

Abondance, diversité et valeur indicatrice des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau forestier du bassin versant de la Mabounié au Gabon

Blaise Rollinat MBOYE^{1*}, Aubin Armel KOUMBA², Jean DZAVI³, Ghislain TCHINGA¹,
Samuel FOTO MENBOHAN⁴ et Jean Daniel MBEGA¹

¹ Laboratoire d'Hydrobiologie et Ichtyologie de l'Institut de Recherches Agronomiques et Forestières (IRAF),
BP 2246 Libreville, Gabon

² Institut de Recherches en Ecologie Tropicale (IRET), BP 13354 Libreville, Gabon

³ Centre de Recherches en Hydrologie de l'Institut de Recherches des Mines et de Géologie,
BP 4110 Yaoundé, Cameroun

⁴ Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
BP 812, Cameroun

* Correspondance, courriel : mblaiserollinat@gmail.com

Résumé

Cette étude porte sur la diversité et la valeur indicatrice des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin versant de la Mabounié. Les organismes ont été échantillonnés sur 16 stations pendant 13 mois selon l'approche multihabitats à l'aide d'un filet Surber de 30 cm X 30 cm. La diversité des macroinvertébrés a été analysée à partir des indices de Shannon, Simpson et Piélu et le pouvoir indicateur par la méthode IndVal. Les résultats montrent une faune abondante et diversifiée, organisée autour de 91 familles, 202 espèces dont les valeurs des indices écologiques ainsi que ceux de la physicochimie des eaux témoignent des eaux de bonne qualité. A la quatrième partition, l'analyse IndVal a identifié 24 espèces bioindicatrices spécialistes. Trois espèces de l'ordre des Ephemeroptères devancent celles de l'ordre des Plécoptères et des Trichoptères. A la tête de ces bioindicateurs se trouve *Tricorythus* sp., très affilié aux substrats minéraux de grande taille. Cette étude apporte des connaissances nouvelles sur la hiérarchie des bioindicateurs des cours d'eau forestiers non anthropisés et leur affinité aux biotopes de même qu'elle permettra aux gestionnaires des rivières de mieux évaluer la qualité des eaux des rivières forestières.

Mots-clés : *macroinvertébrés, bioindicateurs, Tricorythus, rivière forestière, Mabounié.*

Abstract

Abundance, diversity and indicator value of benthic macroinvertebrates in forest streams in the Mabounié watershed in Gabon

This study focuses on the diversity and indicator value of benthic macroinvertebrates in the rivers of the Mabounié watershed. Organisms were sampled at 16 stations for 13 months using the multi-habitat approach and a 30 cm X 30 cm Surber net. Macroinvertebrate diversity was analysed using Shannon, Simpson and Piélu indices and indicator power by the IndVal method. The results show an abundant and

diversified fauna, organized around 91 families, 202 species whose values of the ecological indices as well as those of the physicochemistry of the waters testify to good water quality. At the fourth partition, the IndVal analysis identified 24 specialist bioindicator species. Three species of the order Ephemeroptera are ahead of those of the order Plecoptera and Trichoptera. At the head of these bioindicators is *Tricorythus sp.* highly affiliated with large mineral substrates. This study provides new knowledge on the hierarchy of bioindicators of non-humanized forest streams and their affinity to biotopes, and will enable river managers to better assess the water quality of forest rivers.

Keywords : *macroinvertebrates, bioindicators, Tricorythus, forest river, Mabounié.*

1. Introduction

L'intégrité écologique d'un cours d'eau combine les intégrités chimique, physique et biologique et la dégradation d'une ou de plusieurs de ces composantes se reflète généralement dans les communautés biologiques [1]. Aussi, la connaissance des espèces spécifiquement rencontrées dans les cours d'eau et la détermination de leurs préférences écologiques (conditions géoclimatiques naturelles, influence de l'altération anthropique) est un préalable à la mise au point des outils de biosurveillance [2, 3]. Aujourd'hui, les macroinvertébrés benthiques, organismes sédentaires et diversifiés, passant une grande partie de leur cycle de vie dans l'eau, sont les meilleurs bioindicateurs. Leur structure, leur abondance, leur diversité reflètent des conditions de suivi environnementales et leur valeur indicatrice sont souvent corrélés avec des sites ou groupes de sites donnés fournissant des caractéristiques fonctionnelles du milieu étudié [4]. En Afrique, quelques travaux se sont focalisés sur le pouvoir indicateur des macroinvertébrés benthiques en lagune et dans les estuaires [5], en milieu périurbain [6]. A notre connaissance, aucune étude n'a encore été menée dans ce sens pour les espèces de macroinvertébrés benthiques bioindicateurs des cours d'eau forestier dans un environnement peu anthropisés. La présente étude, conduite pour la première fois au Gabon de novembre 2015 à novembre 2016, dans 10 cours d'eau forestier du bassin versant de la Mabounié vise à identifier et hiérarchiser les bioindicateurs à partir de la méthode Indicator Species Analysis (IndVal) développée par Dufrêne et Légendre.

2. Matériel et méthodes

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

La présente étude a été réalisée de novembre 2015 à novembre 2016 dans 16 stations localisées dans 10 cours d'eau du bassin versant de la Mabounié. Ce bassin versant est situé au centre ouest du Gabon, entre les coordonnées géographiques : 10°28'12" Est et 10°37'00 " Est, puis 0°41'12" Sud et 0°48'18" Sud (**Figure 1**). Le bassin versant de la Mabounié a une morphologie de type collinéen avec des altitudes comprises entre 17 et 97 m. C'est une zone soumise à un climat équatorial de transition, chaud et humide, caractérisé par de faibles variations de températures ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$), des précipitations abondantes et régulières variant entre 1 800 mm et 2 200 mm, on y observe une alternance de deux saisons de pluies et de deux saisons sèches d'inégale répartition [7].

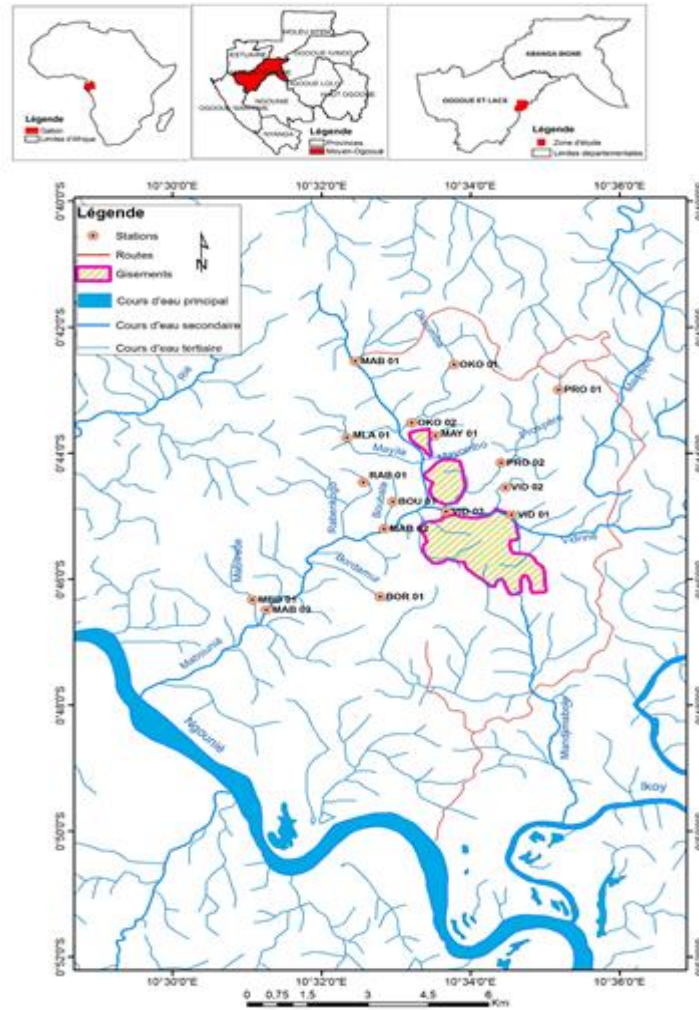


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude et des stations d'échantillonnage

