50}) pour l'atrazine seul est de 11,75 g/l. En mélange 1 (mélange des concentrations équivalentes atrazine et diuron, Tableau 45), elle est de 7,33 g/l. Tandis que pour le diuron, la valeur EC_{50} est de 44,96 g/l seul et de 11,72g/l en mélange 1. En mélange 2 (Tableau 46), on n'obtient pas de EC_{50} pour l'atrazine (Figure 17) ainsi que pour le diuron (Figure 18).

Dans les deux cas (atrazine et diuron), le mélange est plus toxique (EC_{50} plus petites) que chacun des contaminants considéré isolément. Le mélange 2 induit une immobilité massive sauf pour les concentrations intermédiaires (ie environ entre 10 à 100 g/l) où on compte quelques survivants après 12h de test.

Pour l'atrazine (Figure 17), l'ajout de diuron en mélange 1 est d'un impact limité ; autrement dit les EC_{50} calculées pour l'atrazine seule et l'atrazine en mélange 1 ne sont pas statistiquement différentes (Figure 19) avec une probabilité de $P = 0,106$, et l'évolution de la toxicité de ce produit en synergie est nulle dans ce mélange 1. Il n'en est pas de même pour le mélange 2.

La situation n'est pas la même pour le diuron (Figure 16) avec une nette diminution de la concentration effective (EC_{50}) en présence d'atrazine aussi bien à fortes concentrations qu'à faibles concentrations. Les valeurs de CE_{50} pour le diuron seul et en mélange 1 sont statistiquement différentes avec une probabilité de $P = 0,015$.

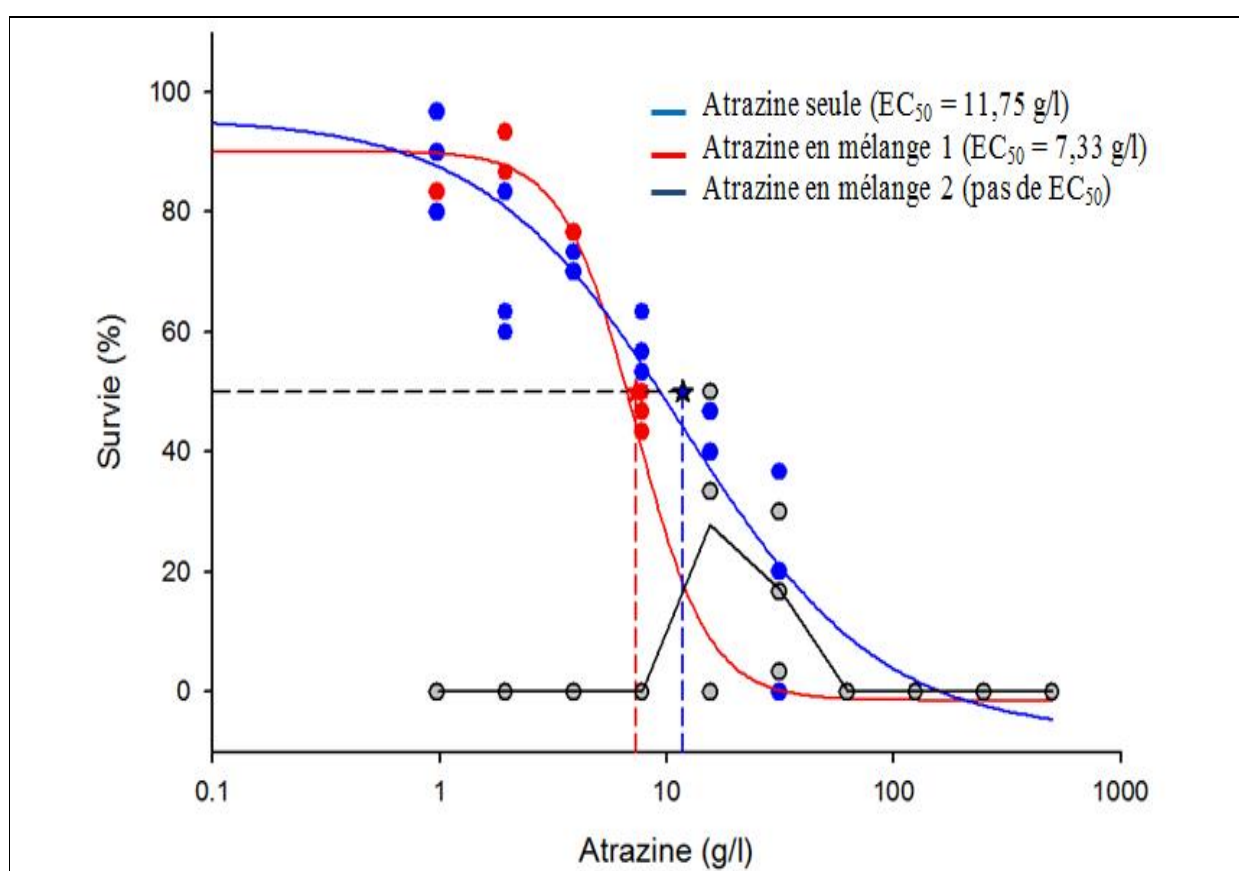


Figure 17: Concentration efficace (EC_{50}) de l'atrazine et des mélanges sur l'espèce *Crenitis sp.*

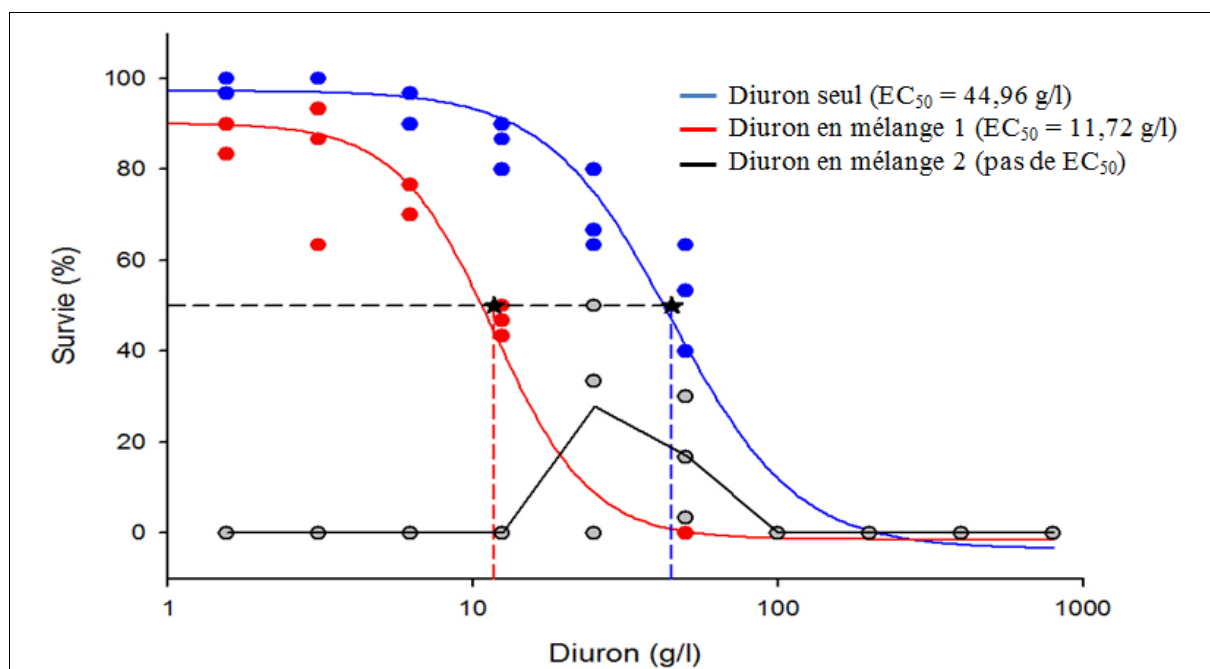


Figure 18: Concentration efficace (EC₅₀) du diuron et des mélanges sur l'espèce *Crenitis sp.*

