



Qualité de l'eau et diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda dans la ville de Kikwit, République Démocratique du Congo

[Water quality and benthic macroinvertebrate diversity in the Nzinda River in the town of Kikwit, Democratic Republic of Congo]

Mumbanga Ngwen Louis¹, Munganga Kilingwa Clément^{2,3*}, Lusasi Swana Willy², Nsimanda Ipey Camille⁴ & Pwema Kiamfu Victor²

¹Section Développement Rural, Département des Techniques Rurales, Institut Supérieur De Développement Rural (ISDR – MBEO), B.P 8251 Kinshasa 1, Kwilu, RD Congo

²Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences et de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, RD Congo

³Centre d'Excellence Chimique, Biologique, Radiologique et Nucléaire (CoE-CBRN), Ministère de la Recherche Scientifique et Innovation Technologique, Kinshasa, RD Congo

⁴Mention Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo

Résumé

Cette étude a été conduite dans le but de déterminer la diversité des macroinvertébrés benthiques et la qualité de l'eau de la rivière Nzinda dans la ville de Kikwit, dans la province du Kwilu, en République Démocratique du Congo. Les campagnes d'échantillonnage ont été menées à l'aide d'un filet Surber entre août 2023 et mai 2024 dans quatre stations situées sur une longueur de 9 km. Au total, 979 spécimens de macroinvertébrés benthiques appartenant à trois classes (Insectes, Gastéropodes et Clitellates) et treize familles ont été inventoriés. Les Insectes, en particulier les Coléoptères sont les plus abondants. Les analyses physico-chimiques révèlent un potentiel en hydrogène légèrement acide, des températures élevées et une turbidité variable, suggérant des impacts humains sur la qualité de l'eau. Les indices de diversité de Shannon et de Simpson indiquent des variations entre les stations. La station IV possède une richesse spécifique plus élevée. Bien que la qualité de l'eau soit classée comme passable, des défis persistent en matière de biodiversité. La dominance des *Hydrophilidae* et les scores de l'Indice Biologique Global Normalisé similaires à ceux de la saison sèche soulignent la nécessité d'une surveillance continue pour préserver la biodiversité et la qualité de l'eau de la rivière Nzinda. Une turbidité accrue, liée à l'érosion, pourrait nuire à la photosynthèse. Les faibles niveaux de la conductivité, des ions nitrates, des phosphates, ainsi que l'absence de potassium nécessitent une surveillance particulière pour éviter le déséquilibre écologique sur cet hydrosystème.

Mots clés : Macroinvertébrés benthiques, Diversité biologique, Qualité de l'eau, Rivière Nzinda, Kikwit, RD Congo.

Abstract

This study was carried out to determine benthic macroinvertebrate diversity and water quality in the Nzinda River in the town of Kikwit in Kwilu province, Democratic Republic of Congo. Sampling campaigns were carried out using a Surber net between August 2023 and May 2024 at four stations along a 9 km stretch. A total of 979 specimens of benthic macroinvertebrates belonging to three classes (Insects, Gastropods and Clitellates) and thirteen families were inventoried. Insects, particularly beetles, were the most abundant. Physico-chemical analyses reveal a slightly acidic hydrogen potential, high temperatures and variable turbidity, suggesting human impacts on water quality. The Shannon and Simpson diversity indices show variations between stations. Station IV has the highest species richness. Although water quality is classified as fair, biodiversity challenges persist. The dominance of *Hydrophilidae* and Normalized Global Biological Index scores similar to those of the dry season underline the need for ongoing monitoring to preserve biodiversity and water quality in the Nzinda River. Increased turbidity, linked to erosion, could impair photosynthesis. Low levels of conductivity, nitrate and phosphate ions, as well as the absence of potassium, require special monitoring to avoid ecological imbalance in this hydrosystem.

Keywords: Benthic macroinvertebrates, Biological diversity, Water quality, Nzinda River, Kikwit, DR Congo.

*Auteur correspondant: Munganga Kilingwa Clément, (clement.munganga@unikin.ac.cd). Tél. : (+243) 812 819 082

<https://orcid.org/0009-0001-1909-5674>, Reçu le 15/05/2025 ; Révisé le 06/06/2025 ; Accepté le 01/07/2025

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.025.v4.i3.162>

Copyright: ©2025 Mumbanga et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

Les cours d'eau sont des écosystèmes complexes et dynamiques, essentiels à la conservation de la biodiversité et au fonctionnement des organismes, ainsi qu'au cycle de la matière organique (Dynesius & Nilsson, 1994). Ils se caractérisent par une mosaïque d'habitats variés, avec des influences humaines variées qui affectent leur morphologie, leurs usages et leurs propriétés physico-chimiques (Colas et al., 2014). Ces modifications peuvent altérer la qualité et la quantité de l'eau, entraînant des problèmes graves pour les populations aquatiques, comme la dégradation des habitats et la fragmentation des milieux.

La préservation de la qualité de l'eau est un enjeu majeur pour la gestion durable de l'environnement mais également pour celle de la biodiversité (Sanogo et al., 2014). En effet, les écosystèmes aquatiques revêtent une grande importance car ces milieux constituent une ressource vulnérable en raison des pressions anthropiques fortes et croissantes qui s'y exercent (Agropolis, 2007 ; Sanogo & Kabre, 2014). Cependant, les réseaux hydrographiques du monde entier ont été plus ou moins modifiés par les activités humaines: régression d'espèces, diminution des populations de poissons, épuisement des eaux souterraines, dégradation de la qualité de l'eau, crues de plus en plus fréquentes et intenses (Dynesius & Nilsson, 1994).

En République Démocratique du Congo (RDC), particulièrement dans la province du Kwilu, ces perturbations, combinées à des conditions climatiques difficiles telles que la sécheresse, les températures extrêmes et l'érosion des sols, ont conduit à une fragmentation des milieux et à des déséquilibres démographiques au sein des communautés d'invertébrés (Munganga et al., 2020). Les macroinvertébrés benthiques sont des indicateurs biologiques efficaces pour évaluer la santé des milieux aquatiques, car ils sont sédentaires, abondants et faciles à collecter (Moisan et al., 2008). Leur sensibilité aux polluants en fait un outil privilégié pour la bio-surveillance des cours d'eau (Tachet et al., 2010).

Malgré leur importance, la diversité des macroinvertébrés dans la rivière Nzinda, affluent de la rivière Kwilu, reste peu connue. Cette étude vise donc à explorer cette diversité et à évaluer le degré de pollution de la rivière, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de l'état écologique de cet écosystème. Les résultats de cette recherche sont essentiels, non seulement pour évaluer l'impact des activités humaines

sur la rivière Nzinda, mais aussi pour élaborer des mesures de conservation et de gestion de l'environnement aquatique. De plus, les résultats de cette étude pourront permettre de sensibiliser les communautés locales pour préserver la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique, favorisant une meilleure gestion des ressources naturelles.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Cette étude a été conduite dans la rivière Nzinda, affluent de la rivière Kwilu et prend sa source dans la commune de Kazamba et traverse une partie de la commune de Nzinda puis se jette dans la rivière Kwilu dans ville de Kikwit, en République Démocratique du Congo. L'échantillonnage des macroinvertébrés a été réalisé pendant les deux saisons (sèche et pluvieuse) dans quatre stations déterminées en fonction de critères tels que la profondeur moyenne, la vitesse d'écoulement de l'eau, l'aspect morphologique, etc. Cet échantillonnage a eu lieu dans la rivière entre août 2023 et mai 2024, sur un parcours d'environ 9 km (figure 1).

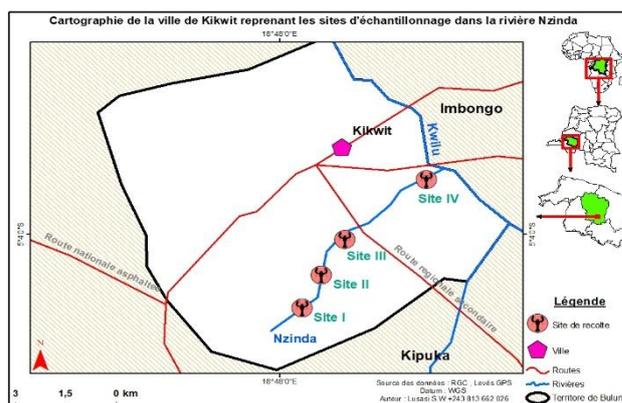


Figure 1. Cartographie de la ville de Kikwit reprenant les sites d'échantillonnage le long de la rivière Nzinda

Le choix de ces stations a été guidé par un souci de couvrir tout le secteur d'étude, d'une part, et d'autre part en vue d'avoir de précision dans les données récoltées. L'accessibilité des stations en toute saison, les caractéristiques physiques, les caractéristiques hydrologiques (substrat/vitesse, profondeur ainsi que la largeur de la rivière), les activités anthropiques dominantes et la végétation riveraine ont été les critères additionnels considérés.

La ville de Kikwit, située à 520 km de Kinshasa, capitale de la RDC, se trouve aux coordonnées géographiques approximatives de 5°2'27,53" de

latitude Sud et 18°48'58,29" de longitude Est. Elle est bordée au Sud et au Nord par le secteur Kipuka, et à l'est par le secteur Imbongo dans le territoire de Bulungu.

Kikwit se situe dans la région du Kwango-Kwilu et bénéficie d'un climat tropical bien arrosé, classé Aw₃ selon la classification de Köppen. Ce climat est marqué par deux saisons principales : la saison pluvieuse, qui s'étend du 15 août au 15 mai, et la saison sèche, qui dure du 15 mai au 15 août. La saison pluvieuse est interrompue par une courte saison sèche, connue localement sous le nom de « Elanga muke » en lingala ou mi-saison, qui débute entre fin janvier et février. Cependant, ces dernières années, des perturbations saisonnières ont été observées (Philippo et al., 1981). La température joue un rôle clé dans les réactions chimiques et biologiques des milieux aquatiques (Dajoz, 2006). Elle influence l'évaporation des plans d'eau, la transpiration des organismes et la répartition des espèces dans la biosphère (Ramade, 1984). Dans la région de Kikwit, la température moyenne annuelle varie de 22 à 25 °C, avec des maxima atteignant 28 °C en saison de pluie et 31 °C en saison sèche, tandis que les minima peuvent varier entre 17 et 13 °C en saison sèche.

