

Etude De La Structure Des Peuplements De Macroinvertébrés Benthiques Du Lac Kadima's Pride Of Africa À Kinshasa / R.D. Congo

Ephrème Seke MANGALA¹, Jean-Claude Tshijik KAMB¹, Eouard Mbungu SISA^{1,*}, John Gikug MUNGANGA², Ladislav Mutomb MUKAD'A¹, Véronique Mande MUJANI¹, Norbert Pata Mayala BUNDA¹ et Jolie Lukonde KIPIMBYE¹

¹ Laboratoire d'hydrobiologie, Université Pédagogique Nationale B.P. 8815 Kinshasa I, DRC;

² Laboratoire de biologie, Institut Supérieur Pédagogique de Milundu, Kwilu, RDC.

* Correspondance : edwrdsisam@gmail.com ; Tel. : +243812837297



Resumé – L'analyse de la biocénose des macroinvertébrés benthiques du lac Kadima's Pride a été l'objet de cette étude, ayant permis de comprendre leur mode de distribution dans leur structure. Pour y parvenir, plusieurs analyses ont été faites en partant des paramètres physico-chimiques de leur habitat, à savoir, température, conductivité, pH, turbidité, oxygène dissous, ammonium, nitrite, nitrate, phosphates et DBO₅. Les résultats ainsi obtenus ont montré une diversité de peuplement dans cette zone de recherche, où huit cents treize espèces ont été capturées en deux saisons, suivant une taxonomie ayant permis de les grouper en quatre classes, huit ordres et vingt-deux familles. De cette répartition, la forte densité a été observée chez les insectes. Les paramètres abiotiques comme la température, l'oxygène dissous et la teneur en matière organique ont influencé la répartition des insectes dans ce hydrosystème. Les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver obtenues dans le lac Kadima's Pride en saison sèche et pluvieuse, sont respectivement de 1,5 et 1,85. Ces valeurs comprises entre 0,5 et 4,5 indiquent par conséquent que le lac Kadima's Pride est diversifié. Les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Pielou calculées pendant une période pour les mêmes saisons se présentent de la manière suivante : 0,69 en saison sèche et 0,81 en saison pluvieuse. Ces valeurs présentent ainsi une équitabilité proche du chiffre Un (1), justifiant cet équilibre entre les taxons.

Mot clés – Biocénose Macroinvertébrés Benthiques, Lac Kadima's Pride, Distribution Structure, Paramètres Physico-Chimiques, Température, Conductivité, Ph, Turbidité, Oxygène Dissous, Ammonium, Nitrite, Nitrate, Phosphates, DBO₅, Diversité Peuplement, Insectes Densité, Abiotiques Influence, Shannon-Weaver Indice, Pielou Equitabilité, Equilibre Taxons.

Abstract – The analysis of the biocenosis of benthic macroinvertebrates from Kadima's Pride Lake was the subject of this study, having made it possible to understand their mode of distribution in their structure. To achieve this, several analyses were carried out based on the physico-chemical parameters of their habitat, namely temperature, conductivity, pH, turbidity, dissolved oxygen, ammonium, nitrite, nitrate, phosphates and BOD₅. The results thus obtained showed a diversity of population in this research area, where eight hundred and thirteen species were captured in two seasons, following a taxonomy that allowed them to be grouped into four classes, eight orders and twenty-two families. From this distribution, high densities were observed in insects. Abiotic parameters such as temperature, dissolved oxygen and organic matter content influenced the distribution of insects in this hydrosystem. The mean Shannon-Weaver index values obtained in Kadima's Pride Lake during the dry and wet seasons are 1.5 and 1.85, respectively. These values between 0.5 and 4.5 therefore indicate that Kadima's Pride Lake is diverse. The average values of the Pielou equitability index calculated over a period for the same seasons are as follows: 0.69 in the dry season and 0.81 in the rainy season. These values thus have an equitability close to the number One (1), justifying this balance between taxa.

Keywords – Biocenosis, Benthic Macroinvertebrates, Kadima's Pride Lake, Distribution, Physico-Chemical Parameters, Temperature, Ph, Turbidity, Dissolved Oxygen, Biodiversity, Species Taxonomy, Insect Density, Abiotic Influence, Shannon-Weaver Index, Piélou Equitability, Taxa Balance.

I. INTRODUCTION

Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, est construite sur la rive gauche du fleuve Congo sur une longueur de 35 km (de Maluku à Kinsuka) (Burgis et Symoens, 1987). Elle se situe à 284 mètres d'altitude, entre 4°19'19'' de latitude Sud et 15°19'6'' de longitude Est (Pain, 1975). Elle présente un réseau hydrographique dense. Sa superficie est de 9.965 km² avec un réseau hydrographique constitué du fleuve Congo, des rivières allogènes et des rivières locales dont les plus importantes sont : la N'djili et la N'sele. A côté de ces dernières, il y'a également les rivières Gombe, Kinkusa, Lukunga, Bitshaku-sthiaku, Kalamu, Lukaya, Mango, Tshwenge et Mangengenge (Kamb, 2018). Il existe aussi des lacs tels que celui de Mavallé et de Kadima's.

Les eaux de toutes ces rivières citées et celles des autres cours d'eaux traversant les grandes villes africaines servent à multiples usages : Il s'agit notamment de la baignade, du lessivage, de l'arrosage des cultures maraichères et servent aussi à l'élimination des effluents domestiques et industriels. Ces multiples usages de l'eau altèrent sa qualité et perturbent l'équilibre de la biocénose locale ainsi que le fonctionnement général de l'écosystème (Kabamba, 1981 ; Brusle et Quignard, 2004 ; Kamb, 2018 ; Sisa, 2022a).

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

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

Les Macroinvertébrés participent au processus de décomposition qui conduit au recyclage des nutriments (Bournaud et Keck, 1980 ; Rosenberg et Resh, 1993).

L'utilisation des macroinvertébrés dans l'étude de la qualité des eaux est devenue très fréquente et diversifiée, ce qui explique l'explosion de nombreuses méthodes utilisées actuellement pour évaluer l'état des écosystèmes aquatiques. Ces méthodes portent entre autres sur l'étude de la structure et de la composition des macroinvertébrés (Lomond et Colbo, 2000 ; Tumwesigye *et al.*, 2000), sur l'utilisation des indices biotiques (Lafont *et al.*, 1991 ; Solimini *et al.*, 2000), des traits biologiques (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000 ; Statzner *et al.*, 2004 ; Vanden Bossche et Usseglio-Polatera, 2005 ; Mondy *et al.*, 2012) et des analyses multivariées qui mettent en relation les facteurs environnementaux et les communautés de macroinvertébrés (Lancaster, 1999 ; Sarkar *et al.*, 2005 ; Piscart *et al.*, 2005 ; Floury *et al.*, 2013).

Dans la ville de Kinshasa, les études sur les macroinvertébrés benthiques sont fragmentaires. Nous pouvons citer les travaux de : Golama et Lohaka (1999) sur la nécessité de mettre en place une réglementation adéquate relative à l'évacuation des déchets ménagers et industriels via les cours d'eau, et une normalisation de la qualité des eaux superficielles ; Mansiangi *et al.* (1999) sur

l'incidence des déchets sur la qualité de l'eau et la biocénose de la rivière Kemi ; Mbadu (2002) sur l'impact de l'utilisation du bassin versant de la Lukunga sur son environnement ; Kamb (2013) sur la structure et la dynamique des peuplements des macroinvertébrés dans la rivière Lukunga ; Kamb *et al.*(2015) sur l'influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés dans les rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge ; Kamb *et al.*(2016) sur l'analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge.

Le Parc animalier Kadima's Pride of Africa étant l'un de parc qui a signé une convention en février 2010, avec l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) dans le cadre du Partenariat Public – Privé, pour des objectifs précis et une vision basée sur l'éducation, à la sauvegarde de l'environnement et à la conservation de la nature, d'une part, et au développement des activités touristiques d'autre part, le **Parc Kadima's Pride Of Africa** ambitionne de devenir le meilleur site touristique pour les Kininois et autres visiteurs de passage à Kinshasa grâce aux variétés de la faune aussi sauvage qu'emblématique. Ainsi, il vise valoriser les ressources naturelles par le tourisme, notamment des jeunes à travers l'éducation environnementale et citoyenne. C'est dans ce parc qu'existe un lac naturel.

Les macroinvertébrés aquatiques de ce lac, nous intéresse en tant que tels car encore inconnus. L'une de raison de cette étude est que certains groupes des macroinvertébrés sont des bio-indicateurs de la qualité écologique pouvant permettre le monitoring de l'impact des activités anthropiques sur cet écosystème (Véronique, 2014).

Par exemple, une diversité élevée en macroinvertébrés fait souvent preuve d'une bonne source alimentaire des poissons d'un écosystème aquatique (Tachet *et al.*, 2009).

La localisation de ce lac dans un tel milieu, sans source ni affluent laisse penser qu'il peut regorger une biodiversité aquatique particulière comparativement aux autres écosystèmes aquatiques de la région.

