

# **Analyse Et Illustration De La Valeur Indicatrice Des Espèces Macrobenthiques Du Delta De l’Ouémé Au Bénin**

***Léonce Herman Zinsou***

Laboratoire d’Hydrobiologie et d’Aquaculture, Faculté des Sciences  
Agronomiques, Université d’Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

***Hippolyte Agadjihouédé***

Ecole National Supérieure des Sciences  
et Techniques Agronomiques de Kétou, Kétou, Bénin

***Pierre Gnohossou***

Département d’Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles  
(AGRN), Faculté d’Agronomie, Université de Parakou, Parakou, Bénin

***Philippe Lalèyè***

Laboratoire d’Hydrobiologie et d’Aquaculture, Faculté des Sciences  
Agronomiques, Université d’Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

doi: 10.19044/esj.2017.v13n5p333 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p333](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p333)

---

## **Abstract**

In this work, it was matter of determining the species characteristics of the delta of the Oueme through the illustration of their indicative value. Sampling was carried out in eight heterogeneous stations covering the periods of flood and low water. The various indices including that of biserial correlation IndVal (Indicator Value Index) and the cover sites of groups were used as the basis of analysis. The results showed that the selected significant indicative species are highly correlated and have a preference for stations full of organic and mineralized matter. Also, taxa have a marked preference for the flood season (21 taxa) than low water (5 taxa). Most characteristic taxa highlighted by this procedure should be useful to assess changes in quality of the plants studied. Most taxa characteristics highlighted by this procedure should be useful to assess changes in quality of the plants studied.

---

**Keywords:** Benthic macroinvertebrates, ecology, habitat, Ouémé River, water quality

---

## Résumé

Dans ce travail, il a été question de déterminer les espèces caractéristiques du delta de l'Ouémé à travers l'illustration de leur valeur indicatrice. L'échantillonnage a été réalisé dans huit stations hétérogènes pendant la saison des crues et d'étiage. Les différents indices dont celui de la corrélation bisériale, IndVal (*Indicator Value Index*) et les couvertures de sites de groupe ont servi de base aux analyses. Les résultats obtenus ont montré que les espèces indicatrices significatives sélectionnées sont fortement corrélées et ont une préférence pour les stations riches en matières organiques et minéralisées. Aussi, les taxons ont une préférence plus marquée pour la saison des crues (21 taxons) que pour l'étiage (5 taxons). La plupart des taxons caractéristiques mis en évidence par cette procédure devraient s'avérer utiles pour évaluer les changements de qualité des stations étudiées.

---

**Mots clés :** Macroinvertébrés benthiques, écologie, habitat, fleuve Ouémé, qualité de l'eau

## Introduction

Les espèces macrobenthiques constituent les meilleurs indicateurs des conditions de milieu du fait de leur sédentarité, de leur longévité, et de la diversité de leurs réponses face à différentes sources de perturbations (Grall & Glémarec, 1997 ; Bellan et al, 2002). Leur identification en tant qu'espèces caractéristiques est souvent utilisée comme méthode classique en écologie, voire biogéographie (Legendre & Legendre, 2012). Dans les domaines de la conservation, de l'aménagement ainsi que du suivi environnemental, plusieurs études ont déjà fait recours à l'identification des bioindicateurs (Borja et al, 2000 ; Legendre & Legendre, 2012) car souvent corrélés avec des sites ou groupes de sites donnés. Ainsi, à travers la valeur indicatrice de leur peuplement, les bioindicateurs peuvent fournir une signification écologique à une classification des communautés des sites étudiés et donner les caractéristiques fonctionnelles du système étudié (Usseglio-Polatera et al, 1999 ; Touzin, 2008).

Il s'agit dans la présente étude d'identifier des espèces indicatrices du delta de l'Ouémé au Bénin en utilisant la méthode d'*Indicator Species Analysis* (IndVal) développée par Dufrêne & Legendre (1997). Cette méthode qui montre les relations entre les organismes benthiques inféodés à un site donné ainsi que leur taux de couverture par rapport aux nombres de relevés réalisés, a l'avantage de combiner à la fois la fréquence et l'abondance (recouvrement) pour l'évaluation des caractères indicateurs des espèces.

## **Materiel et methodes**

### **Milieu d'étude et stations d'échantillonnage**

Le delta de l'Ouémé est compris entre les parallèles 7°12' et 6°23' Nord et les méridiens 2°21' et 2°33' Est (Figure 1). Il est caractérisé par un climat subéquatorial avec deux saisons de pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie est comprise entre 1100 mm et 1400 mm surtout au voisinage du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo (Sossou-Agbo, 2013). Son régime hydrologique est marqué de variations notables au cours de l'année. Selon Lalèyè et al (2004), le delta connaît une seule saison de hautes eaux dans l'année et l'amplitude y est très forte entre la crue (fin juillet à mi-novembre) et l'étiage (mi- novembre à juillet). Le delta de l'Ouémé comprend trois parties essentielles (Lalèyè et al, 2004) :

- le haut delta représenté par un couloir sur une largeur de 20 à 30 km, s'étend jusqu'à la limite de Bonou où commence le moyen delta. Trois stations d'échantillonnage ont été identifiées à savoir : Dogbahê, Wébossou et Damè-Wogon ;

- le moyen delta constitué d'une plaine longue de 50 km environ et s'étendant de Bonou jusqu'après Adjohoun. Deux stations d'échantillonnage ont été identifiées à savoir : Agonlin-Lowé et Gangban ;

- le bas delta qui débute après Adjohoun et se termine à la façade sud du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo. Trois stations d'échantillonnage ont été identifiées à savoir: Kessounou, Donoukpa et Houedomey

Ces différentes stations ont été choisies en fonction de leur accessibilité en toutes saisons et leur situation par rapport aux agglomérations et aux sources éventuelles de pollution (Figure. 1).