2.2. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau des stations d'étude

Pour mieux comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution des taxa des organismes benthiques, les paramètres physico-chimiques des 16 stations d'échantillonnage ont été mesurés. Parmi ces stations, il y a 5 stations choisies sur des tronçons de cours d'eau présentant un seuil à substrat minéral de grande taille (galets à plus), 2 stations avec substrat de type granulat et 9 stations formées de sable grossier. Les mesures des paramètres physico-chimiques (température, conductivité, oxygène dissous et pH) ont été faites *in situ* à l'aide d'un multiparamètre portable (YSI Professionnel Plus). Cependant, pour l'oxygène dissous et l'azote ammoniacal, nous avons fait des prélèvements d'eau dans chaque station. Par la suite, ces échantillons d'eau ont été analysés au laboratoire avec un spectrophotomètre PF-12.

2.3. Mesure de la granulométrie des substrats minéraux des stations d'étude

Au niveau de chaque station, 1 kg de sédiment a été collecté dans la partie seuil et la partie mouille à l'aide du cadre du filet Surber puis conservé dans un sac zip. L'analyse granulométrique a été réalisée au laboratoire de pédologie de l'Institut de Recherches Agronomiques et Forestières (IRAF). Après séchage et tamisage dans trois tamis métalliques de mailles décroissantes (20 mm, 2 mm et 0,2 mm), le substrat a été caractérisé selon l'échelle granulométrique de Wentworth modifiée [8].

2-4. Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

La collecte des macroinvertébrés benthiques (MIB) a été faite selon l'approche multi-habitat [9] en utilisant un filet Surber de 30 cm x 30 cm, muni d'une toile de vide de maille 500 μm et de 60 cm de long. En pratique, il s'agit de poser délicatement le filet Surber sur le microhabitat identifié en plaçant l'ouverture du filet dans le sens contraire de l'écoulement des eaux. Puis, ce substrat du fond est agité et raclé méticuleusement sur une profondeur de 2 à 3 cm. Tous les éléments minéraux et organiques de petite taille sont entraînés dans le fond du filet Surber. Par la suite, ce filet est retiré de l'eau. Au total, 5 prélèvements sont réalisés mensuellement au niveau de chaque station, à raison de 2 prélèvements dans la partie « seuil » et 3 prélèvements dans la partie « mouille » [10].

2-5. Tri et conservation des échantillons de macroinvertébrés

Après avoir retiré le filet Surber de l'eau, le contenu de chaque prélèvement est fractionné dans une série de tamis de mailles 1 cm, 500 μm et 250 μm . Les contenus de ces tamis sont vidés progressivement, dans des plateaux. Les organismes directement visibles ($\geq 250 \mu\text{m}$) sont retirés en utilisant une pince entomologique puis conservés dans des piluliers de 50 cL contenant de l'alcool dilué à 70°. Enfin, tous ces échantillons sont ramenés au laboratoire en vue de leur identification.

2-6. Identification des macroinvertébrés benthiques

Au laboratoire, les macroinvertébrés de chaque station ont été rincés abondamment avec de l'eau courante et classés selon leur aspect morphologique. La détermination des organismes benthiques a été faite sous une loupe binoculaire de marque Nikon en utilisant les clés d'identification standards [11]. Globalement, les identifications des spécimens ont été faites pour certains individus jusqu'au niveau générique, mais pour d'autres, jusqu'à l'espèce.

2-7. Analyse des données

Les données obtenues sur les macroinvertébrés benthiques ont été saisies et organisées dans le tableur Excel 2013. L'abondance et la richesse taxonomique ont été évaluées puis présentées sous forme de graphiques et de tableau à partir d'Excel 2013. De plus, la diversité des macroinvertébrés benthiques des stations échantillonnées a été estimée via les indices de Shannon, de Simpson et de Pielou [12]. En effet, l'indice de Shannon qui permet d'évaluer l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu a été calculé suivant la **Formule** ci-dessous :

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

P_i étant l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce : $p_i = n_i/N$; S = nombre total d'espèces ; n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ; N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

Par contre, l'indice de Simpson a été utilisé afin de calculer la probabilité que deux individus sélectionnés aléatoirement dans un milieu donné soient de la même espèce. Il a été déterminé en utilisant la formule ci-après :

$$L = \sum [n_i(n_i-1)] / [N(N-1)] \quad (2)$$

pi est la proportion des individus dans l'espèce i ; ni le nombre d'individus dans l'espèce i ; N le nombre total d'individus. ni étant le nombre d'individus de l'espèce i donnée et N, le nombre total d'individus.

Par ailleurs, l'indice d'équitabilité de Pielou a été utilisé pour identifier l'équilibre des peuplements macrobenthiques. Son calcul a été fait en se servant de la **Formule** suivante :

$$E = H'/H_{\max} = H'/\log_2 S ; \text{ avec } S : \text{ nombres d'espèces observées} \quad (3)$$

Enfin, pour identifier la valeur indicatrice des organismes benthiques échantillonnés, la totalité des taxons identifiés a été utilisée. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode Indicator Species Analysis (IndVal) [13]. C'est une méthode qui montre les relations entre les organismes benthiques inféodés à un site donné et leur taux de couverture par rapport aux nombres de relevés réalisés. Elle combine à la fois la fréquence et l'abondance (recouvrement) pour l'évaluation des caractères indicateurs des espèces. En pratique, l'analyse IndVal s'est appuyée sur **l'Équation** suivante :

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100 \quad (4)$$

A_{ij} : N individus ij / N individus i) mesure la spécificité de l'espèce à ne se déployer que dans un groupe donné et le deuxième facteur (B_{ij} = N sites ij / N sites j), exprime la fidélité calculée à partir de la fréquence relative d'occurrence de l'espèce i dans les sites du groupe j.

La valeur indicatrice de l'espèce est la plus grande valeur IndVal observée dans un groupe. Le test de permutation de Monte-Carlo et celui de significativité de Student à 1 % ont permis de vérifier si la préférence d'une espèce pour un type d'habitat est significativement plus élevée que ne laisse supposer une distribution aléatoire [opcit]. L'analyse a été réalisée avec l'interface IndVal version 2.0 pour Windows disponible sur le site : <http://biodiversite.wallonie.be/outils/indval/>.

