

Profil de distribution des macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé à partir du Self Organizing Map (SOM)

Léonce Hermann ZINSOU^{1*}, Pierre GNOHOSSOU², Delphine ADANDEDJAN¹
et Philippe LALEYE¹

¹ *Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin*

² *Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département d'Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (AGRN), BP 123, Parakou, Bénin*

* Correspondance, courriel : leoncezinsou@yahoo.fr

Résumé

Les macroinvertébrés sont considérés comme un outil biologique de suivi de la qualité des cours d'eau. L'objectif de l'étude est d'acquérir de meilleures connaissances sur la distribution des macroinvertébrés benthiques dans le delta de l'Ouémé afin d'apprécier le niveau de perturbation du milieu. La méthodologie utilisée a consisté à faire un échantillonnage des macroinvertébrés benthiques pendant les saisons de crue et de décrue. Ainsi, un filet suber a été utilisé pour le prélèvement des organismes au niveau de 9 stations. A chaque station, les paramètres physico-chimiques dont le pH, la transparence, la profondeur, la température et la conductivité de l'eau ont été mesurés *in situ*. Les investigations ont permis d'inventorier 32 taxons de macroinvertébrés benthiques répartis essentiellement dans 78,13 % d'insectes, 13 % de gastéropodes et 6 % de crustacés. Le profil de distribution a été établi au moyen de la méthode des réseaux de neurones artificiels non supervisés, le « *Self Organizing Maps (SOM)* » et a permis d'obtenir trois principaux assemblages de macroinvertébrés influencés essentiellement par la transparence et la température de l'eau du delta du fleuve Ouémé.

Mots-clés : *fleuve, macroinvertébrés benthiques, diversité, pollution.*

Abstract

Distribution pattern of benthic macroinvertebrates Delta Ouémé from the Self Organizing Map (SOM)

Macroinvertebrates are considered as a biological tool for the quality monitoring of rivers. The objective of the study is to gain more knowledge about the distribution of benthic macroinvertebrates for Assessment Ouémé delta to the level of disturbance. The methodology consisted of benthic macroinvertebrates sampling during dry seasons and rain. Thus, a suber was used for collecting invertebrates at 9 station. At Each station, the physicochemical parameters Including pH, transparency, depth, temperature and conductivity of the water were measured *in situ*. The investigations-have led to inventory taxa of benthic macroinvertebrates 32 divided into 78.13 % of insects, 13 % and 6 % gastropods shellfish.

The distribution profile obtained using the method of artificial neural networks, the "Self Organizing Maps (SOM)" gave three clustering macroinvertebrates mainly Influenced by the transparency and water temperature Ouémé River Delta.

Keywords : *river, benthic macroinvertebrates, diversity, pollution.*

1. Introduction

Les cours d'eau font partie des écosystèmes aquatiques les plus dynamiques et jouent des rôles essentiels dans la conservation de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes [1]. Cependant, en raison de l'urbanisation croissante, ils sont soumis à d'intenses activités humaines qui engendrent des risques écologiques et ne préservent pas le milieu [2]. Pour la préservation du milieu et des espèces aquatiques, la surveillance éco systémique devient alors un impératif pour comprendre les effets potentiels des activités humaines [3]. Ainsi, dans les systèmes de biosurveillance, les organismes les plus utilisés comme bioindicateurs sont les macroinvertébrés benthiques [4]. Ceux-ci appartiennent essentiellement aux groupes des Mollusques, des Crustacés, des Annélides et des Insectes. De par leur diversité, leurs exigences écologiques et la facilité avec laquelle ils peuvent être échantillonnés, les macroinvertébrés benthiques représentent les organismes les plus performants et les plus utilisés pour évaluer l'état de santé des milieux aquatiques [5]. Au Bénin, les travaux antérieurs sur l'utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la qualité environnementale ont jusque-là porté sur les milieux saumâtres. Il s'agit des travaux de Maslin [6] au lac Ahémé, de Gnohossou [7] au lac Nokoué et de Adandédjan [8] sur la lagune de Porto-Novo et la lagune côtière. Cependant, la connaissance des taxons de macroinvertébrés inféodés aux habitats des rivières reste entière. La présente étude qui porte sur les eaux douces du delta du fleuve Ouémé a pour objectif de déterminer le profil de distribution des macroinvertébrés benthiques à partir de la méthode d'analyse du Self -Organizing Map (SOM) en vue de l'évaluation de la qualité de l'eau.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude et stations d'échantillonnage

Le delta de l'Ouémé (*Figure 1*) est compris entre les parallèles 7°12' et 6°23' NORD et les méridiens 2°21' et 2°33' EST. Le système hydrographique du delta est fort complexe en aval du confluent de l'Ouémé et du Zou, car la Sô, rivière deltaïque, parallèle à l'Ouémé, draine une partie des eaux du fleuve qu'elle alimente par ses bras d'eau, qui joignent ces rivières de second ordre. Le triangle dont la pointe est le confluent de l'Ouémé et du Zou, forme une première plaine d'inondation de 80 km² [9]. De par sa situation géographique, le delta bénéficie d'un climat de type subéquatorial avec une grande saison sèche (décembre - mars), une grande saison des pluies (avril - juillet), une petite saison sèche (septembre - août) et une petite saison des pluies (octobre - novembre) avec une précipitation annuelle allant de 900 à 1000 mm. La décrue dans le delta a lieu de mi-novembre à juillet et la crue d'août à mi-novembre [10]. Pour le choix des stations, des visites exploratoires sur l'ensemble du delta ont été effectuées et ont permis de retenir neuf stations en tenant compte de l'hétérogénéité spatiale des habitats, de leurs dynamiques temporelles, de leur accessibilité dans le but d'assurer un échantillonnage permanent dans chacun de ces milieux.