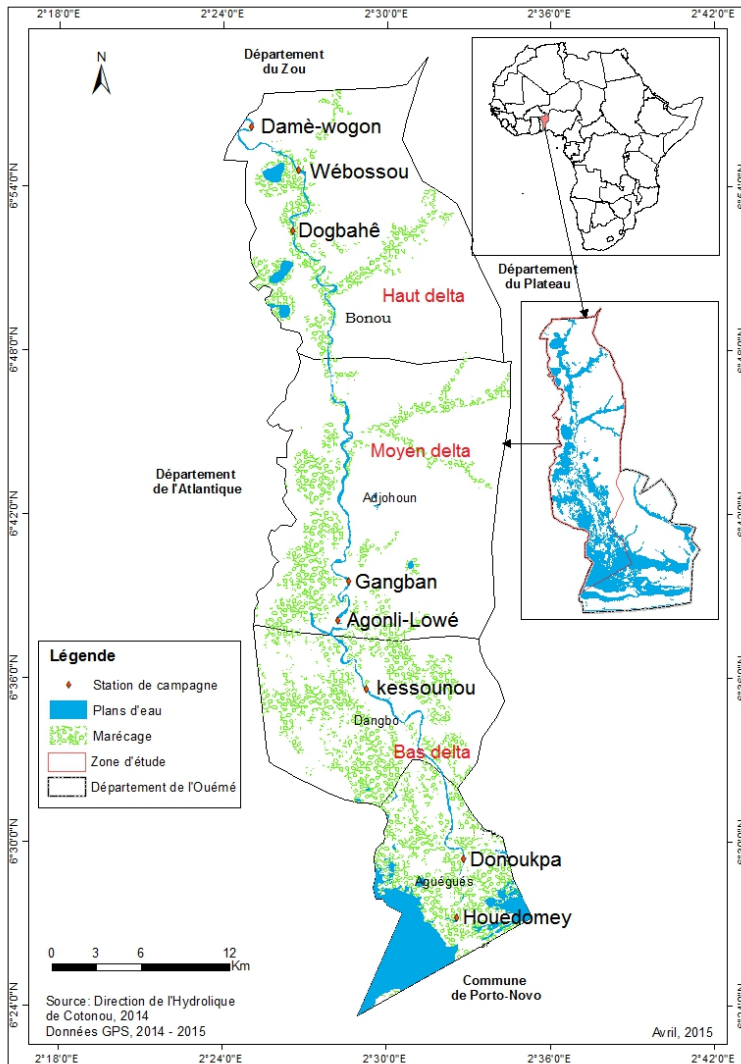


Figure 1. Delta de l’Ouémé et stations d’échantillonnage

### Collecte des données

Des prélèvements quantitatifs ont été réalisés mensuellement entre avril 2014 à janvier 2016, à l'aide d'un filet de type Surber modifié de 50 cm x 30 cm de surface de base et de 300 µm de maille (Gnohossou, 2006). Les divers prélèvements ont été réalisés au niveau des berges, sur des substrats vaseux et sablonneux. Le filet placé à contre-courant a été traîné sur le fond à la manière d'une drague sur une distance de 3 m environ à l'aide d'une corde. La fréquence des campagnes d'échantillonnage a été dictée par le souci d'obtenir des données pendant la crue et l'étiage.

Tous les prélèvements sont conservés dans des bocaux contenant du formol à 5 %. Au laboratoire, les échantillons sont rincés, triés sous loupe binoculaire « Olympus SZ40 » et la faune obtenue est conservée dans de l'alcool à 70 % avant les opérations d'identification et de dénombrement. La détermination a été limitée au genre pour l'ensemble des organismes recensés.

### Analyse des données

Au total, 87 taxons de macroinvertébrés sont utilisés dans le cadre de cette analyse. Le coefficient de corrélation bisériale qui mesure le degré d'association entre une espèce et une station ou une saison a été calculé. Il permet d'identifier pour chaque espèce son degré de préférence ou d'évitement parmi l'ensemble des stations ou des saisons. Ce coefficient prend des valeurs comprises entre -1 et +1. Les valeurs positives indiquent une préférence aux conditions dans cette station ou saison alors que les valeurs négatives indiquent un évitement des conditions prévalant dans cette station ou saison (De Cáceres et al, 2008 ; De Cáceres & Legendre, 2009).

Par ailleurs, l'analyse des espèces indicatrices (Dufrêne & Legendre, 1997) a été réalisée. Cette analyse consiste à calculer la valeur indicatrice des espèces et à tester la significativité de cette valeur par les tests de permutation, en l'occurrence le test de Monte-Carlo. Ce test permet de vérifier si la préférence d'une espèce pour un type d'habitat est significativement plus élevée que ne laisse supposer une distribution aléatoire (Dufrêne & Legendre, 1997).

La valeur indicatrice d'une espèce qui mesure la valeur prédictive de cette espèce comme indicatrice des conditions prévalant dans une station ou une saison (De Cáceres & Legendre, 2009), est donnée par l'équation selon Dufrêne & Legendre (1997) suivante:

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Dans cette équation,  $A_{ij} = N_{\text{individus}_{ij}} / N_{\text{individus}_i}$  et représente la spécificité, tandis que  $B_{ij} = N_{\text{sites}_{ij}} / N_{\text{sites}_j}$  et correspond à la fidélité.

Toutefois, l'analyse des espèces indicatrices se limite souvent à l'identification de singleton d'espèces (XXX, YYY, ZZZ, AAA, WWW, YYY, De Cáceres & Legendre 2009).

Des combinaisons d'espèces (2, 3, 4, etc.) comme indicatrices d'un habitat apportent cependant plus d'informations quant aux conditions écologiques (De Cáceres & Legendre, 2009). De Cáceres & Legendre (2009) ont ainsi proposé une alternative disponible dans le package *indicspecies* du logiciel R (R Core Team, 2015), qui permet de tester les singletons, les paires d'espèces, les trios d'espèces, les quatuors d'espèces etc. les mieux indicatrices des habitats et renseigne donc plus sur l'écologie des habitats. Cette approche a été déjà utilisée dans les études de végétation par plusieurs

auteurs dont Salako et al (2015) dans l'identification des espèces indicatrices des habitats du palmier *Borassus aethiopum* au Bénin. Dans cette étude, nous nous sommes limités aux singletons et paires d'espèces comme l'ont suggéré De Cáceres & Legendre (2009). Cela a l'avantage selon ces derniers de limiter la complexité dans l'identification des espèces indicatrices, d'éviter des nombres très importants de possibilités pouvant réduire la fiabilité de l'analyse et de rendre parfois très longues les analyses.

Au-delà de la connaissance des espèces ou combinaison d'espèces utiles comme indicatrices de station ou saison, il est aussi crucial d'évaluer la proportion de sites d'un groupe de sites donné (relevés d'une station, station ayant fait l'objet de plusieurs relevés) où une ou autre espèce indicatrice est trouvée. Cette proportion est appelée couverture du groupe de sites (De Cáceres et al, 2012). Dans le cas de cette étude, il s'agit de groupe de relevés et de la couverture de stations et des saisons. Cette couverture est vue par rapport aux nombres de relevés qui y ont été faits. Ainsi, la station et la saison sont vues comme des groupes de relevés. La détermination de la couverture d'un groupe de site est importante (De Cáceres et al, 2012), parce qu'il peut exister des sites (ici relevés) où aucune des espèces indicatrices valides n'est trouvée. Pour cette analyse seules les espèces ayant des valeurs de la composante  $B > 0,1$  ont été incluses afin d'éliminer les espèces de faible fidélité. Une comparaison a été faite entre la couverture des singletons, des paires d'espèces et de toutes les combinaisons d'espèces possibles.

Toutes les analyses ont été réalisées dans le package *indicspecies* (De Cáceres & Legendre, 2009) du logiciel R (R Core Team 2015). Dans ce package, la fonction « Combinespecies » a été utilisée pour générer les paires d'espèces en vue de l'analyse des espèces indicatrices. Dans ce même package, la fonction « multipatt » a été utilisée pour calculer les coefficients de corrélation bisériale et réaliser l'analyse des espèces indicatrices. Les fonctions « strassoc », « coverage » et « plotcoverage » ont été utilisées pour le calcul et la représentation graphique de la couverture en fonction des valeurs de la spécificité A. Cette analyse du taux de couverture a été faite pour les singletons, les paires d'espèces et toutes les combinaisons possibles.