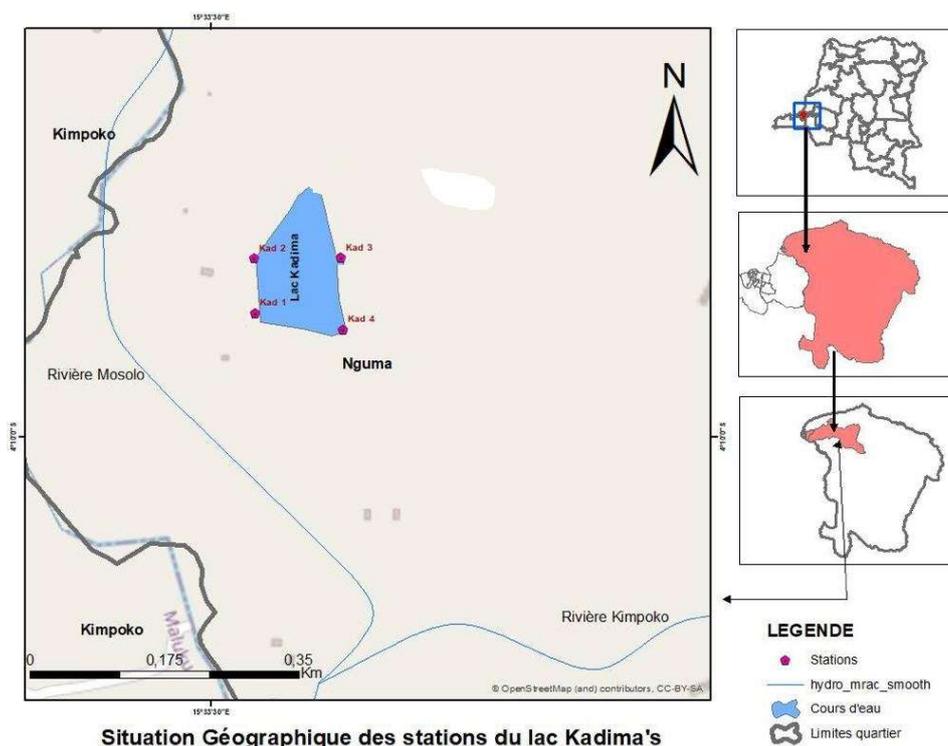
Cependant, la caractérisation des peuplements des macroinvertébrés benthiques de la majeure partie des hydrosystèmes de la ville province de Kinshasa reste encore embryonnaire. C'est Pourquoi, cette étude est une contribution à l'approfondissement des connaissances sur la faune des macroinvertébrés benthiques du lac de parc Kadima's dans la ville province de Kinshasa.

Cette étude a pour objectif de caractériser la structure des biocénoses des macroinvertébrés benthiques des systèmes lenticques du lac Kadima's et de comprendre le mode de distribution de cette biocénose afin d'expliquer les éléments à la base de cette structuration. Il s'agit de (d') :

- Caractériser les paramètres abiotiques structurants les peuplements des MIB dans ce lac ;
- Apprécier la qualité des bandes riveraines et déterminer sa capacité écologique afin de relever l'influence de celle-ci sur la chimie de l'eau et sur la diversité taxonomique des MIB ;
- Inventorier la macrofaune benthique qui peuplent ce lac et enfin ;
- Evaluer la diversité de ce peuplement.

II. MILIEU D'ETUDE

Le bassin versant du parc animalier Kadima's Pride of Africa est situé dans la zone de plateau de Bateke à Kinshasa, précisément dans la partie Est de la ville à la localité de Kimpoko, commune de la N'sele, axe Kinshasa/Maluku à Côté de l'académie Policière. Il est située à Kinshasa dans la partie Est à 4°95'41'' latitude sud et 15°33'33'' longitude est. Elle est limitée au Nord et à l'Est par la commune de Maluku, au Sud et à l'Ouest par l'académie Policière ; son altitude moyenne est de 304 m. Il s'étend sur une superficie de 140 hectares.



Situation Géographique des stations du lac Kadima's

Figure 1. Localisation des stations d'étude dans le lac Kadima's

Selon le système de classification de Köppen, la ville de Kinshasa appartient au type climatique AW_4 correspondant au climat tropical (Crabbe, 1975 ; Goffinet, 1975 et Goffaux, 1990). Ce climat est de type soudanien et est caractérisé par la présence de deux saisons : une sèche de 4 mois (mi-mai à mi-septembre) et une pluvieuse de 8 mois (mi-septembre à mi-mai) (Bultot et Griffit, 1971). Toutefois, compte tenu des mutations climatiques que connaît la région de Kinshasa, ce système de classification nécessite une mise à jour (Sisa *et al.*, 2012).

La caractérisation de la forme du bassin du lac Kadima's ainsi que les coordonnées géographiques ont été déterminées à l'aide du GPS (Global Positioning System) de marque Garmin II. Les coordonnées géographiques, les caractéristiques et la description de la végétation dominante de chaque station sont reprises dans le tableau 1.

Tableau 1 Coordonnées Géographiques et profondeur moyenne des stations d'étude

Station	Altitude (m)	Latitude (Sud)	Longitude (Est)	Profondeur moyenne (m)
KAD 1	308	04° 09' 54,1''	015°33'22,5''	1,8
KAD 2	308	04° 09' 54,0''	015°33'22,5''	1,7
KAD 3	309	04°09'49,3''	015°33'34,5''	3,5
KAD 4	308	04°09'54,33''	015°33'35,2''	3,5

Physical Variables of the Channels and Surroundings and Physicochemical Variables of the Water

Les mesures des paramètres physiques de l'eau ont porté sur la température (°C), la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$), la turbidité (UNT : Unité Néphélométrique de Turbidité) et le pH. Ces paramètres ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde analyseuse multiparamètre de marque Gombo Hanna HI 98129.

Les analyses chimiques ont porté sur l'oxygène dissous (mg/l), l'azote ammoniacal (NH_4^+) (mg/l), le nitrite (NO_2^-) (mg/l), le nitrate (NO_3^-) (mg/l), les phosphates (PO_4^{3-}) (mg/l), la DBO_5 . En dehors de l'oxygène dissous qui a été mesuré *in situ* à l'aide de la sonde multiparamètre de marque WTW340i/SET, le dosage des autres paramètres a été effectué au laboratoire du Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA/CREN-K) à l'aide du spectrophotomètre de marque HACH DR/2400.

2.3.2 Récolte, conservation et identification des spécimens

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques a été fait à l'aide d'un troubleau. Ce dernier est constitué d'un cadre métallique de 30 cm^2 sur lequel est fixé un filet conique à maille de 1 mm. Pour capturer les MIB, le filet a été posé horizontalement en aval du transect, avec l'ouverture orientée vers les racines de végétaux, puis l'eau était remuée pour déloger les organismes de leur substrat, afin de permettre au courant de les orienter dans le filet. Les spécimens ainsi échantillonnés ont été triés et conservés dans des bocaux de 2 litres contenant l'eau du site. Au laboratoire, après un tri minutieux, les spécimens ont été fixés dans du formol 5% contenus dans des flacons de 10 ml, avant leur identification.

Sur chaque bocal et flacon, étaient mentionnés, la date et l'heure de prélèvement, le numéro de la station, le type de substrat et la partie du lit concernée.

L'identification des taxons s'est effectuée principalement à l'aide des clés de détermination proposées par Macan (1959) ; Durand et Leveque (1981) ; Evrard (2001), Mary (2010) et Tachet *et al.* (2010) sous stéréo-loupe binoculaire et, occasionnellement, à l'aide d'un microscope pour certains détails précis. Afin de réduire le risque d'erreur, la position systématique a été faite jusqu'au niveau de famille. Ceci est utile lorsqu'on veut obtenir un portrait général d'un écosystème aquatique (Touzin, 2008), et ce choix constitue un compromis entre ce qui est souhaitable d'un point de vue information écologique et ce qui est possible d'un point de vue identification (Tachet *et al.*, 2010).

2.3.3 Analyse des données

Les données se référant aux paramètres physico-chimiques et à la structure des peuplements des MIB du Lac Kadima's, ont été soumises à divers traitements (analyse de diversité et Analyses en Composantes Principales). **Diversité spécifique** est représentée par deux composantes : la richesse spécifique et l'abondance relative (Campbell et Reece, 2007, Kamb, 2018).

Quatre indices ont été calculés pour comparer la diversité taxonomique stationnelle. Il s'agit de : la richesse taxonomique, la composition taxonomique, la diversité de Shannon et Weaver, la distribution des taxons au sein des stations ou l'équitabilité de Pielou, et la similarité de Jaccard basée sur la présence ou l'absence des taxons entre les stations.

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

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

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,

ni : effectif du taxon i;

N : effectif total de la station.

L'indice d'équitabilité a permis de mesurer l'équilibre des taxons au sein des peuplements. 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 ; Kamb, 2018). Cet indice varie de 0 à 1, et s'obtient par la formule: $J' = H' / H'_{\max}$ où $H'_{\max} = \log_2 S$

La valeur de J' varie entre 0 (une seule espèce domine) et 1 (toutes les espèces ont la même abondance).

Ces différents indices ont été calculés à l'aide d'un logiciel statistique (Past : Paleontology statistica.) Version 6.1.

Dans le cadre de cette étude, l'Analyse en Composantes Principales a été utilisée pour étudier l'influence des variables environnementales sur la distribution des familles de MIB dans le lac Kadima's.

L'ACP permet un arrangement des entités écologiques (sites, espèces ou autres variables) le long des axes bi ou pluridimensionnels sur la base des données relatives à la composition spécifique ou aux variables environnementales.

Selon Kamb (2018), l'utilisation de l'ACP passe par les étapes suivantes :

- (1). Constituer une matrice de données à deux dimensions, abondance des espèces-stations ou variables environnementales-stations ;
- (2). Transformer les données brutes quantifiables (abondance en $\log(x+1)$, variables environnementales en $\ln(x+1)$), données en pourcentage en arc sin racine carrée x ;
- (3). Soumettre les données à l'analyse proprement dite.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour déterminer les relations existant entre les MIB et les variables environnementales. Elle a également été utilisée pour traiter les données relatives aux variations de peuplement des MIB dans le lac.

Les conditions d'application de l'ACP utilisée dans le cadre de ce travail sont inspirées des travaux de Mergen (2002) et Wamuini (2010). Les analyses ont été réalisées avec le logiciel Past version 6.1.