3. Résultats

3-1. Qualité des eaux des cours d'eau du bassin versant de la Mabounié

Les valeurs moyennes et les écart-types de la température, du pH, de la saturation en oxygène dissous, de la conductivité et de l'azote ammoniacal sont présentées au le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Valeurs moyennes des paramètres physicochimiques enregistrées dans chaque station d'échantillonnage au cours de l'étude

Code station	Nom cours d'eau	Température (°C)	pH (UC)	Saturation (%)	Conductivité (µS/cm)	NH ₄ ⁺ (mg/l)
MAB01	Mabounié	23,56 ± 1,25	6,25 ± 0,58	71,76 ± 15,71	32,09 ± 6,65	0,11 ± 0,0
MAB02	Mabounié	24,07 ± 1,20	6,05 ± 0,63	64,67 ± 12,05	59,06 ± 27,72	0,18 ± 0,08
MAB03	Mabounié	23,97 ± 1,54	6,24 ± 0,65	60,65 ± 4,99	35,33 ± 14,04	0,2 ± 0,08
OKO01	Okoumba	23,73 ± 1,08	6,29 ± 0,32	68,50 ± 15,29	34,45 ± 5,39	0,07 ± 0,0
OKO02	Okoumba	23,54 ± 1,71	6,20 ± 0,48	66,26 ± 13,10	25,27 ± 11,07	0,09 ± 0,0
PRO01	Prospère	23,71 ± 1,55	6,65 ± 0,76	62,28 ± 3,02	53,73 ± 8,36	0,08 ± 0,0
PRO02	Prospère	23,53 ± 1,08	6,31 ± 0,32	66,22 ± 15,29	57,32 ± 5,39	0,13 ± 0,07
VID01	Vidrine	23,99 ± 1,36	6,53 ± 0,30	66,74 ± 11,69	64,74 ± 10,33	0,11 ± 0,09
VID02	Vidrine	23,65 ± 0,93	6,10 ± 0,64	67,66 ± 6,45	63,18 ± 8,00	0,06 ± 0,0
VID03	Vidrine	24,05 ± 1,21	6,43 ± 0,54	63,83 ± 11,03	66,13 ± 12,14	0,06 ± 0,0
MAY01	Mayombo	23,60 ± 1,30	6,54 ± 0,89	64,27 ± 9,01	55,68 ± 13,20	0,13 ± 0,10
BOR01	Bordamur	24,70 ± 1,23	5,93 ± 0,66	63,48 ± 12,61	24,99 ± 11,94	0,06 ± 0,0
BOU01	Boubala	23,74 ± 1,06	5,73 ± 0,56	70,73 ± 14,22	12,30 ± 7,99	0,11 ± 0,09
MBD01	Mabwédé	24,31 ± 1,18	5,70 ± 0,53	65,67 ± 14,20	16,44 ± 13,56	0,1 ± 0,0
MLA01	Mayila	23,50 ± 1,43	6,16 ± 0,89	71,93 ± 11,70	11,58 ± 3,39	0,06 ± 0,0
RAB01	Rabenkogo	23,41 ± 1,19	6,76 ± 1,13	66,02 ± 15,39	16,61 ± 2,60	0,2 ± 0,0

Les valeurs moyennes de la température, du taux de saturation en oxygène et de l'Azote ammoniacal ne sont pas significativement différentes d'une station à une autre et d'un mois à un autre (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney et Wilcoxon, $p > 0,05$). Les valeurs de la température varient entre $23,41 \pm 1,19$ °C (RAB01) et $24,70 \pm 1,23$ °C (BOR01), celles du pH compris entre $5,70 \pm 0,53$ (MBD) et $6,76 \pm 1,13$ (RAB01), la saturation en oxygène fluctue de $60,65 \pm 4,99$ % MAB03 à $71,93 \pm 11,70$ % (MLA01), l'Azote ammoniacal oscillant de $0,06 \pm 0,0$ mg/L (VID02) à $0,13 \pm 0,10$ mg/L (MAY01). Les valeurs moyennes de la conductivité sont significativement différentes entre les trois stations de la Mabounié et celles du cours d'eau Okoumba (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les plus faibles valeurs de ce paramètre mesurées dans les stations des affluents de la rive droite sont comprises entre $11,58 \pm 3,39$ µS/cm et $16,61 \pm 2,60$ µS/cm.

3-2. Caractéristiques granulométriques des stations des cours d'eau à Mabounié

L'analyse des échantillons de sols a permis d'obtenir quatre classes granulométriques caractérisant quatre types de seuil et deux types de mouille (**Tableau 2**). Des seuils à substrats minéraux de taille moyenne (Galets) sont rencontrés aux stations MAB 01, OKO 01, VID 02, et PRO 01), des seuils à substrats caillouteux (Granulats) à MAY 01 et BOR 01, des seuils rocaillieux (Blocs et dalles) à PRO 02 et des seuils sablonneux à OKO 02, VID 03, MAB 02, BOU 01, MBD01 et MAB03. 14 des 16 stations présentent une section du mouille de type sablonneux et deux stations (MAY 01 et BOR 01), sont caillouteux (Granulats).

Tableau 2 : Granulométrie des substrats minéraux des stations d'échantillonnage

Stations	Roches	Blocs pierres	Galets	Granulats	Sables Grossiers	Sables Fins	Nature du substrat	Type d'habitat
MAB 01	0,00	1,65	59,53	20,52	11,16	5,45	Galets	Seuil pierreux
MAB 02	0,00	0,00	0,00	0,00	55,80	41,15	Sables grossiers	Seuil sableux
MAB 03	0,00	0,00	0,00	0,00	61,50	30,65	Sables grossiers	Seuil sableux
OKO 01	0,00	0,02	50,59	21,26	20,30	5,10	Galets	Seuil pierreux
OKO 02	0,00	0,00	0,00	0,00	55,60	35,29	Sables grossiers	Seuil sableux
PRO 01	0,00	17,10	61,69	7,37	5,85	3,40	Galets	Seuil pierreux
PRO 02	21,79	19,89	31,76	10	10,40	4,05	Roches	Seuil pierreux
VID 01	0,00	0,35	15,26	18,91	25,76	15,05	Sables grossiers	Seuil pierreux
VID 02	0,00	30,54	44,10	3,10	10,04	5,85	Galets	Seuil pierreux
VID 03	0,00	0,00	0,00	0,00	65,80	27,03	Sables grossiers	Seuil sableux
MAY 01	0,00	0,00	0,00	72,6	20,30	5,80	Granulats	S. caillouteux
BOR 01	0,00	0,00	0,00	95,25	1,80	0,50	Granulats	S. caillouteux
BOU 01	0,00	0,00	0,00	0,00	59,20	38,10	Sables grossiers	Seuil sableux
MBD 01	0,00	0,00	0,00	0,00	53,95	40,80	Sables grossiers	Seuil sableux
MLA 01	0,00	0,00	0,00	0,00	60,90	38,50	Sables grossiers	Seuil sableux
RAB 01	0,00	0,00	0,00	0,00	57,80	37,50	Sables grossiers	Seuil sableux

3-3. Abondance et composition des peuplements de macroinvertébrés collectés

Au total 29 444 macroinvertébrés benthiques appartenant à 4 embranchements (Arthropodes, Plathelminthes, Mollusques et Annélides), 6 classes (Insectes, Crustacés, Oligochètes, Achètes, Turbellariés et Gastéropodes), 15 ordres, 91 familles et 202 taxons ont été récoltés. La Classe des Insectes a été la mieux représentée avec 25 706 individus, soit 87,3 % des collectes. Elle était suivie des Crustacées avec 3616 individus (12,28 %). Les autres Classes ont été très faiblement présentes (0,42 %).