La ville de Kikwit est caractérisée par un plateau disséqué avec de fortes pentes orientées SW-NE, dominé par de vastes interfluvés. La ville connaît une forte croissance démographique et un étalement urbain rapide, posant ainsi des défis en matière de gestion environnementale.

2.2. Matériel

Le matériel biologique de cette étude est constitué de neuf cent soixante-dix-neuf (979) macroinvertébrés benthiques échantillonnés dans la rivière Nzinda dont 474 en saison des pluies et 505 en saison sèche.

2.3. Méthodes

2.3.1. Caractérisation hydrologique des stations

Les mesures de la largeur moyenne du lit et de la profondeur moyenne de la colonne d'eau ont été effectuées à l'aide d'un mètre ruban de 50 m (précision 0,1 cm) et d'une règle plate graduée (précision 0,1 cm). Les prélèvements de la profondeur ont été faits à trois endroits du lit : berge gauche, milieu et berge droite, puis la moyenne des mesures à chaque station a été prise en considération. La largeur moyenne a été obtenue à partir de la largeur prélevée à trois endroits différents de la station. La vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans chaque station a été estimée

en laissant couler un flotteur en liège de 2 cm³ à la surface de l'eau et en estimant le temps écoulé par ce dernier pour parcourir une distance préalablement déterminée. Pour ce faire, nous avons utilisé l'expression suivante : $D = V \times t$.

Où, D = distance (m), v=vitesse (m/s) et t = temps (sec).

La localisation géographique des stations a été réalisée par le prélèvement des coordonnées géographiques des stations en altitude, longitude et latitude à l'aide du GPS de marque GARMIN 64 sx.

2.3.2. Echantillonnage des macroinvertébrés

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda a été effectué entre août 2023 et mai 2024 pendant six campagnes dont trois en saison sèche et trois autres en saison des pluies.

Pour cette étude, nous avons pris en compte trois composantes essentielles de l'habitat aquatique : le type de substrat, la vitesse du courant et la profondeur de la colonne d'eau à chaque station. Les prélèvements de macroinvertébrés ont été réalisés à l'aide d'un filet Surber mesurant 30 cm x 30 cm, doté d'une maille de 500 µm.

La méthode d'échantillonnage a impliqué d'enfoncer le filet Surber dans le substrat sur une profondeur de 2 à 3 cm, en orientant l'ouverture du filet dans le sens opposé à l'écoulement de l'eau (de l'aval vers l'amont). Ensuite, le substrat a été soigneusement remué et raclé à la main, permettant d'incorporer tous les éléments organiques (animaux et végétaux) et minéraux de petite taille dans le fond du filet. Après avoir retiré le filet de l'eau, son contenu a été transféré dans une série de tamis de différentes tailles de maille.

Les macroinvertébrés collectés dans chaque micro-habitat ont été conservés dans des bocaux contenant une solution de formol 10 %. Chaque bocal a été étiqueté (date, numéro de la station et l'heure du prélèvement). Les échantillons ont ensuite été transportés au laboratoire pour les analyses appropriées. Au laboratoire, les macroinvertébrés récoltés ont été placés dans des piluliers avec une solution d'alcool à 70 % afin de préserver leur intégrité jusqu'à leur identification.

2.3.3. Identification des macroinvertébrés benthiques

L'identification des spécimens a été réalisée au Laboratoire de Limnologie, d'Hydrobiologie et d'Aquaculture (LLHA) de la Mention Sciences de la Vie de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa en se servant des clés

d'identification proposées par Durand et Lévêque (1991), Tachet et al. (2010) et Moisan (2010).

2.3.4. Mesure des paramètres physico-chimiques

Pour évaluer l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution des familles des macroinvertébrés benthiques, quatre paramètres physico-chimiques ont été mesurés (le pH, la température, la conductivité et la turbidité). Ces paramètres ont été mesurés à l'aide d'une sonde multi paramètres Combo pH de marque Hanna. Les mesures ont été faites après dix minutes d'immersion de la sonde de l'appareil et après stabilisation des valeurs sur l'écran de la sonde.

Dans chaque stations, un litre d'eau a été prélevé pour mesurer la concentration des ions nitrate (NO^{-3}) (mg/L), phosphates (PO_3^{-4}) (mg/L), Potassium (K^{+1}) (mg/L), Demande Biologique en Oxygène (DBO en mg/L et la Demande Chimique en Oxygène (DCO en mg/L). Le dosage de ces paramètres a été effectué au Laboratoire de Physique des sols et d'Hydrologie du Commissariat Général à l'Energie Atomique Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (C.G.E.A/CRENK) à l'aide d'un spectrophotomètre (UV) de marque HACH DR/2400.

2.3.5. Analyse des données

a. Indice de diversité de Shannon et Weaver

L'indice de Shannon et Weaver (H') a été utilisé pour mesurer la diversité spécifique (Legendre & Legendre, 1984). Il est souvent calculé par la formule

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

suivante :

Avec :

H' : Indice de diversité de Shannon et Weaver.

S : nombre de taxons (espèces) ;

P_i : abondance relative de chaque taxon (

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

i : variant de 1 à S ,

n_i : effectif du taxon i ;

N : effectif total de la station.

Dans la nature, H' varie entre 0,5 (faible diversité) et 4,5 (dans cas d'échantillon de grande taille de communautés complexes).

b. Indice d'Equitabilité de Pielou (J')

Cet indice d'Equitabilité permet de mesurer l'équilibre des taxons au sein d'un peuplement. Cet indice est obtenu par le rapport entre l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et une distribution fictive équitable de ces taxons (Moisan et Pelletier,

2011). Cet indice varie de 0 à 1, et s'obtient par la formule : $J' = -H'/H'_{\max}$ avec $H'_{\max} = \log_2 S$. La valeur de J' varie entre 0 (une seule espèce domine) et 1 (toutes les espèces ont la même abondance).

c. Proportion numérique

La proportion numérique est le rapport du nombre d'individus (n) d'un groupe taxinomique (espèce, famille ou ordre) sur le nombre total d'individus (N_t). Ce résultat est traduit en pourcentage de l'effectif total des macroinvertébrés benthiques.

d. Pourcentage d'occurrence (% O)

C'est le pourcentage de stations où une espèce est échantillonnée par rapport au nombre total de stations prospectées (Magurran, 2004). Elle quantifie le degré d'ubiquité des différentes espèces. Le pourcentage d'occurrence (% O) d'une espèce peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\% O = (S_i / S_t) \times 100$$

Où : S_i = nombre de stations où l'espèce i a été capturée

S_t = nombre total de stations prospectées.

e. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

L'AFC est une méthode d'ordination couramment utilisée pour l'analyse des données biologiques (Barbault, 1992 ; Pielou, 1966). Son utilisation est partiellement adaptée aux tableaux observations/variables qui présentent un grand nombre de zéro. Son but est de donner la meilleure représentation simultanée des groupements d'observations et des groupements de variables, permettant d'obtenir une correspondance entre groupes d'espèces et groupes de stations (Barbault, 1992). Il permet d'ordonner les valeurs d'un tableau suivant un certain nombre d'axes correspondant à des facteurs de distribution (Pielou, 1966). Elle consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée de deux ensembles constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence, ces deux ensembles jouant un rôle symétrique.

f. Analyse Canonique de Correspondances (ACC)

L'analyse canonique de correspondances a été employée dans le but de dégager d'éventuelles corrélations entre la distribution des espèces et les variables environnementales (Ter Braak, 1988 ; Palmer, 1993) afin de caractériser l'habitat de chaque espèce. Ces différents indices ont été calculés à l'aide d'un logiciel statistique (PAST : Paleontological Statistics : Version 6.1).

g. Indice Biotique Global Normalisé (IBGN)

L'évaluation de la qualité biologique et écologique de la rivière Nzinda a été faite à partir de l'Indice Biotique Global Normalisé (IBGN) conformément aux prescriptions reprises dans la norme NF T 90-350. Après l'analyse des macroinvertébrés, une note est attribuée à chaque station en fonction du groupe faunistique indicateur et de la variété faunistique. La note attribuée varie de 0 à 20 en fonction du groupe faunistique indicateur et de la diversité faunistique (tableau I). Cette note peut être utilisée pour cartographier la qualité des cours d'eaux d'une région donnée (AFNOR, 2004).

Tableau I. Grilles de détermination de la qualité du cours d'eau

Classe de couleur	Qualité biologique	Note I.B.G.N
Bleu	Très bonne	Note \geq 17
Vert	Bonne	16 \geq note \geq 13
Jaune	passable	12 \geq note \geq 9
Orange	Mauvaise	8 \geq note \geq 5
Rouge	Très mauvaise	Note $<$ 5

3. Résultats

3.1. Composition des macroinvertébrés

Les taxons recensés dans la rivière Nzinda durant la saison sèche et la saison des pluies sont présentés dans les tableaux I et II.

3.1.1. Macroinvertébrés benthiques identifiés en saison sèche

La liste des macroinvertébrés benthiques identifiés durant la saison sèche dans la rivière Nzinda est présentée dans le tableau II.