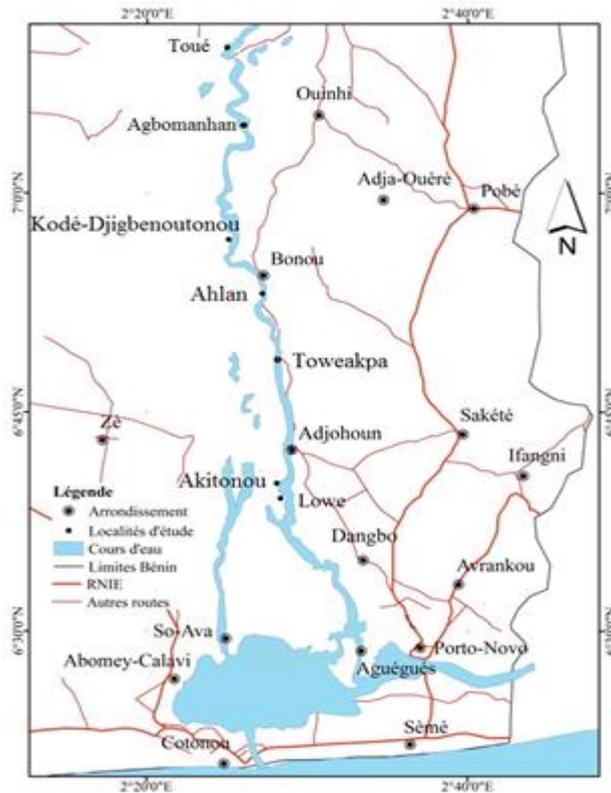


Figure 1 : Stations d'échantillonnage dans le delta du fleuve Ouémé

2-2. Echantillonnage des macroinvertébrés

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques a été réalisé au niveau de chaque station à l'aide d'un filet de type suber à 300 µm de maille et de 50 cm d'ouverture. Le filet suber est trainé sur une longueur de 1 m et correspond à une surface de balayage de 3 m² par échantillonnage. Au niveau des chevelures racinaires des macrophytes, les macroinvertébrés ont été prélevés à l'aide d'un tamis édifié en aluminium de 30 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur avec une maille de 500 µm. La faune ainsi récoltée a été triée et mise dans des boîtes en plastique dans lesquelles a été ajouté du formol à 10 %, puis amenée au laboratoire. Le reste du benthos contenant des macroinvertébrés non visibles à l'œil nu, est conservé dans des bocaux avec du formol à 10 % pour un tri au laboratoire. Au laboratoire, les échantillons sont rincés, triés sous loupe binoculaire et la faune est conservée dans de l'alcool à 70 % avant les opérations d'identification et de comptage. L'identification a été faite au niveau famille à l'aide des clés de détermination [5, 11-14]

2-3. Variables environnementales

La mesure des paramètres physiques et chimiques (pH, température, TDS, conductivité, transparence, profondeur) a été effectuée *in situ* entre 8 heures et 12 heures. La conductivité et le Taux de Solides Dissouts (TDS) ont été mesurés à l'aide d'un conductimètre portable de type Pioneer 30 Radiometer Analytical. Le pH et la température de l'eau ont été mesurés avec un pH-mètre de type HANNA microprocesseur HI thermomètre intégré. Un disque de Secchi muni d'une corde graduée a permis d'estimer la transparence et la profondeur de l'eau. Ces mesures ont été réalisées avant l'échantillonnage des macroinvertébrés pour éviter toute perturbation du milieu susceptible de biaiser les résultats. Des sédiments collectés et ramenés au laboratoire ont permis de déterminer les fractions du substrat selon la méthode de [15].

2-4. Traitement et analyse des données

2-4-1. Structure de la communauté de macroinvertébrés

La structure de la communauté de macroinvertébrés a été déterminée à partir de la richesse taxonomique, l'indice de diversité de Shannon (H') et de l'équitabilité de Pielou (E). L'indice de diversité biologique de Shannon et Weaver [16] est donné par la **Formule** :

$$H' = - \sum p_i (\log_2 p_i) \quad (1)$$

avec $p_i = N_i / N$; 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 exprimé en bits. Plus H' croît, plus la diversité est élevée.

La qualité d'organisation du peuplement est traduite par l'équitabilité de Pielou [17] qui varie entre 0 et 1. E vaut 0 quand une seule espèce domine et 1 quand toutes les espèces ont la même abondance. Il est déterminé selon la **Formule** :

$$E = \frac{H'}{(\log_2)S} \quad (2)$$

avec S la richesse spécifique.