3-3-1. Abondance et composition par ordre

L'ordre des Ephéméroptères a largement dominé (49 % ; n = 14 446 individus), suivi de l'ordre des Décapodes (12 % ; n = 3 618), de l'ordre des Trichoptères (11 % ; n = 3 248) et de l'ordre des Plécoptères (9 % ; n = 2 534). Les ordres des Diptères (8 % ; n = 2 349), des Coléoptères (7 % ; n = 2 128) et des Odonates (3 % ; n = 820) ont été très faiblement représentés (*Figure 2*). Par ailleurs, le groupe des Ordres polluosensibles formé des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) a été très dominant numériquement avec 68,68% (n = 20 225) d'abondance relative. Par contre, le groupe des taxons polluorésistants était peu présent 2 % (n = 612) d'abondance relative.

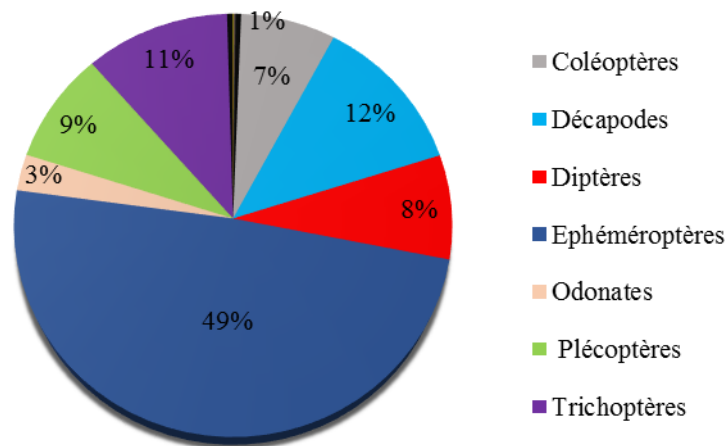


Figure 2 : Pourcentage des principaux ordres de macroinvertébrés dans le bassin versant de la Mabounié

3-3-2. Abondance et composition par famille

Les 5 familles polluosensibles dominantes numériquement ont représenté 56,70 % d'abondance relative. Il s'agissait des Baetidés 15,22 % (n = 4484), Atyidés 12,28 % (n = 3 618), Dicercomyzinae 8,62 % (n = 2 539), Leptophlebiidés 11,96 % (n = 3 523) et Perlidés 8,60 % (n = 2 533). Les familles polluorésistantes sont les Chironomidés (1,70 % ; n = 502), les Tanypodinés (0,29 % ; n = 86) et les Orthocladinés (0,08 % ; n = 24). Elles ont représenté 2 % de l'effectif total (**Figure 3**).

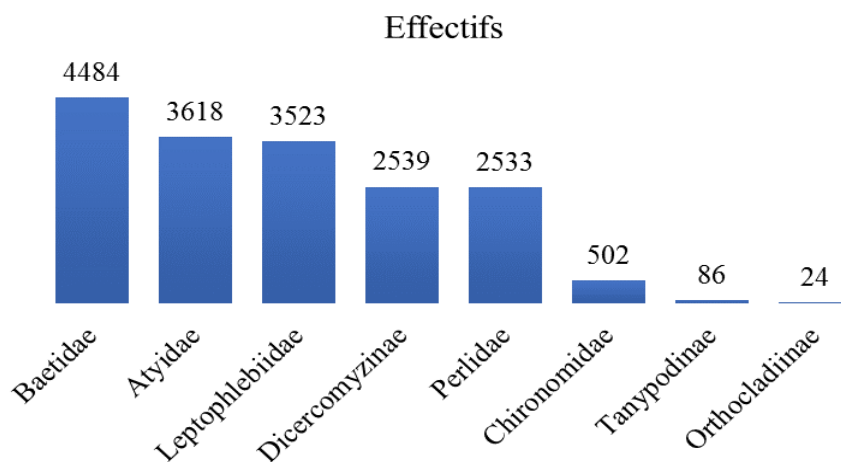


Figure 3 : Effectifs des principales familles polluosensibles et polluorésistantes

3-4. Diversité et équilibre des peuplements de macroinvertébrés dans la zone de Mabounié

La variation spatiale de l'indice de Shannon-Weaver, de l'Équitabilité de Piérou et de l'indice de Simpson sont présentés ci-dessous (**Figure 4**). L'indice de Shannon varie de 2,46 bits/ind. (BOR 01) à 4,16 bits/ind. (PRO 01). La station située en aval de tout le bassin versant de la Mabounié (MAB 03) présente une valeur de 3,56 bits/ind. Les valeurs de l'Équitabilité de Piérou, fluctuent de 0,47 (BOR 01) à 0,74 (MBD 01) et celles de l'indice de dominance de Simpson oscille entre 0,086 (PRO 01) à 0,30 (BOR 01) (**Figure 4**). La variation spatiale de ces trois indices écologiques n'est pas significative d'une station à une autre (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$)