III. RESULTATS

3.1. Paramètres physiques et chimiques de l'eau du Lac Kadima's

3.1.1. Paramètres physiques en saison sèche

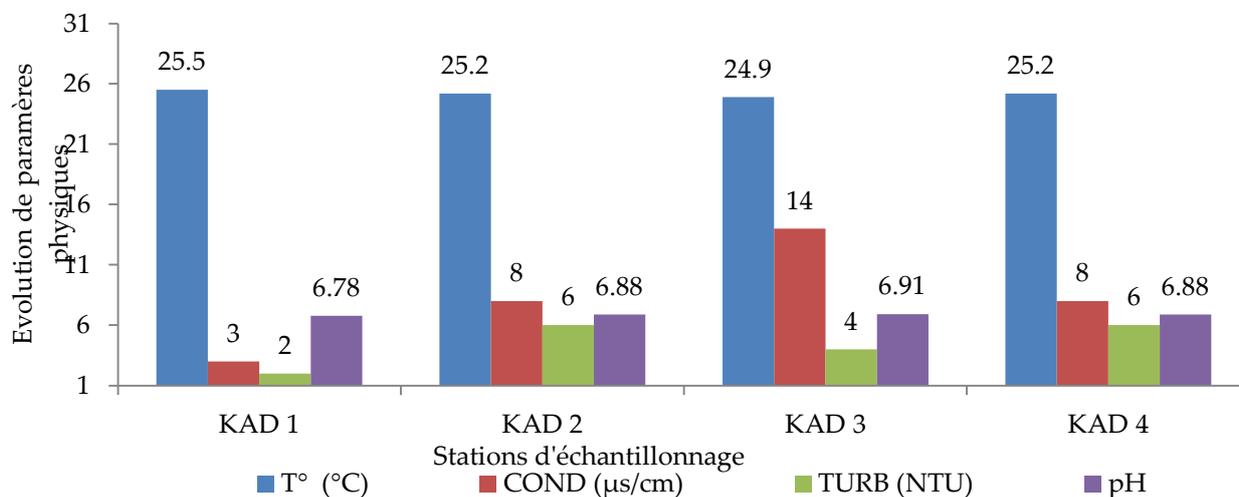


Figure 2. Evolution de paramètres physiques du lac Kadima's en 2022

La figure 1 renseigne que la valeur moyenne la plus élevée de la température des eaux du lac Kadima's en saison sèche a été prélevées à la station KAD 1 (25,5°C) et la plus basse à la station KAD 3 (24,9°C).

En ce qui concerne la valeur moyenne la plus élevée de la Conductivité des eaux du lac Kadima's, elle a été enregistrée à la station KAD 3 soit 14 µs/cm et la plus faible (soit 3 µs/cm) l'a été à la station KAD1.

La valeur moyenne maximale de la turbidité a été observée aux stations KAD 2 et KAD 4 (Soit 6 UNT) et la valeur moyenne minimale a été enregistrée à la station KAD1 (2 UNT).

Quant au pH, sa valeur moyenne la plus élevée a été mesurée à la station KAD 3 (soit 6,91) et la valeur faible a été prélevée à la station KAD 1 (soit 6,78).

3.1.2. Paramètres physiques en saison pluvieuse

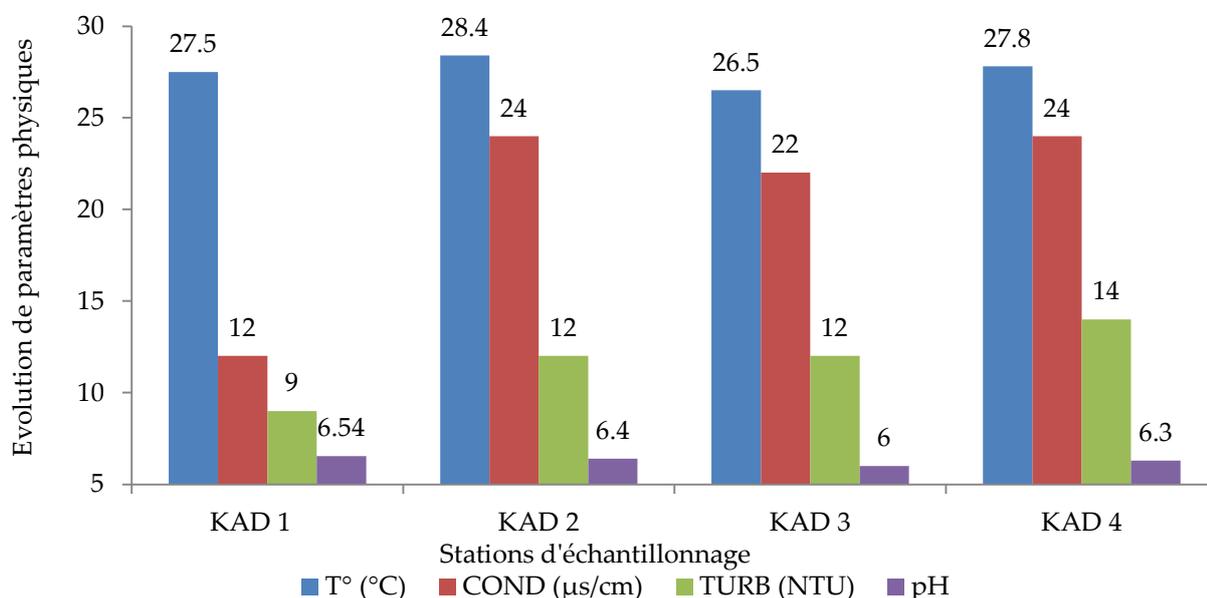


Figure 3. Evolution de paramètres physiques du lac Kadima's en saison pluvieuse 2022

La valeur moyenne la plus élevée de la température des eaux du lac Kadima's en saison pluvieuse a été prélevées à la station KAD 2 (soit 28,4°C) et la plus basse à la station KAD 3 (26,5°C) (figure III.2).

En ce qui concerne la valeur moyenne la plus élevée de la Conductivité des eaux du lac Kadima's en saison pluvieuse, elle a été mesurée aux stations KAD 2 et KAD 4 soit 24 µs/cm et la faible conductivité a été enregistrée à la station KAD1 soit 12 µs/cm.

La valeur moyenne élevée de la turbidité dans le lac Kadima's a été prélevée à la station KAD 4 (Soit 14 UNT) et la valeur moyenne la plus faible a été enregistrée à la station KAD1 (9 UNT).

Quant au pH, sa valeur moyenne la plus élevée a été mesurée à la station KAD 1 (soit 6,54) et la valeur faible a été prélevée à la station KAD 3 (soit 6).

3.1.2. Paramètres chimiques en saison sèche

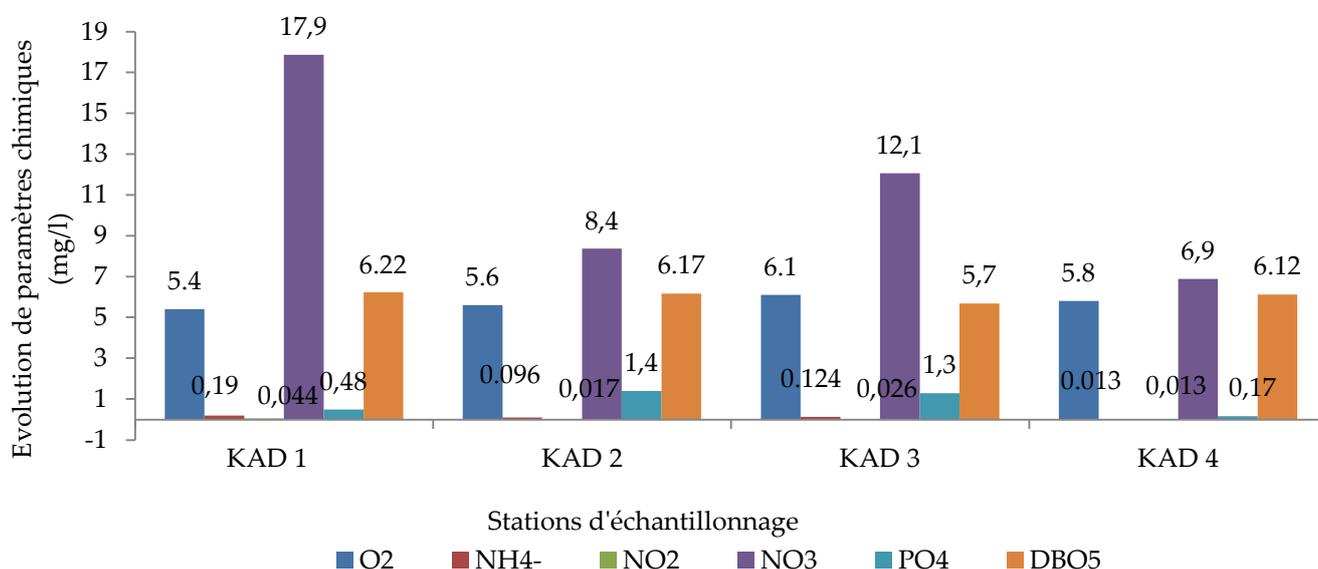


Figure 4. Evolution de paramètres chimiques du Lac Kadima's en saison sèche 2022

La figure 4 renseigne que dans le lac Kadima's en saison sèche 2022, la quantité de l'oxygène dissous la plus élevée a été mesurée à la station KAD 3 (soit 6,1 mg/l). La faible quantité a été prélevée à la station KAD 1 (soit 5,4 mg/l).

En ce qui concerne l'ammonium, la teneur la plus élevée a été enregistrée à la station KAD 1 (soit 0,19 mg/l). La teneur la plus faible a été observée à la station KAD 4 (soit 0,013 mg/l).

Les teneurs en nitrite et en phosphates les plus élevées ont été prélevées à la station KAD1 soit respectivement 0,044 mg/l et 0,48 mg/l. Les teneurs les plus faibles ont été enregistrées à la station KAD 4 soit respectivement 0,013 mg/l et 0,17 mg/l.

La station KAD 1 a enregistré la teneur en nitrate la plus élevée en saison sèche dans le lac Kadima's (soit 17,9 mg/l) et la station KAD 4 a fait observer une teneur faible soit 6,9 mg/l.

Quant à la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), la demande la plus élevée a été remarquée à la station KAD 1 (soit 6,22 mg/l) et la plus faible demande a été enregistrée à la station KAD 3 (soit 5,7 mg/l).