## Resultats

### Degré d'association entre les taxons, stations et les périodes

Le degré d'association entre un taxon et une station est présenté ici à travers les coefficients de corrélations de point bisériale (Tableau 1) qui exprime le niveau de préférence d'un taxon à une station donnée.

Ainsi, au seuil  $\alpha = 5\%$ , aucun taxon n'est significativement associé aux stations Agonlin-lowé, Damè-wogon, Dogbahê, Gangban et Webossou. Les taxons *Corbula* sp., *Bithynia* sp. et *Quadervisio* sp., sont significativement associés à la station Donoukpa alors que les taxons

*Macrobachium* sp., et *Grandidierella* sp., sont significativement associées à la station Houedomey. Le taxon *Chironomus* sp., est significativement associé à la station Kessounou. Toutes les corrélations sont positives et indiquent que ces taxons ont une préférence significative aux stations auxquelles elles sont corrélées.

### Corrélation entre les taxons et les périodes hydrologiques

Le degré d'association entre les taxons et les périodes est présenté également ici à travers les coefficients de corrélations de point bisérial (Tableau 2) qui exprime le niveau de préférence d'un taxon à une période donnée. Contrairement aux stations, plusieurs taxons ont une préférence à une période donnée.

En effet, dix-neuf taxons ont une corrélation bisériale significative avec la période des crues. Cependant on note que cinq taxons ont les corrélations les plus élevées (>0,20). Il s'agit successivement *Cryptochironomus* sp., *Libellula* sp., *Pseudocloeon* sp., *Noterus* sp., *Laccophilus* sp.,

Tableau 1. Coefficient de Corrélation de point bisérial entre les taxons et les stations. Codes de significativité: 0<sup>\*\*\*</sup>, 0,001<sup>\*\*</sup>, 0,01<sup>\*</sup>, 0,05<sup>^</sup>, 0,1<sup>^ns</sup>, 1. Prob.≤0,5

Stations	Taxons	Corrélation	Prob.	Sig.
Agonlin-lowé	<i>Pseudagrion</i> sp.	0,20	0,398	ns
	<i>Caenodes</i> sp.	0,19	0,478	ns
	<i>Hydaticus</i> sp.	0,17	0,424	ns
Damè-wogon	<i>Tympanotonus</i> sp.	0,24	0,102	ns
	<i>Adenophlebiodes</i> sp.	0,24	0,133	ns
	<i>Baetis</i> sp.	0,22	0,073	.
	<i>Stenus</i> sp.	0,20	0,168	ns
	<i>Zygonix</i> sp.	0,18	0,345	ns
	<i>Leptophlebia</i> sp.	0,18	0,416	ns
	<i>Leptocerus</i> sp.	0,18	0,343	ns
	<i>Neurogonophus</i> sp.	0,14	0,341	ns
	<i>Potamodytes</i> sp.	0,19	0,411	ns
Dogbahê Donoukpa	<i>Corbula</i> sp.	0,39	0,001	***
	<i>Bithynia</i> sp.	0,32	0,011	*
	<i>Quadrivisio</i> sp.	0,26	0,038	*
	<i>Melanoides</i> sp.	0,22	0,093	.
	<i>Hydrobia</i> sp.	0,20	0,207	ns
	<i>Tanytarsus</i> sp.	0,18	0,487	ns
	<i>Polypedilum</i> sp.	0,17	0,414	ns
	<i>Gammarus</i> sp.	0,17	0,272	ns
	<i>Photis</i> sp.	0,15	0,399	ns
	<i>no species</i>			
Gangban Houedomey	<i>Macrobachim</i> sp.	0,34	0,001	***
	<i>Grandidierella</i> sp.	0,32	0,014	*
	<i>Cryptochironomus</i> sp.	0,15	0,441	ns
Kessounou	<i>Ablabesmya</i> sp.	0,31	0,114	ns
	<i>Chironomus</i> sp.	0,26	0,040	*
	<i>Culex</i> sp.	0,20	0,196	.
Webossou	<i>Pachymelania</i> sp.	0,19	0,316	ns
	<i>Centroptilum</i> sp.	0,18	0,262	ns

Comparativement à la saison des crues, moins de taxons (7) ont une corrélation significative en étiage. Il s'agit des taxons comme : *Dysticus sp.*, *Poissonia sp.*, *Potamida sp.*, *Zygonix sp.*, *Notonecta sp.*, *Corbula sp.*, *Anax sp.* De plus les corrélations des taxons avec la période d'étiage sont relativement faibles par rapport à leur corrélation à celle des crues (Tableau 2).

**Tableau 2.** Coefficient de corrélation biserial entre les taxons et les périodes (crue/étiage) Codes de Significativité: 0 \^\*\*\*, 0,001 \^\*\*, 0,01 \^\*, 0,05 \^., 0,1 \^ns \^ 1. Prob.≤0,500