Les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou ont été calculés avec le logiciel Paleontological Statistics, Version 2 [18].

2-4-2. Biotypologie des stations

Pour étudier la distribution des assemblages de macroinvertébrés benthiques, nous avons utilisé les réseaux de neurones artificiels non supervisés, le « *Self Organizing Maps (SOM)* » ou cartes de Kohonen [19]. La matrice de présence-absence établie pour chaque station par période d'échantillonnage a été utilisée à cause de la variabilité et de la sélectivité des méthodes utilisées lors de la collecte des organismes. Nous avons utilisé une carte de 12 cellules (4 lignes x 3 colonnes) pour projeter les échantillons issus du delta du fleuve. C'est une technique de classification non linéaire capable de montrer des patrons simplifiés en identifiant des groupes semblables [20]. L'algorithme des cartes auto-organisatrices (*SOM*) ou cartes de Kohonen a été utilisé pour ordonner les sites d'études en fonction des variables environnementales et des assemblages des taxons. Une fois la carte de Kohonen obtenue, un algorithme d'analyse de classification hiérarchique basée sur la méthode Ward et la distance Euclidienne a ensuite permis de mettre en évidence des assemblages des objets réels sur la carte [21]. L'intensité de la connexion de *SOM* correspond à la probabilité d'appartenance de chaque taxon à un groupe d'échantillons et est indiquée sur la carte par des cellules sombres : plus sombre est une cellule, plus la probabilité d'appartenance est grande [22]. Enfin, des moyennes des variables environnementales sont calculées pour chaque cellule de la carte de *SOM* pour comprendre les relations des variables biologiques et du milieu. Ces valeurs sont assignées sur la carte avec une échelle de couleur sombre et est comparée aussi bien avec la carte *SOM* des stations et celle des taxons. Pour tous les tests réalisés, les résultats sont considérés significatifs pour $p < 0,05$, très significatif pour $p < 0,01$.

2-4-5. Analyse factorielle discriminante

L'analyse factorielle discriminante (AFD) a été appliquée sur les groupes définis par le SOM pour identifier les variables abiotiques qui les discriminent au mieux à partir de la matrice des données environnementales. La pertinence de l'analyse est vérifiée grâce au test de permutation de Monte Carlo sur 999 permutations aléatoires [23]. Le pouvoir discriminant de chaque paramètre a été mis en exergue par le test « λ » de Wilk. Cette analyse a été effectuée avec le logiciel STATISTICA 7.1. Le niveau $P < 0,05$ est considéré comme significatif.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du delta de l'Ouémé

Les valeurs moyennes et extrêmes, le coefficient de variation des paramètres physiques et chimiques des eaux du delta de l'Ouémé sont présentés ci-dessous (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Valeurs moyennes et extrêmes des paramètres physico-chimiques

Saisons		Temp (°C)	Prof (m)	Trans (cm)	pH	TDS (mg/ L)	Cond (µS/cm)	% (S)	% (A+L)
Crue	Nombre	8	8	8	8	8	8	8	8
	Min	22,78	0,25	15	6,18	20	39	72,5	2,97
	Max	26,50	1,5	35	6,87	42	83	95,47	27,50
	Moyenne	24,82	0,67	23	6,41	31,75	63,63	88,62	11,63
	Écartype	1,36	0,38	7,81	0,22	6,86	13,71	7,27	9,94
	CV	5,50	56,56	33,03	3,45	21,61	21,55	8,21	85,55
Décrue	Nombre	9	9	9	9	9	9	9	9
	Min	25,10	0,15	20	7	30	60	3,93	2,98
	Max	28,10	0,70	50	7,50	70	150	97,02	95,88
	Moyenne	26,59	0,34	28,63	7,23	48,89	95,56	64,87	32,32
	Écartype	0,98	0,17	9,46	0,17	13,64	26,98	31,92	32,95
	CV	3,70	49,34	33,96	2,31	27,90	28,23	49,20	101,96
Fleuve	Nbval	17	17	17	17	17	17	17	17
	Min	22,78	0,15	15	6,18	20	39	3,93	2,97
	Max	28,10	1,5	50	7,5	70	150	97,02	95,88
	Moyenne	25,75	0,49	25,65	6,84	40,82	80,53	76,04	22,58
	Écartype	1,46	0,33	8,83	0,46	13,83	26,76	26,11	26,45
	CV	5,67	65,76	34,43	6,79	33,89	33,23	34,34	117,13

Légende : Min = minimum; Max = maximum; Moy = Moyenne; CV = coefficient de variations; Temp= Température ; Prof= Profondeur ; Trans= Transparence ; pH ; TDS= Total Solide Dissous ; Cond= Conductivité ; S= Fraction de sable ; A+L= Fraction d'Argile + Limon

La variation saisonnière de ces paramètres a révélé que le pH, la profondeur, le TDS et la Conductivité sont significatives (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les valeurs du pH de l'eau ont été comprises entre 6,18 et 7,5 sur l'ensemble delta avec une variation hautement significative d'une saison à l'autre ($p < 0,001$). La plus petite valeur a été enregistrée pendant la crue et la valeur élevée pendant la décrue.