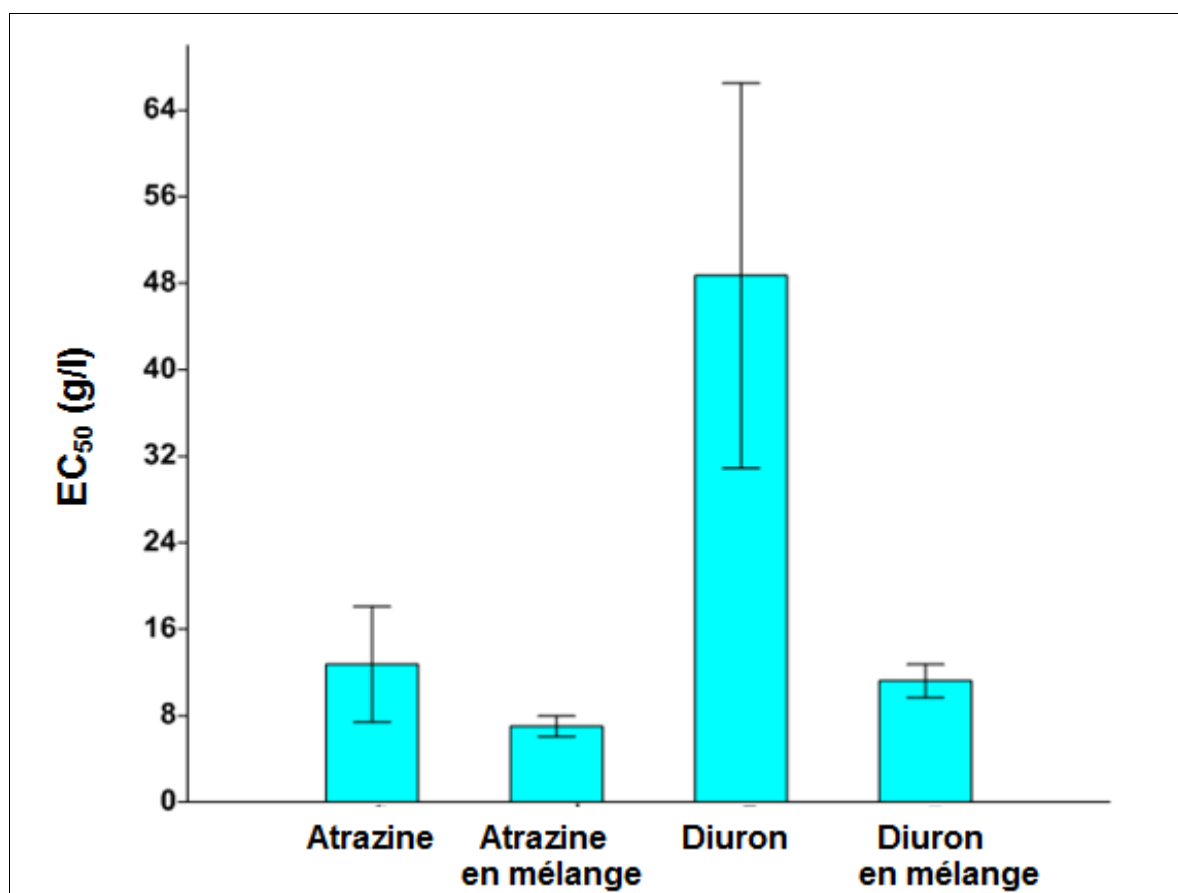


Figure 19: Comparaison des EC₅₀ de l'atrazine et du diuron seul et en synergie utilisés dans les tests de toxicité aux individus de l'espèce *Crenitis sp.*

III.3.4- Comparaison des EC₅₀ des deux produits, seul et en mélange (mélange 1)

Les EC₅₀ ont été calculés graphiquement essai par essai (Tableau 47) ; on a ainsi trois valeurs de EC₅₀ pour chaque traitement et ces triplicats sont comparés par ANOVA (un facteur) pour le diuron et pour l'atrazine. Les probabilités sont indiquées et la différence n'est significative que dans le cas du diuron (Figure 19 ; Tableau 46).

Tableau 47: Comparaison des EC₅₀ de l'atrazine et du diuron (seul et en synergie) utilisés dans les tests de toxicité avec les individus de l'espèce *Crenitis sp.*

		Atrazine		Diuron	
		Seul	Mélange	Seul	Mélange
Différents Essais	1	18	7,75	66,32	12,4
	2	11,57	7,2	36	11,5
	3	8,78	6,09	43,8	9,75
Moyenne		12,78	7,01	48,70	11,21
Ecart type		4,72	0,84	15,74	1,34

III.3.4- Discussion

En 12 heures d'exposition, la concentration efficace d'atrazine qui immobilise 50% d'individus de *Crenitis sp* est plus basse que celle du diuron (11,75 g/l contre 44,96 g/l). Ce qui dénote de la grande toxicité de ce produit par rapport au diuron dont l'utilisation est cautionnée par la FAO (2010) comme herbicides dans les zones de productions agricoles au sahel. En effet, plus cette valeur est basse plus le produit est toxique vis-à-vis du biote présente notamment les macroinvertébrés benthiques des eaux douces.

Samuel et St-Laurent (2001) estiment que l'exposition à plusieurs produits peut modifier les effets toxiques. Par ailleurs, Price et al. (2002) ont montré que la toxicité d'un mélange chimique est proportionnelle à la toxicité de la somme de chaque contaminant individuel. Dans notre cas précis, le mélange des deux produits donne une efficacité à chaque contaminant pris individuellement. Lorsqu'on recherche l'effet additif de ces produits par addition des fortes doses et cela en suivant le gradient décroissant vers les plus faibles (mélange 1), la CE₅₀ de l'Atrazine passe de 11,75 g/l à 7,33 g/l et celle du Diuron passe de 44,96 g/l à 11,72 g/l. La différence entre les deux valeurs pour chaque produit est significative seulement dans le cas du Diuron (Figure 19) où la probabilité pour que ces deux valeurs soient les mêmes est très faible. La toxicité du Diuron se voit ainsi renforcer par la présence de l'Atrazine produit hautement toxique sur l'environnement (Robert et al., 1986).

Au niveau des mélanges 2 pour chaque produit, les fortes concentrations associées aux faibles induits une mortalité massive des individus de sorte plus de la moitié des individus meurent aux termes de l'expérience et cela au niveau de toutes les concentrations, d'où une absence de EC_{50} . Ces fortes mortalités sont attribuables aux fortes concentrations de ces produits doses du diuron associées aux faibles concentrations d'atrazine.

Conclusion

Le diuron et l'atrazine sont deux herbicides dont les toxicités sur l'espèce *Crenitis sp* (Coléoptères, Hydrophilidés) peuvent être accentuées lorsque ces deux produits sont en synergie. En effet, la concentration efficace qui immobilisent 50% (EC_{50}) des individus pour le diuron est de 44,96 g/l seul, mais descend à 11,72 g/l dans le mélange. Et celle de l'atrazine passe de 11,75 g/l seul à 7,33 g/l en synergie. La différence est significative dans le cas du diuron. Au niveau des petits barrages, plusieurs contaminants sont utilisés simultanément. Si les effets de ces produits peuvent être étudiés de manière individuelle sur des organismes-tests, choisis et élevés pour la circonstance comme dans le cas des Daphnies (ISO 6341, 1996), les effets synergiques restent encore très difficiles à aborder. En effet, les polluants sont multiples et sans contrôle. L'écotoxicologie devrait tenir compte de ces effets additifs afin de mieux décrire les traits bioécologiques des espèces de macroinvertébrés présents dans les milieux aquatiques. Ces résultats pourront servir la bioindication dans l'élaboration d'indice de qualité biologique de ces hydro-systèmes constamment impactés.

DISCUSSION GENERALE

Les études sur la structuration des macroinvertébrés benthiques du bassin de la Volta présentent les Insectes comme les communautés dominantes de cette zone. Ce constat fait par Guenda (1996) et par Kabré et al. (2000 et 2002) se retrouve dans nos résultats. Au niveau des barrages hydroagricoles constamment impactés, la richesse taxonomique ressortie au niveau des études antérieures sont en adéquation avec nos résultats. En effet, la richesse taxonomique observée au niveau des retenues d'eau hydroagricoles (Bama, 25 familles et Boura, 23) ressort aussi dans les travaux de Kabré et al. (2002). Ces chercheurs ont obtenu 23 familles de macroinvertébrés au niveau d'un lac de barrage hydroagricole et une densité des macroinvertébrés benthiques de 129,2 à 483,3 individus au m² pendant que nous obtenons 57,33 à 517 individus au m². Comparativement à ces résultats nationaux, Kouamé et al. (2011) ont obtenu 40 familles de macroinvertébrés dans le lac de barrage en Côte d'Ivoire, en n'échantillonnant seulement au niveau des macrophytes aquatiques. Cette grande richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques de ce pays fut confirmée par les travaux de Yapo et al. (2012) avec 45 familles échantillonnées au niveau des étangs piscicoles. Ces différences sous-régionales peuvent s'expliquer par les différences de facteurs climatiques. Parmi les Insectes, les Coléoptères, macroinvertébrés ubiquistes des plans d'eau du bassin de la Volta se sont illustrés dans les travaux de Oertli et al. (2005), Indermuehle et al. (2010) et Angélibert et al. (2010) pour la caractérisation de bonne qualité de l'eau des mares et étangs européens. Dans notre étude une famille de ces Coléoptères à savoir les Notéridés est fortement représentée au niveau des retenues hydroagricoles de Bama et Boura notamment l'espèce *Hydrocanthus ferruginicollis*. Toledo et Hendrich (2006) avaient remarqué la prolifération du genre *Hydrocanthus* au niveau de petites retenues d'eau.

Au niveau du continuum lac barrage-effluent-fleuve, la structuration des familles de macroinvertébrés est régie par l'utilisation des berges. En effet, nos résultats au niveau des zones anthropisées confirment les travaux de Davis et al. (2011) qui estiment que l'utilisation des pesticides a un effet néfaste sur la richesse taxonomique. Nous avons obtenu 27 familles au niveau des zones de cultures tout comme Diomandé et al. (2009) et de Foto et al. (2011) qui ont obtenu 28 familles au niveau de zones impactées par les activités agricoles et des rejets urbains respectivement en Côte d'Ivoire et au Cameroun. Pourtant, Foto et al. (2010) en ont identifié 59 dans un cours d'eau de référence donc non impactés au Cameroun. La présence de certaines familles de macroinvertébrés à savoir les Baetidés et les Ephémérellidés

(Ordre des Ephéméroptères) laisse présager une possible récupération du cours d'eau depuis le lac de barrage jusqu'au fleuve. En effet, Cissé (1997) avait remarqué une diminution de la concentration des produits chimiques au fur et à mesure qu'on s'éloigne des zones d'utilisation anthropiques. Ces familles de macroinvertébrés sont présentées par Moisan et Pelletier (2008) comme indicateur de bonne qualité de l'eau. Ces continuums hydrographiques en rapport avec les petits barrages sont très nombreux au niveau du bassin de la Volta. La structuration des communautés de macroinvertébrés benthiques le long de ces petits cours d'eau rappelle la notion de « River Continuum Concept » développée par Vannote et al. (1980). En effet, ces auteurs ont ressorti la distribution des invertébrés suivant des indicateurs biologiques et géomorphologiques de l'amont à l'aval. Dans notre étude, on constate une distribution des macroinvertébrés depuis le lac de barrage au fleuve, en fonction de leur pollusensibilité. Cette pollusensibilité est liée aux dégradations physicochimiques dues à l'utilisation permanente des pesticides au niveau des berges du cours d'eau. Leight et al. (2010) et Sass et al. (2010) ont pour autant démontré les effets néfastes de l'intensification agricole sur les écosystèmes aquatiques. Au niveau du bassin de la Volta, les études de la FAO (2010) ressortent une intensification de l'utilisation d'herbicides très toxiques à base d'atrazine dont les effets sur les macroinvertébrés benthiques ne sont pas élucidés.