Tableau II. Liste des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda échantillonnés en saison sèche

Classes	Ordres	Familles	Stations				
			I	II	III	IV	Total
Insectes	Coléoptères	<i>Hydrophilidae</i>	4	9	6	0	19
		<i>Noteridae</i>	17	8	24	12	61
		<i>Dytiscidae</i>	0	1	0	2	3
	Hémiptères	<i>Nepidae</i>	32	41	13	23	109
		<i>Naucoridae</i>	4	6	7	11	28
	Diptères	<i>Chironomidae</i>	12	4	1	8	25
		<i>Culicidae</i>	0	0	0	2	2
	Odonates	<i>Libellulidae</i>	46	31	39	8	124
<i>Coenagrionidae</i>		23	18	3	0	44	
Gastéropodes	Basommatophora	<i>Lymnaeidae</i>	0	0	1	2	3
Clitellates	Annélides	<i>Lumbricidae</i>	15	21	10	13	59
		<i>Tubificidae</i>	9	12	5	2	28
Total			162	151	109	83	505

Cinq cent cinq (505) macroinvertébrés, appartenant à 3 classes (insectes, gastéropodes et clitellates), 6 ordres (*Coléoptères*, *Hémiptères*, *Diptères*, *Odonates*, *Basommatophora* et *Annélides*), ainsi qu'à 12 familles (*Hydrophilidae*, *Noteridae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Chironomidae*, *Culicidae*, *Libellulidae*, *Lymnaeidae*, *Lumbricidae* et *Tubificidae*) ont été récoltés dans la rivière Nzinda en saison sèche.

3.1.2. Abondance des classes de macroinvertébrés échantillonnés en saison sèche

La figure 2 met en évidence la diversité des classes de macroinvertébrés benthiques échantillonnés dans la rivière Nzinda pendant la saison sèche. Les insectes se distinguent nettement, représentant 66,7% de l'échantillon total. Parmi eux, quatre ordres ont été identifiés : les Coléoptères, les Hémiptères, les Diptères et les Odonates. Cette dominance des insectes est souvent considérée comme un indicateur positif de la qualité de l'eau, car ces organismes sont généralement sensibles aux niveaux de pollution et aux perturbations de leur habitat. Leur forte présence dans l'échantillon suggère que l'écosystème de la rivière est relativement sain et équilibré.

En revanche, les autres classes, telles que les gastéropodes (*Basommatophora*) et les clitellates (*Annélides*), montrent une représentation beaucoup plus faible, chacune ne constituant que 16,7 % de l'échantillon. Cette disparité dans l'abondance des différentes classes pourrait indiquer une moins bonne adaptation de ces groupes à l'environnement de la rivière ou une réaction à des facteurs environnementaux spécifiques. Ainsi, l'analyse de la composition des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Nzinda révèle des informations cruciales sur la santé écologique de cet habitat aquatique.

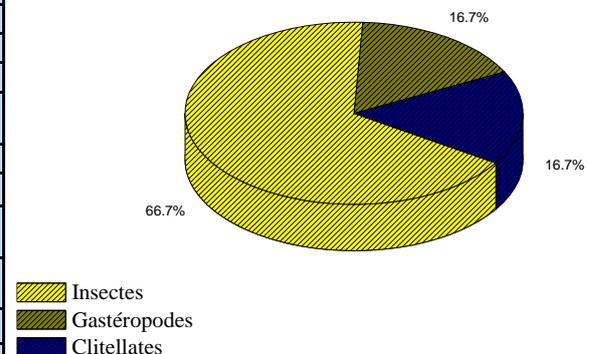


Figure 2. Abondance des différentes classes de macroinvertébrés échantillonnés en saison sèche

3.1.3. Abondance des ordres de macroinvertébrés échantillonnés en saison sèche

Les macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda, observés durant la saison sèche, révèlent une diversité notable d'ordres, incluant les Coléoptères, les Hémiptères, les Diptères, les Odonates, les Basommatophora et Annélides, comme illustré sur la figure 3. Parmi ces groupes, les Coléoptères se démarquent, représentant 25% des macroinvertébrés collectés, avec trois familles identifiées. Viennent ensuite les Hémiptères, ainsi que les Diptères et les Odonates, qui sont chacun représentés par deux familles, correspondant à 16,7% de l'échantillon total.

En revanche, les Annélides et les Basommatophora ont une représentation plus limitée, chacun comptant une seule famille, soit 8,33%.

Ces résultats mettent en évidence une diversité significative des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Nzinda pendant la saison sèche, avec une répartition variée entre les différents ordres et familles. Cela peut indiquer un écosystème aquatique dynamique et en bonne santé, capable de soutenir une variété d'organismes benthiques.

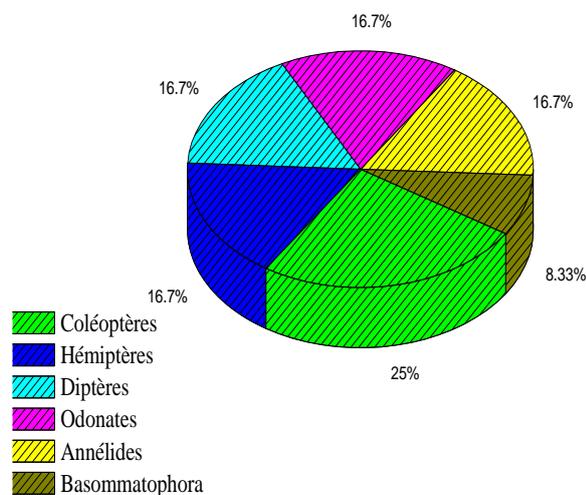


Figure 3. Abondance des différents ordres des macroinvertébrés échantillonnés en saison sèche

3.1.4. Abondance des familles de macroinvertébrés en saison sèche

L'analyse des données présentées dans la figure 4 révèle une diversité marquée au sein des familles de macroinvertébrés. La famille des *Libellulidae* se distingue par sa prévalence, avec un total de 124 individus recensés, ce qui en fait la famille la plus représentée dans toutes les stations d'étude. Cette abondance suggère une adaptation favorable de cette famille à l'environnement étudié.

En deuxième position, la famille des *Nepidae* suit de près avec 109 individus, indiquant également une présence significative.

Les autres familles, bien que moins nombreuses, montrent une certaine diversité : les *Noteridae* comptent 61 individus, tandis que les *Lumbricidae* en totalisent 59. Les familles des *Coenagrionidae* et d'autres, telles que les *Naucoridae*, les *Tubificidae*, les *Chironomidae*, les *Hydrophilidae*, les *Dytiscidae*, les *Lymnaeidae* et les *Culicidae*, sont représentées en plus faible quantité, ce qui pourrait indiquer des conditions environnementales moins favorables pour ces groupes.

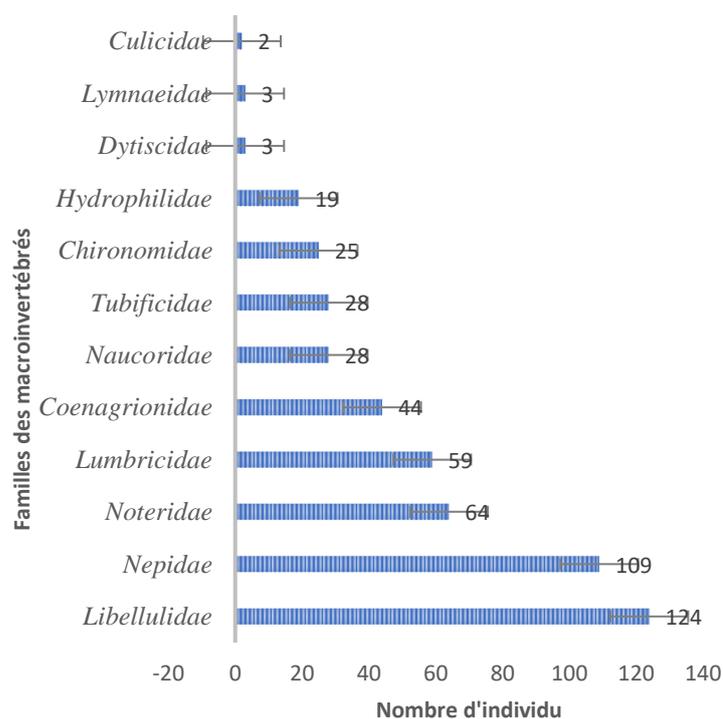


Figure 4. Abondance des différentes familles de macroinvertébrés en saison sèche

3.2. Macroinvertébrés échantillonnés pendant la saison des pluies

Les macroinvertébrés benthiques échantillonnés pendant la saison des pluies dans la rivière Nzinda sont présentés dans le [tableau III](#).

Tableau III. Liste des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda échantillonnés en saison des pluies

Classes	Ordres	Familles	Stations				
			I	II	III	IV	Total
Insectes	Coléoptères	<i>Hydrophilidae</i>	4	1	3	2	10
		<i>Noteridae</i>	7	5	14	6	32
		<i>Haliplidae</i>	6	3	0	3	12
		<i>Dytiscidae</i>	0	1	5	0	6
	Hémiptères	<i>Nepidae</i>	29	33	28	19	109
		<i>Naucoridae</i>	9	13	1	3	26
		<i>Pleidae</i>	1	0	2	4	7
	Diptères	<i>Chironomidae</i>	12	9	4	7	32
		<i>Culicidae</i>	3	4	0	2	9
	Odonates	<i>Libellulidae</i>	67	48	14	42	171
<i>Coenagrionidae</i>		3	2	0	9	14	
Gastéropodes	Basommatophore	<i>Physidae</i>	0	1	0	0	1
Clitellates	Annélides	<i>Lumbricidae</i>	13	17	14	1	45
Total			154	137	85	98	474

Pendant la saison des pluies, 474 spécimens des macroinvertébrés ont été collectés dans la rivière Nzinda. Ces échantillons se répartissent en trois classes distinctes : les insectes, les gastéropodes et les clitellates. L'analyse taxonomique révèle également une diversité notable au niveau des ordres, avec six ordres identifiés : Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Odonates, Basommatophore, et Annélides. La richesse spécifique est encore accentuée par la présence de treize familles différentes, notamment *Hydrophilidae*, *Noteridae*, *Haliplidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Pleidae*, *Chironomidae*, *Culicidae*, *Libellulidae*, *Coenagrionidae*, *Physidae*, et *Lumbricidae*.