Période	Taxons	stat	p.value	Sig.	Taxons	stat	p.value	Sig.
Crue	<i>Cryptochironomus</i> sp.	0,33	0,001	***	<i>Hydrobia</i> sp.	0,15	0,104	ns
	<i>Libellula</i> sp.	0,32	0,001	***	<i>Pseudagrion</i> sp.	0,15	0,015	*
	<i>Pseudocloeon</i> sp.	0,29	0,001	***	<i>Afromera</i> sp.	0,15	0,119	ns
	<i>Noterus</i> sp.	0,29	0,001	***	<i>Gammarus</i> sp.	0,14	0,095	.
	<i>Macrobachium</i> sp.	0,23	0,009	**	<i>Ephemerella</i> sp.	0,14	0,037	*
	<i>Paragomphus</i> sp.	0,22	0,003	**	<i>Aeshna</i> sp.	0,15	0,013	*
	<i>Potamida</i> sp.	0,19	0,018	*	<i>Thraulius</i> sp.	0,13	0,116	ns
	<i>Laccophilus</i> sp.	0,19	0,001	***	<i>Laccocoris</i> sp.	0,12	0,103	ns
	<i>Centroptiloides</i> sp.	0,19	0,011	*	<i>Stenelmis</i> sp.	0,12	0,185	ns
	<i>Hydaticus</i> sp.	0,17	0,031	*	<i>Microvelia</i> sp.	0,10	0,359	ns
	<i>Polypedilum</i> sp.	0,17	0,011	*	<i>Urothemis</i> sp.	0,10	0,349	ns
	<i>Indoplanorbis</i> sp.	0,17	0,008	**	<i>Aedes</i> sp.	0,10	0,307	ns
	<i>Tanytarsus</i> sp.	0,17	0,013	*	<i>Enochrus</i> sp.	0,10	0,300	ns
					<i>Hydraenopsis</i> sp.	0,15	0,014	*
		<i>Caenodes</i> sp.	0,15	0,011	*			
	<i>Quadrivisio</i> sp.	0,15	0,009	**				
Étiage	<i>Dysticus</i> sp.	0,22	0,009	**	<i>Elmis</i> sp.	0,12	0,240	ns
	<i>Potamida</i> sp.	0,20	0,022	*	<i>Gomphus</i> sp.	0,12	0,352	ns
	<i>Poissonia</i> sp.	0,20	0,022	*	<i>Coeriagrion</i> sp.	0,12	0,316	ns
	<i>Zygonix</i> sp.	0,19	0,020	*	<i>Polypedilum</i> sp.	0,12	0,337	ns
	<i>Notonecta</i> sp.	0,19	0,041	*	<i>Methles</i> sp.	0,12	0,307	ns
	<i>Corbula</i> sp.	0,19	0,037	*	<i>Quadrivisio</i> sp.	0,12	0,332	ns
	<i>Ephemera</i> sp.	0,18	0,052	.	<i>Enithares</i> sp.	0,12	0,324	ns
	<i>Anax</i> sp.	0,17	0,041	*	<i>Tanytarsus</i> sp.	0,12	0,233	ns
					<i>Grandidierella</i> sp.	0,12	0,413	ns
	<i>Hydroptila</i> sp.	0,17	0,097	.	<i>Sapho</i> sp.	0,12	0,242	ns
	<i>Pachymelania</i> sp.	0,15	0,139	ns	<i>Copelatus</i> sp.	0,11	0,424	ns
	<i>Hydroporus</i> sp.	0,15	0,112	ns	<i>Leptophlebia</i> sp.	0,11	0,388	ns
	<i>Halipus</i> sp.	0,15	0,143	ns	<i>Haemopsis</i> sp.	0,11	0,311	ns
	<i>Noterus</i> sp.	0,14	0,125	ns	<i>Pachymelania</i> sp.	0,10	0,410	ns
	<i>Tympanotonus</i> sp.	0,14	0,116	ns	<i>Centroptiloides</i> sp.	0,09	0,358	ns
	<i>Chironomus</i> sp.	0,13	0,245	ns	<i>Diplonychus</i> sp.	0,08	0,385	ns
	<i>Dineutus</i> sp.	0,13	0,347	ns				
	<i>Dryops</i> sp.	0,12	0,152	ns				

### Espèces indicatrices de stations et des saisons

Les valeurs indicatrices (IndVal) des taxons ou des combinaisons de taxons des stations sont présentées (Tableau 3). Les résultats ont été analysés



seulement pour les taxons et les paires de taxons ayant des valeurs de probabilité inférieures ou égales à 0,20. Ainsi, aucun taxon ou paires de taxons n'a été retrouvé comme indicateur des stations de Damè-wogon, Dogbahê, Gangban et Webossou au seuil de 5%. La paire de taxons *Cryptochironomus + Plea* sp., est indicatrice de la station Agonlin-lowé. Les taxons *Corbula* sp., *Quadriviso* sp., et les paires de taxon *Corbula + Melanoides* sp., *Macrobachium + Chironomus* sp., *Bythinia + Corbula* sp., *Melanoides + Chironomus* sp., *Hydrobia + Macrobachium* sp., et *Grandidierella + Macrobachium* sp., sont indicatrices de la station Donoukpa. Par ailleurs, le taxon *Corbula* sp., et la paire de taxon *Corbula + Melanoides* sp., ont les valeurs indicatrices les plus élevées (IndVal  $\geq$  0,50) pour la station Donoukpa.

Quant aux taxons *Macrobachium* sp., *Grandidierella* sp., et les paires de taxons *Macrobachium + Melanoides* sp., *Chironomus + Grandidierella* sp., *Grandidierella + Melanoides* sp., *Enochrus + Macrobachium* sp., et *Corbula + Macrobachium* sp., ils sont indicateur de la station Houedomey. Cependant, *Macrobachium* sp., et la paire *Macrobachium + Melanoides* sp., ont les valeurs indicatrices les plus élevées (IndVal  $\geq$  0,40) pour la station Houedomey.

Les paires de taxon *Melanoides + Chironomus* sp., et *Hydroporus + Chironomus* sp., sont indicatrices de la station Kessounou. Cependant seul le taxon *Chironomus* sp., et la paire de taxons *Melanoides+Chironomus* sp., ont les valeurs indicatrices les plus élevées pour la station Kessounou (IndVal > 0,30).

Enfin, aucun taxon ou paire de taxon n'est caractéristique de la station Gangban, tandis que les valeurs des taxons des stations Damè-wogon, Dogbahê et Webossou ne sont pas significatives pour en être indicateur.

Tableau 3. Valeur indicatrice (IndVal) des taxons ou des combinaisons de taxons des stations [A=Spécificité, B=Fidélité, Prob =Probabilité, Sig. = Niveau de significativité]

Codes de significativité: 0 `\*\*\*, 0.001 `\*\*, 0.01 `\*, 0.05 `', 0.1 `ns' 1 ; Prob. $\leq$ 0,200

Stations	Taxons ou combinaison de taxons	A	B	IndVal	Prob.	Sig.
Agonlin-lowé	<i>Cryptochironomus+Plea</i> sp.	0,707	0,167	0,343	0,049	*
	<i>Melanoides+Poissonia</i> sp.	0,455	0,167	0,275	0,185	ns
Damè-wogon	<i>Enochrus+Noteridae</i> sp.	0,667	0,111	0,272	0,195	ns
	<i>Corbula+Tympanotonus</i> sp.	1,000	0,111	0,333	0,102	ns
	<i>Baetis+Melanoides</i> sp.	0,285	0,389	0,333	0,195	ns
	<i>Amphiops+Leptocerus</i> sp.	0,857	0,111	0,309	0,110	ns
	<i>Coeriagrion+Melanoides</i> sp.	0,833	0,111	0,304	0,120	ns
	<i>Melanoides+Stenelmis</i> sp.	0,525	0,167	0,296	0,121	ns
	<i>Baetis+Stenelmis</i> sp.	0,779	0,111	0,294	0,052	.
	<i>Zygonix</i> sp.	0,383	0,222	0,292	0,151	ns
	<i>Tympanotonus</i> sp.	0,511	0,167	0,292	0,140	ns

	<i>Amphiops+Diplonychus</i> sp.	0,490	0,167	0,286	0,126	ns
	<i>Melanoïdes+Pseudocloeon</i> sp.	0,731	0,111	0,285	0,067	.
	<i>Bithynia+Stenelmis</i> sp.	0,711	0,111	0,281	0,054	.
Dogbahê	<i>Libellula+Poissonia</i> sp.	0,800	0,111	0,298	0,099	.
	<i>Enochrus+Leptocerus</i> sp.	0,613	0,111	0,261	0,164	ns
	<i>Hydroporus+Zygonix</i> sp.	0,679	0,056	0,194	0,200	ns
	<i>Potamodytes+Zygonix</i> sp.	0,679	0,056	0,194	0,200	ns