Les études d'écotoxicologie en milieux contrôlés ont pour but de traduire les teneurs analysées par les outils de la chimie conventionnelle en effet mesurable sur des variables biologiques chez des organismes tests (Bessi et Al Alami, 2009). Les réponses de *Crenitis sp* en présence d'atrazine et de diuron confirme la toxicité de l'atrazine (herbicide prohibé par la FAO, 2010). En effet, ce produit a une EC_{50} de 11,75 g/l contre 44,96 g/l pour le diuron en 12 heures d'exposition. Une des difficultés des études d'écotoxicologie est l'évaluation des polluants présents dans l'environnement et leurs effets additifs sur les organismes vivants. La présente étude confirme les travaux de Samuel et St-Laurent (2001) qui estiment que l'exposition à plusieurs produits peut modifier les effets toxiques et ceux de Price et al. (2002) qui ont montré que la toxicité d'un mélange chimique est proportionnelle à la toxicité de la somme de chaque contaminant individuel. La toxicité du diuron se voit ainsi augmentée avec la diminution de son EC_{50} (44,96 g/l à 11,72 g/l) en présence d'un produit hautement toxique, l'atrazine.

CONCLUSION GENERALE ET PERPECTIVES

Les communautés de macroinvertébrés restent largement dominées par les insectes. Au niveau des retenues, ils représentent plus de 85,74% des échantillons. Plus de la moitié de cet embranchement de macroinvertébrés est représenté par l'ordre des Coléoptères avec 78,90% dans la retenue de Bama, 85,14% au niveau du lac de barrage de Boura et 71,13% dans le lac naturel de Bala. Un total de 71 espèces repartis en 33 familles au total sur les trois sites de Boura (23 familles), Bama (25 familles) et Bala (30 familles) a été collecté. Les 7 familles à savoir les Gyrinidés (Coléoptères), les Pleidés (Hétéroptères), les Baetidés et les Ephéméridés (Hépheméroptères), les Tabanidés, les Cératopogonidés et les Canaceidés (Diptères) et les Crustacées de l'ordre des Cladocères sont considérées comme des familles pollu-sensibles. Par contre, les deux espèces de coléoptères *H. ferruginicollis* (Notéridés) et *Crenitis* sp. (Hydrophilidés) proliférant au niveau des retenues hydro-agricoles sont considérées comme des espèces pollu-résistantes.

Au niveau du continuum lac de barrage-effluent issu des périmètres irrigués, les insectes représentent plus de 75% des captures. Au niveau du transect littoral-sublittoral dans le lac de barrage, 23 familles de macroinvertébrés ont pu être échantillonnées. Tous se trouvaient au niveau du littoral et seulement 10 au niveau du sublittoral. L'étude révèle par ailleurs que la différence entre les diversités de Shannon de ces deux zones s'accroît pendant le mois de juillet, période de pluie au niveau du bassin. Au niveau du continuum lac de barrage-effluent-fleuve, un total de 35 familles a été échantillonné dont 27 au niveau du lac de barrage et des stations proches du périmètre irrigué et 32 au niveau de la station de l'effluent loin du périmètre irrigué et du fleuve. La présence d'individus appartenant à la famille des Baetidés et des Ephéméridés (ordre des Ephéméroptères) au niveau du fleuve permet de croire à une possible récupération du cours d'eau car cet ordre d'insectes est considéré comme sensible aux perturbations des cours d'eau.

Plusieurs produits sont utilisés par les agriculteurs au niveau des zones de cultures. L'étude révèle que les effets synergiques de ces produits rendent les macroinvertébrés plus sensibles. L'écotoxicologie devrait tenir compte de ces effets additifs afin de mieux décrire les traits bioécologiques des espèces de macroinvertébrés présents dans les milieux aquatiques.

Sept familles de macroinvertébrés à savoir les Gyrinidés (Coléoptères), les Pleidés (Hétéroptères), les Baetidés et les Ephéméridés (Hépheméroptères), les Tabanidés, les

Cératopogonidés et les Canaceidés (Diptères) et les crustacées de l'ordre des Cladocères sont considérées comme des familles pollu-sensibles car ils ne sont présent que dans le lac naturel de Bala; par contre les deux espèces de coléoptères *Hydrocanthus ferruginicollis* (Notéridés) et *Crenitis sp.* (Hydrophilidés) proliférant au niveau des retenues hydro-agricoles sont considérées comme des espèces pollu-résistantes. Ces pollu-sensibles et pollu-résistants décrits respectivement à Bala, à Bama et Boura peuvent être considérés comme de potentiels bioindicateurs des plans d'eau du bassin de la Volta.

Il est conclu de cette étude que les taxons de macroinvertébrés peuvent servir d'une part à la bioindications de la qualité des eaux et d'autre part sont répartis dans un continuum barrage-effluent-fleuve. Ces résultats nous ouvrent de nouvelles pistes de recherche qui doivent s'approfondir sur l'écologie des espèces dans le continuum écologique. Leur sensibilité à des gammes de produits écotoxicologiques doit être poursuivie afin d'intégrer ces organismes dans des algorithmes pouvant aboutir à nouveaux indices de qualité de l'eau adaptés aux petits barrages du bassin de la Volta.

En effet, nos résultats ont montrés que la sensibilité de l'espèce *Crenitis sp* qui a été décrite comme une espèce pollu-résistante augmentait face à une synergie de polluants retrouvés au niveau des petits barrages hydro-agricoles à savoir le diuron et l'atrazine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adam M. S., 1990. Biological indicators of stress in fish. Am. Fish. Soc. Symposium VIII, 191 p. AFNOR éditions, 1995- Essais écotoxicologiques, 391 p.
- Aguesse P., 1968. Les Odonates de l'Europe Occidentale, du Nord de l'Afrique et des îles Atlantiques, Masson et Cie Editeurs, Paris, 262 p.
- Aka K. M., Pagano M., Saint-Jean L., Arfi R., Bouvy M., Cecchi P., Corbin D. et Thomas S., 2000. Zooplankton variability in 49 shallow tropical reservoirs of Ivory Coast (West Africa). International Review of Hydrobiology 85(4): 491-504.
- Angélibert V., Rosset V., Indermuehle N. et Oertli B., 2010. The pond biodiversity index 'IBEM': a new tool for the rapid assessment of biodiversity in ponds from Switzerland. Part 1. Index development. Limnetica 29 (1): 93-104.
- Archambault V. et Dumont B., 2010. L'indice biologique global normalisé (IBGN) principes et évolution dans le cadre de la directive cadre européenne sur l'eau. In Pont D. et Garric J. (eds.), L'évaluation du risque toxique dans les milieux aquatiques. Quels outils pour quelles perspectives ? Sciences Eaux et Territoires, La revue de l'IRSTEA, 1: 36-39.
- Archambault V., Rosebey J. et Morin S., 2010. Trait biologiques et écologiques, intérêt et perspectives pour la bioindication des pollutions toxiques. Sciences Eaux et Territoires, La revue de l'IRSTEA, 1 : 46-51.
- Arfi R., Bouvy M., Cecchi P., Pagano M., et Thomas S., 2001. Factors limiting phytoplankton productivity in 49 shallow reservoirs of North Côte d'Ivoire (West Africa). Aquatic Ecosystem Health and Management, 4(2): 123-138.
- Auber L., 1976. Atlas des Coléoptères de France. Deux tomes. 4eme édition, Société nouvelle des Editions Boubée, Paris, 535 p.
- Balvay G., Pelletier J. et Druart J.-C., 2001. L'écosystème lentique. In Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P. et Papy F. (eds.), L'eau dans l'espace rural vie et milieux aquatiques, Universités Francophones. INRA Editions. Paris. p 51-76.

- Barbour M. T., Gerritsen J., Snyder B. D. et Stribling J. B., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish, 2ème édition, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B-99-002, 339p.
- Béarez P., 2003. La mare aux hippopotames (Burkina Faso): Aspects hydrobiologiques et halieutiques. ACP-EU Fisheries Research Report, n°114: 98-107.
- Berger L., 1989. Disappearance of amphibian larvae in the agricultural landscape. Ecological Bulletins., 17, 65-73.
- Berger L. et Rybacki M., 1998. Composition and ecology of water frog populations in agricultural landscape in Wielkopolska (Central Poland). Biological Bulletin Poznam, 35, 103-111.
- Bessi H. et ElAlami M., 2009. Les bio-essais dans l'évaluation d'impact des polluants sur les écosystèmes dulcicoles. Article de synthèse. LES TECHNIQUES DE LABORATOIRE - N°15 Mai-Juin 2009. 16-22
- Bélanger D., 2009. Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Mémoire de maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale. Université de Sherbrooke, Québec, Canada. 74p.
- Biswas S., 1967. Hydrobiology of the Volta river and some of its tributaries the formation of the Volta lake. Ghana Journal of Agricultural Science. 8, 3-4: 152-166.
- Blanc M. et Daget J., 1957. Les eaux et les poissons de Haute Volta. Mém. de l'IFAN. 50 : 110-112.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T. et Pojer K., 2002. Pollution toxique et écotoxicologie : Notion de base. Guide technique N° 7. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. Lyon, France. 82 p.
- Briksurst R. D. et Jamieson B. G. M., 1971. Aquatic Oligochaeta of the world. Ed. Oliver and Boyd, Edinburgh, 860 p.
- Brown D. S., 1980. Freshwater Snails of Africa and their Medical Importance. Taylor and Francis LTD London. 487p.