3.1.4 Paramètres chimiques en saison pluvieuse

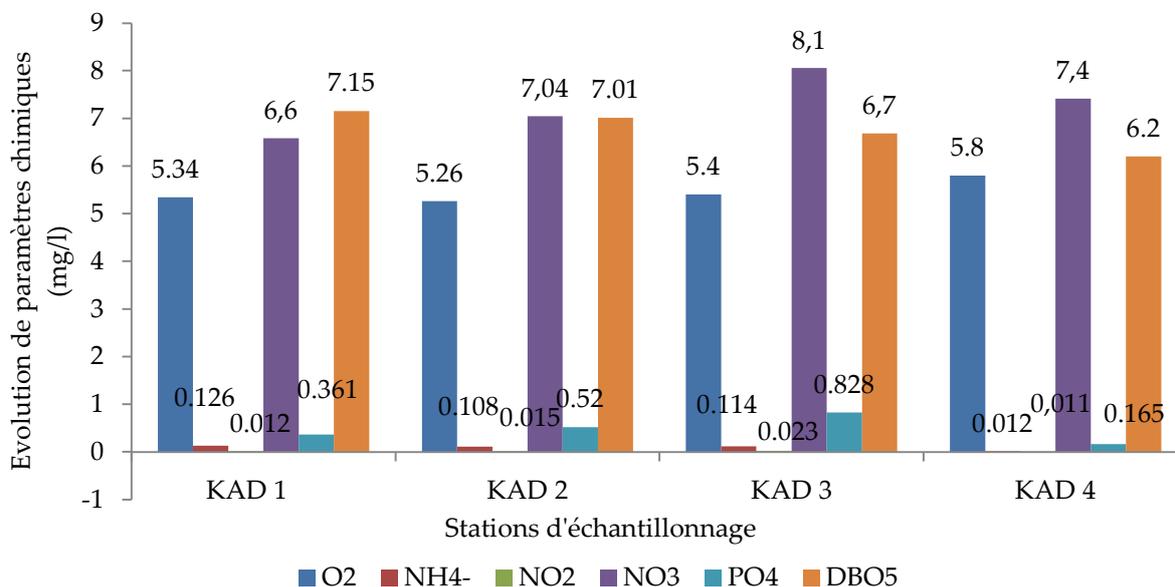


Figure 5. Evolution de paramètres chimiques du Lac Kadima's en saison pluvieuse 2022

La figure 5 renseigne que dans le lac Kadima's en saison pluvieuse 2022, la quantité de l'oxygène dissous la plus élevée a été observée à la station KAD 4 (soit 5,8 mg/l). La faible quantité a été prélevée à la station KAD 2 (soit 5,26 mg/l).

En ce qui concerne l'ammonium, la teneur la plus élevée a été observée à la station KAD 1 (soit 0,126 mg/l). La teneur la plus faible a été observée à la station KAD 4 (soit 0,012 mg/l).

Les teneurs en nitrite la plus élevée a été mesurée à la station KAD 3 soit 0,023 mg/l. La teneur la plus faibles a été enregistrée à la station KAD 4 soit 0,011 mg/l.

La station KAD 3 a enregistré les teneurs en nitrate et en phosphates les plus élevées en saison pluvieuse dans le lac Kadima's soit respectivement 8,1 mg/l et 0,828 mg/l. et des teneurs faibles ont été observées aux stations KAD 1 (soit 6,6 mg/l pour le nitrate) et KAD 4 (soit 0,165 mg/l).

Quant à la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), celle la plus élevée a été enregistrée à la station KAD 1 (soit 7,15 mg/l) et la plus faible demande a été enregistrée à la station KAD 4 (soit 6,2 mg/l).

3.2. Paramètres biotiques

3.2.1. Distribution des peuplements des macroinvertébrés de lac Kadima's

Tableau 2. Distribution stationnelle des macroinvertébrés de lac Kadima's en sèche 2022

Classes	Ordre	Famille	Stations								N'	
			Kad 1		Kad 2		Kad 3		Kad 4			
			ni	ni/N	ni	ni/N	ni	ni/N	ni	ni/N		
Insectes	Hémiptères	Nepidae	2	0,012	9	0,143	5	0,077	7	0,06	23	
	Diptères	Naucoridae	0	0	0	0	2	0,031	7	0,06	9	
	Ephéméroptères	Leptoplebiidae	5	0,03	0	0	0	0	2	0,017	7	
	Odonates		Corduliidae	21	0,128	0	0	0	0	0	0	21
			Libellulidae	104	0,634	51	0,81	14	0,215	28	0,239	197
			Coenagrionidae	7	0,043	0	0	12	0,185	7	0,06	26
			Lestidae	9	0,055	0	0	0	0	0	0	9
	Coléoptères		Notonectidae	0	0	0	0	0	0	12	0,103	12
			Elmidae	0	0	0	0	9	0,139	2	0,017	11
			Dytiscidae	5	0,03	0	0	0	0	5	0,043	10
			Hydrophilidae	0	0	0	0	21	0,323	12	0,103	33
			Hydraenidae	0	0	0	0	0	0	18	0,154	18
			Curculionidae	0	0	0	0	0	0	5	0,043	5
Crustacés	Décapodes	Atyiidae	5	0,03	2	0,032	0	0	9	0,077	16	
		Palaemonidae	5	0,03	0	0	0	0	2	0,017	7	
Clitelattes	Oligochètes	Lumbriculidae	0	0	1	0,016	0	0	0	0	1	
Mollusques	Basométaphore	Lymnaeidae	1	0,006	0	0	0	0	1	0,009	2	
		Physidae	0	0	0	0	2	0,031	0	0	2	
N			164		63		65		117		409	
S			10		4		7		14			
H'			1,36		0,62		1,69		2,32			
J'			0,59		0,45		0,87		0,88			

Légende : *ni* : Nombre d'individu par espèce ; *N'* : Somme de *ni* au sein d'une espèce dans les 4 stations ; *N* : Nombre d'individus par station ; *ni/N* : Abondance relative par station ; *S* : Nombre de taxons par station ; *H'* : Indice de diversité » de Shannon – Weaver par station ; *J'* : Indice d'équitabilité de Piélou par station.

a. Richesse taxonomique S

Il ressort du tableau 2 que la station KAD 4 a enregistré la richesse taxonomique la plus importante avec 14 familles. Elle a été talonnée par les stations KAD 1 avec 10 familles, KAD 3 avec 7 familles et KAD 2 avec 4 familles.

b. Abondance brute et abondance relative

Quatre cent et neuf (409) individus ont été capturés dans le lac Kadima's en saison sèche. Ils ont été répartis en 164 individus (soit 40,09%) à la station KAD 1, 117 individus (soit 28,6%) à la station KAD 4, 65 individus (15,89%) à la station KAD 3 et 63 individus (15,4%) à la station KAD 2.

Du point de vue stationnel, à la station KAD 1, la famille de Libellulidae a été la plus représentée avec 104 individus (63,4%) de macroinvertébrés récoltés. Elle a été talonnée par les familles de Corduliidae avec 21 individus (12,8%), de Lestidae avec 9 individus (5,5%), de Coenagrionidae avec 7 individus (soit 4,3%), de Leptoplebiidae, de Dysticidae, de Atyiidae et de Palaemonidae avec 5 individus (3%), de Nepidae avec 2 individus (1,2%) et de Lymnaeidae avec 1 individu (0,6%) de l'effectif total.

En ce qui concerne les individus de la famille de Libellulidae, ils ont été les plus abondants à la station KAD 2 avec 51 spécimens (81%). Ils ont été suivis par les individus des familles de Nepidae avec 9 spécimens (14,3%), de Atyiidae avec 2 spécimens (3,2%) et de Lumbriculidae avec 1 spécimen (1,6%) de l'abondance totale.

Dans la station KAD 3, la famille de Hydrophilidae a été la plus représentée avec 21 spécimens (32,3%) de l'effectif total. Elle a été suivie par les familles de Libellulidae avec 14 individus (21,5%), de Coenagrionidae avec 12 individus (18,5%), de Elmidae avec 9 individus (13,9%), de Nepidae avec 5 individus (7,7%) et Naucoridae et Physidae avec 2 individus (3,1%) de l'effectif total.

Quant à la station KAD 4, la famille de Libellulidae a été la plus représentée avec 28 spécimens (23,9%) de l'abondance totale. Elle a été talonnée par les familles de Hydraenidae avec 18 individus (15,4%), de Notonectidae et de Hydrophilidae avec 12 individus (10,3%), de Atyiidae avec 9 individus (7,7%), de Nepidae, Coenagrionidae et de Naucoridae avec 7 individus (6%), de Dysticidae et Curculionidae avec 5 individus (4,3%), de Leptoplebiidae, Elmidae et Palaemonidae avec 2 individus (1,7%) et de Lymnaeidae avec 1 individu (0,9%) de l'abondance totale.

Du point de vue abondance brute, la famille de Libellulidae a été la plus représentée avec 197 individus représentant 48,1% de l'effectif total. Elle a été suivie par les familles de Hydrophilidae avec 33 spécimens (8,06%), Coenagrionidae avec 26 spécimens (6,3%), de Nepidae avec 23 spécimens (5,6%), de Corduliidae avec 21 spécimens (5,1%), de Hydraenidae avec 18 individus (4,4%), de Atyiidae avec 16 spécimens (3,9%), de Notonectidae avec 12 spécimens (2,9%), de Elmidae avec 11 individus (2,6%), de Dysticidae avec 10 individus (2,4%), de Naucoridae et Lestidae avec 9 individus (2,2%), de Leptoplebiidae et Palaemonidae avec 7 individus (1,7%), de Curculionidae 5 individus (1,2%), de Lymnaeidae et Physidae avec 2 individus (0,4%) et de Lumbriculidae avec un seul individu représentant 0,2% de l'abondance totale.

c. Indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou

En ce qui concerne la diversité de Shannon la plus importante a été observée à la station KAD 4 soit 2,32 (tableau 2). Elle a été suivie par les stations KAD 3, KAD 1 et KAD 2 avec respectivement 1,69 ; 1,36 et 0,62.

Quant à l'équitabilité de Piélou, la valeur indiciaire la plus importante a été observée à la station KAD 4 soit 0,88. Elle a été suivie par les stations KAD 3, KAD 1 et KAD 2 avec respectivement 0,87 ; 0,59 et 0,45.