Tableau 3 (suite et fin). Valeur indicatrice (IndVal) des taxons ou des combinaisons de taxons des stations [A=Spécificité, B=Fidélité, Prob =Probabilité, Sig. = Niveau de significativité] Codes de significativité: 0 \\*\*\*, 0.001 \\*\*, 0.01 \\*, 0.05 \', 0.1 \ns \ 1 ; Prob.≤0,200

Stations	Taxons ou combinaison de taxons	A	B	IndVal	Prob.	Sig.
Donoukpa	<i>Corbula</i> sp.	0,399	0,722	0,537	0,002	**
	<i>Corbula+Melanoïdes</i> sp.	0,418	0,611	0,506	0,007	**
	<i>Melanoïdes</i> sp.	0,246	0,778	0,438	0,060	.
	<i>Macrobachium+chironomus</i> sp.	0,841	0,167	0,374	0,008	**
	<i>Bithynia+Corbula</i> sp.	0,493	0,278	0,370	0,049	*
	<i>Hydrobia+Macrobachium</i> sp.	0,541	0,222	0,347	0,027	*
	<i>Centroptilum+Nereis</i> sp.	1,000	0,111	0,333	0,112	ns
	<i>Bithynia+Culex</i> sp.	0,481	0,222	0,327	0,086	.
	<i>Grandidierella+Macrobachium</i> sp.	0,479	0,222	0,326	0,048	*
	<i>chironomus</i> sp.	0,322	0,278	0,299	0,158	ns
	<i>Quadrivisio</i> sp.	0,760	0,111	0,291	0,045	*
	<i>Quadrivisio+Corbula</i> sp.	0,679	0,111	0,275	0,056	.
	Gangban	no species				
Houedomey	<i>Macrobachium</i> sp.	0,397	0,421	0,409	0,008	**
	<i>Macrobachium+Melanoïdes</i> sp.	0,507	0,316	0,400	0,010	**
	<i>Chironomus+Melanoïdes</i> sp.	0,333	0,474	0,397	0,092	.
	<i>Chironomus+Grandidierella</i> sp.	0,674	0,211	0,377	0,030	*
	<i>Grandidierella</i> sp.	0,663	0,211	0,374	0,032	*
	<i>Grandidierella+Melanoïdes</i> sp.	0,650	0,211	0,370	0,031	*
	<i>Enochrus+Macrobachium</i> sp.	0,785	0,158	0,352	0,038	*
	<i>Corbula+Macrobachium</i> sp.	0,451	0,263	0,344	0,043	*
	<i>Libellula+Macrobachium</i> sp.	0,541	0,211	0,337	0,069	.
	<i>Chironomus+Macrobachium</i> sp.	0,342	0,316	0,329	0,086	.
	<i>Baetis+Grandidierella</i> sp.	0,587	0,158	0,304	0,056	.
	<i>Corbula+Chironomus</i> sp.	0,387	0,211	0,285	0,181	.
	Kessounou	<i>Chironomus</i> sp.	0,506	0,222	0,335	0,022
<i>Melanoïdes+Chironomus</i> sp.		0,506	0,222	0,335	0,022	*
<i>Ablabesmya</i> sp.		1,000	0,111	0,333	0,092	.
<i>Ablabesmya+Chironomus</i> sp.		1,000	0,111	0,333	0,092	.
<i>Ablabesmya+Corbula</i> sp.		1,000	0,111	0,333	0,092	.
<i>Hydroporus+Pristinia</i> sp.		0,760	0,111	0,291	0,040	.
<i>Culex+Tubifex</i> sp.		0,606	0,111	0,260	0,093	.
Webossou	<i>Amphiops+Libellula</i> sp.	0,545	0,167	0,301	0,151	ns
	<i>Bulinus+Noterus</i> sp.	0,444	0,167	0,272	0,194	ns

Les valeurs indicatrices des taxons et paires de taxons pour chaque période sont présentées (Tableau 4). Comme déjà observées au niveau des corrélations bisérialles, il y a eu plus de taxons ou de paires de taxons indicateurs de la saison des crues qu'il n'y en a pour la saison d'été. Au

total 21 taxons ou paires de taxons sont indicateurs de la période des crues. Ceux ayant des valeurs indicatrices au moins égales à 0,50 sont par ordre d'importance décroissante *Libellula* sp., *Cryptochironomus* sp., la paire *Libellula*+*Melanoïdes* sp., la paire *Baetis* + *Libellula* sp., *Macrobachium* + *Pseudocloeon* sp.

Les taxons ou paires de taxons indicateurs de la période d'étiage sont par ordre d'importance décroissante *Corbula* sp., *Corbula* + *Melanoïdes* sp., *Diplonychus* + *Melanoïdes* sp., *Chironomus* + *Diplonychus* sp., et *Chironomus* + *Dysticus* sp. Les deux premiers sont les seuls ayant des valeurs indicatrices au moins égales à 0,50 (Tab. IV).

Tableau 4. Valeur indicatrice (IndVal) des taxons ou des combinaisons de taxons des saisons [A=Spécificité, B=Fidélité, Prob =Probabilité, Sig. = Niveau de significativité]  
Codes de significativité: 0 `\*\*\*, 0,001 `\*\*, 0,01 `\*, 0,05 `., 0,1 `ns ` ; IndVal $\geq$ 0,400

Taxons ou combinaison de		A	B	IndVal	Prob.	Sig.
Période	taxons					
Crue	<i>Libellula</i> sp.	0,946	0,521	0,702	0,001	***
	<i>Cryptochironomus</i> sp.	0,947	0,354	0,579	0,001	***
	<i>Libellula</i> + <i>Melanoïdes</i> sp.	0,978	0,292	0,534	0,001	***
	<i>Baetis</i> + <i>Libellula</i> sp.	0,965	0,271	0,511	0,001	***
	<i>Macrobachium</i> sp.	0,754	0,333	0,501	0,005	**
	<i>Pseudagrion</i> sp.	1,000	0,250	0,500	0,001	***
	<i>Chironomus</i> + <i>Macrobachium</i> sp.	0,842	0,292	0,495	0,001	***
	<i>Macrobachium</i> + <i>Melanoïdes</i> sp.	0,869	0,271	0,485	0,001	***
	<i>Hydrobia</i> sp.	0,798	0,271	0,465	0,001	***
	<i>Hydrobia</i> + <i>Melanoïdes</i> sp.	1,000	0,208	0,456	0,001	***
	<i>Libellula</i> + <i>Macrobachium</i> sp.	0,951	0,208	0,445	0,001	***
	<i>Chironomus</i> + <i>Libellula</i> sp.	0,785	0,250	0,443	0,011	*
	<i>Corbula</i> + <i>Hydrobia</i> sp.	1,000	0,188	0,433	0,001	***
	<i>Hydrobia</i> + <i>Libellula</i> sp.	0,877	0,208	0,427	0,001	***
	<i>Noterus</i> sp.	1,000	0,167	0,408	0,001	***
	<i>Cryptochironomus</i> + <i>Plea</i> sp.	1,000	0,167	0,408	0,001	***
	<i>Libellula</i> + <i>Noterus</i> sp.	1,000	0,167	0,408	0,001	***
	<i>Melanoïdes</i> + <i>Noterus</i> sp.	1,000	0,167	0,408	0,001	***
	<i>Corbula</i> + <i>Libellula</i> sp.	0,881	0,188	0,406	0,004	**
	<i>Corbula</i> + <i>Cryptochironomus</i> sp.	0,962	0,167	0,400	0,003	**
<i>Chironomus</i> + <i>Hydrobia</i> sp.	0,767	0,208	0,400	0,010	**	
Etiage	<i>Corbula</i> sp.	0,717	0,660	0,688	0,004	**
	<i>Corbula</i> + <i>Melanoïdes</i> sp.	0,693	0,526	0,604	0,019	*
	<i>Chironomus</i> + <i>Corbula</i> sp.	0,657	0,371	0,494	0,098	.
	<i>Baetis</i> + <i>Corbula</i> sp.	0,718	0,309	0,471	0,062	.
	<i>Diplonychus</i> + <i>Melanoïdes</i> sp.	0,894	0,227	0,450	0,015	*
	<i>Chironomus</i> + <i>Diplonychus</i> sp.	0,891	0,216	0,439	0,010	**
	<i>Chironomus</i> + <i>Noterus</i> sp.	0,768	0,237	0,427	0,062	.
	<i>Noterus</i> sp.	0,721	0,247	0,422	0,109	ns
	<i>Chironomus</i> + <i>Dysticus</i> sp.	0,984	0,165	0,403	0,010	**
	<i>Diplonychus</i> sp.	0,655	0,247	0,403	0,164	ns