- Bry C., 2001. Les systèmes aquatiques semi-naturels, Utilisation en écologie expérimentale. In Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P. et Papy F. (eds.), L'eau dans l'espace rural, vie et milieu aquatiques. Universités Francophones. Edition INRA. France. P 233-254.
- Burger J., Gochfeld M. et Jewett S., 2006. Selecting species for marine assessment of radionuclides around Amchitka: planning for diverse goals and interests. *Environmental monitoring and assessment* 123, 371-391.
- Camara I. A., Diomandé D., Bony Y. K., Ouattara A., Franquet E. et Gourène G., 2012. Diversity assessment of benthic macroinvertebrate communities in Banco National Park (Banco Stream, Côte d'Ivoire). *African Journal of Ecology*, 50, 205-217.
- Carter J. G., Bieker R. et Coan E. V., 2011. A synoptical classification of *Bivalvia* (Mollusca). *Paleontological Contributions*, 4 : 1-47.
- Cecchi P., 2006. Les Petits Barrages au Burkina Faso : un vecteur du changement social et de mutations des réalités rurales. Communication, Pré forum de l'eau, février 2006. Ouagadougou, Burkina Faso. 12 p.
- Cecchi P., 2007. L'eau en partage. Les petits barrages de Côte d'Ivoire. Collection Latitudes 23, Editions de l'IRD, Paris, 295 p.
- Cecchi P., Nikiema A., Moiroux N. et Sanou B., 2009. Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso. In Andreini M., Schuetz T., Harrington L. (eds.), Small reservoirs toolkit. IWMI, Battaramulla, Colombo, Sri Lanka, 23 p.
- Cellot B., Maucet D. et Bournaud M., 1987. Applications aux grandes rivières d'un indice de qualité biologique basé sur les macroinvertébrés benthiques. *Science de l'eau*, 6 (1987) 473-495.
- China W. et Usinger R.L., 1949. A new genus of Hydrometridae from the Belgian Congo, with a new subfamily and a key to genera. *Revue de Zoologie Africaine*, 41,4 : 314-319.
- Cissé N., 1997. Évaluation hydro-écologique du bassin du Niger Supérieur. Freshwater contamination (Proceedings of Rabat Symposium S4, April-Mai 1997). IAHS Publ. N° 243. p 27-33.

- Colas F., Archaimbault V. et Devin S., 2011. Scale-dependency of macroinvertebrate communities: responses to contaminated sediments within run-of-river dams. *Science of the Total Environment* 409 (7): 1336-1343.
- Compaoré P., Dabiré I. et Barbier B., 2011. Les problèmes relatifs à la gestion du barrage de Bourra au Burkina Faso. Application de la Méthode Accélérée de Recherche Participative. Rapport pour le Projet Challenge Program for Food and Water Volta. 64p.
- Cornet M., 1969. Les Culicoïdes (Diptera Ceratopogonidae) de l'Ouest Africain. (1ère note). Cahier O.R.S.T.O.M., Série Entomologie Médicale et Parasitologie, vol. VII, n°4 : 341-364
- Cornet M. et Château R., 1969. Les Culicoïdes de l'Ouest africain (2e note). Espèces apparentées à *C. similis* Carter, Ingram & Maefie, 1920 (Diptera, Ceratopogonidae). Cahier O.R.S.T.O.M., série Entomologie Médicale et Parasitologie, 12 : 221-230
- Cremona F., 2007. Transfert de méthylmercure et structure des réseaux trophiques chez les macroinvertébrés littoraux. *Ecology, environment*. Université du Québec, Montréal. 176 p.
- Cummins K. W., 1975. Macroinvertebrates, In B. A. Whitton (eds.), *River ecology*, Blackwell, London. 170-198.
- Dabiré K. R., Diabaté A., Djogbenou L., Ouari A., N'Guessan R., Ouédraogo J. B., Hougard J. M., Chandre F. et Baldet T., 2008. Dynamics of multiple insecticide resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* in a rice growing area in South-Western Burkina Faso. *Malaria Journal* 2008, 7 :188 doi :10.1186/1475-2875-7-188. Article available from : <http://www.malariajournal.com/content/7/1/188>.
- Daby D., 2006. Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and soil pollution*. 174, 63-91.
- Dajoz R., 1985. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris. 505p.
- Davis A.M., Thorburn P. J., Lewis S. E., Bainbridge Z. T., Attard S.J., Milla R. et Brodie J.E., 2011. Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. *Agriculture Ecosystems and Environment*. (2011), doi : 10.1016/j.agee.2011.06.019

- Dejoux C., 1977. Chironomes du lac Bam (Haute Volta). Cahier ORSTOM, série Hydrobiologie, 11(4) :291-295.
- Dejoux C., 1981. Chironomides. In Durand J. R. et Lévêque C. (eds.), Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. 583-616.
- Dejoux C., Elouard J. M., Forge P. et Maslin J. L., 1981. Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. ORSTOM 42, 178 p.
- Dejoux C., 1983. The fauna associated with the aquatic vegetation. In Carmouze J.P., Durand, J.R., Lévêque, C. (eds.), Lake Chad, Monographiae Biologicae. 53, 273-292
- Demonfaucon A., 2011. Les périmètres irrigués au Burkina Faso et leur vulnérabilité aux risques d'inondation. IWMI. AgroParisTech-ENGREF, Centre de Montpellier. 33p.
- Demoulin G., 1981. Ephéméroptères. In Durand J.R. et Lévêque C. (eds.), Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. 407-443.
- Dibloni O. T., Coulibaly N. D., Guenda W., Vermeulen C. et Belem M., 2009. Caractérisation paysanne de *Hippopotamus amphibius* Linné 1758, dans la Réserve de Biosphère de la Mare aux Hippopotames, en zone sud-soudanienne du Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 3(2): 386-397.
- Dibloni O. T., Vermeulen C., Guenda W. et Alfred M. N., 2010. Structure démographique et mouvements saisonniers des populations d'hippopotame commun, *Hippopotamus amphibius* Linné 1758 dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. Tropical Conservation Science 3(12): 175-189.
- Diomande D., Bony Y. K., Edia O. E., Konan K. F. et Gourene G., 2009. Diversité des macroinvertébrés de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire ; Afrique de l'Ouest). European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol 35 No. 3 (2009), pp. 368-377.
- Dufrêne M. et Légendre P., 1997. Species Asemblages and Indicator Species: The need for a flexible Asymmetrical Approach. Ecological Monographs, 67 (3): 345-366.
- Durand J. R. et Lévêque C. 1981. Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. 482 p.

- Dussart B., 1966. Limnologie. Etude des eaux continentals. Ed. Gauthier Villars, Paris. 677p.
- Edia O. E., Bony K. Y., Konan K. F., Ouattara A. et Gourène G., 2013. Distribution of Aquatic Insects among Four Costal River Habitats (Côte d'Ivoire, West-Africa). Life Sciences. 2 (8) : 68-77.
- Edington J. M. et Hildrew A. G., 1981. A key to the Caseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology, Freshwater Biological Association, Sc. Publ. n° 43, 92p.
- Ellis A. E., 1978. British freshwater bivalve Mollusca, in synopses, British Fauna, Ed. Academic Press., London, n° 11, 104 p.
- Elouard J. M., 1981. Insectes, Introduction et clé des ordres. In Durand J.R. et Lévêque C. (eds.), Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. p 391-402.
- Firmignac F. et Lascaux J. M., 2008. Analyse des peuplements de macroinvertébrés benthiques sur les stations à Moules perlières (*Margaritifera margaritifera*) du Cousin. ECOCEA., Toulouse, 108 p.
- Fisher S. G., Gray L. J., Grimm N. B. et Bush D. E., 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following fresh flooding. Ecological Monographs, 52: 93-110.
- Foto M. S., Zebaze T. S. H., Nyamsi T. N. et Njiné T., 2010. Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques. European Journal of Scientific Research, 43(1): 96-106.
- Foto M. S., Zebaze T. S. H., Nyamsi T. N. L., Ajeagah G. A. et 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.
- Foroughi M., Najafi P., Toghiani A. et Honarjoo N., 2010. Analysis of pollution removal wastewater by *Ceratophyllum demersum*. African Journal of Biotechnology, 9(14) : 2125-2128.
- Franciscolo M. E., 1979. Coleoptera Haliplidae, Hygrobiidae, Gyrinidae, Dytiscidae in Fauna d'Italia 14. Ed. Calderini, Bologna, 804p.