La profondeur a présenté une légère variation selon les saisons hydrologiques ($p < 0,05$) au niveau du delta du fleuve. La valeur la plus faible, 0,15 m a été obtenue pendant la décrue tandis que la valeur la plus élevée 1,5 m a été relevée pendant la crue. La conductivité et les valeurs du taux de solide dissous (TDS) sont fortement corrélés (Corrélation de Pearson $r = 0,96$; $p < 0,05$). Les valeurs de la conductivité ont oscillé entre 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le TDS a présenté sensiblement des variations qui oscillent entre 20,7 mg/L et 70 mg/L. Les valeurs les plus élevées de la conductivité et du TDS ont été obtenues pendant la décrue, et les faibles valeurs de ces paramètres pendant la crue.

3-2- Inventaire des macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé

Au total 32 taxons appartenant à 4 classes (Insectes, Mollusques, Crustacés, Annélides), 13 ordres et 28 familles de macroinvertébrés benthiques ont été recensés dans le delta au cours de l'étude (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Liste des taxons de macroinvertébrés benthiques échantillonnés dans le delta de l'Ouémé, *
Taxons recensés lors des campagnes

Classes	Ordres	Familles	Codes	Stations									
				TO1	TO2	AHL	TOW	AKI	KOD	AG1	AG2	AGL	
Insectes	Coléoptères	Dytiscidae	Dyti		*	*			*	*			
		Elmidae	Elmi		*	*			*	*	*		
		Hydrophilidae	Hydro	*	*				*	*			
		Hydraenidae	Hydra							*	*		
		Noteridae	Note			*	*		*	*	*	*	
		Halipidae	Hali						*				
		Dryopidae	Dryo					*					
	Hétéroptères	Pleidae	Plei						*	*			
		Velidae	Veli	*	*				*				
		Corixidae	Cori						*	*			
		Gerridae	Geri						*				
		Belostomatidae	Belo					*					
	Trichoptères	Leptoceridae	Lepc	*					*				
		Hydroptilidae	Hypt							*			
	Diptères	Chironomidae	Chir	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Simuliidae	Simu						*				
	Éphéméroptères	Baetidae	Baet	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Leptophlebiidae	Lept		*	*							
	Odonates	Libellulidae	Libe				*	*					*
		Calopterygidae	Calo	*	*					*			
	Plécoptères	Capniidae	Capni		*								
	Lépidoptères	Pyralidae	Pyra						*				
	Collembolés		Cole		*					*			
	Hydracariens		Hyca			*				*			
	Gastéropodes	Mésogastropodes	Thiaridae	Thia	*					*		*	
			Potamididae	Pota					*	*			
		Basomatophores	Planorbidae	Plan							*		
			Lymnaeidae	Lymn		*					*		
Crustacés	Décapodes	Paléomoridae	Palé							*			
		Potamidae	Pote							*			
Oligochètes			olig	*	*				*		*		
Indéterminé			inde		*	*							

Légende : AGB = Agbomanhan (1,2); TOU = Toué (1,2); KOD = Kodé-djigbéoutonou ; AHL = Ahlan ;
AGL = Agonlin-lowé ; AKI = Akitonou ; TOW = Towéakpa

3-3. Abondances et composition du peuplement

En termes d'abondance globale, 829 individus de macroinvertébrés benthiques ont été prélevés durant les deux saisons d'échantillonnage. Elle est plus élevée pendant la crue (509 avec une moyenne de 57 individus/station) et 320 individus avec une moyenne de 35 individus/station pendant la décrue sur l'ensemble des neuf stations, soit un rapport de 1,63 entre les deux saisons. L'abondance des organismes benthiques par groupe zoologique a montré que les Insectes ont été le groupe majoritaire. En effet, des 829 spécimens récoltés, les Insectes ont rassemblé 638 spécimens soit 76,96 % de l'effectif total. Ils sont suivis par les Gastéropodes qui ont constitué 17,25 %, les Oligochètes avec 5,55 % et les Crustacés avec 0,24 %.

3-4. Variation saisonnière des indices de diversité de Shannon et de Piélou

Les indices de diversité de Shannon et d'Équitabilité de Piélou (*Tableau 3*) ont présenté une même tendance pendant les deux saisons (Test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Cependant, la diversité spécifique est plus élevée à la station AG1 pendant la crue ($H' > 2$; $E > 0,5$) et à la station KOD pendant la décrue, montrant ainsi une équi-répartition des taxons dans ces stations.

Tableau 3 : Comparaison de la variation saisonnière de l'indice de diversité de Shannon (H') et de l'Équitabilité de Piélou (E) entre les saisons (crue et décrue)

STATIONS	CRUE		DECRUE	
	H'	E	H'	E
TO2	2,2	0,35	0,6	0,11
TO1	0,8	0,12	1,2	0,34
KOD	2,6	0,4	2,6	0,6
AHL	2,1	0,35	2,1	0,58
AKI	0,7	0,2	1,8	0,37
TOW	0,9	0,19	0,8	0,21
AG1	3,2	0,8	1,6	0,43
AG2	1,1	0,3	0,3	0,05
AGL	0,6	0,1	1,1	0,2
Moyenne	1,58	0,31	1,34	0,32

3-5. Biotypologie des stations

La classification hiérarchique réalisée à partir de la matrice de présence-absence des macroinvertébrés benthiques a permis de classer les 17 échantillons en trois groupes (*Figure 2*). Les constituants de ces différents groupes ayant des compositions taxonomiques similaires ont été indiqués sur la carte de Kohonen (*Figure 3*).