Cette diversité indique non seulement la richesse des habitats aquatiques de la rivière Nzinda, mais également l'importance écologique des macroinvertébrés dans cet écosystème. L'étude de ces groupes permet d'évaluer l'état de santé de la rivière et d'identifier les facteurs environnementaux qui pourraient influencer la composition et l'abondance des populations des macroinvertébrés

3.2.1. Abondance des classes de macroinvertébrés en saison des pluies

L'abondance relative des classes des macroinvertébrés benthiques durant la saison des

pluies, illustrée dans la figure 5, met en lumière une répartition significative.

Les insectes dominent largement, représentant 66,7% des effectifs totaux, avec quatre ordres principaux identifiés : Coléoptères, Hémiptères, Diptères, et Odonates. Cette forte présence d'insectes aquatiques durant cette période est particulièrement révélatrice et pourrait avoir des implications importantes pour l'écosystème de la rivière Nzinda.

En revanche, les gastéropodes (Basommatophore) et les clitellates (Annélides) sont moins nombreux, chacun représentant 16,7% des effectifs, avec un seul ordre pour chaque classe. Bien que leur abondance soit inférieure à celle des insectes, leur présence est néanmoins significative. Cela pourrait indiquer des conditions environnementales spécifiques au sein de l'habitat benthique de la rivière.

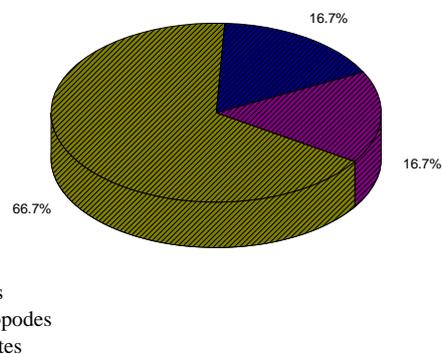


Figure 5. Abondance (%) des différentes classes de macroinvertébrés en saison des pluies

3.2.2. Abondance des ordres de macroinvertébrés benthiques en saison des pluies

Les résultats visualisés sur la figure 6 montrent la répartition des ordres de macroinvertébrés pendant la saison des pluies. Les Coléoptères se distinguent avec la présence de quatre familles (*Hydrophilidae*, *Noteridae*, *Haliplidae* et *Dytiscidae*), représentant ainsi 30,8% de l'ensemble des macroinvertébrés récoltés. Ce groupe est suivi par les Hémiptères, qui comprennent trois familles (*Nepidae*, *Naucoridae* et *Pleidae*), affichant une abondance de 23,1%.

Les ordres Diptères (incluant les familles des *Chironomidae* et des *Culicidae*) et Odonates (composés des familles des *Libellulidae* et des *Coenagrionidae*) présentent chacun deux familles, contribuant à 15,4% de l'abondance totale. En revanche, les ordres tels que les Basommatophore et les Annélides sont moins représentés, chacun comptant une seule famille et représentant 7,69%.

Cette distribution met en évidence la diversité des macroinvertébrés présents dans la rivière Nzinda pendant la saison des pluies. La prévalence des Coléoptères pourrait être liée à leur capacité à s'adapter à divers habitats aquatiques et à leur rôle écologique important dans la décomposition des matières organiques. De plus, la présence significative des Hémiptères et des autres ordres souligne l'importance de la biodiversité dans le maintien de l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique

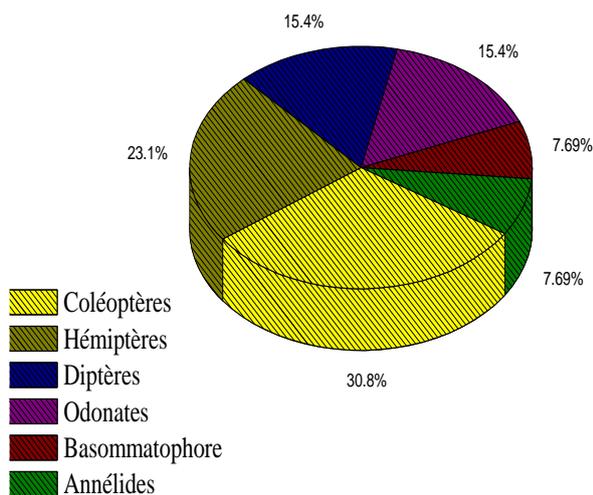


Figure 6. Abondance des différents ordres des macroinvertébrés benthique en saison de pluies

3.2.3. Abondance des différentes familles de macroinvertébrés en saison des pluies

Les données présentées dans la figure 7 révèlent la répartition des familles de macroinvertébrés benthiques de cette rivière. La famille des *Libellulidae* se distingue avec 171 spécimens, suivie par les *Nepidae* avec 109 spécimens. D'autres familles, telles que les *Lumbricidae* (45 spécimens), *Chironomidae* (32 spécimens), et *Noteridae* (32 spécimens), montrent également une présence notable. En revanche, les familles *Naucoridae*, *Coenagrionidae*, *Haliplidae*, *Hydrophilidae*, *Culicidae*, *Pleidae*, *Dytiscidae*, et *Physidae* sont moins représentées.

L'abondance relative de ces familles durant la saison des pluies suggère un écosystème aquatique riche et équilibré. La diversité observée indique des conditions environnementales favorables à la vie aquatique, ce qui est essentiel pour le maintien de la biodiversité et la santé globale de l'écosystème de la rivière. Cette dynamique souligne l'importance de surveiller ces populations pour mieux comprendre les interactions écologiques et les impacts potentiels des changements environnementaux.

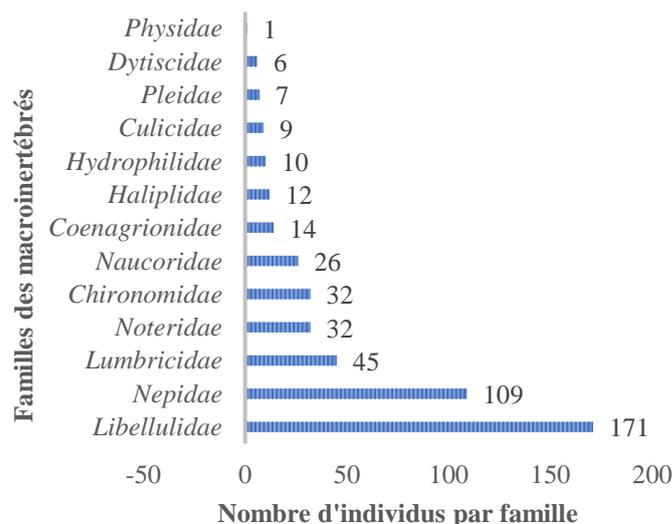


Figure 7. Abondance des différentes familles de macroinvertébrés échantillonnés en saison des pluies

3.3. Paramètres physico-chimiques

3.3.1. Saison sèche

Le tableau IV ci-dessous présente les variations des paramètres physico-chimiques des eaux de la rivière Nzinda durant la saison sèche

Tableau IV. Variation des paramètres physico-chimiques des eaux de la rivière Nzinda durant la saison sèche (pH, température, conductivité, turbidité, largeur, profondeur et vitesse)

Paramètres	Stations d'étude			
	I	II	III	IV
pH	5,15±0,27	4,82±0,12	4,77±0,32	5,27±0,32
Température (°C)	26,55±0,35	27,3±0,35	26,57±0,47	26,4±0,56
Conductivité (µS/cm)	18,75±1,25	21±1	18,5±1,5	20,5±2
Turbidité (UNT)	9,5±0,75	17±3,5	10,25±0,37	10,5±1,5
Largeur (m)	2,63±0,61	2,59±0,56	3,75±0,65	3,69±0,61
Profondeur (cm)	21,5±2	25,5±3,5	23,25±3,25	39,25±6,75
Vitesse (m/s)	13±1,5	12,5±1	15,75±0,75	12,9±0,65

Les paramètres physico-chimiques mesurés dans les quatre stations en saison sèche montrent des variations d'une station à l'autre. Le pH de l'eau oscille entre 4,77 et 5,27, avec la valeur la plus basse enregistrée à la station III et la plus élevée à la station IV. Cette variation du pH peut avoir des implications négatives sur la biodiversité aquatique et la santé des écosystèmes. Concernant la température de l'eau, elle se situe entre 26,3 °C et 26,57 °C, indiquant une homogénéité thermique dans les stations. La turbidité

de l'eau varie de 9,5 à 17 NTU, ce qui peut refléter des différences dans les apports sédimentaires ou organiques dans les différentes stations.

La conductivité de l'eau, qui est un indicateur de la concentration en ions a varié entre 18,5 et 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La station II présente la conductivité la plus élevée (21 $\mu\text{S}/\text{cm}$), tandis que la station III affiche la valeur la plus basse à 18,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces variations peuvent être liées à des variations dans les sources d'eau ou aux différentes activités humaines le long de ce cours d'eau. En ce qui concerne la largeur du lit de la rivière, elle fluctue entre 2,75 m et 3,75 m tandis que la profondeur de la colonne d'eau varie de 25,5 cm à 39,25 cm. Enfin, la vitesse d'écoulement de l'eau se situe entre 12,5 m/s et 15,7 m/s, ce qui peut influencer le transport des sédiments et la distribution des organismes aquatiques.

3.3.2. Saison des pluies

Les valeurs des paramètres physico-chimiques relevées durant la saison de pluies à travers les différentes stations d'étude des eaux de la rivière Nzinda sont reprises au [tableau V](#).

Tableau V. Paramètres physico-chimiques des eaux de la rivière Nzinda durant la saison de pluies

Variables	Stations d'étude			
	I	II	III	IV
pH	5,72 ± 0,22	5,32 ± 0,32	5,45±0,12	6,05±0,15
Température (°C)	26,07±0,22	27,32±0,36	29,17±0,22	28,8±0,45
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	15,75±1,25	21±1,5	18,75±1,75	20,75±1,25
Turbidité (UNT)	8,75±0,75	10,5±0,75	10,5±0,75	11,25±0,37
Largeur (m)	3,40±0,67	3,85±0,32	3,85±0,71	5,15±0,52
Profondeur (cm)	31,97±7,47	19±5,5	28,25±10,25	24,25±9,75
Vitesse (m/s)	15,02±1,02	13±0,5	20,25±1,75	17,5±1

Les résultats présentés dans le [tableau V](#) mettent en évidence les variations des paramètres physico-chimiques mesurés dans les quatre stations durant la saison des pluies. Le pH de l'eau se situe entre 5,32 et 6,05, indiquant une acidité modérée qui pourrait influencer la biodiversité aquatique et les processus biologiques dans l'hydrosystème.