- Fränze O., 2003. Bioindicators and environmental stress assessment. Bioindicators and biomonitoring: principles, concepts and applications. In B.A. Markert, A.M. Breure, H.G. Zechmeister, editors (Amsterdam: Elsevier Science Ltd.), p. 41-84.
- Gagnon E. et Gangbazo G., 2007. Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau, ISBN : 978-2-550-49213-9, 17 p.
- Gimonneau G., 2010. Bio-écologie de la spéciation : partage de la niche écologique chez deux espèces naissantes d'anophèles au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, 193p.
- Gibon F. M., Guenda W. et Coulibaly B., 1994. Observations sur la zonation des cours d'eau de la savane ouest-africaine : Trichoptères du sud-ouest du Burkina Faso. Annales Limnologie, 30(2) : 101-121.
- Gibon M. F., 2001. Biotypologie des hydrosystèmes tropicaux, Exemple chez les trichoptères Africains et Malgaches, IRD, centre de Montpellier, France. 1 Texte, 234p, 2 Illustrations, 147p.
- Gnossou P. M., 2006. La faune benthique d'une lagune Ouest Africaine (le lac Nokoé au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique, Thèse Doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 169p
- Gomgnimbou A. P. K., Savadogo P. W., Nianogo A. J. et Millogo-Rasolodimby J., 2010. Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la coton culture dans la province de la Kompienga (Burkina Faso). Science et Nature Vol. 7 N° 2. 165-175.
- Grenier P., Ovazza M. et Valade M., 1960. Notes biologiques et faunistiques sur *Simulium damnosum* et les Simuliidae d'Afrique Occidentale (Haute-Volta, Côte d'Ivoire, Dahomey, Soudan). Bull. I.F.N. sér A 22, 3 : 892-918.
- Guenda W., 1985. Hydrobiologie d'un cours d'eau temporaire en zone soudanienne: La Volta Rouge (Burkina Faso-Ghana). Relation avec les traitements chimiques antisimulidiens. Thèse de 3^e cycle. Univ. Aix-Marseille: 193 p.

- Guenda W., 1996. Etude faunistique, écologique et de la distribution des insectes d'un réseau hydrographique de l'Ouest africain : Mouhoun (Burkina Faso) ; Rapport avec *Simulium damnosum* Théobald, vecteur de l'onchocercose. Thèse Doctorat d'Etat és sciences, Université de Droit, d'Economie et des sciences D'Aix-Marseille III, France, 260 p.
- Guenda W., 1997a. Nouvelles espèces du genre *Catoxyethira* Ulmer du Burkina Faso, (Trichoptera, Hydroptilidae). Bulletin de la société entomologique de France, 102 : 217-224.
- Guenda W., 1997b. Premières données sur le genre *Psychomyiellodes* Mosely (Trichoptera : Ecnomidae) et description d'une nouvelle espèce du Burkina Faso (Afrique Occidentale). Annales de Limnologie, 36 : 163-167
- Guignot F., 1933. Les Hydrocanthares de France : Hydrobiidae, Haliplidae, Dytiscidae et Gyrinidae de la France. Ed. Miscellanea Entomologica, Toulouse, 558 p.
- Guignot F., 1947. Coléoptères Hydrocanthares in Faune de France 48.éd, Lechevalier, Paris, 287 p.
- Guinko S., 1985. La végétation et la flore du Burkina Faso, Ministère de l'Environnement et du Tourisme, Ouagadougou, 118 p.
- Green R. H., 1979. Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists, New York, John Wiley and Sons, 257 p.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., et Ryan P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.
- Hébert S. et Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Hutchinson E., 1967. A Treatise on limnology. Vol II. Ed. John Wiley et sons, New York, 1115 p.
- Indermuehle N., Angélibert S. et Oertli B., 2008. IBEM: Indice de Biodiversité des Etangs et Mares. Manuel d'utilisation. Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier, Genève. 33 p.

- Indermuehle N., Angélibert S., Rosset V. et Oertli B., 2010. The pond biodiversity index 'IBEM': a new tool for the rapid assessment of biodiversity in ponds Switzerland. Part 2. Method description and examples of application. *Limnetica* 29 (1): 1-16.
- Johannsen O. A., 1977. Aquatic Diptera- 4e réédition des mémoires n° 164 (1934), 177 (1935) et 210 (1937) publiés par Cornell University, 369 p.
- Jones C. K., Somers K. M., Craig B. et Reynoldson T. B., 2005. Ontario Benthos Biomonitoring Network Protocol Manuel, Ontario Ministry of Environment.
- Kabré T. A. et Illé A., 2000. Rétrécissement saisonnier des superficies d'eau, variation physico-chimique et production des pêcheries artisanales de Bagré. *Tropicultura*, Vol. 18 (3).
- Kabré T. A., Illé A. et Guenda W., 2000. Inventaire et étude de la densité de distribution des insectes du benthos des deux lacs de barrage de Bagré. *Science et Technique* 24 (2) : 121-132.
- Kabré T. A., 2001. Stratification saisonnière des eaux des étangs de barrage du centre du Burkina Faso; Essai de classification des lacs par Analyse des Composantes Principales. *Annales de l'Université de Ouagadougou, Série B, Sciences exactes et Sciences de la nature* vol. IX: 119-134.
- Kabré T.A., Diguingué D. et Bouda S., 2002. Effet du rétrécissement de la superficie d'eau sur les macroinvertébrés du lac de barrage de la Comoé, Sud-ouest du Burkina Faso. *Science et Technique, série Sciences Naturelles et Agronomie* 26(1) : 37-49.
- Klausnitzer B., 1977. Bestimmungstabellen für die Gattungen der aquatischen Coleopteren-Larven Mitteleuropas 22 Beitrag zur Kenntnis der mitteleuropäischen Coleopteren-Larven. *Beiträge zur Entomologie Berlin*, 27 (1) 147-192.
- Klemm D. J., Lewis P. A., Fulk F. et Lazorchak J. M., 1990. Macroinvertebrates Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental monitoring systems laboratory, Cincinnati (Ohio), 256 p.

- Klumpp et R. K. et Chu K. Y., 1980. Importance of the aquatic weed *Ceratophyllum* to transmission of *Schistosoma haematobium* in the Volta Lake, Ghana. *Bulletin of the World Health Organization*, 58 (5) : 791-798.
- Kolkwitz R. et Marsson M., 1908. *Ökologie der pflanzlichen Saprobien*. *Ber. Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 26, 505-519.
- Kouamé M. K., Dietoa M. Y., Edia O. E., Da Costa S. K., Ouattara A. et Gourène G., 2011. Macroinvertebrates communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo, Cote d'Ivoire). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 400, 03. DOI: 10.105/kmae/2010035
- Kurt A. G., 2005. *Ecotoxicology metal-hydrocarbon mixtures in benthic invertebrates*. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. 142 p.
- Lafont M., 1983. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales Françaises. 3 : Annélides Oligochètes. *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*. 4 : 107-135.
- Landa V., 1969. *Jepice – Ephemeroptera in fauna CSSR*, 18, Praha, Ceskosl. Ved., 350 p.
- Le Bon de Férusac, 1902. *Tableaux systématiques des animaux mollusques classés en familles naturelles*. Imprimerie P. Didot, l'Ainé, Paris. 111 p.
- Leboulanger C., Bouvy M., Carré C., Cecchi P., Amalric L., Bouchez A., Pagano M. et Sarazin G., 2011. Comparison of the effects of two herbicides and an insecticide on tropical freshwater plankton in microcosms. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 61(4): 599-613.
- Leight C, Burford MA, Roberts DT, Udy JW, 2010. Predicting the vulnerability of reservoirs to poor water quality and cyanobacterial blooms. *Water Research* 44: 4487-4496.
- Lévêque C., 1987. Lacs du Burkina Faso (Haute-Volta). In, Burgis M.J., Symoens J.J. (Eds.), *African wetlands and shallow water bodies: region 3: Afrique occidentale*. Travaux et Documents de l'ORSTOM, 211-214

- Leynaud G. et Trocherie F., 1980. Effets toxiques des pollutions sur la faune piscicole. In La pollution des eaux continentales ; incidence sur la biocénose aquatiques. Gauthier-Villars, Paris, 147-168.
- Macan T. T., 1979. A key to the Nymphs of the British species of Ephemeroptera with notes on their Ecology. Freshwater Biological Association, Sc. Publ. N° 20, Ambleside, 81 p.
- Markert B. A., Breure A. M. et Zechmeister H. G., 2003. Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. Bioindicators and biomonitoring: principles, concepts and applications, B.A. Markert, A.M. Breure, H.G. Zechmeister, editors. (Oxford: Elsevier Science Limited), pp. 3-39.
- Marlier G., 1978. Sur une collection de Trichoptères d'Afrique Occidentale. Revue de Zoologie Africaine, 92 : 238-302.
- Mazzela L., de Bortoli J. et Argillier C., 2009. Création d'un nouvel outil de bioindication basé sur les communautés d'invertébrés benthiques lacustres : méthodes d'échantillonnage et métriques candidates. Convention de partenariat ONEMA-Cemagref 2008. Domaine : Qualité de l'eau (cours d'eau, plans d'eau, masses d'eau de transition. Action 15. Gemagrel. Sciences, Eau et Territoire. 25p.
- Merrit R. W. et Cummins K. W., 1984. An introduction to the aquatic insects of north America, second edition, Dubuque (Iowa), Kendall/Hunt Publishing Company, USA. 722p.
- Merrit R. W., Cummins K. W. et Berg M. B., 2008. An introduction to the Aquatic Insects of North America, 4e édition, Dubuque, Iowa, Kendall/Hunt Publishing Company, 1 158 p.
- Micha J. C. et Noiset J. L., 1982. Evaluation biologique de la pollution des Ruisseaux et rivières par les invertébrés aquatiques. PROBIO-REVUE Publ. Trim. Vol. 5 n°1 A. Bouillon, Croix du Sud, 5, bte 8, 1348 Louvain - La - Neuve 010/41.81.81, ext. 3410. 142 p.

- Moisan J., 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 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, Québec, Canada, 82 p.
- Moisan J. et Pelletier L., 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Canada. 86 p.
- Mondy C. P., Villeneuve B., Archambault V. et Usseglio-Polatera P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18: 452-467.
- Monod G., 2001. Le Poisson: cible et révélateur de la pollution chimique. In Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P. et Papy F. (eds.), *L'eau dans l'espace rural, vie et milieu aquatiques*. Universités Francophones. Edition INRA. France. p 173-197.
- Moore R. C., 1969. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N: Mollusca* 6, (Vol 6), Geological Society of America. 275 p.
- 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.
- Moya N., Hughes R. M., Domínguez E., Gibon F. M., Goitia E. et Oberdorff T., 2011. Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. *Ecological Indicators* 11(3): 840-847.
- Neveu A., 2001. Les invertébrés aquatiques, bioindicateurs de perturbations. Détermination de la qualité des cours d'eau par l'IBGN. In Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P. et Papy F. (eds.), *L'eau dans l'espace rural vie et milieux aquatiques*, Universités Francophones. INRA Editions. Paris. p 223-229.
- Oertli B., Joye D. A., Castella E., Juge R., Lehmann A. et Lachavanne J. B., 2005. PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 665-679.