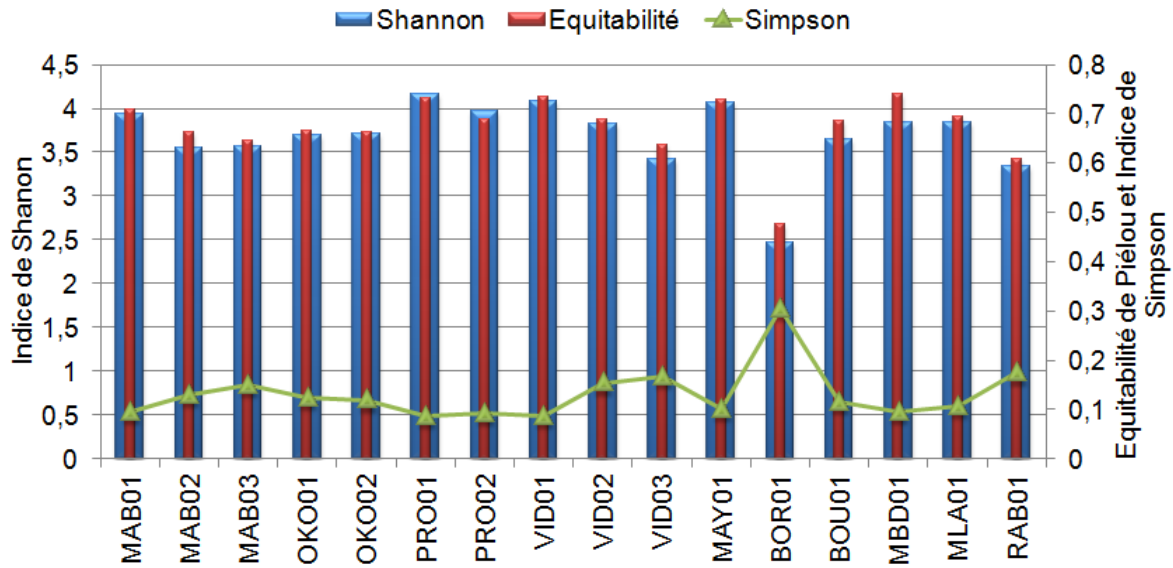
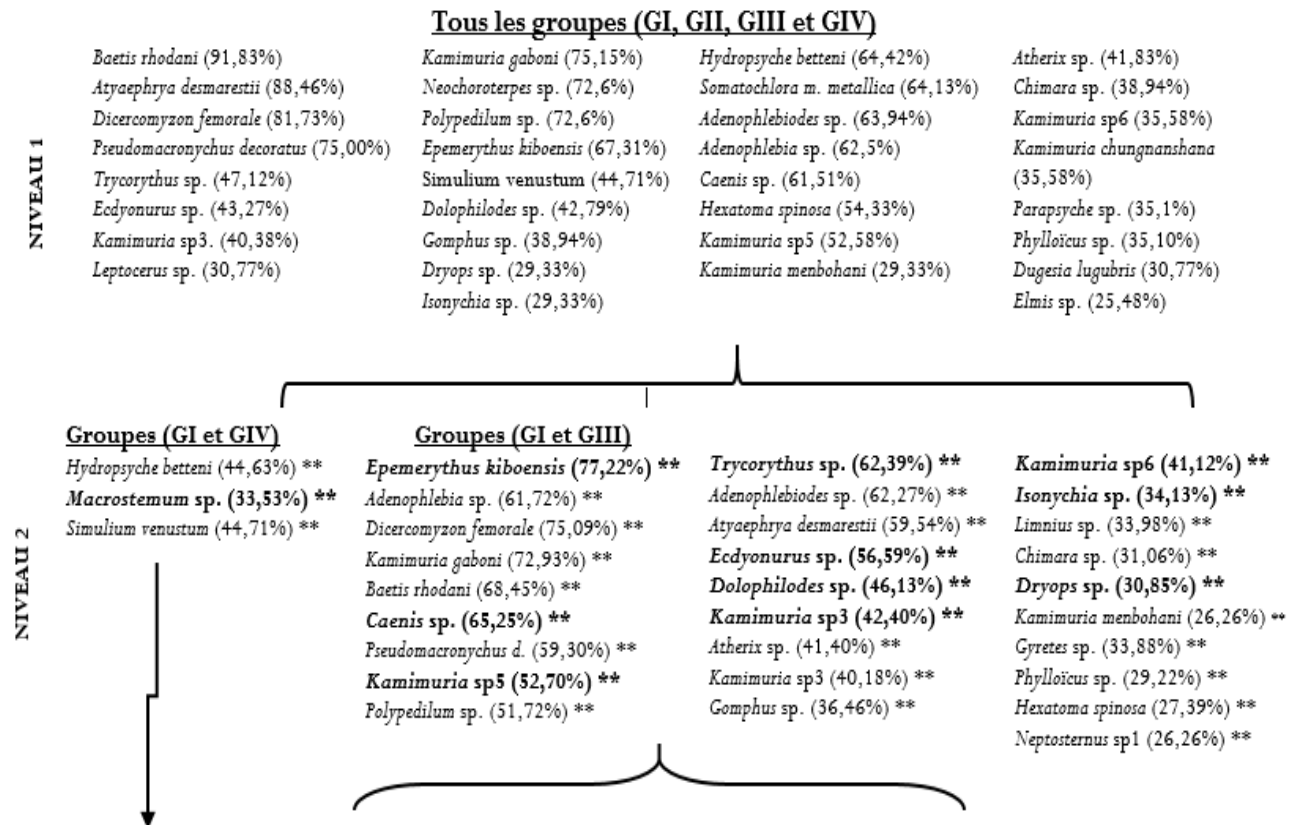


Figure 4 : Valeur des indices de Shannon, Pielou et Simpson dans les stations de Mabounié.

3-5. Valeur indicatrice des macroinvertébrés de la zone de Mabounié

La Figure 5 présente les résultats de l'analyse IndVal des quatre niveaux de partitions.