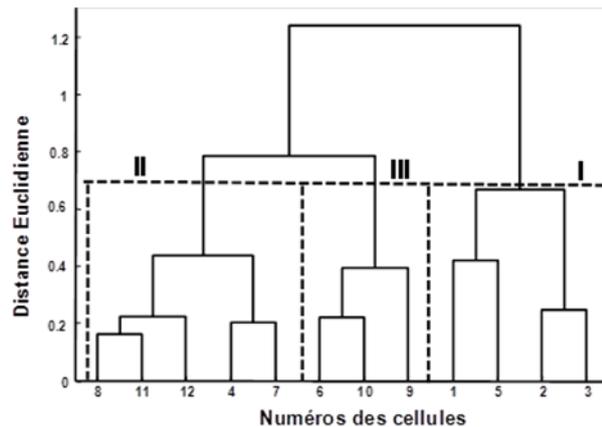


Figure 2 : Classification hiérarchique des cellules de la SOM avec la méthode de Ward

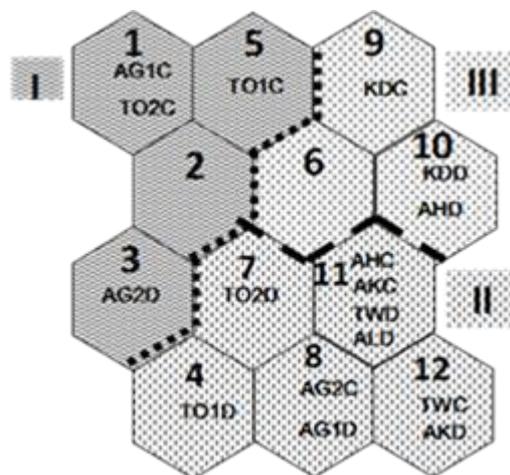


Figure 3 : Distribution des échantillons sur la carte de Kohonen; les groupes définis sont numérotés de I à III ; les chiffres de 1 à 12 représentent respectivement les numéros des échantillons et des cellules ;
c = crue d = décrue

Le groupe I a rassemblé les échantillons issus de la crue, tandis que les groupes II et III ont été constitués en majorité d'échantillons issus de la décrue. Le groupe I a renfermé plus de taxons que le groupe II et III.

- Groupe I : taxons caractéristiques : Elmidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Noteridae, Pleidae, Baetidae, Calopterygidae, Veliidae, Chironomidae, Leptophlebiae, Capniidae, Leptoceridae, Planorbidae, Lymnaeidae, Thiaridae.
- Groupe II : taxons caractéristiques : Hydracarien, Noteridae, Dryopidae, Belostomatidae, Libellulidae, Potamonidae,
- Groupe III, taxons caractéristiques : Dytiscidae, Halipidae, Corixidae, Leptoceridae, Simuliidae, Hydracarien, Potamididae, Pyralidae

Le nombre de taxons a varié de 17 taxons pour le groupe I, de 6 taxons pour le groupe II et de 9 taxons pour le groupe III. La différence entre les richesses taxonomiques dans les 3 groupes est significative (Test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Ces différences se situent au niveau des groupes I et II (test de Mann-Whitney $p < 0,01$).

Les patrons de distribution des taxons de macroinvertébrés du delta de l'Ouémé obtenus grâce au Self Organizing Map sont présentés par la **Figure 4**. La répartition a été faite à partir de l'analyse de la contribution de chacun des 32 taxons de macroinvertébrés dans chaque groupe.