- Parent G., Ouédraogo A., Zagré N. M., Compaoré I., Kambiré R. et Poda J. N., 1997. Grands barrages, Santé et Nutrition en Afrique : au-delà de la polémique. *Cahier Santé* (7) : 417-422.
- Pequeux A., 2006. La vie dans les abysses océaniques. *Bulletin de la Royale des Sciences de Liège*. Vol 75. pp 119-141.
- Poda J. N., Mwanga J., Dianou D., Garba A., Ouédraogo F. C., Zongo D. et Sondo. K. B., 2006. Les parasitoses qui minent les nouveaux pôles de développement au Burkina Faso : cas des schistosomoses et des géohelminthes dans le complexe hydroagricole du Sourou, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 7 Numéro 2 | septembre 2006, mis en ligne le 08 septembre 2006, consulté le 02 février 2013. URL : <http://vertigo.revues.org/2378> ; DOI : 10.4000/vertigo.2378
- Poda J. N., Sondo B., et Gérard P., 2003. Influence des hydro-aménagements sur la distribution des bilharzioses et de leurs hôtes intermédiaires au Burkina Faso. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*. Volume 13, Numéro 1, 49-53,
- Poisson R., 1957. *Faune de France 61 : Hétéroptères aquatiques*. Paul Lechevalier, Paris, 267 p.
- Portier P., 1911. Recherches physiologiques sur les Insectes aquatiques. *Archives de zoologie expérimentale et générale*. 5^e série, tome VIII, p 89-379.
- Price B., Borgert C. J., Wells C. S. et Simon G. S., 2002. Assessing toxicity of mixtures: the search for economical study designs. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8:305-326
- Resh V. H., Norris R. H. et Barbour M. T., 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates, *Australian Journal of Ecology*, 20, p. 108-121.
- Reynoldson T. B., Norris R. H., Resh V. H., Day K. E. et Rosenberg D. M., 1997. The reference condition : a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water quality impairment using benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 16 (4) : 833-852.

- Richoux P., 1982. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Coléoptères Aquatiques (Genres : Adultes et Larves). Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon. 4 : 105-128 ; 8 : 257- 272 ; 9 : 289-304.
- Robert P. A., 1958. Les libellules (Odonates)- Delachaux et Niestlé, Neuchatel, 364 p.
- Robert R., His E. et Maurer D., 1986. Toxicité d'un désherbant, l'atrazine-simazine, sur les jeunes stades larvaires de *Crassostrea gigas* et sur deux algues fourrages, *Isochrysisaff-galbana* et *Chaetoceroscalcitrans*. Haliotis, 15, 1986, 319-325.
- Roger, G. B., et Jaques H. E., 1978. How to know the insects. Thirst Edition, Brown Company Publishers, USA. 409p
- Rousseau E., 1921. Larves aquatiques d'Europe. Off Publicité, n° 621,2, 343-967.
- Saitou N. et Nei M., 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Molecular Biological and Evolution.4:405-425.
- Samuel O. et St-Laurent L., 2001. Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère. Institut de Recherche en Santé et en Sécurité (IRSS). Juin, 2001. RG 273. Québec, Canada. 92 p.
- Sanogo S., 2010. Étude comparative des macroinvertébrés et leur impact sur le régime alimentaire de *Clarias gariepinus* (burchell, 1822) de deux cours d'eau permanents de la région ouest du Burkina Faso. Mémoire de master de recherche en analyse des populations des espaces fauniques et halieutiques, Université de Bobo-Dioulasso, 55p.
- Sanogo S., Kabré T. J. A., et Cecchi P., 2014. Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences., 8 (3): 1005-1029.
- Sass L. L., Bozek M.A., Hauxwell J. A., Wagner K. et Knight S., 2010. Response of aquatic macrophytes to human land use perturbations in the watersheds of Wisconsin lakes, U.S.A. Aquatic Botany 93: 1-8.
- Sedell J. R., Richey J. E. et Swanson F. J., 1989. The river Continuum concept: A baic for the expected ecosystem behavior of large rivers?, . 49-55. In D. P. Dodge (eds.) Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 106.p

- Sekkat N., Guerbet M. et Jouany J. M., 2001. Etude comparative de 8 bioessais à court terme pour l'évaluation de la toxicité de lixiviats de déchets urbains et industriels. *Revue des Sciences de l'eau*. 14 (1) : 63-72
- Shannon C. E. et Weaver V. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Sirima D., 2013. Abondance et distribution des Chironomidae (Diptères) de deux lacs urbains au Burkina Faso : les lacs de barrages n°2 et n°3 de Ouagadougou. DEA. Univ-Ouaga, 42 p.
- Stals R. et De Moor I. J., 2007. *Guides to the freshwater Invertebrates of Southern Africa*, Volume 10 : Coleoptera. Water Research Commission. Pretoria, South Africa. 263p.
- Stark J. D., Banks J. E. et Vargas R., 2004. How risky is risk assessment: the role that life history strategies play in susceptibility of species stress, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, p 732-736.
- Soleri R., 2013. Etude de la pression phytosanitaire exercée sur différents lacs du Burkina Faso par méthode d'échantillonnage passif. Mémoire de Master II. Université de Montpellier 2. 50p.
- Sørensen T. A., 1948 .A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Biologiske Skrifter*, 5, 1–34.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P., 2000. *Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, écologie*. CNRS EDITIONS, Paris, France. 588 p.
- Testard P., 1981. Odonates. In Durand J.R. et Lévêque C. *Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne*, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. p 446-481.
- Thomas S., Cecchi P., Corbin D. et Lemoalle J., 2001. The different primary producers in a small African tropical reservoir during a drought: temporal changes and interactions. *Freshwater Biology* 45: 43-56.

- Thorne R. J. et Williams W.P., 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries : a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*. 37, 671-686.
- Toé A. M., Ouédraogo M., Ouédraogo R., Ilboudo S. et Guissou P. I., 2013. Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso. *Interdisciplinary Toxicology*. 6(4). 185-191.
- Toledo M. et Hendrich L. 2006. Taxonomic revision of the Australasian *Hydrocanthus* SAY 1833, with description of two new species (Coleoptera : Noteridae). *Linzer biologische Beiträge*. 38(1): 935-952.
- Triplet P. (ed), 2009. Manuel de gestion des aires protégées d'Afrique francophone. Awely, Paris, 1 234 p.
- Toufflieb R., 1981. Tabanidae. In Durand J.R. et Lévêque C. 1981. Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome II. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. p 617-624.
- Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R. et Cushing C. E., 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37: 130-137.
- Venot J. P. et Cecchi P., 2011. Valeurs d'usage ou performances techniques : comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne ? *Cahiers Agriculture* 20(1-2): 112-117.
- Vergon J. P. et Bourgeois C., 1993. Diptères chironomides (larves aquatiques), Caractères généraux – sous-familles et tribus. *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 62 (4): 101-132.
- Yaméogo L., Lévêque C. et Traoré K., 1988. Dix ans de surveillance de la faune aquatiques des rivières d'Afrique de L'Ouest traitées contre les simulies (Diptera : Simuliidae), agents vecteurs de l'onchocercose humaine. *Naturaliste Canadien*, 115 : 287-298.
- Yapo M. L., Aste B. C. et Kouassi P., 2012. Inventaire des insectes aquatiques des étangs de piscicoles au sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 58 : 4208-4222.

Zougaghe F. et Moali A., 2009. Variabilité structurelle de peuplement de macroinvertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie, Afrique du Nord). La Terre et la Vie. 64 : 305-321.

Autres documents consultés

AFNOR, 2004. L'Indice Biologique Global Normalisé français (IBGN): ses principes et son évolution dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau. NF T90-350.

AFNOR, 2009. Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes. Association française de normalisation, Norme expérimentale T 90-333.

FAO, 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. Rapport final. En collaboration avec Designated National Authorities (DNA) Agriculture et Environnement de la Convention de Rotterdam du Burkina Faso. 94p.

GIRE, 2001. Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Version finale, Mai 2001. Direction Générale des Ressources en Eau : Ouagadougou.

ISO 6341, 1996. Qualité de l'eau. Détermination de l'inhibition de la mobilité de *Daphnia magna* Strauss.

MENV, 2001. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Québec, Canada. 430 p.

OMS, 1981. Instructions pour déterminer la sensibilité ou la résistance des larves de simules aux insecticides. WHO/VBC/81.811 : 6p.

Secrétariat de Convention de Rotterdam, 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. Rapport final. 94p.

UICN, 2013. Guide juridique de gestion des ressources en eau au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, UICN. 44 pp.

UNEP/GEF Volta Projet, 2008. Etude sur l'établissement d'un système régional d'échange des données et informations relatives au bassin versant de la Volta au Burkina Faso. UNEP/GEF/Volta/NR BURKINA, 3/2008, Accra, Ghana. 115 p.

Webographie

<http://bugguide.net/node/view/351669/tree>.