3.1.2. Distribution des peuplements des macroinvertébrés de lac Kadima's en saison pluvieuse

Tableau 3. Distribution stationnelle des macroinvertébrés de lac Kadima's en saison pluvieuse de 2022

Classes	Ordre	Famille	Kad 1		Kad 2		Kad 3		Kad 4		N'
			ni	ni/N	ni	ni/N	ni	ni/N	ni	ni/N	
Insectes	Hémiptères	Nepidae	37	0,207	7	0,065	0	0	0	0	44
		Belostomatidae	1	0,006	0	0	0	0	0	0	1
	Hétéroptères	Pleidae	0	0	0	0	0	0	2	0,022	2
	Diptères	Naucoridae	7	0,039	2	0,019	2	0,071	7	0,078	18
	Ephéméroptères	Leptoplebiidae	28	0,156	5	0,047	0	0	0	0	33
	Odonates	Corduliidae	30	0,168	21	0,196	5	0,179	2	0,022	58
		Libellulidae	30	0,168	53	0,495	12	0,429	0	0	95
		Coenagrionidae	3	0,017	5	0,047	0	0	0	0	8
		Gomphidae	0	0	0	0	0	0	2	0,022	2
		Lestidae	0	0	2	0,019	0	0	9	0,1	11
	Coléoptères	Elmidae	9	0,05	2	0,019	2	0,071	0	0	13
		Dytiscidae	12	0,067	0	0	0	0	7	0,078	19
		Hydrophilidae	9	0,05	2	0,019	0	0	25	0,278	36
		Hdraenidae	0	0	0	0	0	0	2	0,022	2
		Notieridae	0	0	5	0,047	0	0	0	0	5
		Curculionidae	0	0	0	0	0	0	14	0,156	14
	Gyrinidae	8	0,045	2	0,019	0	0	0	0	10	
Crustacés	Décapodes	Atyiidae	0	0	0	0	7	0,25	2	0,022	9
		Palaemonidae	3	0,017	0	0	0	0	0	0	3
Clitelattes	Oligochètes	Lumbriculidae	2	0,011	1	0,009	0	0	0	0	3
Mollusques		Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0	9	0,1	9
		Physidae	0	0	0	0	0	0	9	0,1	9
N			179		107		28		90		404
S			13		12		5		12		
H'			2,18		1,69		1,39		2,16		
J'			0,85		0,68		0,86		0,87		

Légende : ni : Nombre d'individu par espèce ; N' : Somme de ni au sein d'une espèce dans les 4 stations ; N : Nombre d'individus par station ; ni/N : Abondance relative par station ; S : Nombre de taxons par station ; H' : Indice de diversité » de Shannon – Weaver par station ; J' : Indice d'équitabilité de Piélou par station.

a. *Richesse taxonomique S*

Le tableau 3 renseigne que la station KAD 1 a enregistré la richesse taxonomique la plus élevée avec 13 familles ; suivie des stations KAD 2 et KAD 4 avec 12 familles et KAD 3 avec 5 familles.

b. *Abondance brute et abondance relative*

Quatre cent et neuf (409) individus ont été capturés dans le lac Kadima's en saison pluvieuse. Ils ont été répartis en 179 individus à la station KAD 1 représentant 44,30% de l'effectif total. Ils ont été suivis de 107 individus (26,48%) à la station KAD 2, 90 individus (22,27%) à la station KAD4 et 28 individus (6,93%) à la station KAD 3.

Du point de vue stationnel, en KAD1 la famille de Nepidae a été la plus représentée avec 37 individus (20,7%) de macroinvertébrés récoltés. Elle a été talonnée par les deux familles de Corduliidae et Coenagrionidae avec chacune 30 individus (16,8%). Elles ont été suivies par les familles de Leptoplebiidae avec 28 individus (15,6%), de Dytiscidae avec 12 individus (soit 06,7%), de Elmidae et Hydrophilidae avec 9 individus (soit 5%), de Gyrinidae avec 8 individus (soit 4,5%), de Naucoridae avec 7 individus (soit 3,9%), de Coenagrionidae et Palaemonidae avec 3 individus (soit, 1,7%), de Lumbriculidae avec 2 individus (soit 1,1%), de Belostomatidae avec 1 individu (soit 0,6%) de l'effectif total.

En ce qui concerne les individus de la famille de Libellulidae, ils ont été les plus abondants à la station KAD 2 avec 53 spécimens représentant 49,5% de l'abondance totale. Ils ont été suivis par les individus des familles de Corduliidae avec 21 spécimens (19,6%), de Nepidae avec 7 spécimens (6,5%), de Leptoplebiidae, Coenagrionidae, Notieridae avec 5 spécimens (4,7%), de Naucoridae, Lestidae, Elmidae, Hydrophilidae et Gyrinidae avec respectivement 2 spécimens (1,9%) et de Lumbriculidae avec 1 spécimen (0,9%) de l'abondance totale.

Dans la station KAD 3, la famille de Libellulidae a été la plus représentée avec 12 spécimens (42,9%) de l'effectif total. Elle a été suivie par la famille de Atyiidae avec 7 individus (25%), de Corduliidae avec 5 individus (17,9%), de Naucoridae et Elmidae avec 2 individus (7,1%) de l'effectif total.

S'agissant de la Station KAD 4, la famille de Hydrophilidae a été la plus représentée avec 25 spécimens (soit 27,8%) de l'abondance totale. Elle a été talonnée par les familles de Curculionidae avec 14 individus soit 15,6%), de Lestidae, Lymnaeidae et de Physidae avec 9 individus (10%), de Naucoridae et Dytiscidae avec 7 individus (7,8%) et de Pleidae, Corduliidae, Gomphidae, Hydraenidae et de Atyiidae avec 2 individus (soit 2,2%) de l'abondance totale.

Du point de vue abondance brute, la famille de Libellulidae a été la plus représentée avec 95 individus représentant 23,5% de l'effectif total. Elle a été suivie par les familles de Corduliidae avec 58 spécimens (14,3%), de Nepidae avec 44 spécimens (10,8%), de Hydrophilidae avec 36 individus (8,9%), de Leptoplebiidae avec 33 individus (soit 8,16%), de Dytiscidae avec 19 individus (4,7%), de Naucoridae avec 18 individus (4,45%), de Curculionidae avec 14 individus (3,4%), de Elmidae avec 13 individus (3,2%), de Lestidae avec 11 individus (2,7%), de Gyrinidae avec 10 individus (2,4%), de Atyiidae, Lymnaeidae et Physidae avec 9 individus (soit 2,2%), de Coenagrionidae avec 8 individus (1,98%), de Palaemonidae et Lumbriculidae avec 3 individus (0,7%), de Pleidae, Gomphidae et Hydraenidae avec 2 individus (0,4%) et de Belostomatidae avec un seul individu représente 0,2% de l'abondance totale.

a. *Indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou*

En ce qui concerne la diversité de Shannon, la plus importante a été observée à la station KAD 1 soit 2,18 (tableau 3). Elle a été suivie par les stations KAD 4, KAD 2 et KAD 3 avec respectivement 2,16, 1,69 et 1,39.

Pour l'équitabilité de Piélou, la valeur indiciaire la plus importante a été observée à la station KAD 4 avec 0,87. Elle a été suivie par les stations KAD 3, KAD1 et KAD 2 avec respectivement 0,86 ; 0,85 et 0,68.

3.1.3. Analyses en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée pour établir une corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés étudiés dans le lac Kadima's pendant les deux saisons d'étude.

Les valeurs propres, les pourcentages de variances et les coefficients de corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés pendant les deux saisons d'étude.

3.1.3. Analyses en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée pour établir une corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés étudiés dans le lac Kadima's pendant les deux saisons d'étude.

Les valeurs propres, les pourcentages de variances et les coefficients de corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés pendant les deux saisons d'étude.

3.1.3.1 Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques en saison sèche

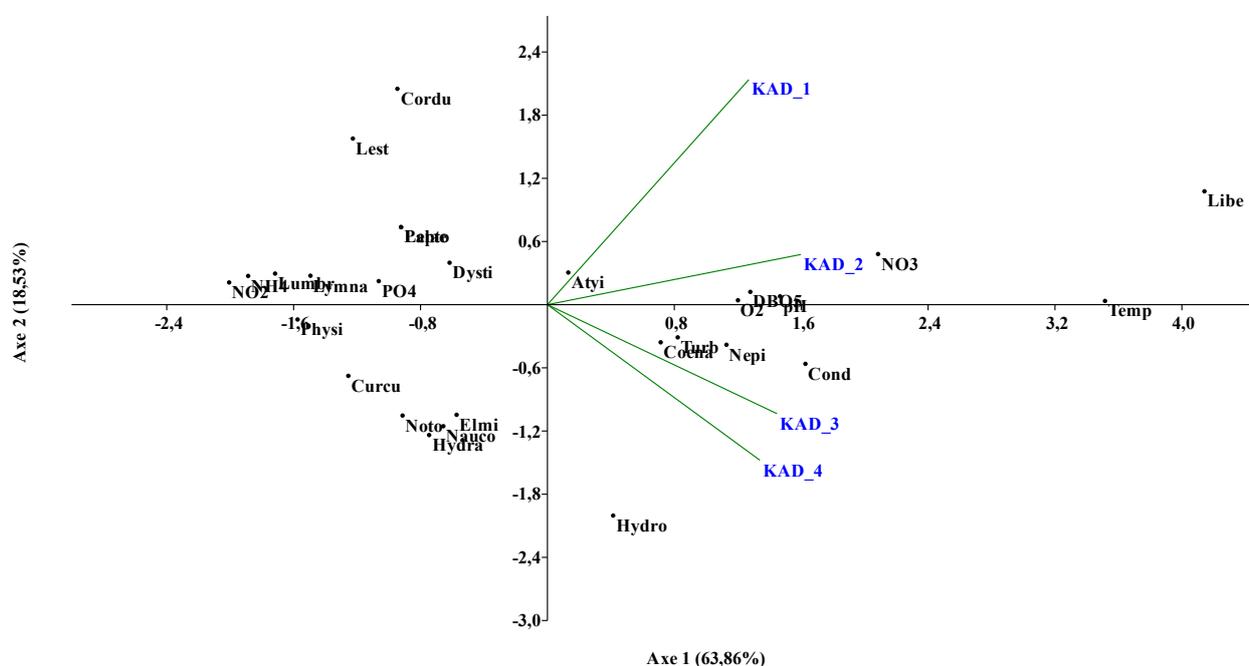


Figure 6. Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans le lac Kadima's en saison sèche 2022

La figure 6 renseigne que 2 axes principaux (axe 1 et axe 2) ou Composantes Principales ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 82,39% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (63,86%) et l'axe 2, une variance résiduelle (18,53%).