La température de l'eau varie légèrement, oscillant entre 28,8 °C et 29,17 °C, ce qui suggère une stabilité thermique dans les stations. La turbidité de l'eau était située entre 8,75 et 11,25 NTU, ce qui indique des niveaux relativement faibles des particules en suspension et donc favorable à la photosynthèse et à la santé des habitats aquatiques.

En ce qui concerne la conductivité, les valeurs obtenues varient de 15,75 à 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflétant des différences dans la concentration en ions et les apports en nutriments dans les différentes stations. La largeur du lit de la rivière est comprise entre 3,4 m et 5,15 m, tandis que la profondeur de l'eau varie de 19,5 cm à 31,97 cm. Ces dimensions sont essentielles pour comprendre la dynamique hydraulique et l'habitat disponible pour les espèces aquatiques.

Enfin, la vitesse d'écoulement de l'eau, qui varie de 13 m/s à 20,25 m/s, peut avoir un impact significatif sur le transport des sédiments et la distribution des organismes. Les stations I, II, III et IV sont corrélés positivement à l'axe 1, ce qui indique que ces stations partagent des caractéristiques environnementales similaires. Les variables telles que la température, la conductivité, la profondeur et la vitesse de l'eau sont des indicateurs clés de la qualité de l'eau et des conditions écologiques. Une corrélation positive avec ces variables suggère que ces stations pourraient se situer dans des zones où les conditions sont favorables à la vie aquatique, avec une eau plus chaude et une circulation plus rapide, ce qui peut favoriser l'oxygénation et la diversité biologique.

3.4. Paramètres chimiques

La variation des paramètres chimiques des eaux de la rivière Nzinda est reprise au [tableau VI](#).

Tableau VI. Variation des paramètres chimiques de la rivière Nzinda aux stations des prélèvements

Paramètres	Stations d'étude			
	I	II	III	IV
DCO (mg/L)	10,82	10,98	10,73	10,35
DBO ₅ (mg/L)	7,20	7,32	7,15	6,90
Potassium (K ⁺) (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0
Phosphates (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	0,0445	0,0508	0,0357	0,0826
Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/L)	38,15	26,27	17,26	22,19

Les analyses des paramètres chimiques de l'eau, réalisées dans les quatre stations, révèlent des variations notables. La demande chimique en oxygène (DCO) oscille entre 10,35 et 10,98 mg/L ce qui peut

indiquer des niveaux d'oxygène dissous relativement stables, essentiels pour la respiration des organismes aquatiques. De même, la demande biologique en oxygène (DBO) se situe entre 6,90 et 7,32 mg/L, suggérant une activité biologique active dans l'eau, bien que les valeurs restent dans une fourchette acceptable pour un écosystème sain.

Il est important de noter que le potassium (K^+) est entièrement absent dans toutes les stations, ce qui pourrait révéler des caractéristiques spécifiques des sols environnants ou des pratiques agricoles dans la zone. En ce qui concerne les phosphates (PO_4^{3-}), les résultats montrent des concentrations très faibles, variant de 0,0357 à 0,0826 mg/L. Ces faibles niveaux peuvent être bénéfiques, car un excès de phosphates pourrait entraîner une eutrophisation et des déséquilibres écologiques. Enfin, la concentration en nitrates (NO_3^-) varie de 17,26 à 38,15 mg/L, avec un maximum observé à la station I. Cette variation peut être indicative de l'impact des activités humaines ou des apports en nutriments provenant de l'environnement, et elle mérite une attention particulière pour éviter d'éventuels effets néfastes sur la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes aquatiques.

3.5. Indices écologiques

3.5.1. Variations spatiales des quelques indices de diversité en saison sèche

Les données sur les variations spatiales des indices de diversité de la rivière Nzinda pendant la saison sèche comprennent la richesse taxonomique, l'abondance brute, la dominance, l'indice de Shannon, l'indice de Simpson et l'équitabilité de Pielou pour chaque station (tableau VII).

Tableau VII. Variations spatiales des différents descripteurs de la diversité en saison sèche

Indices évalués	Stations d'étude			
	I	II	III	IV
Taxon	8	9	9	10
Individus	158	142	103	83
Dominance	0,1772	0,1819	0,231	0,1607
Simpson	0,8228	0,8181	0,769	0,8393
Shannon	1,879	1,875	1,717	2,004
Equitabilité	0,9034	0,8535	0,7816	0,8701

La richesse spécifique des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda varie de 8 à 10 taxons selon les stations. La station IV présente la plus grande richesse, ce qui pourrait indiquer un habitat plus favorable ou une plus grande hétérogénéité écologique.

Le nombre total d'individus observés diminue de la station I (158 individus) à la station IV (83 individus). Cette tendance pourrait suggérer une pression environnementale accrue ou des conditions moins favorables à la station IV.

Les valeurs de la dominance varient de 0,1607 à 0,231. La station III a la plus forte dominance (0,231), ce qui indique qu'une ou plusieurs espèces dominent fortement la communauté, tandis que la station IV (0,1607) montre une dominance plus faible, suggérant une distribution plus équitable des individus entre les espèces. Les valeurs de l'indice de Simpson, qui mesurent la diversité en tenant compte de la richesse et de l'abondance des individus, varient de 0,769 à 0,8393. La station IV a la valeur la plus élevée, ce qui indique une plus grande diversité et une meilleure répartition des espèces.

Les indices de Shannon montrent des valeurs allant de 1,717 à 2,004. La station IV a le score le plus élevé, ce qui reflète une diversité plus élevée et une meilleure équitabilité dans la distribution des espèces. Les valeurs d'équitabilité varient de 0,7816 à 0,9034. La station I présente la plus grande équitabilité, ce qui signifie que les espèces sont plus également représentées, tandis que la station III montre une équitabilité plus faible, suggérant une dominance de certaines espèces.

3.5.2. Variations spatiales des quelques indices de diversité en saison des pluies

Les résultats présentés au tableau VIII portent sur la variation spatiale de la richesse et de l'abondance taxonomique des macroinvertébrés de la rivière Nzinda en saison des pluies.

Tableau VIII. Variations spatiales des différents descripteurs de la diversité en saison des pluies

Indices évalués	Stations d'étude			
	I	II	III	IV
Taxon	10	11	8	10
Individus	150	136	82	96
Dominance	0,259	0,2156	0,2109	0,2528
Simpson	0,741	0,7844	0,7891	0,7472
Shannon	1,722	1,819	1,735	1,746

Les données présentées dans le tableau VIII montrent que la richesse spécifique des macroinvertébrés dans les stations varie de 8 à 11 taxons. La station II avec (11 taxons) a la plus grande richesse. Cela pourrait indiquer une plus grande diversité d'habitats ou des conditions écologiques favorables à cette station. Le nombre total d'individus observés varie de 82 à 150. La station I a le plus grand

nombre d'individus (150), tandis que la station III (82 individus) en a le moins. Cette variation pourrait être liée à des facteurs environnementaux tels que l'humidité et la disponibilité des ressources alimentaires pendant la saison des pluies.

Les valeurs de dominance montrent une légère variation, allant de 0,2109 à 0,259. La station I présente la plus forte dominance, ce qui pourrait indiquer qu'une ou plusieurs espèces dominent la communauté, tandis que la station III a une dominance plus faible, suggérant une meilleure répartition des individus entre les espèces. Les valeurs de l'indice de Simpson varient de 0,741 à 0,7891. La station II a la valeur la plus élevée, ce qui indique une diversité plus élevée et une meilleure répartition des espèces, tandis que la station I, bien que riche en individus, montre une diversité légèrement inférieure.

Les indices de Shannon varient de 1,722 à 1,819. La station II a le score le plus élevé, ce qui reflète une diversité plus importante et une distribution plus équitable des espèces. Cela suggère que la station II pourrait être un habitat particulièrement riche en biodiversité.

3.6. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

3.6.1. Analyse canonique des correspondances entre les sites d'étude et les macros invertébrés identifiés en saison sèche

Les résultats de l'analyse canonique de correspondance (ACC) des macros invertébrés en saison sèche, illustrés dans la figure 9, révèlent des relations significatives entre les variables abiotiques et les familles de macro invertébrés sur les quatre sites d'étude. Le premier axe de l'ACC explique 58,45% de la variabilité des données, avec une valeur propre de 0,11782. Cela indique que cet axe est crucial pour comprendre les relations écologiques dans les sites étudiés. Le deuxième axe, quant à lui, explique 30,54% de la variabilité, avec une valeur propre de 0,061561, soulignant également son importance, bien que moindre que celle du premier axe.

L'axe 1 est positivement corrélé avec des paramètres tels que la profondeur, la vitesse de l'eau, et la température, ainsi qu'avec la famille de macro invertébrés *Noteridae*. Cela suggère que ces facteurs environnementaux favorisent la présence de cette famille d'invertébrés, indiquant une préférence pour des habitats plus profonds et plus rapides. En revanche, l'axe 2 est corrélé positivement avec des variables telles que la turbidité, la largeur du lit de la rivière, et la

conductivité, ainsi qu'avec plusieurs familles de macro invertébrés, notamment *Hydrophilidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Chironomidae*, *Culicidae*, et *Lumbricidae*. Cela pourrait indiquer que ces familles prospèrent dans des conditions où la turbidité et la largeur du lit sont plus élevées, ce qui pourrait être lié à des habitats plus stagnants ou à des zones de sédimentation.

Les familles *Libellulidae*, *Coenagrionidae*, *Lymnaeidae*, et *Tubificidae* montrent une corrélation négative avec les paramètres physico-chimiques. Cela pourrait signifier que ces familles sont moins présentes dans des conditions où les variables abiotiques sont plus extrêmes ou moins favorables, suggérant une sensibilité à des changements environnementaux.