<http://coleoptera.ksib.pl/search.php?img=4525>

<http://www.eauburkina.bf>

ANNEXES

Annexe1 : Présentation de la thèse à des activités internationales

1- Séminaire du projet SusFish (<http://susfish.boku.ac.at/>). Ouagadougou, 23 Octobre 2012 :

Titre de la présentation : Identification de macroinvertébrés bioindicateurs des petits barrages du bassin de la Volta (Burkina Faso)

2- Doctorale de Montpellier 18 Décembre 2012 : Thème général: Indicateurs de Performances

Titre de la présentation : Macroinvertébrés benthiques : des indicateurs d'impact dans l'évaluation de la performance des petits barrages à vocation multi-usages (Burkina Faso).

3- Colloque international sur l'Analyse des Populations des Espaces Fauniques et Halieutiques du 23 au 31 juillet 2014, sur la plateforme faune.auf-foad.org/login/index.php

Titre de la présentation : Dynamique de structuration spatio-temporelle des macroinvertébrés dans un continuum lac de barrage-effluent-fleuve issu de périmètre irrigué. Bassin de la Volta (Burkina Faso)

Annexe 2 : Résumé de l'article sur la distribution des macroinvertébrés au niveau du lac naturel de Bala et des retenues hydro-agricoles de Bama et de Boura

Inventaire et distributio spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso



Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(3): 1005-1029, June 2014

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Souleymane SANOGO*, Jean André KABRE TINKOUDGOU* et Philippe CECCHI**

*Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune (LaRFPF/ IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BP. 1091 Bobo 01, Burkina Faso ; email of main contact

**Institut de Recherche et Développement (France).

Auteur correspondant : ankab226@yahoo.fr

RESUME

Une étude des macroinvertébrés dans deux lacs de barrages hydro-agricoles (Bama et de Boura) et dans le lac naturel de Bala a permis de mettre en évidence la distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de la qualité des eaux. La collecte des échantillons a été inspirée de la méthode conventionnelle de la Directive Cadre sur l'Eau de l'Union Européenne (DCE). L'étude a permis d'identifier 26405 individus de macroinvertébrés répartis en 71 espèces et 33 familles au total sur les trois sites de Bama (25 familles), Boura (23 familles) et Bala (30 familles). Les pollu-sensibles ont été décrites au lac naturel de Bala : des crustacés de l'ordre des Cladocères et 7 familles d'insectes (Gyrinidés, Pleidés, Baetidés Ephéméridés, Tabanidés, Cératopogonidés et Canaceidés). L'étude a noté la présence de l'espèce *Hydrocanthus ferruginicollis* (Notéridés) particulièrement dominante dans les retenues hydro-agricoles de Bama (30,52% des Coléoptères) et Boura (27,32% des Coléoptères); tandis qu'elle ne représente que 7,51% des Coléoptères récoltés dans le lac naturel de Bala.

Cette étude considère que les polluo-sensibles et les polluo-résistants décrits respectivement à Bala et à Bama et Boura peuvent être considérés comme de potentiels bioindicateurs des plans d'eau du bassin de la Volta.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : macroinvertébrés, distribution, bioindicateurs, petits plans d'eau, bassin de la Volta, Burkina Faso.

Annexe 3 : Résumé de l'article sur la distribution des macroinvertébrés au niveau du continuum

International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.2 (5), pp. 203-214, May 2014
Available online at <http://www.journalissues.org/journals-home.php?id=1>
© 2014 Journal Issues

ISSN 2350-1561



Spatial-temporal dynamics of population structure for macroinvertebrates families in a continuum dam - effluent - river in irrigated system. Volta Basin (Burkina Faso)

Accepted 25 April, 2014

SANOGO Souleymane¹, KABRE Tinkoudgou Jean André¹ and CECCHI Philippe²

¹Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune (LaRFPF/ IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BP. 1091 Bobo 01, Burkina Faso ; email of main contact

²Institut de Recherche et Développement (France).

Auteur correspondant : ankab226@yahoo.fr Tel.: +22670231734

Abstract :

A monthly sampling of benthic macro invertebrates was carried out at the hydro-agricultural dam of Boura in the Volta watershed basin (Burkina) during the period of February through July 2012 in order to describe the structuring of insect succession along with changes occurring in habitats of this irrigated dam farming system. The samples of insects were collected from 6 stations located inside the littoral (Station I), the sublittoral (Station II), the sewage channel or effluent (Stations III, IV, V) and the Mouhoun River (Station VI). The sampling method employed is a conventional method by the European Union named "Directive Cadre sur l'Eau (DCE)" recommended for the survey of benthic macro invertebrates. The survey reveals a community composed majorly of insects (more than 75%) variously distributed. On one hand at the shoreline and the coastal- adjoining zone in the dam, 23 families of macro invertebrates were identified; mostly belonging to the shoreline except for 10 families identified as endemic to the adjoining zone of the coastline. These two zones of the dam shelter the same malacological fauna consisting of the Unionidae, Lymneidae, Ampullariidae, Planorbidae, Valvatidae and Bulinidae families. The survey reveals otherwise that

the differences between the Shannon biological diversity indices for these two zones were more pronounced during the month of July, the rainy period in the basin. On the other hand, concerning the dam-effluent-river continuum, a total of 35 families are sampled: 27 from dam water and stations near the irrigated zones; and 32 from the station of the sewage channel far from the irrigated zone and the river. The identification of individuals belonging to the family of the Baetidae and the Ephemerellidae (order of Ephemeroptera) in the river water highlights subsequent reconstruction of the biodiversity in the river as the presence of both families is an indicator of fertile water. Further analysis on the spatial and temporal distribution involved 17 families out of the 35 sampled not common to all habitats. This lead to the conclusion that changes in natural habitats dictate the clustering patterns of macro invertebrates populations during the year long.

Key words: Macro invertebrates, succession, continuum, irrigation, dams, effluent, river, Volta basin, Burkina Faso

Annexe 4 : Résumé de l'article sur le bioessai

International Research Journal of Public and Environmental Health Vol.1 (5),pp. 110-120, July 2014
Available online at <http://www.journalissues.org/IRJPEH/>
© 2014 Journal Issues

ISSN 2360-8803



Acute toxicity tests of two herbicides diuron and atrazine on the beetle *Crenitis sp* in Volta Basin, Burkina Faso

Accepted 30 June, 2014

SANOGO Souleymane¹, KABRE Tinkoudgou Jean André¹ and CECCHI Philippe²

¹Laboratoire de Recherche et de Formation en Pêche et Faune (LaRFPF/ IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BP. 1091 Bobo 01, Burkina Faso ; email of main contact ²Institut de Recherche et Développement (France).

Auteur correspondant : ankab226@yahoo.fr Tel.: +22670231734

Abstract :

Acute toxicity tests were performed on *Crenitis sp* (Coleoptera; Hydrophilidae) using two herbicides, atrazine and diuron in the laboratory. The experiment was to investigate the effect of high doses of these pollutants in individually and together for 12h each on *Crenitis sp* a species that abounds during the dry period in the shallow hydro-agricultural waters reservoirs of the Volta Basin. Individual macroinvertebrates were collected from puddle areas of the shoreline of Bama Reservoir in the Volta basin. The dry period is the period of rest for agricultural activities at the reservoir. Tests have shown that the toxic effects of the two herbicides on the species of beetles can be enhanced when the both products act synergistically. For diuron, the effective concentration that immobilizes 50% (EC₅₀) of the insects is 44.96 g/l only, but drops to 11.72 g/l in the mixture; while in the same order, atrazine shows 11.75 g/l only and then drops to 7.33 g/l in synergy. It is concluded from this study that works on ecotoxicology should consider the additive or synergistic effects of herbicides to define the bio-ecological traits of macroinvertebrate species living in frequently polluted hydro-agricultural systems.

Key words: Herbicides, atrazine, diuron, acute toxicity, *Crenetis sp*, Bama reservoir, Volta Basin, Burkina Faso.

Annexe 5: Tableau d'identification des espèces, genres et familles rencontrés dans les plans d'eau de Bama, Bala et de Boura. NB : + présent ; - absent

Ordre	Famille	Genre	Espèce	Bama	Bala	Boura
Coléoptères	Hydrophilidae	Amphiops	<i>Amphiops sp</i>	+	+	+
		Helochares	<i>Helochares sp</i>	+	+	+
		Paracymus	<i>Paracymus sp</i>	+	-	+
		Anacaena	<i>Anacaena sp</i>	+	-	-
		Crenetis	<i>Crenetis sp</i>	+	+	+
		Derallus	<i>Derallus sp</i>	+	+	+
		Indéterminé 1	Indéterminée 1	-	-	+
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	+	+	+
		Indéterminé 3	Indéterminée 3	-	+	+
		Indéterminé 4	Indéterminée 4	+	+	-
		Indéterminé 5	Indéterminée 5	-	-	+
		Indéterminé 6	Indéterminée 6	-	-	+
		Indéterminé 7	Indéterminée 7	-	-	+
	Dytiscidae	Dytiscus	<i>Dytiscus sp</i>	+	+	+
		Cybister	<i>Cybister sp</i>	+	+	+
		Acilus	<i>Acilus sp</i>	+	+	+
		Yola	<i>Yola sp</i>	+	+	+
		indéterminé 1	indéterminée 1	+	+	+
		indéterminé 2	indéterminée 2	+	+	+
		indéterminé 3	indéterminée 3	+	+	+
		indéterminé 4	indéterminée 4	+	+	-
		indéterminé 5	indéterminée 5	+	+	+
		indéterminé 6	indéterminée 6	+	+	+
		indéterminé 7	indéterminée 7	+	+	+
	Gyrinidae	Gyrinus	<i>Gyrinus sp</i>	-	+	-
	Carabidae	Harpalus	Indéterminée	+	+	+
	Notoridae	Hydrocanthus	<i>Hydrocanthus ferruginicollis</i>	+	+	+
			<i>Hydrocanthus iricolor</i>	+	+	+
			<i>Hydrocanthus atripennis</i>	+	+	+
	Cucurlionidae	Indéterminé	Indéterminée	+	-	-
	Hydrochidae	Hydrochus	<i>Hydrochus sp</i>	+	-	-