En rapport avec l'axe 1, les MIB et les paramètres physico-chimiques ayant contribué pour sa formation sont : Nepidae ($r=1,1285$), Libellulidae ($r=4,1422$), Coenagrionidae ($r=0,71412$), Hydrophilidae ($r=0,41389$), Atyiidae ($r=0,13147$), Température ($r=3,5153$), Conductivité ($r=1,6265$), Turbidité ($r=0,82148$), pH ($r=1,4666$), Oxygène dissous ($r=1,2012$), NO_3^- ($r=2,0845$) et DBO_5 ($r=1,2789$).

Les individus des familles de macroinvertébrés suivants : Nepidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Hydrophilidae et Atyiidae ont affiché des corrélations positives avec les paramètres physico-chimiques ci-après : Température, Conductivité, Turbidité, pH, Oxygène dissous, NO_3^- et DBO_5 .

Les corrélations positives sont aussi observées entre les familles de MIB suivantes :Corduliidae, Lestidae, Physidae, Lepto, Curculionidae, Dysticidae, Lumbriculidae, Elmidae, Naucoridae, Hydra, Notonectidae et Lymnaeidae et les paramètres physico-chimiques ci-après : ammonium, nitrite et phosphates.

Les corrélations négatives sont observées entre les MIB suivants : Nepidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Hydrophilidae et Atyiidae et les paramètres physico-chimiques ci-après : ammonium, nitrite et phosphates.

3.1.3.2 Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques en saison pluvieuse

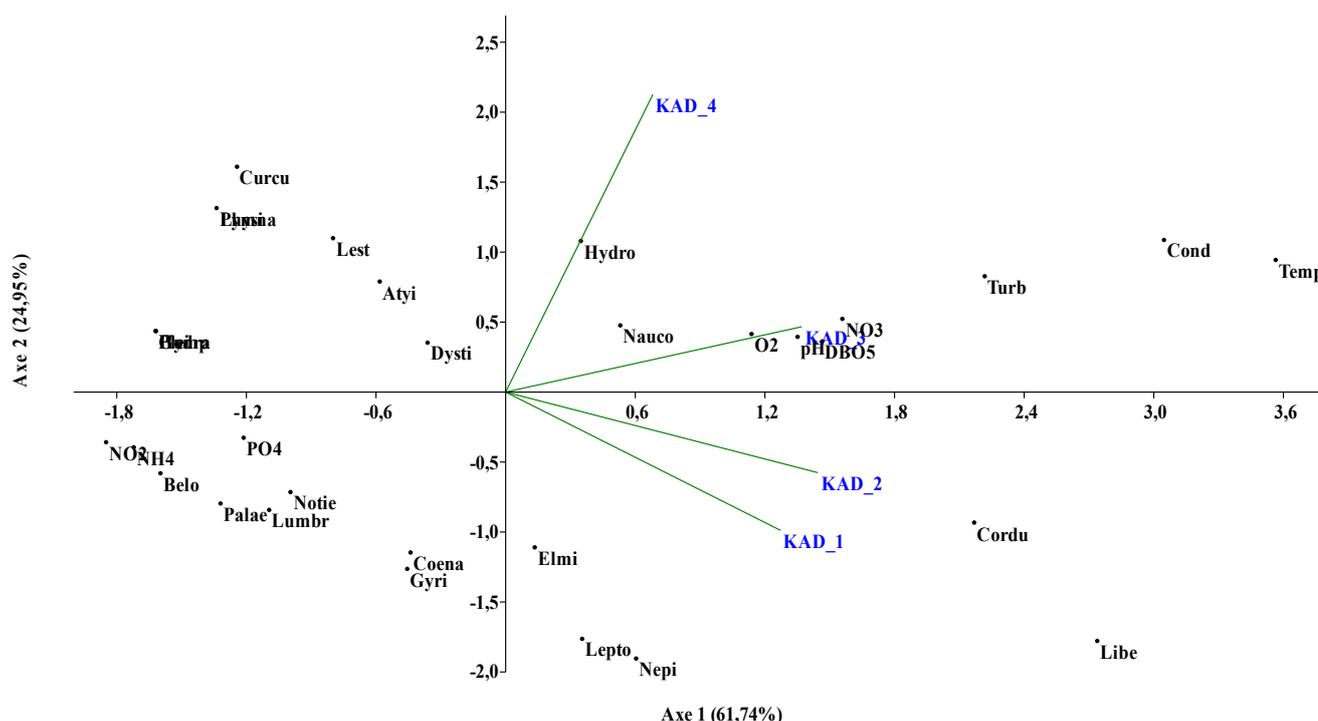


Figure 7. Corrélations entre les MIB et les paramètres physico-chimiques dans le lac Kadima's en saison pluvieuse 2022

Les 2 axes principaux (axe 1 et axe 2) ou Composantes Principales ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 86,69% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (61,74%) et l'axe 2, une variance résiduelle (24,95%) (Figure 7).

Les MIB et les paramètres physico-chimiques ayant contribué pour la formation de l'axe 1 sont : Nepidae ($r=0,60341$), Naucoridae ($0,53031$), Libellulidae ($r=2,7377$), Lepto ($r=0,3538$), Corduliidae ($r=2,168$), Elmidae ($r=0,13422$), Hydrophilidae ($r=0,34739$), Température ($r=3,5637$), Conductivité ($r=3,0472$), Turbidité ($r=2,2173$), pH ($r=1,3507$), Oxygène dissous ($r=1,1379$), NO_3^- ($r=1,5582$) et DBO_5 ($r=1,4651$).

Les MIB des familles de Nepidae, Naucoridae, Libellulidae, Lepto, Corduliidae, Elmidae et Hydrophilidae ont affichés des affinités positives avec les paramètres physico-chimiques ci-après : Température, Conductivité, Turbidité, pH, Oxygène dissous, NO_3^- et DBO_5 .

Les corrélations positives sont aussi observées entre les familles de Corduliidae, Lestidae, Physidae, Lepto, Curculionidae, Dysticidae, Lumbriculidae, Elmidae, Naucoridae, Hydra, Notonectidae et Lymnaeidae et les paramètres physico-chimiques ci-après : ammonium, nitrite et phosphates.

Les corrélations négatives sont observées entre les MIB suivants : Nepidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Hydrophilidae et Atyiidae et les paramètres physico-chimiques ci-après : ammonium, nitrite et phosphates.

IV. DISCUSSION

Les facteurs abiotiques comprennent l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu et les facteurs biotiques constituent l'ensemble des interactions qui se réalisent entre des individus d'une même espèce ou d'espèces différentes (Dajoz, 1996).

En effet, il est connu que les facteurs écologiques ont un rôle déterminant pour le nombre et la nature des espèces susceptibles de cohabiter dans un environnement donné (Lévêque, 2006). Les communautés biologiques sont sensibles aux pressions occasionnées par de nombreux facteurs environnementaux touchant à la fois à l'occupation du bassin versant, à la qualité physico-chimique de l'eau et à la qualité des habitats (Moisan *et al.*, 2010 ; Kamb *et al.*, 2015).

La température a une influence sur le métabolisme (développement embryonnaire, croissance, respiration, reproduction,...) et la distribution des espèces animales et végétales (Biffi, 2017).

Dans le lac Kadima's, la température de l'eau a présenté des valeurs comprises entre $25,2^{\circ}\text{C}\pm 0,24$ (saison sèche) et $27,55^{\circ}\text{C}\pm 0,79$ (saison pluvieuse) et montre de grandes variations entre les stations mais ces valeurs sont proches de celles observées par Kamb (2013). La plupart des eaux tropicales ont une température supérieure ou égale à 25°C (Detay, 1997). Cette situation s'explique par l'exposition des eaux aux rayonnements solaires directs et aux conditions climatiques de la région.

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau. En effet, des mesures prélevées dans un milieu permettent de mettre en évidence l'existence de pollution, des zones de mélange ou d'infiltration (Ghazali et Zaid, 2013). Ce paramètre permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985; Rodier, 1996).

Les eaux du lac Kadima's ont présenté des valeurs de conductivité comprises entre $8,24\ \mu\text{S}/\text{cm}\pm 4,5$ (saison sèche) et $20,5\ \mu\text{S}/\text{cm}\pm 5,74$ (saison pluvieuse). Ces valeurs enregistrées traduisent la teneur globale en substances dissoutes ionisées qui proviendraient de la minéralisation globale de la matière organique ; ce qui provoquerait un accroissement de la conductivité (Kamb, 2013 ; Kamb *et al.*, 2015 ; Kamb *et al.*, 2016).

La turbidité est la mesure du caractère trouble de l'eau. Elle est causée par les matières en suspension, telles que l'argile, le limon, les particules organiques, le plancton et les autres organismes microscopiques. Une turbidité trop élevée empêche la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et peut ainsi diminuer la croissance des algues et des plantes aquatiques (Hébert et Légaré, 2000). Lors de cette étude dans le lac Kadima's, les valeurs de la turbidité ont oscillé entre $4,5\text{UNT}\pm 1,9$ (saison sèche) et $11,75\text{UNT}\pm 2,06$ (saison pluvieuse) ; cet état de chose se justifie par le fait que les eaux du lac Kadima's sont dans un système lentique et la gravitation ramène les matières en suspension au fond et ne reçoivent pas de déchets des activités anthropiques mais aussi la bande riveraine retiennent les particules emportées par les eaux de ruissellement. Les valeurs de turbidité prélevées dans ce travail sont inférieures à celles observées par Kamb (2013), Kamb *et al.* (2016), Sisa *et al.*, (2018).

Le paramètre pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ses valeurs se sont situées entre 6 et 7,4 dans les eaux naturelles (Chapman et Kimstach, 1996) et pour ce qui est des eaux du lac Kadima's, elles ne montrent pas de variations notables et sont légèrement acides. Ceci pourrait se justifier par le fait que les eaux de ce lac repose sur un substrat de roche naturellement acide (Ramade, 2005) mais aussi par la décomposition de la matière organique qui libère le dioxyde de carbone tendant à acidifier les eaux (Kamb, 2018).