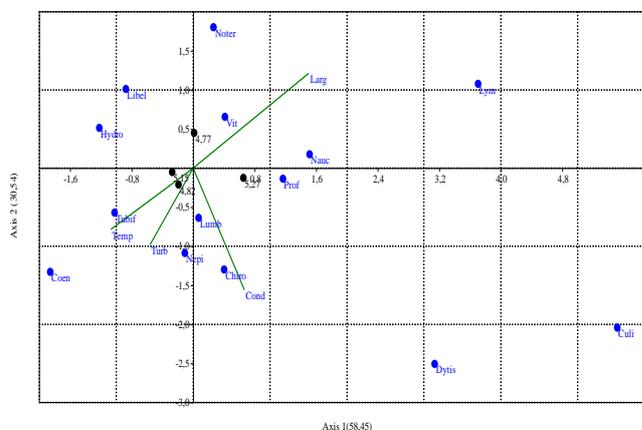


Figure 8. Diagramme de l'analyse canonique de correspondance entre les sites d'échantillonnage des macros invertébrés benthiques en saison sèche

3.6.2. Analyse canonique des correspondances entre les sites d'étude et les macro-invertébrés identifiés en saison des pluies

L'analyse de la matrice de corrélation entre les sept variables abiotiques et les quatorze familles de macro invertébrés, réalisée dans quatre sites de recherche pendant la saison des pluies, met en évidence des relations écologiques significatives. Les résultats, présentés dans la figure 9, montrent que le premier axe explique 59,13% de la variabilité des données, avec une valeur propre de 0,10623, tandis que le deuxième axe explique 34,23% de la variabilité, avec une valeur propre de 0,061492.

Les familles de macroinvertébrés telles que *Noteridae*, *Nepidae*, *Dytiscidae*, *Lumbricidae*, et *Naucoridae* sont corrélées positivement avec des variables telles que la largeur du lit de la rivière, la conductivité, et la turbidité. Cela suggère que ces familles préfèrent des environnements où ces

paramètres sont présents, indiquant une adaptation à des conditions spécifiques liées à la qualité de l'eau.

Les résultats indiquent également que la distribution des macros invertébrés est influencée par plusieurs paramètres physico-chimiques, notamment la température, la profondeur, la conductivité, la vitesse, et la largeur. Cela souligne l'importance de ces facteurs dans la structuration des communautés de macroinvertébrés, suggérant que des conditions environnementales favorables peuvent soutenir une plus grande diversité et abondance d'invertébrés.

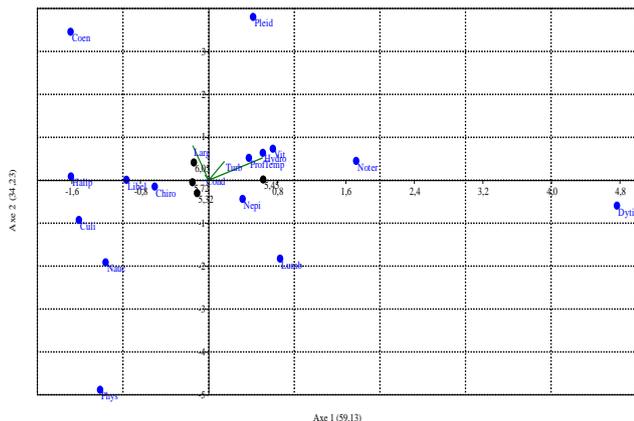


Figure 9. Diagramme de l'analyse canonique de correspondance entre les sites d'échantillonnage des macros invertébrés benthiques en saison des pluies

3.7. Indice Biologique Global Normalisé (I.B.G.N)

3.7.1. Valeurs de l'IBGN obtenues en saison sèche

Les valeurs de l'indice biologique normalisé obtenues en saison sèche obtenues durant la saison sèche dans le cadre de cette étude sont reprises au tableau IX.

Tableau IX. Valeurs de l'IBGN (/20) et la qualité écologique de l'eau de la rivière Nzinda obtenues en saison sèche

IBGN	Station d'échantillonnage			
	I	II	III	IV
Somme de taxons	8	9	9	10
Classe de variété	6	6	6	5
GI	Hydrophili dae	Hydrophili dae	Hydrophili dae	Hydrophili dae
Note IBGN/20	10/20	10/20	10/20	9/20
Classe de qualité	Passable	Passable	Passable	Passable

Légende : GI = Groupe faunistique indicateur

Les données fournies dans le tableau IX concernent l'évaluation de la qualité écologique de l'eau

de la rivière Nzinda en saison sèche, en utilisant l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). Il sort du tableau IX que, toutes les stations sont dominées par le groupe des *Hydrophilidae*, une famille de coléoptères aquatiques. Leur présence peut indiquer des conditions spécifiques de l'eau, mais leur dominance peut également signaler un manque de diversité.

Les stations I à IV montrent une somme de taxons variant de 8 à 10. Cela indique une diversité biologique relativement faible, ce qui peut être un signe de stress écologique ou de pollution dans la rivière. Les notes IBGN varient de 9 à 10 sur 20 pour toutes les stations, ce qui indique une qualité de l'eau passable. Cela signifie que l'eau présente des signes de dégradation, mais n'est pas encore dans un état critique. La classification de la qualité de l'eau comme passable pour toutes les stations suggère que, bien que l'écosystème aquatique soit encore fonctionnel, il est soumis à des pressions qui pourraient affecter sa santé à long terme.

3.7.2. Valeurs de l'IBGN obtenues en saison des pluies

Les valeurs de l'indice biologique normalisé obtenues en saison sèche obtenues durant la saison des pluies dans le cadre de cette étude sont reprises au tableau X.

Tableau X. Valeurs de l'IBGN (/20) aux stations des prélèvements de la rivière Nzinda en saison des pluies

Stations	Station d'échantillonnage			
	I	II	III	IV
Somme de taxons	10	11	8	10
Classe de variété	6	6	5	5
GI	Hydrophilidae	Hydrophilidae	Hydrophilidae	Hydrophilidae
Note IBGN/20	10/20	10/20	9/20	9/20
Classe de qualité	Passable	Passable	Passable	Passable

Légende : GI = Groupe faunistique indicateur

Les données du tableau X fournissent une évaluation de la qualité écologique de l'eau de la rivière Nzinda pendant la saison des pluies, en utilisant l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). Les classes de variété varient de 5 à 6. Bien que la diversité soit encore limitée, la présence de valeurs de 6 dans certaines stations suggère une légère amélioration par rapport à la saison sèche, où les valeurs étaient également de 5 ou 6.

Comme en saison sèche, toutes les stations sont dominées par le groupe des *Hydrophilidae*. Les notes IBGN varient de 9 à 10 sur 20. Bien que ces scores soient similaires à ceux de la saison sèche, la présence d'une station avec une somme de taxons plus élevée

(11) et une note de 10/20 pourrait indiquer une légère amélioration de la qualité de l'eau. La classification de la qualité de l'eau reste passable pour toutes les stations. Cela signifie que, malgré une légère amélioration dans la diversité biologique, la qualité de l'eau est toujours préoccupante et nécessite une attention continue.

4. Discussion

Au total, 979 macroinvertébrés benthiques dans la rivière Nzinda dont 505 en saison sèche et 474 en saison des pluies, ce qui témoigne d'une diversité significative au sein de cet écosystème aquatique. Ces individus sont répartis en trois classes (Insectes, Gastéropodes, Clitellates), six ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères, odonates, Basommatophore, et Annélides) et treize familles (*Hydrophilidae*, *Noteridae*, *Haliplidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Pleidae*, *Chironomidae*, *Culicidae*, *Libellulidae*, *Coenagrionidae*, *Phisidae*, et *Lumbricidae*). Les insectes se sont révélés plus abondant et diversifié, ce qui est en accord avec de nombreuses études notamment, [Alhou et al. \(2009\)](#) ; [Mboye \(2012, 2014\)](#), soulignant la prédominance des insectes dans les milieux aquatiques. Selon [Munganga et al. \(2020\)](#), la forte présence d'insectes pourrait être attribuée à l'apport constant de matières organiques provenant des activités agricoles (l'élevage des porcs, poules, l'agriculture vivrière, etc.) et des porcheries situées le long de la rivière, ainsi qu'à la proximité des habitations. La richesse spécifique, qui varie de 8 à 11 taxons, indique que la rivière Nzinda est riche en macrofaune benthique. D'une manière générale, la composition faunistique de macroinvertébrés benthique de la rivière Nzinda correspond à celle des eaux douces africaines ([Dejoux et al., 1969](#) ; [Lévêque, 1972](#) ; [Anonyme, 1981](#) ; [Durand & Lévêque, 1981](#) ; [Ogbeibu & Oribhabor, 2002](#) ; [Diomandé & Gourène, 2005](#) ; [Sonogo et Kabre, 2014](#) ; [Munganga et al, 2020](#) ; [Eume et al., 2022](#) ; [Sisa et al., 2022](#)). Cela pourrait suggérer que cette rivière bénéficie de conditions écologiques favorables, telles qu'une diversité d'habitats ou une disponibilité accrue de ressources ([Munganga et al., 2020](#)). Une richesse spécifique élevée est souvent synonyme d'un écosystème résilient, capable de soutenir une variété d'espèces, ce qui est crucial pour la stabilité écologique. Au cours de l'étude, treize familles (*Hydrophilidae*, *Noteridae*, *Haliplidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Pleidae*, *Chironomidae*, *Culicidae*,

Libellulidae, *Coenagrionidae*, *Phisidae* et *Lumbricidae*) ont été identifiés. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par [Munganga et al. \(2020\)](#) ; [Camara et al. \(2022\)](#). Dans leurs travaux, [Munganga et al. \(2020\)](#) fait état de trois classes, sept ordres et treize familles des macroinvertébrés identifiés dans la rivière Musolo dans la ville de Kinshasa. [Camara et al. \(2022\)](#) ont identifié 32 familles où les coléoptères dominent.