Annexe 5 (suite) : Tableau d'identification des espèces, genres et familles rencontrés dans les plans d'eau de Bama, Bala et de Boura. NB : + présent ; - Absent

Ordre	Famille	Genre	Espèce	Bama	Bala	Boura
Hétéroptères	Notonectidae	Martarega	<i>Martarega sp</i>	+	+	+
	Naucoridae	Naucoris	<i>Naucoris sp</i>	+	+	+
	Belostomatidae	Belostoma	<i>Belostoma sp</i>	+	-	+
		Abedus	Indéterminée	+	+	+
		Lethocerus	Indéterminée	-	+	-
	Nepidae	Nepa	<i>Nepa sp</i>	+	-	-
		Ranatra	<i>Ranatra sp</i>	+	+	+
		Laccotrephes	<i>Laccotrephes sp</i>	+	+	+
	Gerridae	Gerris	<i>Gerris sp</i>	+	+	+
Ephéméroptères	Pleidae	Plea	<i>Plea sp</i>	-	+	-
	Herbridae	Hebrus	<i>Hebrus sp</i>	+	+	+
	Hydrometridae	Hydrometra	<i>Hydrometra sp</i>	+	+	+
Odonates	Baetidae	Indéterminé	Indéterminée	-	+	-
	Ephemerellidae	Indéterminé	Indéterminée	-	+	-
	Gomphidae	Indéterminé	Indéterminée	+	+	+
Diptères	Libellulidae	Indéterminé	Indéterminée	+	+	+
	Coenagrionidae	Indéterminé	Indéterminée	+	+	+
	Tabanidae	<i>Chrysops</i>	<i>Chrysops sp</i>	-	+	-
		Indéterminé 1	Indéterminée 1	-	+	-
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	-	+	-
	Ceratopogonidae	Bezza	<i>Bezza sp</i>	-	+	-
	Canaceidae	Canace	<i>Canace sp</i>	-	+	-
	Chironomidae	Chironomus	<i>Chironomus sp1</i>	+	+	+
			<i>Chironomus sp2</i>	+	+	+
Crustacés	Syrphidae	Eristalis	<i>Eristalis sp</i>	+	+	+
		Indéterminé		+	+	+
	Psychodidae	Marcina	Indéterminée	+	-	-
Vers	Cladocères	Indéterminé	Indéterminée	-	+	-
Mollusques	Bulinidae	Indéterminé 1	Indéterminée 1	+	+	+
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	+	+	+
		Indéterminé 3	Indéterminée 3	-	+	-
		Indéterminé 4	Indéterminée 4	+	+	+
	Unionidinae	Indéterminé 1	Indéterminée 1	+	+	+
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	-	-	+
	Lymneidae	Indéterminé	Indéterminée	+	+	+
	Planorbidae	Indéterminé 1	Indéterminée 1	-	-	+
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	+	+	+
	Valvatidae	Indéterminé 1	Indéterminée 1	-	-	+
		Indéterminé 2	Indéterminée 2	+	+	+

Annexe 6 : Synthèse des différences entre les valeurs mensuelles des indices de diversité de Shannon au niveau des stations (station I à VI) d'observation le long du continuum lac de barrage -effluent - fleuve Mouhoun. (en gras : écarts dont les valeurs absolues sont supérieures à PPDSF 0.05).

		Barrage	Périmètres irrigué	Zone intermédiaire	Fleuve
Juillet	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	0,279	0		
	Zone intermédiaire	-0,234	-0,513	0	
	Fleuve	-0,411	-0,69	-0,177	0
Juin	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	-0,31	0		
	Zone intermédiaire	0,57	0,88	0	
	Fleuve	0,242	0,552	-0,328	0
Mai	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	0,424	0		
	Zone intermédiaire	0,778	0,354	0	
	Fleuve	0,645	0,221	-0,133	0
Avril	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	0,608	0		
	Zone intermédiaire	0,726	0,118	0	
	Fleuve	0,471	-0,137	-0,255	0
Mars	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	0,025	0		
	Zone intermédiaire	0,387	0,362	0	
	Fleuve	-0,098	-0,123	-0,485	0
Février	Barrage	0			
	Périmètres irrigués	0,538	0		
	Zone intermédiaire	-0,444	-0,982	0	
	Fleuve	0,304	-0,234	0,748	0

Annexe 7 : Fiche pour les bioessais au laboratoire

Produits :

Dose :

Test 1		Test 2		Test 3	
Temps	Nombre d'immobiles	Temps	Nombres d'immobiles	Temps	Nombres d'immobiles
0mn		0mn		0mn	
30 mn		30 mn		30 mn	
1h		1h		1h	
1h30		1h30		1h30	
2h		2h		2h	
2h30		2h30		2h30	
3h		3h		3h	
3h30		3h30		3h30	
4h		4h		4h	
4h30		4h30		4h30	
5h		5h		5h	
5h30		5h30		5h30	
6h		6h		6h	
6h30		6h30		6h30	
7h		7h		7h	
7h30		7h30		7h30	
8h		8h		8h	
8h30		8h30		8h30	
9h		9h		9h	
9h30		9h30		9h30	
10h		10h		10h	
10h30		10h30		10h30	
11h		11h		11h	
11h30		11h30		11h30	
12h		12h		12h	

Annexe 8 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Bama de Juin 2011 à janvier 2012

Macroinvertébrés	Juin 2011	Juillet 2011	Aout 2011	Septembre 2011	Octobre 2011	Novembre 2011	Décembre 2011	Janvier 2012
COLEOPTERES								
Hydrophilidae	7	2						
Dytiscidae		5	13	8	14		12	45
Gyrinidae								
Carabidae								
Noteridae								
Cucurlionidae								
Hydrochidae	1							
HETEROPTERES								
Notonectidae								
Naucoridae								
Belostomatidae								
Nepidae	3	5	11	8	1	11	3	
Gerridae								
Pleidae								
Herbridae								
Hydrometridae								
DIPTERES								
Tabanidae								
Ceratopogonidae								
Canaceidae								
Chironomidae	31	10	7	9	23	17	10	16
Syrphidae								
Psychodidae								
ODONATES								
Gomphidae	2	1		7	3		1	
Libellulidae								
Coenagrionidae								
EPHEMEROPTERES								
Beatidae								
Ephemerellidae								
VERS								
Hirudinae	16	11	10		14	8	1	
CRUSTACES								
Cladocères								
MOLLUSQUES								
Bulinidae	15	1	13	8	11	9	12	8
Unionidae	8							
Lymneidae	1	8						
Planorbidae	9							
Valvatidae								
Total								

Annexe 9 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Bala de Juin 2011 à janvier 2012

Macroinvertébrés	Juin 2011	Juillet 2011	Aout 2011	Septembre 2011	Octobre 2011	Novembre 2011	Décembre 2011	Janvier 2012
COLEOPTERES								
Hydrophilidae			12	5	2	13		
Dytiscidae	2	1	10	7		2		
Gyrinidae	23	11	14	11	24	15	10	13
Carabidae								
Noteridae	1	4	8	11	2		1	9
Cucurlionidae								
Hydrochidae								
HETEROPTERES							2	
Notonectidae	1	2						
Naucoridae	1							
Belostomatidae	1	4		2			1	
Nepidae								
Gerridae				13	12			
Pleidae								
Herbridae								
Hydrometridae								
DIPTERES								
Tabanidae	6			8			11	
Ceratopogonidae								
Canaceidae								
Chironomidae	23	11	16	23	12	13	3	1
Syrphidae								
Psychodidae								
ODONATES								
Gomphidae								
Libellulidae	12	2	2	12	14	11	3	
Coenagrionidae								
EPHEMEROPTERES								
Beatidae	7	1	3			8		
Ephemerellidae								
VERS								
Hirudinae	12	5	1		1	1	4	3
CRUSTACES								
Cladocères								
MOLLUSQUES								
Bulinidae	23	1	13	3	1			
Unionidae	4	1	7					
Lymneidae								
Planorbidae								
Valvatidae	8	9	12					
Total								

Annexe 10 : Abondance numérique des macroinvertébrés échantillonnés au niveau de la retenue d'eau de Boura de Juin 2011 à janvier 2012

Macroinvertébrés	Juin 2011	Juillet 2011	Aout 2011	Septembre 2011	Octobre 2011	Novembre 2011	Décembre 2011	Janvier 2012
COLEOPTERES								
Hydrophilidae	11		3	7	12	3	1	7
Dytiscidae	9	11	12	1	9	1		12
Gyrinidae								
Carabidae								
Noteridae	19	12	22	13	8	9		
Cucurlionidae								
Hydrochidae								
HETEROPTERES								
Notonectidae	7	1					9	12
Naucoridae		9						
Belostomatidae		3		14		8		
Nepidae	4	7	1					9
Gerridae								
Pleidae								
Herbridae								
Hydrometridae	3	1		1		4		
DIPTERES								
Tabanidae								
Ceratopogonidae								
Canaceidae								
Chironomidae	31	23	21	11	9	21	12	23
Syrphidae				7	16			
Psychodidae								
ODONATES								
Gomphidae	13	2	12					1
Libellulidae	5		2	1	1			
Coenagrionidae								
EPHEMEROPTERES								
Beatidae								
Ephemerellidae								
VERS								
Hirudinae	12	12	4	1	1	3	1	1
CRUSTACES								
Cladocères								
MOLLUSQUES								
Bulinidae	17	11	8	23	13	17	11	2
Unionidae	7				2	2	1	
Lymneidae								
Planorbidae	12	1	3	4	1	10		
Valvatidae	3		1					
Total								