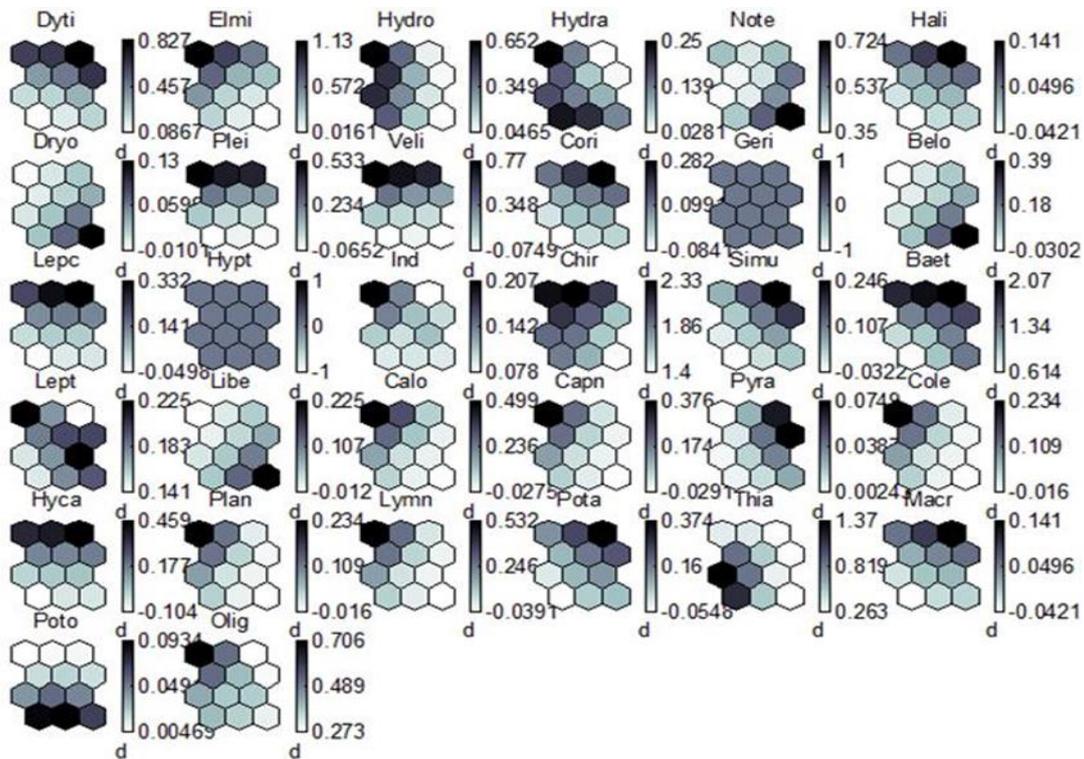


Figure 4 : Patron de distribution des taxons de macroinvertébrés sur la carte de Kohonen

3-6. Facteurs déterminant la diversité des macroinvertébrés benthiques

L'analyse factorielle discriminante (AFD) effectuée sur les différents groupes obtenus par la SOM et les variables environnementales mesurées (**Figure 5**) laissent apparaître que les deux premiers axes expriment 70,66 % de l'information totale, soit 48,34 % pour le premier et 22,32 % pour le second.

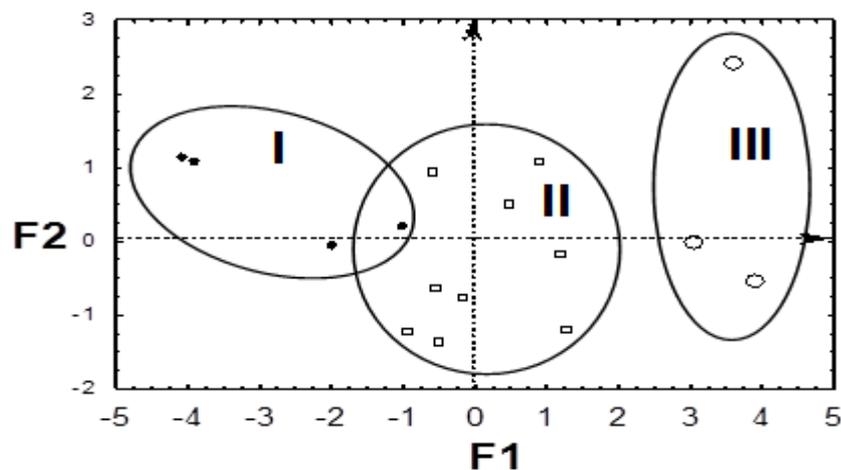


Figure 5 : Analyse factorielle discriminante portant sur les groupes (I à III)

La carte factorielle obtenue a indiqué que le groupe II a été très bien discriminé, mais recouvre partiellement quelques échantillons du groupe I. Quant au groupe III, il est positivement corrélé à l'axe F1 et se distingue des groupes I et II qui sont négativement corrélés à ce même axe. Le groupe I est positivement corrélé à l'axe F2 et le groupe II est négativement corrélé au même axe. Le test de permutation de Monte-Carlo a révélé que les groupes ont été correctement prédits ($p < 0,05$). Les taux de prédiction établis par la technique de Jackknife (Palmer, 1990) ont montré qu'au total 94,12 % des échantillons ont été bien classés. Toutefois, les meilleures prédictions ont été obtenues dans les groupes II et III qui sont prédits à 100 %. Par ailleurs, la contribution des paramètres abiotiques dans la discrimination des groupes a été déterminée par le test de « λ de Wilk », (effet testé au seuil de 5 %). Ainsi, les paramètres les plus discriminants ont été la transparence et la température de l'eau (Lambda de Wilk, $p < 0,000$).