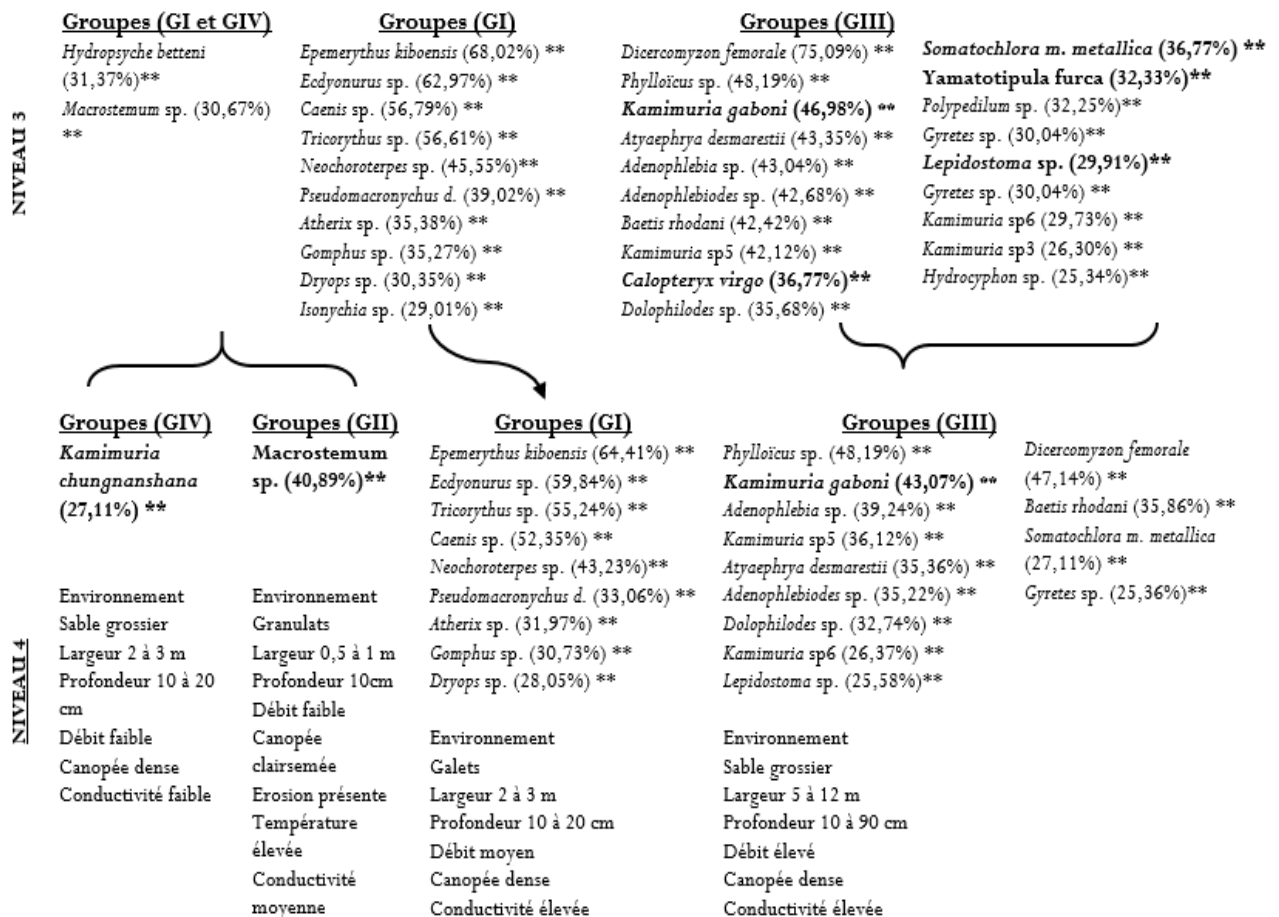


Figure 5 : Typologie des groupes d'échantillons et identification des taxons bio-indicateurs des cours d'eau du bassin versant de la Mabounié selon la méthode IndVal

** = significativité du test t de Student au seuil de 0,01 et (%) = Valeur IndVal.

- Le niveau I regroupe les taxons généralistes et 36 taxons bioindicateurs y sont identifiés. L'ordre des Ephemeropteres se distingue avec 10 taxons bioindicateurs à la valeur IndVal supérieure à 75 %. Il s'agit de : *Baetis rhodani*, *Diceromyzon femorale*, *Atyaephyra desmarestii*, *Kamimuria gaboni* nov.sp. et *Pseudomacronychus decoratus*.
- Le niveau II totalise 29 taxons. Les taxons *Hydropsyche betteni* (44,63 %) et *Macrostemum sp.* (33,53 %) , deux Trichopteres de la famille des Hydropsychidés et *Simulium venustum* (26,58 %) de la famille des Simuliidés (Dipteres) se signalent dans les groupes II et IV. Le groupe I et III compte 26 taxons dont 11 appartiennent à l'ordre des Ephemeropteres, 5 taxons respectivement à celui des Trichopteres, des Plécopteres, des Dipteres et des Coléopteres puis, 1 taxon respectivement pour les Odonates et les Décapodes.
- Le niveau III concentre 30 taxons. Dans le groupe II et IV, *Macrostemum sp.* (Trichopteres) avec 30,67 % de valeur IndVal est le seul bioindicateur. Le groupe GI compte 10 taxons dont 6 appartiennent à l'ordre des Ephemeropteres (*Epemerythus kiboensis*, *Eodyonurus sp.*, *Caenis sp.*, *Tricorythus sp.*, *Neochoroterpes sp.* et *Isonychia sp.*), 2 à celui des Coléopteres et 1 taxon respectivement pour l'ordre des Dipteres et des Odonates. Le groupe III presente 19 bioindicateurs dont 4 Ephemeropteres (*Diceromyzon femorale*, *Adenophlebia sp.*, *Adenophlebiodes sp.*, *Baetis rhodani*), 4 Trichopteres (*Phylloicus sp.*, *Dolophilodes sp.*, *Hydropsyche betteni*, *Lepidostoma sp.*),

- 3 Plécoptères (*Kamimuria gaboni* et *Kamimuria* sp.) puis les Odonates (*Calopteryx virgo* et *Somatochlora metallica metallica*).
- Le niveau IV de la hiérarchisation regroupe les taxons indicateurs dits spécialistes. Dans le groupe GIV caractérisé par du sable grossier et une faible conductivité, apparaît *Kamimuria chungnanshana* (27,11 % de valeur IndVal). Le groupe GII caractérisé par des substrats de type granulats et une conductivité moyenne, *Macrostemum* sp. (40,89 % de valeur IndVal) se singularise. Dans le groupe GI, 9 bioindicateurs dont 5 Ephéméroptères (*Ephemerythus kiboensis*, *Ecdyonurus* sp., *Tricorythus* sp., *Neochoroterpes* sp., *Caenis* sp.), 2 Coléoptères (*Pseudomacronychus decoratus*, *Dryops* sp.), 1 Diptère (*Atherix* sp.) et 1 Odonate (*Gomphus* sp.) récoltés sur des substrats minéraux de grande taille et (galets, blocs de pierre, Dalles) où le débit est moyen et la conductivité sont élevés. Par contre, le groupe III enregistre 13 bioindicateurs dont 4 Ephéméroptères (*Diceromyzon femorale*, *Baetis rhodani*, *Adenophlebia* sp. et *Adenophlebiodes* sp.), 3 Trichoptères (*Phylloicus* sp., *Lepidostoma* sp. et *Dolophilodes* sp.), 2 Plécoptères (*Kamimuria gaboni*, *Kamimuria* sp), l'Odonate (*Somatochlora metallica metallica*), le Décapodes (*Atyaephyra desmarestii*) et le Coléoptère (*Gyretes* sp.). Ces taxons ont été prélevés sur des stations à sable grossier à largeur, profondeur, débit et conductivité élevés. La hiérarchisation à cette partition des espèces indicatrices présente 8 espèces à la valeur IndVal élevée. Il s'agit de : *Ephemerythus kiboensis* (64,41 %), *Ecdyonurus* sp. (59,84 %), *Tricorythus* sp. (55,24 %), *Macrostemum* sp. (40,89 %), *Kamimuria gaboni* nouv.esp. (43,07 %), *Kamimuria chungnanshana* (27,11 %) et *Lepidostoma* sp. (25,58 %).