## Couverture des taxons indicateurs en fonction des périodes

La couverture des taxons indicateurs pour chaque période (Figure 2) est donnée et compare pour chaque période la couverture pour les singletons, les paires de taxons et toutes les combinaisons possibles. La couverture au niveau des deux périodes est beaucoup plus élevée. Elle reste maximale (100 %) et ne décroît qu'au-delà de 0,6 pour A (spécificité). Les couvertures sont presque identiques pour les paires de taxons que pour les combinaisons, les singletons ayant relativement les couvertures les plus faibles. Cependant, la couverture semble décroître plus vite en étiage qu'en crue.

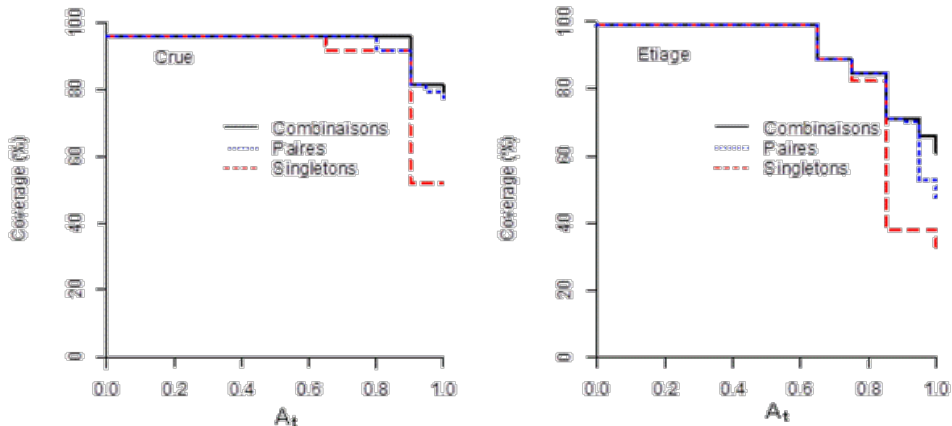


Figure 2. Taux de couverture des saisons en fonction du type d'analyse de taxons indicateurs – Combinations = toutes les combinaisons possibles, Paires = Combinaison en paires, Singletons = Un taxon indicateur.

## Couverture des taxons indicateurs en fonction des stations

La couverture des taxons indicateurs pour chaque station (Figure 3) est présentée, et pour chaque station, elle compare la couverture pour les singletons, les paires de taxons et toutes les combinaisons possibles. Les couvertures décroissent logiquement à mesure que l'on augmente la composante A (spécificité). En général, si l'on souhaite avoir des valeurs élevées de la composante  $A_t$ , il n'existe pas assez d'indicateurs valides pour couvrir toute une station. Cette limitation est plus sévère si ce sont des singletons de taxons qui sont considérés.

Autrement, lorsqu'on devient plus strict dans la sélection des espèces indicatrices, la couverture des taxons ou de combinaisons de taxons indicateurs diminue. Les couvertures sont en général plus élevées pour les stations Damè-wogon, Donoukpa et Houedomey.

Quelle que soit la valeur de A, la couverture des singletons est nulle pour les stations Dogbahê, Agonlin-lowé et Webossou. Quelle que soit la valeur de A la couverture des paires de taxons est nulle pour la station Gangban. Les différences de couverture entre les paires de taxons et les

combinaisons sont faibles pour les stations Kessounou, Webossou, Houedomey et Dogbahê comparées aux stations Damè-wogon et Donoukpa.