4. Discussion

Cette étude a permis d'établir une liste de 32 taxa de macroinvertébrés benthiques sur l'ensemble du delta prospecté. La faune est essentiellement composée d'Insectes, de Mollusques et de Crustacés. Les Oligochètes ont été aussi inventoriés. D'une façon générale, la composition de la macrofaune benthique dans le delta du fleuve Ouémé est similaire à celle des eaux douces africaines [24]. La richesse taxonomique observée est très faible par rapport à celle qu'indiquent les études menées dans le cours d'eau Nga au Cameroun [25]. En effet, les échantillons récoltés dans le cours d'eau Nga montrent une richesse taxonomique cumulée de 59 familles et correspond à un échantillonnage sur tout le fleuve Nga alors que le nôtre ne l'a été que dans une zone du bassin fluvial : le delta. En revanche, la richesse taxonomique obtenue est similaire à celle de [26], qui a dénombré 28 familles de macroinvertébrés dans la rivière Agnèby en Côte d'Ivoire. Cette richesse taxonomique relevée dans notre étude peut être liée à la méthode d'échantillonnage notamment au filet utilisé, mais aussi aux différents habitats prospectés et aux saisons d'échantillonnage. La majorité des macroinvertébrés collectés appartient à la classe des Insectes (78,13 %), suivie par celle des Gastéropodes (12,5 %). L'ordre des Coléoptères est le mieux représenté et constitue 21,88% des taxons, suivi des Hétéroptères (15,63 %), les Ephéméroptères (6,25 %) étant en faible proportion. Au Cameroun, l'étude menée par [25] dans le cours d'eau Nga, montre aussi une abondance des insectes (93,22 %), et l'ordre des Hétéroptères constituant 20 % de la faune échantillonnée. De même, d'autres auteurs ont observé une abondance des insectes (80 %) et des mollusques (14 %) dans le fleuve Niger [27, 28].

Le degré d'organisation de la communauté de macroinvertébrés du delta de l'Ouémé a été analysé à travers les indices de diversité de Shannon (H) et de l'équitabilité (E) de Pielou. Les valeurs de l'indice de diversité et de l'équitabilité sont plus élevées dans les stations situées en aval du delta que celles situées en amont. On pourrait donc affirmer que les communautés de macroinvertébrés situées en amont du delta sont peu diversifiées et relativement organisées. Selon [29], les faibles valeurs de l'indice de diversité traduisent des communautés peu diversifiées avec un faible degré d'organisation. La station AG1 située en amont du delta, qui a présenté des valeurs maximales de l'indice de diversité ($H' : 3,20$) et de l'équitabilité ($E : 0,80$), apparaît comme étant la station la plus diversifiée et la plus stable présentant ainsi une bonne répartition de l'abondance spécifique. Cette situation pourrait aussi se justifier par le fait que la station AG1 (Agbomahan), subit moins de pression anthropique (absence d'agglomération et de pratique culturelle), que les autres stations d'échantillonnage. Les macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé, ont montré une variation saisonnière marquée. Celle-ci pourrait être liée à une répartition inégale des ressources alimentaires, qui dépend non seulement des conditions hydrologiques (crue-décru), mais aussi à d'autres facteurs biotiques comme les pressions de prédation et de compétition pour la ressource [30].

Aussi, l'assemblage des groupes I et III caractérisés par une richesse taxonomique relativement élevée obtenue pendant la crue, pourrait être attribué aux faibles taux des paramètres de minéralisation, conditions favorables à l'introduction et à la reproduction de la plupart des ordres d'insectes [31]. Cette richesse élevée pourrait être due aussi à la prolifération des plantes aquatiques qui servent de refuges aux invertébrés contre les prédateurs [32] et qui leur fournissent de la nourriture et des substrats solides sur lesquels les larves peuvent s'agripper [33].

5. Conclusion

Au terme, de cette étude, les paramètres de minéralisation et la granulométrie du substrat, mais aussi l'hydrologie du delta sont ceux qui influencent le plus la distribution des peuplements macrobenthiques. Les résultats obtenus ont permis également d'avoir une meilleure connaissance de la composition, de la structuration, de la répartition spatio-temporelle des macroinvertébrés. Les différentes familles inventoriées constituent le point de départ pour toute action de suivi sur ce cours d'eau. Aussi, les recherches futures devraient donc être orientées vers une étude plus poussée pour mieux comprendre les traits biologiques ainsi que les relations écologiques des différentes communautés benthiques obtenues.

Remerciement

Les auteurs remercient le Projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) du Programme Cadre d'Appui à la diversification agricole (ProCAD) pour avoir financé ces travaux.

Références

- [1] - A. AGUILAR IBARRA, «Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne», Thèse de doctorat ès sciences, Institut National Polytechnique de Toulouse (France), (2004) 178p.
- [2] - A. CHIKOU, «Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin», Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique. (2006) 459 p.
- [3] - M. A. AMIS, M. ROUGET, A. BALMFORD, W. THUILLER, C. J. KLEYNHANS, J. DAY and J. NEL, «Predicting freshwater habitat integrity using land-use surrogates», *Water SA* 33 (2007) 215-222.
- [4] - R. T. CLARKE, M. T. FURSE, R. J. M. GUNN, J. F. WINDER and J. F. WRIGHT, «Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices», *Freshwater Biology*, 47(2002) 1735-1751.
- [5] - H. TACHET, P. RICHOUX, M. BOURNEAU et P. USSEGLIO-POLATERA, «Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie», CNRS Editions, Paris. (2006) 587 p.
- [6] - J. L. MASLIN et Y. BOUVET, «Le lac Ahémé (Bénin): Présentation du milieu, caractéristiques mésologiques, nature des fonds et distribution des peuplements malacologiques», *Oikos* 46(1986)192-202.
- [7] - P. M. GNOHOSSOU, «La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique», Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. SEVAB. (2006) 169 p.