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau (Rodier, 1996). Les concentrations en oxygène dissous constituent l'un de plus importants paramètres de qualité des eaux dans la mesure où il est indispensable à la vie aquatique et à la dégradation des polluants biodégradables permettant l'autoépuration (Kamb, 2013). L'oxygène dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité de photosynthèse des algues et des plantes aquatiques (macrophytes). Il

participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique et sa teneur moyenne dans les eaux de surface non polluée est de 8 mg/l.

La concentration en O₂ varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que : la pression atmosphérique, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriment (AFNOR, 2009). De teneur inférieure à 1 mg d'O₂/l indique un état proche de l'anaérobie, de 1 à 2 mg d'O₂/l indique un écosystème aquatique fortement polluée mais de manière réversible, de teneur de 4 à 6 mg d'O₂/l caractérise une eau de bonne qualité et des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en O₂ indiquent une eutrophisation du milieu (AFNOR, 2009).

Les résultats de notre étude ont dégagé de valeurs de l'oxygène dissous comprises entre 5,7 mg/l±0,30 (saison sèche) et 5,45 mg/l ±0,24 (saison pluvieuse). Ces valeurs indiquent que la qualité des eaux du lac Kadima's est de bonne qualité. Ceci s'explique par l'activité photosynthétique des organismes végétaux.

La décomposition de la matière organique par les micro-organismes est passée par les étapes suivantes : l'ammonification (production de NH₄⁺ avec 0,09 mg/l comme valeur moyenne), la nitrosation (production de NO₂⁻ avec 0,02 mg/l comme valeur moyenne). Et la nitratisation (production de NO₃⁻ avec 9,3mg/l comme valeur moyenne). Dans le lac Kadima's, la teneur en ammonium est plus élevée que celle des nitrites. Ceci résulte d'un processus de décomposition incomplète de la matière organique (Sondergaard *et al.*, 2003). La valeur élevée de l'ammonium pourrait s'expliquer par la diminution de la température accompagnée d'une augmentation de la quantité d'oxygène dissous, favorisant ainsi l'ammonification par les bactéries.

La quasi-totalité de NH₄⁺ a été utilisée par des bactéries nitrifiantes pour produire leur énergie métabolique en transformant l'ammonium en nitrites et l'oxydation de ces derniers en nitrates (Baudin *et al.*, 2007 ; Ramade, 2009).

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène utilisée, pendant une période de 5 jours par les micro-organismes pour décomposer la matière organique (végétale, animale, etc.) et oxyder la matière inorganique (sulfures, sels ferreux, etc.) présente dans l'eau (Hébert et Légaré, 2000). Lors de cette étude, les valeurs de DBO5 enregistrées ont varié entre 6,6 mg/l (saison sèche) et 6,7mg/l (saison pluvieuse).

Du point de vue de la composition taxonomique, les organismes récoltés dans l'ensemble des stations du lac Kadima's sont les insectes (92,5%), les décapodes (4,3%), les gastéropodes (mollusques : 2,7%) et les oligochètes (vers) : 0,5%.

Parmi les insectes, les Odonates sont les mieux représentés. La composition faunistique de la macrofaune benthique du lac Kadima's à Kinshasa est proche de celle des eaux douces africaines. Les résultats obtenus corroborent ceux de Durand et Leveque, (1981) ; Diomande *et al.*, (2009) Sisa *et al.*, (2012); Kamb, (2013) et Kamb (2018).

L'abondance brute des Odonates (Corduliidae, Libellulidae, Coenagrionidae, et Gomphidae) en saison pluvieuse tout comme en saison sèche se traduit par des conditions favorables du milieu. La conductivité, la température, la turbidité, le pH et le nitrate de cet hydrosystème font que les individus de cet ordre y prospèrent. Ces paramètres abiotiques pourraient être à l'origine de l'éclosion des individus d'autres ordres qui pourraient servir des proies à ces organismes.

Dans le lac Kadima's, la fréquence relative des Libellulidae (35,9%), Corduliidae (9,7%), Hydrophilidae (8,4%), Nepidae (8,2%) et; révèle les conditions favorables de leur environnement : faible température, bonne teneur en oxygène dissous, pH acide, faibles teneurs en DBO5 et DCO; et nutriments. La présence des Ephéméroptères (Leptoplebiidae) avec 4,9% prouve à suffisance que les propriétés physico-chimiques leur sont favorables.

La faible abondance brute de Lumbriculidae (soit quatre individus dans les deux saisons) observée dans le lac Kadima's montre que cet environnement aquatique n'est pas stressé. Smith (2001), Klemm et Hiltunen (1992) ont fait remarquer que les individus appartenant à cette famille prospèrent favorablement dans une rivière lorsque l'environnement connaît un stress.

L'observation dans les deux saisons des Leptoplebiidae (fréquence relative 4,9%) indique de nouveau les bonnes propriétés physico-chimiques de l'eau de cet hydrosystème lentique. Il est généralement prouvé que les eaux douces contenant des quantités

importantes des matières organiques dissoutes ont une diversité taxonomique élevée et une abondance brute faible par rapport aux eaux riches en calcium (Smith, 2001).

La faible abondance brute des Mollusques dans cet hydrosystème s'explique par un pH acide et par une faible concentration en calcium qui ne permet pas la synthèse de leur coquille.

L'abondance brute considérable des Libellulidae observée pendant les deux saisons est liée aux conditions du milieu qui leurs sont favorables : conductivité, température et turbidité faibles. Ceci s'explique par les corrélations positives observées entre les individus de cette famille et ces paramètres environnementaux.

La corrélation positive entre la famille des Libellulidae et les nitrates traduit un lien entre cette famille des MIB et la végétation qui utilise les nitrates comme nutriments.

La présence de la végétation dans les bandes riveraines explique l'abondance des individus de cette famille dans ces habitats (Kamb et al., 2015 ; Tachet et al., 2010).

L'abondance des individus de la famille des Hydrophilidae pourrait être justifiée par le fait qu'ils sont végétariens et que les berges de cette rivière sont tapissées par une végétation aquatique (Depuy, 2001).

Les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver obtenues dans le lac Kadima's en saison sèche et saison pluvieuse sont respectivement de 1,5 et 1,85. Ces valeurs comprises entre 0,5 et 4,5 indiquent que le lac Kadima's est diversifié (Evrard, 1996).

Les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Pielou calculées pour les mêmes saisons se présentent de la manière suivante : 0,69 en saison sèche et 0,81 en saison pluvieuse. Ces valeurs présentent une équitabilité proche de 1 justifiant un équilibre entre les taxons (Moisan et al., 2011).

V. CONCLUSIONS

Cette étude a pour objectif de caractériser la structure des biocénoses des macroinvertébrés benthiques du lac Kadima's et de comprendre le mode de distribution de cette biocénose afin d'expliquer les éléments à la base de cette structuration.

Les paramètres abiotiques tels que la température, l'oxygène dissous et la teneur en matière organique ont influencé la répartition des insectes dans cet hydrosystème.

Les résultats obtenus ont montrés que la faune des macroinvertébrés benthiques de ce lac est diversifiée. Huit cents treize (813) macroinvertébrés ont été capturés et identifiés pendant les deux saisons comprenant 4 classes, 8 ordres et 23 familles. La forte densité a été observée chez les insectes.

Les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver obtenues dans le lac Kadima's en saison sèche et saison pluvieuse sont respectivement de 1,5 et 1,85. Ces valeurs comprises entre 0,5 et 4,5 indiquent que le lac Kadima's est diversifié.

Les valeurs moyennes de l'indice d'équitabilité de Pielou calculées pour les mêmes saisons se présentent de la manière suivante : 0,69 en saison sèche et 0,81 en saison pluvieuse. Ces valeurs présentent une équitabilité proche de 1 justifiant un équilibre entre les taxons.

Le lac Kadima's regorge une diversité des macroinvertébrés benthiques importantes. Une abondance d'insectes a été trouvée ; cela s'explique par la présence de la végétation dans les bandes riveraines (Kamb et al., 2015 ; Tachet et al., 2010), aux conditions du milieu qui leurs sont favorables : conductivité, température et turbidité faible. Ceci s'explique par les corrélations positives observées entre les individus de cette famille et ces paramètres environnementaux y compris la végétation qui utilise les nitrates comme nutriments.

Cette étude ouvre une question scientifique sur différents aspects de la recherche sur l'écologie, la taxonomie et la structure fonctionnelle des invertébrés aquatiques de cet hydrosystème pour une étude approfondie dans ce domaine.

Ceci ferait de ce lac un bon jardin zoologique et botanique au bien-être de l'humanité.

REFERENCES

- [1]. Agence Française de Normalisation (AFNOR), 2009. *Qualité de l'eau-prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes*. PT 90-333. 15pp.
- [2]. Baudin F., Tribovillard N., et Trichet J., 2007. *Géologie de la matière organique*. Vuibert, Paris.263p.
- [3]. Biffi M., 2017. Influence des facteurs environnementaux et des interactions biotiques sur la sélection de l'habitat et le régime alimentaire du desman des Pyrénées, *Galemys pyrenaicus* Thèse de Doctorat Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3Paul Sabatier), 270p
- [4]. Bournaud M. et Keck G., 1980. Diversité spécifique et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques au long d'un cours d'eau : le Furans (Ain) *Acta Oecologia, Oecol Gêner*, 1 (2) : 131-150.
- [5]. Brusle J. & Quignard J.P., 2004. *Les poissons et leur environnement, écophysiologie et comportements adaptatifs*. Ed.TEC et DOC. Londres-Paris- New york, 1522 p.
- [6]. Bultot F. & Griffit J.F., 1971. The equatorial wet zone. In: Griffiths JP (ed) *Climates of Africa, Word Survey of Climatology*. Elsevier publishing company, Amsterdam-London-New-York, 10: 451-456.
- [7]. Burgis, M.J. et Symoens, J.J., 1987. *Zones humides et Lacs peu profonds d'Afrique*. Vol. 211. ORSTOM, Paris, 652 p.
- [8]. Campbell N., et Reece J., 2007. *Biologie*. 7ème édition. Pearson Education, Quebec, 1334p
- [9]. Crabbe M., 1975. *Le Climat de Kinshasa*, services de l'Administration Belge de la Coopération au Développement, Bruxelles, pp. 23-28.
- [10]. Cummins K.W., 1975. *Macroinvertebrates, dans Witthorn, B.A. (eds), River Ecology, Studies in Ecology volume 2, Berkeley (Californie), University of California Press, 170-198 pp.*
- [11]. Dajoz. R., 1996. *Précis d'écologie*. 2ème et 3ème cycle universitaire. 6ème édition, Dunod, Paris, 542 p.
- [12]. Detay, M., 1997. *La gestion active des aquifères*, Ed. Masson, Paris, 62 pp.
- [13]. Diomandé D., Kotchi B.Y., Oi Edia E., Konan K.F., & Gourène G., 2009. *Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnèby* (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.35 No.3, 368-377 pp.*
- [14]. Durand J.R., et Leveque C., 1981.*Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne (Tome II)*. Paris, France: ORSTOM, 483 p.
- [15]. Durand, J.R. et C. Levêque, 1981 : *Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo- Soudanienne, Tomes 1 et 2. ORSTOM. I.R.D. n°44, France, 873 p.*
- [16]. Evrard M., 2001. *Macroinvertébrés inféodés aux eaux douces belges, Invertébrés dulcicoles (unités d'écologie des eaux douces)*, FUNDP, 19 p.
- [17]. Flourey M., Usseglio-Polatera P., Ferreol M., Delattre C. & Souchon Y., 2013. Global climate change in large European rivers: long-term effects on macroinvertebrate communities and potential local confounding factors. *Glo*
- [18]. Ghazali D, Zaid A., 2013. *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain. salama-jerri*(Region de Meknes/Maroc).Larkyss journal,ISSN 1112-3680, janvier ,pp.25-36.
- [19]. Goffaux D., 1990. *Notions de Climatologie*. Centre de Recherche Pédagogique (Ed.), Kinshasa, pp. 45.
- [20]. Goffaux D., 1990. *Notions de Climatologie*. Centre de Recherche Pédagogique (Ed.), Kinshasa, 45 p.