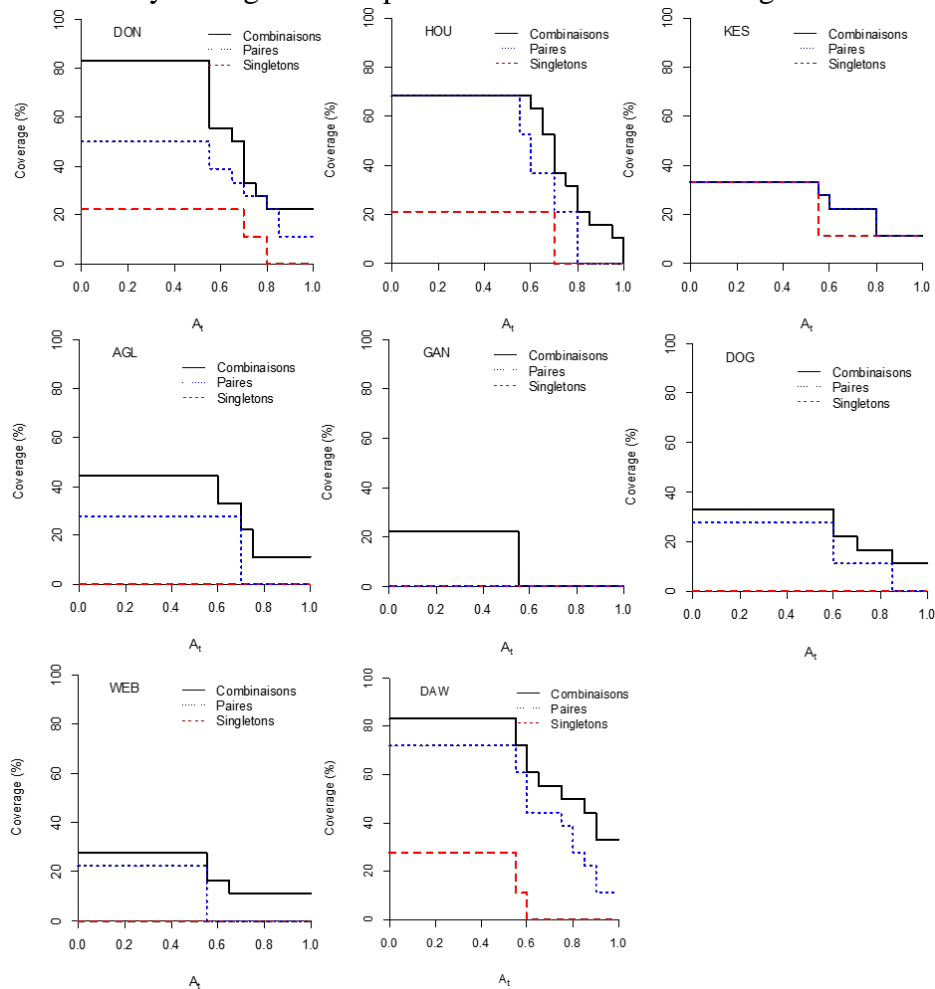


Figure 3. Taux de couverture des stations en fonction du type d'analyse de taxons indicateurs – Combinaisons = toutes les combinaisons possibles, Paires = Combinaison en paires, Singletons = Une espèce indicatrice.

Code des stations : AGL=Agonlin-Lowé ; DAW=Damè-wogon; DOG=Dogbahê; DON=Donoukpa; GAN=Gangban; HOU=Houedomey; KES=Kessounou; WEB=Webossou

## Discussion

Les espèces indicatrices sont des espèces qui sont utilisées comme indicateurs écologiques des types de communauté ou d'habitat, des conditions ou des changements environnementaux. Cette étude sur l'analyse de la valeur indicatrice des taxons macrobenthiques du delta de l'Ouémé nous apporte plus de connaissances sur la distribution spatiale et saisonnière de ces organismes dans l'écosystème. Les macroinvertébrés ayant des profils biologiques particuliers, ils présentent donc des distributions spatio-

temporelles caractéristiques au milieu d'étude. Ainsi, bien que l'étude soit axée sur la valeur des taxons indicateurs, l'utilisation d'un indice de corrélation comme la corrélation ponctuelle bisériale nous a permis de montrer que les taxons fortement corrélés ont une préférence pour les stations riches en matières organiques et minéralisées. Ces stations notamment Donoukpa, Houedomey et Kessounou situées en aval du delta du fleuve Ouémé constituent le réceptacle des eaux provenant du bassin supérieur du fleuve qui est une zone fortement agricole et soumise aux effluents domestiques. Par ailleurs, le drainage des eaux pendant les saisons de crue entraîne le dépôt de particules fines et de débris végétaux, ce qui justifie la présence des taxons comme *Quadrivisio* sp., *Grandidierella* sp., *Corbula* sp. La préférence de ces taxons à ces stations caractérisées par ce type d'habitat pourrait être assimilée à la disponibilité de la nourriture et des conditions favorables qui permettent la recolonisation du milieu notamment des Mollusques et des crustacés (Olomukoro & Tochukwu, 2006 ; Foto et al, 2010).

Aussi, la faune aquatique du delta étant soumise à un stress résultant de l'alternance saisonnière faite de séquences de crue et d'étiage (Lalèyè, 2004 ; Chikou, 2006), il était important de déterminer le degré d'association de ces organismes macrobenthiques dans un tel contexte. Ainsi, l'analyse a révélé que certains taxons ont une préférence marquée pour la saison des crues plutôt que la saison d'étiage. En effet, Vingt-un (21) taxons représentés essentiellement par les Coléoptères (*Hydroporus*, *Noterus*, *Dysticus*), les odonates (*Libellula*) et les Diptères ont donné un coefficient de corrélation bisériale positif et significatif pendant la saison des crues. Par contre en étiage, seuls cinq taxons représentés essentiellement par les Hétéroptères (*Diplonychus*), Diptères (*Chironomus*), et les Gastéropodes (*Melanoides*) sont significatifs et positivement corrélés à cette saison. Ainsi, la saison des crues engendre une productivité élevée et une couverture végétale plus dense des habitats, ce qui favorise l'augmentation de l'abondance des taxons (Adandédjan, 2010). De nombreuses études menées en rivière ont déjà montré que la pluie favorise le recrutement de nombreuses espèces qui sont essentiellement les larves d'Insectes (Gnohossou, 2006 ; Alhou, 2007 ; Foto et al, 2010).

L'application de la méthode IndVal a permis de trouver plusieurs taxons indicateurs significatifs, mais variable suivant les stations d'échantillonnage et les saisons. L'étude a montré que les taxons indicateurs sont répartis suivant un gradient amont-aval des différentes stations échantillonnées le long du delta. Les taxons ou combinaisons de taxons indicateurs significatifs sont retrouvés en majorité dans les stations en aval du delta (Donoukpa, Houedomey, Kessounou et Agonlin-lowé), tandis que les autres stations en amont (Damè-wogon, Webossou et Dogbahè) sont

caractérisées par des taxons ou combinaison de taxons indicateurs mais non significatifs. Ainsi dans l'illustration de la valeur des taxons indicateurs seuls ceux qui sont significatifs sont considérés comme caractéristiques. De Cáceres & Legendre (2009) ont déjà montré que l'étude de la relation entre une espèce et un site ou groupe de sites n'est complète que si après le calcul des valeurs indicatrices, l'espèce est significative c'est-à-dire préfère les conditions environnementales qui prévalent dans le milieu. Cette significativité a pour avantage de préciser la force de l'association entre le groupe site et l'espèce considérée. De plus, pour Usseglio-Polatera (1999), l'effet station dépend de la structure et de la composition de la mosaïque d'habitats offerte aux macroinvertébrés. Or, étant donné que le cours d'eau s'élargit d'amont en aval, la végétation des berges s'accroît offrant ainsi des habitats propices pour le développement des organismes (Ahouansou Montcho, 2011).

Par ailleurs, suivant la période hydrologique du delta, plusieurs taxons indicateurs sont enregistrés pendant la crue que l'étiage. La plupart de ces taxons ou combinaison de taxons indicateurs obtenus aussi bien au niveau des stations que des saisons appartiennent essentiellement aux Diptères (Chironomidae), Odonates (Libellulidae, Belostomatidae), Ephéméroptères (Baetidae), Coléoptères (Noteridae, Hydrophilidae) Mollusques (Corbulidae, Thiaridae) et aux Crustacés (Potamonidae, Aoridae). On remarque donc que les insectes sont fortement représentés dans les taxons indicateurs du delta. Les Chironomidae sont plus abondants surtout dans la dérive des cours d'eau spécialement pendant la période des hauts débits. Ils sont considérés comme les colonisateurs rapides et sont bien adaptés à vivre dans les habitats où l'eau circule rapidement (Trivinho - Strixino & Strixino, 2005 ; Hose et al, 2007). L'apparition des groupes trophiques comme les filtreurs et les détritivores en aval est surtout une conséquence de la forte présence de la matière organique résultant du phénomène de minéralisation dans cette partie du delta.