- [8] - D. ADANDEDJAN, «Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud- Bénin : la Lagune de Porto-Novo et la Lagune Côtière», Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi-Bénin. (2012) 261 p.
- [9] - L. A. SOSSOU-AGBO, «La mobilité dans le complexe fluvio-lagunaire de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin, en Afrique de l'Ouest». Thèse de doctorat, Université de Grenoble, France. (2013) 361p.
- [10] - P. LALEYE, A. CHIKOU, J. C. PHILIPPART, G. TEUGELS et P. VANDEWALLE, «Etude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest)». *Cybiu* 28 (4) (2004) 329-339.
- [11] - J. R. DURAND et C. LEVEQUE, «Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne», Tome I et Tome II. ORSTOM. I.R.D.n°44. France, (1981).
- [12] - P. MCCAFFERTY, «Aquatic entomology. The fisherman's and ecologists Illustrated Guide to Insects and their relatives», Jones and Bartlett publishers Boston, London, (1981).
- [13] - H. CHAUMETON, A. BERLY et P. DURANTEL, « Faune de France -Invertébrés d'eau douce », Ouvrage collectif crée par Losange (Edition Artémis), (2002).
- [14] - J. MOISAN, «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, ISBN :978-2-550-58416-2 (2010).
- [15] - A. INTES et P. LEOUEFF, « Les Annelides Polychètes de Côte d'Ivoire. IV- Relation faune-sédiments». *Cahier ORSTOM, série océanographie*, 21 (1) (1986) 53-88.
- [16] - C. E. SHANNON and V. WEAVER, «The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press (1949).
- [17] - E. C. PIELOU, «An introduction to mathematical ecology», Wiley Interscience, New York, (1969).
- [18] - Ø. HAMMER, D. A. T. HARPER and P. D. RYAN, «Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis», *Palaeontologia Electronica* 4(1) (2001) 9pp.
- [19] - T. KOHONEN, Self-Organizing formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43 (1982) 59-69.
- [20] - T. KOHONEN, « Self-organizing Maps», 3rd edition. Berlin. Germany, Springer-Verlag (2001).
- [21] - Y. S. PARK, R. CEREPHINO, A. COMPIN and S. LEK, « Application of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters», *Ecol. Model.* 160 (2003)265-280.
- [22] - S. LEK, M. J. L. GIRAUDEL and J. F. GUÉGAN, «Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists», *Springer-Verlag, Berlin.* 3 (2000) 27.
- [23] - B. F. J. MANLY, «Randomization and Monte Carlo Methods in Biology», Chapman and Hall, London, (1991).
- [24] - D. DIOMANDE et G. GOURENE, «Premières données sur la macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la Bia (Cote d'Ivoire)», *Sciences et Nature* 2 (2005) 167-176.
- [25] - M. S. FOTO, T. S. H. ZEBASE, T. N. L. NYAMSI et T. NJINE, « Macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau Nga: Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques». *European Journal of Scientific Research*, 43 (2010) 96-106.
- [26] - D. DIOMANDE, Y. K. BONY, E. O. EDIA, K. F. KONAN et G. GOURENE, «Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest)» *Euro Journals Publishing, Inc.* ISSN 1450-216X Vol.35 (2009) 368-377.
- [27] - B. ALHOU, J. C. MICHA, A. DODO et A. AWAISS, «Etude de la qualité physicochimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey», *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3(2009)240-254.

- [28] - J. B. NANGMO, «Evaluation de la qualité des eaux de l'Ekoza par utilisation des composantes physico-chimiques et biologiques du milieu». Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I au Caméroun ; (2004) 47 p.
- [29] - O. E. EDIA, «Diversité taxonomique et structure des peuplements de l'entomofaune des rivières côtières Soumié, Eholié, Ehania, Noé (Sud-est, Côte d'Ivoire)», Thèse de doctorat Option : Ecologie et aménagement des écosystèmes aquatiques. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Appliquée. Université d'Abobo-Adjamè. (2008) 153 p.
- [30] - F. IBANEZ, J. C. DAUVIN et M. ETIENNE, «Comparaison des évolutions à long terme (1977-1990) de deux peuplements macro benthiques de la Baie de Morlaix: relations avec les facteurs hydrodynamiques». *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 164 (1993)181-214.
- [31] - A. ARAB, S. LEK, A. LOUNACI et Y. S. PARK, «Spatial and temporal patterns of benthic invertebrate communities in an intermittent river (North Africa) », *Annals of Limnology - International Journal of Limnology*, 40 (2004) 317 - 327.
- [32] - P. JONATHAN, A. HORNING and L. FOOTE, «Aquatic invertebrate responses to fish presence and vegetation complexity in western boreal wetlands, with implications for waterbird productivity Wetlands», 26 (2006) 1-12.
- [33] - S. CAMPEAU, H. R. MURKIN and R. D. TITMAN, «Relative importance algae and emergent plant litter to freshwater marsh invertebrates», *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 51(1994) 681-692.