4. Discussion

Les faibles valeurs de la température obtenues au cours de cette étude sont dues à l'importante canopée qui empêche les rayons solaires d'atteindre les masses d'eau, créant ainsi des conditions de microclimat favorables à la dissolution des gaz dans l'eau, particulièrement l'oxygène dissous de l'eau qui peut atteindre des valeurs de saturation supérieure à 60 %. Ces résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs travaillant sur les cours d'eau forestiers [14, 16]. Les valeurs du pH globalement supérieures au pH des eaux de pluies (pH = 5) et inférieure au pH neutre, montrent des eaux faiblement acides à toutes les stations, révèlent la nature des sols traversés et l'absence d'activité humaine. Des résultats similaires ont été obtenus dans des cours d'eau forestiers et péri-urbains [17, 18]. Les faibles valeurs de paramètres indicateurs de pollution et de minéralisation (Conductivité et Azote ammoniacal) présentent non seulement la nature siliceuse et calcaire du substratum mais surtout l'absence d'anthropisation. Nos résultats confirment ceux de [19]. Les eaux des cours d'eau du bassin versant de la Mabounié sont donc de bonne qualité et témoignent la bonne intégrité écologique du bassin. Les cours d'eau du bassin versant de la Mabounié présentent une excellente richesse taxonomique des peuplements de macroinvertébrés benthiques. Ce sont 29 444 organismes représentant 202 taxons qui ont été inventoriés dans ce bassin versant avec trois quarts des effectifs (20 225 individus soit 68,68 %) appartenant au groupe polluosensible Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères (EPT). De nombreux auteurs signalent en effet que les cours d'eau peu anthropisés abritent une diversité biologique maximale où l'on retrouverait le maximum des ordres du groupe EPT [20, 21]. Ainsi, la proportion élevée des EPT diffère de celle du Nsapé dominée par les Hétéroptères (25,25 %), les Coléoptères (24,24 %) et les Odonates (21,21 %), du Nga composée de 20 % d'Hétéroptères et 12 % d'Odonates, du Nguitto en Centrafrique mais relativement proche en qualité de celle de la rivière Kalengo qui compte 14,28 % Ephéméroptères, 11,42 % de Trichoptères, 20 % d'Odonates et 14,28 % de Diptères [22, 23]. Cette composition taxonomique atteste la bonne qualité des eaux des cours d'eau du bassin de la Mabounié, témoignant une bonne intégrité écologique du bassin versant. Cette bonne intégrité écologique se traduit au niveau des indices écologiques par des valeurs de l'indice de Shannon-Weaver ($H' > 2,5$ bits) et de l'indice de Pielou ($> 0,6$) élevées qui témoignent d'une diversité biologique élevée

et d'un bon équilibre du peuplement tandis que celles de l'indice Simpson ($< 0,2$), montrent une absence de taxon dominant. Cette riche biodiversité montre un degré de stabilité des cours d'eau mais aussi l'effet de la granulométrie des substrats minéraux qui influencent positivement la composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques. En effet, un gradient de richesse taxonomique a été remarqué entre les substrats minéraux de grande taille qui hébergent une plus grande diversité taxonomique (Galets, blocs de pierres) et ceux de petite taille (granulats et sable) moins diversifiés [24]. En revanche, en matière de bioindicateurs, cette tendance s'inverse au profit des substrats minéraux de petite taille qui concentrent un maximum de taxons au niveau de la partition dite de spécialiste. Dans cette étude, les résultats de l'analyse IndVal montrent que de la partition dite « généraliste » qui compte 36 bioindicateurs à celle dite de « spécialiste » qui en totalise 24, la plupart des taxons présentant une valeur IndVal élevée appartiennent aux trois ordres Epheméroptères, Plécoptères, Trichoptères. Cette liste est essentiellement dominée par trois espèces appartenant à l'ordre des Epheméroptères qui devancent celles des ordres des Plécoptères et des Trichoptères. Une analyse fine entre le niveau 3 et le niveau 4 révèle qu'en raison de sa faible perte de valeur IndVal, l'Epheméroptère *Tricorythus* sp. (-1,37 %) arrive en tête des bioindicateurs devant *Ecdyonurus* sp. (-3,13 %) et *Ephemerythus kiboensis* (-3,61 %), deux autres Epheméroptères ; viennent ensuite les Plécoptères de la famille des Perlidés, particulièrement *Kamimuria chungnanshana* (27,11 %), *Kamimuria gaboni* nov. esp. (43,07 %) et les Trichoptères de la famille des Philopotamidés (*Phylloicus* sp., 48,19 %) et Hydropsychidés (*Macrostemum* sp., 40,89 %). Cette hiérarchisation diffère de celle habituellement rencontrée dans la littérature spécialisée où ce sont les espèces de l'ordre des Plécoptères qui occupent le haut de la hiérarchie, suivies de celles de l'ordre des Trichoptères ; les Epheméroptères n'arrivant qu'en troisième position [25, 26].

La méthode IndVal a révélé à partir du niveau 2 qu'au moins 29 taxons bioindicateurs significatifs ($t < 0,01$) sont présents dans les cours d'eau forestiers du bassin versant de la Mabounié. Le maximum de ces bioindicateurs se concentre dans les stations (MAB01, MAB02, MAB03, OKO01, OKO02, PRO01, PRO02, VID01, VID02, VID03) qui présentent une importante canopée, une conductivité élevée ($> 60 \mu\text{S}/\text{cm}$), un débit moyen à élever ($0,5$ à $2 \text{ m}^3/\text{s}$) et un substrat dominant sablonneux ou de grande taille, préférentiellement du galet. En revanche, IndVal montre que les stations dominées par un substrat de type granulat, avec une présence d'érosion et de faible débit abritent le minimum de bioindicateurs. On remarque que le bioindicateur *Macrostemum* sp. (Hydropsychidés ; Trichoptères) tolère des milieux turbides, à la température et en teneurs en fer élevées alors que *Tricorythus* sp., *Ephemerythus kiboensis* et *Ecdyonurus* sp. préfèrent les substrats minéraux de grande taille particulièrement les galets, en sus des bonnes conditions environnementales du milieu (oxygène dissous élevé, faible teneur en nutriments etc.). Selon [27], les facteurs environnementaux tels que la vitesse du courant, la température et le substrat peuvent réguler la répartition des macroinvertébrés au sein d'un cours d'eau. Par ailleurs, la présence d'une canopée dense contribuerait également à cette répartition. En effet, la significativité des 24 taxons indicateurs de la dernière partition précise la forte affinité entre les conditions environnementales des stations et les taxons indiqués. En effet, près de 71 % des indicateurs spécialistes enregistrés appartiennent au groupe Epheméroptères-Plécoptères-Trichoptères (EPT) dont on connaît l'attraction pour les parcours ombragés à canopée dense servant de source d'alimentation [28]. La hiérarchisation de la liste des bioindicateurs recensés place le taxon *Tricorythus* sp., comme étant le premier bioindicateur dans les cours d'eau du bassin de la Mabounié. Cette classification est totalement différente de celle considérée jusqu'à maintenant dans les études de biosurveillance de la qualité des milieux aquatiques en Afrique. En effet, dans les ouvrages de référence et articles spécialisés, ce sont les familles appartenant à l'Ordre des Plécoptères qui arrivent en premier dans la liste des bioindicateurs [29, 30]. Nos résultats sont différents et apportent de nouvelles connaissances particulièrement pour la conception des outils d'évaluation de la qualité des eaux en Afrique. *Tricorythus* sp. montre une sensibilité qui intègre aussi bien la pollution chimique que l'altération du substrat, pourrait être intéressant comme espèce sentinelle pour suivre les effets des changements climatiques.

5. Conclusion

Cette première étude a montré l'intégrité écologique et une liste des espèces indicatrices des cours d'eau forestiers du bassin versant de la Mabounié. Les paramètres indicateurs de pollution présentent de faibles valeurs pendant que les paramètres propices au développement de la vie aquatique (température, taux d'oxygène dissous) sont optimums. La majorité des stations ont présenté une abondance et une diversité de macroinvertébrés élevées. Ces résultats révèlent que les stations étudiées présentent des conditions de références et peuvent servir de ligne de base pour la biosurveillance des hydrosystèmes forestiers. Le pouvoir indicateur des espèces mis en exergue par la méthode IndVal a permis d'identifier 24 espèces bioindicatrices spécialistes et place l'Ephéméroptère *Tricorythus* sp. en tête de cette liste devant les Perlidés du genre *Kamimuria*. De ce fait, compte tenu de la mise en œuvre du futur projet d'exploitation minière (terres rares) prévu sur la rive gauche de la Mabounié, la préservation des ressources hydriques et biologique devient donc un impératif favorable à la mise en place d'un programme de biosurveillance ; et l'espèce *Tricorythus* sp., de par son abondance, sa taille qui facilite la manipulation, l'accessibilité pour le capturer est un candidat potentiel pour être utilisé comme espèce sentinelle dans ce bassin versant et similaire.