- [21]. Goffinet G., 1985. Ecologie édaphique des milieux naturels du haut abas : caractéristiques écotopiques et synécologiques comparées des zoocénoses intercaliques, *Rév.Ecol., Biol.Sol.*, 12(4), pp.691-722.
- [22]. Golama A.S.K., et Lohaka D., 1999. Nécessité d'une réglementation de l'évacuation des déchets par les cours d'eau et d'une normalisation de la qualité des eaux naturelles dans la région de Kinshasa. in Actes du 1^{er} colloque sur la problématique des déchets à Kinshasa (Congo), Kinshasa, August 12-15, 1998, pp 229-236.
- [23]. Hébert S., et Légaré S., 2000. *Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau, Québec*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq n°ENV-2001-0141, rapport n°QE-1123, 24p.
- [24]. Kabamba S.B., 1981. *Etude de la pollution des eaux des rivières qui traversent la ville de Kinshasa*, Mémoire, inédit, Fac. Sciences, Unikin, 49 p.
- [25]. Kamb T. J-C., 2018. *Structure des peuplements des macroinvertébrés benthiques et évaluation de la qualité biologique et écologique des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge à Kinshasa/ RD Congo*, Thèse de Doctorat, UPN, 230p.
- [26]. Kamb T. J-C., 2013. Etude de la structure et de la dynamique des peuplements des Macroinvertébrés benthiques d'un système lotique: Cas de la rivière Lukunga à Kinshasa/ R.D. Congo. Mémoire de DEA, UPN. 59p.
- [27]. Kamb T.J.-C., 2013. *Etude de la structure et de la dynamique des peuplements des Macroinvertébrés benthiques d'un système lotique : Cas de la rivière Lukunga à Kinshasa/R.D Congo*. Mémoire de DEA, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, 80 p.
- [28]. Kamb T.J.C., Dudu A., Micha J-C, Pwema V.K, 2016. *Analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge à Kinshasa*. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 16 N° 2, pp 260-271. <http://www.ijias.issr-journals.org>.
- [29]. Kamb T.J.C., Ifuta N.S., Mbaya N.A, Pwema V.K., 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. <http://www.ajol.info/index.php/ijbcs>
- [30]. Klemm D.J., and Hiltunen J.K., 1992. The freshwater Annelida (Polychaeta, naïd and tubifid Oligochaeta, and Hirudinea) of the Great Lakes region : an overview. In : Proceedings 1991 Midwest Pollution control biologists meetings-environmental indicators : measurement and assessment endpoints, pp. 35-48, edited by T.P. Simon and W.S. Davis. USEPA, Chicago, IL.
- [31]. Lafont M., Juget J. & Rofes G., 1991. Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des oligochètes. *Revue des sciences de l'eau* 4: 253-268.
- [32]. Lancaster J., 1999. *Small-scale movements of lotic macroinvertebrates with variations in flow*. *Freshwater Biology*, 41, 605-619.
- [33]. Lévêque C., 2006. *Les poisons des eaux continentales africaines (Diversité, écologie, utilisation par l'homme)*, IRD, Paris, 564p.
- [34]. Macan T., 1959. *A guide to fresh water invertebrate animals*, éd. M.A, PHD, Paris, 249 p.
- [35]. Mansiangi P., Palata J.-C., et Kiyombo K., 1997. Incidence des déchets sur la qualité de l'eau et les biocénoses aquatiques des cours d'eaux à Kinshasa : cas de la rivière Kemi. Mededelingen, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen. August 12-15.
- [36]. Mary N., 2010. *Caractérisation physico-chimique et Biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés*. 90p.

- [37]. Mbadu Z.V., 2002. *Le bassin versant de la rivière Lukunga, impact de son utilisation sur son environnement*, mémoire inédit de DESS, ERAIFT, 138 p.
- [38]. Mergen .P.2002. *Distrubution spatio-temporelle des communautés ichtyologiques dans les lacs de barrage de nisramont (Belgique) et d'Eschsur- sur (Grand-duché du Luxembourg)*. Thèse de doctorat, presses universitaire de namur. 416p.
- [39]. Moisan J., 2010. *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs*, ISBN : 978-2-550-58416-2 (version imprimée), 82 p. (incluant 1 ann.).
- [40]. Moisan J., et Pelletier L., 2011. *Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Quebec-cours d'eau peu profonds à substrat meuble. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs*, 39 p. ISBN : 978-2-550-61166 -0
- [41]. **Moisan, J.** et **L. Pelletier**, 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53590-4 (version PDF), 86 p.
- [42]. Mondy C.P., Villeneuve B., Archaimbault V. & Usseglio-Polatera P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18 : 452-467.
- [43]. Pain M., 1975. *Activités diffuses et organisation de la ville de Kinshasa, Lubumbashi, Premier Congrès Géographique du Zaire. mer*, 6^{ème} Ed. Dunod, Bordeaux, Paris, 1135 p.
- [44]. Pescod M.B., 1985 *Design, operation and maintenance of washterwarther stabization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed. Peseodand Aron*, 93-114
- [45]. Piscart, C., Moreteau,J-C. et J-N. Beisel, 2005.*Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France) Hydrobiologia*, 551:227-236.
- [46]. Ramade F., 2009. *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*, 4^è éd. Dunod, Paris, 689p.
- [47]. Ramade, F., 2005. *Eléments d'écologie. Ecologie appliquée*, 6^{ème} édition, Dunod, Paris, 864 p.
- [48]. Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 1993. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, p. 1-9. In: D.M. Rosenberg and V.H. Resh (eds.) Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York.
- [49]. Sarkar S. K., Bhattacharya A., Giri S., *Battacharya B.*, Sarkar D., Nayak D.C., and Chattopadhaya A.K., 2005. *Spatiotemporal variation in benthic polychaetes (Annelida) and relationships with environmental variables in a tropical estuary. Wetlands ecology and management*, 13, 55-67.
- [50]. Sisa E.M., Kamb J-C.K., Pwema V.K., Mutambel D.H. et Bunda N.P.M., 2022a. Structure of Odonata populations in the riparian strips of the Bumbu River watershed in Kinshasa /RD Congo, *International Journal of Science and ResearchArchive*, Vol. 06 No.01, pp. 028–039.
- [51]. Sisa E.M., Kamb J-C.K., Pwema V.K., Mutambel D.H.S.N et Kipimbye J.L., 2022. Etude de la structure des peuplements de la faune des Odonates du bassin versant de la rivière Lukunga à Kinshasa/RD Congo. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. Vol. 33 No 1, pp. 489-502.
- [52]. Sisa, M., Lohaka, D j., et Kamb, T. J-C 2012. *Etude de la distribution écologique des Macroinvertébrés de la rivière Lukunga*, C.R.U.P.N, n°052B, 77-87.

- [53]. Sisa, M.E., N.J. Mukwita, D.H.S.N Mutambel, et K.V Pwema. 2018. Contribution à l'étude de la structure et de la dynamique des peuplements ichthyologiques des cours d'eau de la ville de Kinshasa : Cas de la rivière Lukunga, RD Congo. In International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN2028-9324 Vol.24 N°3 Nov. 2018, pp. 1357-1371.
- [54]. Smith D.G., 2001. Pennak's freshwater invertebrates of the United States, John & Sons, Inc, New York, 638p.
- [55]. Solimini A.G., Gulia P., Monfrinotti & Carchini G., 2000. Performance of different biotic indices and sampling methods in assessing water quality in the lowland stretch of the Tiber River. *Hydrobiologia* 422/423 : 197-208.
- [56]. Sondeggard M, Jeppensen E., 2003. *Rôle of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. Hydrobiologia*, 506-509, p.135-145.
- [57]. Statzner B., Doledec S., and Hugueny B., 2004. *Biological trait composition of European stream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filter types. Ecography*, 27: 470-488.
- [58]. Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2010. *Invertébrés d'eau douce-Systématique, biologie, écologie. CNRS, éditions, Paris, 345p.*
- [59]. Touzin D., 2008. *Utilisation des Macroinvertebrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec*, Mémoire inédit. Université de Québec, 39 p.
- [60]. Touzin D., 2008. *Utilisation des Macroinvertebrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec*, Mémoire inédit. Université de Québec, 39 p.
- [61]. Usseglio-Polatera P., et Vanden Bossche J.P., 2005. *Characterization, ecological status and type-specific reference conditions of surface water bodies in Wallonia (Belgium) using biocenotic metrics based on benthic invertebrate communities. Hydrobiologia* 551 : 253-271.