La détermination des couvertures des taxons indicateurs est considérée comme la relation entre la valeur prédictive positive minimum requise pour des indicateurs valides (A) et la couverture résultante d'un site ou groupe de site (De Cáceres et al, 2012). Les valeurs obtenues lors de l'examen de la couverture des taxons indicateurs, montre que quelle que soit la saison hydrologique considérée, il existe une forte relation de fidélité en ce qui concerne les combinaisons, les paires de taxons et les singletons. Cependant du fait que la couverture décroît plus vite pendant l'étiage laisse supposer que la probabilité de trouver de nouveaux taxons indicateurs est faible (Walther & Moore, 2005). Les chiffres des couvertures dans les différentes stations montrent également que les taxons indicateurs des stations Donoukpa, Houedomey et Damè-wogon affichent une diversité

spécifique élevée lorsque des combinaisons de taxons sont considérées. En outre, lorsque des combinaisons de taxons sont utilisées pour apprécier la couverture d'un site ou groupe de sites, la combinaison qui obtient la plus haute valeur d'association est celle qui correspond le mieux au lieu où la présence du taxon est observée (De Cáceres & Legendre, 2009). Cependant, comme cela a été remarqué au niveau des saisons, la couverture des singletons est très faible voire nulle dans les différentes stations indiquant ainsi que les possibilités d'obtention de la richesse spécifique plus élevée n'existent plus.

L'illustration de ces taxons à partir de leur valeur indicatrice, révèle des taxons à caractère polluo-résistant caractéristiques de certaines stations notamment celles en aval du delta. Cependant, l'existence de quelques taxons polluo-sensibles obtenus laisse supposer une capacité de résilience du milieu face aux nombreux processus de dégradation qu'il subit. Par ailleurs, sur le plan spatial, les différents taxons indicateurs se sont révélés spécialistes d'une station, montrant ainsi la forte hétérogénéité qu'offre la structure de l'habitat du milieu à la mosaïque benthique étudiée. Beaucoup de taxons se sont également révélés caractéristiques de la saison de crue, ce qui dénote de la capacité des organismes à proliférer dans de telles conditions environnementales qui leur offre en particulier un habitat fortement végétalisé propice à leur développement. Par ailleurs, les espèces indicatrices constituent un bon indicateur symétrique et leur présence contribue à la spécificité de la communauté et celle-ci peut comme l'affirme Dufrêne (2004), prédire la présence de ces espèces.

## **Conclusion**

La présente étude a mis en évidence les taxons indicateurs des communautés de macroinvertébrés du delta de l'Ouémé. Les différentes méthodes utilisées à savoir les indices de corrélation bisériale, l'indice IndVal (*Indicator Value Index*) et les couvertures des espèces dans cette étude représentent une amélioration importante dans l'approche des espèces indicatrices en ce sens qu'elles augmentent la quantité d'information qui en résulte.

## **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.



## References:

1. Adandédjan, D., Lalèyè, P., Ouattara, A. & Gourène, G., (2010) Distribution of Benthic Insect Fauna in a West African Lagoon: The Porto-Novo Lagoon in Benin. *Asian Journal of Biological Sciences* 4 (2): 116- 127, 2011.
2. Ahouansou Montcho, S., (2009) Diversité et Exploitation des poissons de la rivière Pendjari (Bénin, Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat. Université d'Abomey-calavi, Bénin, 234p.
3. Alhou, B., (2007) Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger. Thèse de doctorat. Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix Namur. 300p.
4. Bellan, G., Bellan-Santini, D., & Dauvin, J.C., (2002) Indicateurs et indices de qualité des milieux. Gestion intégrée des zones côtières : outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturels. *Patrimoines Naturels*, 57: 158-163.
5. Borja, A., Franco, J., & Perez, V., (2000) A marine biotic index to Estbaliz the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.
6. Chikou, A., (2006) 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. 459 p.
7. De Caceres, M., Font, X., & Oliva, F., (2008) Assessing species diagnostic value in large data sets: A comparison between phi-coefficient and Ochiai index. *Journal of Vegetation Science*, 19(6):779–788.
8. De Caceres, M., & Legendre, P., (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. Ecology, URL. <http://sites.google.com/site/miqueldecaceres/>
9. De Caceres, M., Legendre, P., Wiser, S.K., & Brotons, L., (2012) Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution* 2012, 3, 973–982.
10. Dufrêne, M., (2004) Réseau écologique-Structure écologique principale: concept-structure- stratégie d'élaboration. Document de travail, version 1.0, 25p.
11. Dufrêne, M., & Legendre, P., (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345–366.
12. Foto, M.S., Zebase, T.S.H., Nyamsi, T.N.L., & Njiné, T., (2010) Macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau Nga: Essai de

- caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques. *European Journal of Scientific Research*, 43: 96-106.
13. Gnohossou, P.M., (2006) 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. Formation doctorale: SEVAB. 169 p.
  14. Grall, J., & Glémarec, M., (1997) Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Est. Coastal Shelf Science*, 44: 43-53.
  15. Hose, G.C., Walter, T., & Brooks, A.J., (2007) Short-term colonization by macroinvertebrates of cobbles in main channel and inundated stream bank habitats. *Hydrobiologia* 592:513–522.
  16. Lalèyè, P., Chikou, A., Philippart, J.C., Teugels, G.G., & Vandewalle, P., (2004) Etude de la diversité ichtyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybium* 28(4): 329-339.
  17. Legendre, P., & Legendre, L., (2012) Numerical ecology, 3rd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam. McGeoch, M. A. & S. L. Chown. 1998. Scaling up the value of bioindicators. *Trend Ecol. Evol.* 13: 46-47.
  18. Olomukoro, J.O., & Nduh-Tochukwu, O.C., (2006) Macroinvertebrate colonization of artificial substrata II: weeds and plant stems. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5 (6): 990-995.
  19. R Core Team., (2015) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
  20. Salako, V.K., et al., (2015) Latitudinal distribution, co-occurring tree species and structural diversity of the threatened palm *Borassus aethiopum* (Arecaceae) in Benin, West Africa. *Plant Ecology and Evolution* 148:335-349
  21. Sossou-Agbo, A.L., (2013) 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. 361p
  22. Touzin, D., (2008) Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval Canada. Thèse d'Ingénieur Agronome. 40 p.
  23. Trivinho-Strixino, S., & Strixino, G., (2005) Chironomidae (Diptera) do Rio Ribeira Divisa dos Estados de São Paulo e Paraná numa avaliação ambiental faunística. *Entomologia y Vectores (Brazil)* 12: 243-253.

24. Usseglio-Polatera, P., Thomas, S., Beisel, J.N., & Moreteau, J.C., (1999) Illustration de la valeur indicatrice des caractéristiques biologiques des macroinvertébrés d'une communauté benthique à différentes échelles d'observation. *Annls Limnol.* 35 (1) 1999: 71-80
25. Walther, B.A., & Moore, J.L., (2005) The concepts of bias, precision, and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography* 28: 815–829.