Les différentes classes et ordres de macroinvertébrés benthiques montrent des sensibilités variées aux conditions environnementales, telles que la qualité de l'eau et la température. Cette diversité peut refléter la capacité de ces organismes à s'adapter à des conditions environnementales changeantes. La présence notable des *Chironomidae* et des *Lumbricidae* pourrait être liée à la forte concentration de matière organique dans les stations d'étude. Ces observations sont cohérentes avec celles de [Ikomi & Arimoro \(2014\)](#) et de [Olomukoro & Dirisu \(2014\)](#) au Nigéria, qui indiquent que ces groupes sont caractéristiques des rivières affectées par la pollution organique. Les déchets domestiques issus des activités humaines dans les stations urbaines de la rivière Nzinda semblent perturber les populations de macroinvertébrés, favorisant la prolifération des *Chironomidae* et des Oligochètes au détriment d'autres familles comme les Éphéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères. Les écosystèmes aquatiques situés dans les grandes villes africaines en général et ceux de la ville de Kikwit en particulier subissent des pressions anthropiques dues au rejet d'effluents variés. Ce phénomène provoque les effets néfastes de la pollution sur les communautés de macroinvertébrés benthiques ([Davis et al., 2011](#)).

Le pH de l'eau de la rivière Nzinda durant la saison sèche indiquent une légère acidité, avec des variations mineures observées entre les différentes stations. Ces fluctuations peuvent avoir des implications significatives pour la santé de l'hydroystème, soulignant la nécessité d'études supplémentaires pour évaluer pleinement leur impact. Les valeurs de pH mesurées, comprises entre $4,77 \pm 0,32$ et $6,05 \pm 0,15$ sont éloignées de la neutralité et, cette acidité pourrait être influencée par la nature géologique du sol. Une variation du pH par rapport aux valeurs habituelles pourrait également signaler une pollution potentielle, ce qui renforce l'importance d'une surveillance continue de la qualité de l'eau pour préserver la santé de l'écosystème ([Munganga et al.,](#)

2020). Les moyennes de température observées dans les stations d'échantillonnage varient de $26,07 \pm 0,22$ à $29,17 \pm 0,22$ °C et, corroborent avec celles relevées par Munganga et al. (2020) (21 et 27 °C). La température élevée mesurée pourrait être attribuée à l'absence de végétation dans ces stations, exposant ainsi l'eau aux rayonnements solaires directs. Cette tendance est également observée dans d'autres rivières tropicales, ce qui souligne l'impact de la couverture végétale sur la régulation thermique des écosystèmes aquatiques. Les valeurs de turbidité le long de la rivière Nzinda ont varié entre 8,75 et 17 UNT. Une turbidité élevée, comme celle mesurée à la station 2, indique une eau plus trouble, souvent causée par la présence des particules en suspension telles que les sédiments, les matières organiques ou les contaminants (Luizi et al., 2024a). Ces particules peuvent avoir des origines naturelles, comme les acides humiques et les débris végétaux, ou anthropiques, résultant des rejets industriels, agricoles et urbains. Une turbidité accrue peut limiter la pénétration de la lumière dans l'eau, affectant ainsi la photosynthèse et la production primaire, ce qui est crucial pour la santé de l'écosystème aquatique. Les valeurs croissantes de turbidité mesurées dans les différentes stations suggèrent une augmentation des particules en suspension, souvent résultant de l'érosion des sols et du ruissellement accru pendant la saison des pluies (Kamb et al., 2015).

Concernant la conductivité, les résultats ont montré des valeurs relativement faibles, variant entre $15,75 \pm 1,25$ et $21 \pm 1,5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces faibles niveaux de conductivité peuvent avoir des conséquences sur la santé des écosystèmes aquatiques, notamment en influençant la disponibilité des nutriments essentiels et la survie des espèces aquatiques sensibles. La situation géographique des stations, situées en zone forestière, pourrait expliquer cette faible conductivité, car le renouvellement constant des eaux ne permet pas une concentration significative des éléments nutritifs issus du lessivage des sols. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Mbega (2004) dans le lac Avanga, où des valeurs de conductivité de $37,8$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ont été mesurées à la fin de la grande saison sèche. Cela souligne une tendance générale observée dans les environnements aquatiques forestiers, où la dynamique hydrologique influence la composition chimique de l'eau. Les variations de turbidité et de conductivité dans la rivière Nzinda sont des indicateurs importants pour évaluer la santé de cet écosystème. La gestion adéquate des activités humaines et des pratiques agricoles dans

la région est essentielle pour minimiser les impacts négatifs sur la qualité de l'eau et préserver la biodiversité aquatique (Nyakabeji et al., 2023).

Les analyses des paramètres chimiques de l'eau effectuées dans les quatre stations révèlent des variations significatives fournissant des informations cruciales sur la santé de l'hydrosystème (Luizi et al., 2024a). Les valeurs de DCO, oscillant entre 10,35 et 10,98 mg/L, indiquent des niveaux d'oxygène dissous relativement stables. Des valeurs de DCO dans cette fourchette sont généralement considérées comme favorables, car elles indiquent une capacité adéquate de l'eau à décomposer les matières organiques, ce qui est crucial pour maintenir un équilibre écologique. Les valeurs de DBO, comprises entre 6,90 et 7,32 mg/L, suggèrent une activité biologique active dans l'eau. Bien que ces valeurs soient acceptables pour un écosystème sain, elles doivent être surveillées de près. Une augmentation significative de la DBO pourrait indiquer une surcharge organique, ce qui pourrait nuire à la qualité de l'eau et à la santé des organismes aquatiques. Les résultats obtenus sur la DBO par Kamb et al. (2015) dans les cours d'eau de Kinsuka (1,14 mg/l) et Mangenge (1,05 mg/L) restent de loin inférieurs aux valeurs moyennes relevées dans cette étude. Akatumbila (2020) dans la rivière Limbimi (1,07 mg/L) a obtenu des valeurs inférieures aux celles relevées dans la présente étude et, plus supérieures à celles obtenus dans la rivière Gombe (38,86 mg/L) dans la ville de Kinshasa en RD Congo.

Les résultats de l'ACC des macros invertébrés en saison sèche ont fourni des informations précieuses sur les relations entre les variables abiotiques et les familles d'invertébrés dans les quatre sites d'étude. Les paramètres tels que la profondeur, la vitesse de l'eau, et la température ont influencé positivement la distribution de macro invertébrés de la famille de *Noteridae*. Cela suggère que ces conditions favorisent la présence de cette famille, indiquant une préférence pour des habitats plus profonds et rapides (Luizi et al., 2024b). Cette observation est cohérente avec des études antérieures qui montrent que les macroinvertébrés peuvent être sensibles aux variations de ces paramètres (Dramane et al., 2009). D'autre part, les variables comme la turbidité, la largeur du lit de la rivière, et la conductivité influence positivement la distribution de plusieurs familles telles que *Hydrophilidae* et *Dytiscidae*. Cela pourrait indiquer que ces familles prospèrent dans des environnements où la turbidité et la largeur du lit sont plus élevées, souvent associés à des habitats stagnants ou à des zones de sédimentation.

Les familles *Libellulidae*, *Coenagrionidae*, *Lymnaeidae*, et *Tubificidae* montrent une corrélation négative avec les paramètres physico-chimiques, suggérant qu'elles sont moins présentes dans des conditions extrêmes. Cela pourrait indiquer une sensibilité accrue à des changements environnementaux, ce qui est crucial pour la gestion des écosystèmes aquatiques. [Dramane et al. \(2009\)](#) ont montré dans leur étude que la concentration en ions nitrates influence la distribution des mollusques (*Bythinidae*, *Ampullariidae*, *Mutelidae*, entre autres).

L'évaluation de la qualité écologique de l'eau de la rivière Nzinda, à travers l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), a révélé des tendances intéressantes tant en saison sèche qu'en saison des pluies. Dans les deux saisons, toutes les stations sont dominées par le groupe des Hydrophilidae, une famille de coléoptères aquatiques. Leur prévalence peut indiquer des conditions spécifiques de l'eau, mais elle soulève également des préoccupations quant à la diversité biologique ([Camara et al., 2020](#)). Une dominance excessive de cette famille pourrait signaler un manque de diversité, ce qui est souvent associé à des écosystèmes en stress ou à des niveaux de pollution accrus ([Eume et al., 2022](#) ; [Sisa et al., 2022](#)). Les notes IBGN, qui varient de 9 à 10 sur 20, confirment cette évaluation, indiquant une qualité de l'eau passable. Bien que l'eau ne soit pas dans un état critique, elle présente des signes de dégradation qui pourraient compromettre la santé de l'écosystème à long terme ([Munganga et al., 2020](#)). En saison des pluies, les données ont montré une légère amélioration, avec une somme de taxons plus élevée (11) et une note de 10/20 suggère une amélioration par rapport à la saison sèche. Cela pourrait être attribué à des conditions hydrologiques plus favorables ([Munganga et al., 2020](#)), qui permettent une meilleure circulation de l'eau et une dilution des polluants ([Luizi et al., 2024b](#)). Malgré cette légère amélioration, la classification de la qualité de l'eau reste passable pour toutes les stations, ce qui indique que l'écosystème aquatique, bien qu'il soit encore fonctionnel, est toujours soumis à des pressions.

5. Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était d'inventorier la biodiversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda à Kikwit, en République Démocratique du Congo, et d'évaluer le degré de pollution de cet hydrosystème face aux pressions anthropiques. Un total de 979 macroinvertébrés a été échantillonné dans

quatre sites. Ces individus appartiennent à trois classes (Insectes, Gastéropodes, Clitellates), six ordres et treize familles. Les Coléoptères se sont révélés plus abondants, soulignant leur importance dans l'écosystème.