Remerciements

Les auteurs remercient la Société Maboumine du groupe ERAMET, le laboratoire d'Hydrobiologie et d'Ichtyologie de l'Institut des Recherches Agronomiques et Forestières du Gabon et le laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé 1 pour leur soutien financier, logistique, matériel et scientifique.

Références

- [1] - J. MOISAN & L. PELLETIER, 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, (2013) 88 p.
- [2] - S. FOTO MENBOHAN, S. H. ZEBAZE TOGOUET, N. L. NYAMSI TCHATCHO & T. NJINE, Évolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun). *Eur. J. Sci. Res.*, 55 (2011) 291 - 300
- [3] - H. TOURON PONCET, Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques. Thèse. Université Paul Sabatier, Toulouse, (2014) 158 p.
- [4] - L. H. ZINSOU, H. AGADJIHOUEDE, P. GNOHOSSOU et P. LALEYE, Analyse et Illustration de la valeur indicatrice des espèces macrobenthiques du Delta De l'Ouémé au Bénin. *European Scientific Journal*, Vol.13, No.5 ISSN: 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431, (2017) 333 - 351
- [5] - 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.
- [6] - S. TCHAKONTE, Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé 1, (2016) 176 p.

- [7] - N. RABENKOGO, Le Littoral du Nkomi (Gabon) : Contribution géographique à la conservation des milieux naturels. Thèse. Université de Montpellier II, Montpellier, (2007) 307 p.
- [8] - J. R. MALAVOI et Y. SOUCHON, Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivières : Clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (2002) 357 - 372
- [9] - J. D. STARK, I. K. G. BOOTHROYD, J. S. HARDING, J. R. MAXTED et M. R. SCARSBROUK, Protocols for sampling macroinvertebrates in wadeable streams. New Zealand Macroinvertebrate Working Group Report, 1 (2001) 1175 - 7701
- [10] - N. MARY et V. ARCHAIMBAULT. L'indice Biotique de la Nouvelle Calédonie (IBNC) et l'Indice Biosédimentaire (IBS) : Guide méthodologique et technique. *DAVAR.* (2011) 45 p.
- [11] - H. TACHET, M. BOURNAUD et P. USSEGLIO-POLATERA, Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. Ed. CNRS, Paris. (2010) 581 p.
- [12] - J. GRALL et N. COIC, Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Rapport, (2005) 80 p.
- [13] - M. DUFRENE & P. LEGENDRE, Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67, (1997) 345 - 366.
- [14] - J. F. LIWOUWOU, Biologie, Ecologie et Exploitation de deux espèces de Schilbe (Poissons siluriformes, Schilbeidae) des cours d'eau Rembo-Bongo, Ogooué et Nyanga au Gabon. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavy, Cotonou, (2016) 195 p.
- [15] - E. B. BIRAMÀ NGON, S. FOTO MENBOHAN, J. NDJAMA, Z. MBOHOU NJOYA, B. R. MBOYE, J. DZAVI, O. OUMAR MAHAMAT, C. TARKANG, D. L. NYAME MBIA, S. MBONDO BIYONG et C. NGALAMOU, Water Quality Assessment in a Less Anthropogenic Forest Stream in the Centre Region of Cameroon. *Haya Saudi J Life Sci, Jan.,* 5 (1) (2020) 1 - 8
- [16] - S. FOTO MENBOHAN, S. TCHAKONTE, G. AJEAGAH, S. H. ZEBAZE TOGOUET, C. F. BILONG BILONG & T. NJINE, Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (cameroon). *International Journal of Biotechnology*, 2(5), (2013) 91 - 104
- [17] - S. FOTO MENBOHAN, E. KOJI, G. AJEAGAH, C. F. BILONG BILONG et T. NJINE, Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon. *International Journal of Biosciences*. Vol.2, 11, (2012) 137 - 145
- [18] - M. MAKKOUKH, M. SBAA, A. BERRAHOU, M. VAN CLOOSTER, Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulaya (Maroc oriental). *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09,* (2011) 149 - 169
- [19] - B. R. MBOYE, Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon) : essai de biotypologie. Thèse de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I, (2019) 180 p.
- [20] - S. TCHAKONTE, G. A. AJEAGAH, A. I. CAMARA, D. DIOMANDE, N. L. NYAMSI TCHATCHO et P. NGASSAM, Impact of urbanization on aquatic insect assemblages in the coastal zone of Cameroon: the use of biotraits and indicator taxa to assess environmental pollution. *Hydrobiologia* 755 (2015) 123 - 144
- [21] - Q. A. HUSSAIN et A. K. PANDIT Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 4 (2012) 114 - 123
- [22] - J. C. NGOAY-KOSSY, S. H. ZEBAZE TOGOUET, S. P. WANGO, S. F. BOLEVANE OUANTINAM, S. TCHAKONT2 & C. PISCART, Bioindicateurs des milieux aquatiques lotiques en République Centrafricaine : macroinvertébrés benthiques et pression anthropique du cours d'eau Nguitto. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 73 (4), (2018) 603 - 616

- [23] - B. R. MBOYE, S. FOTO MENBOHAN, J. D. MBEGA, E. B. BIRAM à NGON, Influence of the Granulometric parameters on the Diversity and Distribution of Benthic acroinvertebrates in the Mabounié Watershed (Central West Gabon). *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 5(7) (2018) 252 - 270
- [24] - A. BEN MOUSSA, A. CHAHLAOUI, E. ROUR & M. CHAHBOUNE, *Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1) (2014) 183 - 198
- [25] - S. SANOGO, T. J. A. KABRE & P. CECCHI, 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) (2014) 1005 - 1029
- [26] - A. LOUNACI, Les macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de Kabylie : faunistique, écologie et répartition géographique. Congrès annuel de la SZF, Parc Phoenix, Nice, (2011) 16 p.
- [27] - N. S. D. TENKIANO, Macroinvertébrés benthiques et hyphomycètes aquatiques : diversité et implication dans le fonctionnement écosystémique des cours d'eau de Guinée. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier (UT3), Toulouse, (2017) 147 p.
- [28] - L. PELLETIER, Le bassin de la rivière Saint-Maurice : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, 1996, Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Envirodoq* n° ENV/2002/0291, rapport no EA/2002-02, (2002) 85 p.
- [29] - V. ARCHAIMBAULT, B. DUMONT, L'indice biologique global normalisé (IBGN) : principes et évolution dans le cadre de la directive cadre européenne sur l'eau. *Sciences Eaux & Territoires*, INRAE, (2010) 36 - 39