Les analyses physico-chimiques de l'eau ont montré des valeurs de pH acides, des températures élevées, et une turbidité variable, suggérant des impacts des activités humaines notamment l'élevage et l'agriculture. Les indices de diversité, tels que ceux de Shannon et Simpson, ont montré des variations significatives entre les stations, avec la station IV montrant une richesse spécifique élevée, indiquant des conditions écologiques plus favorables. La qualité de l'eau est classée comme moins passable, ce qui indique que l'écosystème aquatique, bien qu'il soit fonctionnel, est soumis à des pressions. Au vu des résultats obtenus, la première recommandation serait la mise en place d'un programme de surveillance régulier des paramètres physico-chimiques et de la biodiversité de cette rivière. Deuxièmement, il faudra procéder à des études ultérieures pour évaluer l'impact des variations saisonnières et des activités anthropiques tout en impliquant les communautés locales dans la gestion et la conservation de la rivière pour renforcer les efforts de protection.

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude au Laboratoire de Limnologie, d'Hydrobiologie et d'Aquaculture (LLHA) de la Mention Sciences de la Vie de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa. Leur précieuse aide, notamment à travers l'utilisation de leurs clés d'identification des macroinvertébrés benthiques et la fourniture de matériel pour la collecte de données, a été essentielle dans le cadre de cette étude.

Financement

La recherche a été conduite avec les moyens des auteurs et n'a pas bénéficié d'un financement d'une personne morale ou physique.

Conflit d'Intérêt

Aucun conflit d'intérêt à signaler.

Considérations éthiques

La réalisation de cette étude a bénéficié des autorisations de recherche par les autorités de

l'Université de Kinshasa ainsi que les autorités politico-administratives de la ville de Kikwit.

Contributions des auteurs

M.N.L a participé à la conception de la recherche, collecte des données et rédaction du manuscrit

M.K.C a contribué à la collecte des données, conception de la recherche, rédaction et analyse des données

L.S.W a collecté des données, rédaction et révision du manuscrit, analyse et traitement des données

N.I.C a assuré les orientations et révision du manuscrit

P.K.V a assuré Conception et orientations de la recherche, révision du manuscrit

ORCID

Mumbanga N.L: <https://orcid.org/0009-0006-7668-069X>

Munganga K.C: <https://orcid.org/0009-0001-1909-5674>

Lusasi S.W: <https://orcid.org/0009-0001-1909-5674>

Nsimanda I.C: <https://orcid.org/0009-0007-2411-2444>

Pwema K.V: <https://orcid.org/0009-0002-2355-1668>

Références bibliographiques

AFNOR. (2004). NF T90-350. Qualité de l'eau : Détermination de l'indice global normalisé (IBGN). Afnor.

Agropolis. (2007). Les dossiers d'Agropolis international, "Ecosystèmes aquatiques: ressources et valorisation", n°6, 68.

Akatumbila, L.A. (2020). *Analyse de la variation saisonnière des caractéristiques physico-chimiques, des macroinvertébrés et de la flore algale benthique des rivières Limbimi et Gombe à Kinshasa* [Thèse de Doctorat, Université de Kinshasa].

Alhou, B., Micha, J.C., Dodo, A. & Awaiss, A. (2009). Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 : 240-254.

Anonyme. (1981). Guide de terrain des Gastéropodes d'eau douce africains. I- Afrique occidentale. Danish bilharziasis laboratoy, Danemark.

Barbault. (1992). Ecologie des peuplements, structure, dynamique et évolution. Paris, Masson.

Camara, A.I., Kra, K.M., Kouadio, K.N., Konan, K.M., Edia, O.E., Doumbia, L., Ouattara, A. & Diomande, D. (2020). Composition, structure et alimentation fonctionnelle de l'entomofaune

aquatique du lac Kodjoboué : Evaluation de la qualité de l'eau. *Open Journal of Ecology*, 10 : 160 – 176.

<https://doi.org/10.4236/oje.2020.104011>.

Colas, R., Shinohara, M., Dalli, J. & Chiang, N. (2014). Identification and signature profiles for pro-resolving and inflammatory mediators. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 307(1), C39-C54. doi: 10.1152/ajpcell.00024.2014.

Dajoz, R. (2006). Précis d'écologie. Dunod, Paris.

Davis, A.M, Thorburn, P.J., Lewis, S.E., Bainbridge, Z.T., Attard, S.J., Milla, R. & Brodie, J.E. (2011). Environmental impacts of irrigated sugarcane production : Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. *Agric.,Ecosyst. Environ*, 180,123-135.

Dejoux, C., Lauzanne, L. & Lévêque, C. (1969). Evolution qualitative et quantitative de la faune benthique dans la partie est du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 3 (1), 3-58.

Diomandé, D. & Gourène, G. (2005). Premières données sur la macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la Bia (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature*, 2(2), 167-176.

Diomandé, D., Bony, Y.K., Edia, E.O., Konan, K.F & Gourène, G. (2009). Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest) *European Journal of Scientific Research*, 35(3), 368-377.

Durand, J.R. & Lévêque, C. (1991). Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-soudanienne (Tome II). Paris, ORSTOM.

Dynesius, M. & Nilsson, C. (1994). Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, 266, 753-762.

Eume, L.T., Lusasi, S.W., Nsimanda, I.C., Isumbisho, M.P. & Pwema, K.V. (2022). Contribution to the knowledge of freshwater shrimps (*Crustacea*, Decapoda) and their spatial distribution in the Malebo Pool (Congo River), R.D Congo. *Annual Research & Review in Biology*, 37(5), 30-43. DOI: 10.9734/ARRB/2022/v37i530508.

Ikomi, R.B. & Arimoro, F.O. (2014). Effects of recreational activities on the littoral macroinvertebrates of Ethiopie River, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Aquatic Sciences*, 29, 155–170.

Kamb, T.J.-C, Ifuta, N.S, Mbaya, N.A. & Pwema K.V. (2015). Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système

- lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(2), 970-985.
- Legendre, P. & Legendre, L. (1984). Numerical Ecology. Second edition, Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Lévêque, C. (1972). Mollusques benthiques du lac Tchad: écologie, étude des peuplements et estimation des biomasses. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, 6 (1), 3-45.
- Luizi, B.A., Lusasi, S.W., Kamb, T.J.C., Pwema, K.V. & Nyongombe, U.N.F. (2024b). Diversité et écologie des espèces de poissons du genre Clarias (Clariidae, Siluriformes) du bassin versant côtier de la République Démocratique du Congo dans la province du Kongo Central, territoire de Muanda. *International Journal of Applied Research*, 10(2): 18-29.
- Luizi, B.A., Lusasi, S.W., Kamb, T.J.C., Pwema, K.V. & Nyongombe, U.N.F. (2024a). Caractérisation physico-chimique des eaux de quelques écosystèmes aquatiques du bassin versant côtier de la République Démocratique du Congo dans la province du Kongo Central, territoire de Muanda. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 47(1) : 335-366.
- Magurran, A.E. (2004). Measuring Biological Diversity. Oxford, Blackwell Publishing.
- Mbega, J.D. (2004). *Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogoué (Gabon)* [Thèse de doctorat, Université de Namur].
- Mboye, B. (2014). Etude préliminaire du bassin de l'Ivindo. Rapport de mission, Libreville.
- Mboye, B. (2012). Inventaire de la plaine Wanga. Rapport de mission, Libreville, 12 p.
- Moisan, J. & Pelletier, L. (2011). Réponses des macroinvertébrés benthiques à la contamination métallique Site minier de Notre Dame de Montauban, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 24 p.
- Moisson, J. (2010). Guide identification de principaux macroinvertébrés benthique d'eau douce du surveillance volontaire de cours d'eau peu profonde, Direction de suivi de l'état de l'environnement, Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, ISBN 978-550-58416-2, 82 p.
- Munganga, K.C., Lusasi, S.W. & Pwema, K.V. (2020). *Evaluation de la qualité écologique de la rivière Musolo à Kinshasa : Basée sur les macroinvertébrés benthiques en République Démocratique du Congo*. Riga, Editions Universitaires Européennes.
- Nyakabeji, B.M., Mushagalusa, M.E., Mashimango, B.J.-J. & Basabose, K.A. (2023). Diversité des macroinvertébrés benthiques des rivières du Nord-Est de l'Île d'Idjwi, République Démocratique du Congo. *Vertigo – La revue électronique en Sciences de l'Environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.40649>.
- Ogbeibu, A.E. & Oribhabor, B.J. (2002). Ecological impact of river impoundment using benthic macro-invertebrates as indicators. *Water Research*, 36, 2427–2436.
- Olomukoro, J.O. & Dirisu, A.-R. (2014). Macroinvertebrate community and pollution tolerance index in Edion and Omodo Rivers in derived savannah wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 147, 1 – 6.
- Palmer, M.W. (1993). Putting things in even better order: the advantages of Canonical Correspondence Analysis. *Ecology*, 74, 2215 - 2230.
- Pielou, E.C. (1966). Shannon's formula as measure of specific diversity; its use and measure. *American Naturalist*, 100.
- Ramade, F. (1984). *Éléments d'écologie : Ecologie fondamentale*. Paris, Edit Mac GRAWHILL.
- Sanogo, S. & Kabre, T.J.A. (2014). Dynamique de structuration spatio-temporelle des populations de familles de macroinvertébrés dans un continuum lac de barrage-effluent-fleuve issu de périmètre irrigué. Bassin de la Volta (Burkina Faso). *Journal of Applied Biosciences*, 78, 6630-6645.
- Sanogo, S., Kabre, T.J.A. & Cecchi, P. (2014). Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (3), 1005-1029.
- Sisa M.E., Kamb T.J.C., Pwema K.V., Mutambel H.D & Bunda P.M.N. (2022). Structure of Odonata populations in the riparian strips of the Bumbu River watershed in Kinshasa/RD Congo. *International Journal of Science and Research*

Archive, 06(01) : 028–039. DOI:
<https://doi.org/10.30574/ijrsra.2022.6.1.0095>.

Tachet, H., Richoux M., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2010). Invertébrés d'eau douce : Systématique, Biologie, Ecologie. Paris, éditions CNRS.

Ter, Braak C.J.F. (1988). Partial canonical correspondence analysis. *In: Classification and related methods of data analysis* (Bock, H. H., eds), Amsterdam, 551-558.