



Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Aluminium, Cuivre, Cadmium et Plomb) dans l'eau, le sédiment et deux espèces de poissons (*Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et *Protopterus dolloi* Boulanger, 1900) du Pool Malebo à Kingabwa (Kinshasa, RD Congo)

[Contamination levels of trace metals (aluminum, copper, cadmium and lead) in water, sediment and two fish species (*Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 and *Protopterus dolloi* Boulanger, 1900) in the Malebo Pool at Kingabwa (Kinshasa, DR Congo)]

Lusasi Swana Willy^{1,2*}, Baibangaka Makudja Mardochée², Nakweti Kukatula Jeff^{1,2}, Bipendu Muamba Nadine³, Unyumbe Yanga Kalala Boris⁴ & Pwema Kiamfu Victor^{1,2}

¹Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, République Démocratique du Congo

²Mention Sciences de la vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P 190 Kinshasa XI, R.D Congo

³Laboratoire de Chimie Inorganique, Mention Chimie et Industrie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, République Démocratique du Congo

⁴Mention Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, Kinshasa, République Démocratique du Congo

Résumé

Au cours des dernières décennies, des nombreuses études ont porté sur le niveau de contamination de milieu aquatique, et un intérêt croissant pour la consommation des ressources halieutiques en relation avec les risques pour la santé. La présente étude a pour objectif d'évaluer le niveau de contamination des eaux, des sédiments et de deux espèces de poissons (*Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et *Protopterus dolloi* Boulenger, 1900) par les éléments traces métalliques (Aluminium, Cuivre, Cadmium et Plomb) à la station de pêche de Kingabwa dans le Pool Malebo (Fleuve Congo). Les échantillons ont été récoltés entre juillet et novembre 2023. Les teneurs en Eléments Traces Métalliques (ETMs) ont été déterminées à l'aide de spectrophotomètre à fluorescence X de marque ED- XRF Xepos. Les résultats obtenus mettent en évidence des teneurs élevées en ETMs dans l'eau, atteignant des valeurs de $0,26 \pm 0,00$ mg/L (Al), $2,53 \pm 0,03$ mg/L (Cu), $0,18 \pm 0,17$ mg/L (Cd) et $0,15 \pm 0,00$ mg/L (Pb), supérieures à la norme de l'OMS. Les teneurs enregistrées dans le sédiment sont inférieures aux lignes directrices pour la qualité des sédiments pour la protection de la vie aquatique. L'analyse toxicologique d'échantillons des poissons montrent des fortes teneurs globales en Cd et Pb par rapport aux limites tolérables fixées par l'OMS (Cd : 0,05 mg/kg ; Pb : 0,2 mg/kg). Cette étude recommande d'une attention particulière soit portée sur le suivi de la qualité physique, chimique et biologique des écosystèmes aquatiques ainsi que leur ressource pour éviter que les consommateurs des ressources halieutiques soient exposés à des risques pour la santé.

Mots-clés : Eléments traces métalliques, Sédiment, *Protopterus dolloi*, *Marcusenius stanleyanus*, Pool Malebo, Kinshasa

Abstract

In recent decades, numerous studies have focused on the level of contamination of aquatic environments, and there has been growing interest in the consumption of fish resources in relation to health risks. The aim of the present study is to assess the level of contamination of water, sediment and two fish species (*Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 and *Protopterus dolloi* Boulenger, 1900) by trace metals (Aluminium, Copper, Cadmium and Lead) at the Kingabwa fishing station in the Malebo Pool (Congo River). Samples were collected between July and November 2023. Metal Trace Element (TMEs) levels were determined using an ED- XRF Xepos X-ray fluorescence spectrophotometer. The results revealed high levels of TMEs in the water, with values of 0.26 ± 0.00 mg/L (Al), 2.53 ± 0.03 mg/L (Cu), 0.18 ± 0.17 mg/L (Cd) and 0.15 ± 0.00 mg/L (Pb), above the WHO standard. The levels recorded in the sediment are below the sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Toxicological analysis of fish samples showed high overall Cd and Pb levels, compared with the tolerable limits set by the WHO (Cd: 0.05 mg/kg; Pb: 0.2 mg/kg). This study recommends that particular attention be paid to monitoring the physical, chemical and biological quality of aquatic ecosystems and their resources, to avoid exposing consumers of fish resources to health risks.

Keywords: Metallic trace element, Sediment, *Protopterus dolloi*, *Marcusenius stanleyanus*, Malebo Pool, Kinshasa.

*Auteur correspondant: Lusasi Swana Willy, (willy.lusasi@unikin.ac.cd). Tél.: (+243) 813 662 026

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2526-7903>; Reçu le 25/10/2024; Révisé le 27/11/2024 ; Accepté le 10/12/2024

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.024.v3.i4.113>

Copyright: ©2024 Lusasi 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

La pollution des ressources en eau par les contaminants organiques et inorganiques reste un problème majeur pour l'environnement et la santé humaine dans le monde entier (Dassenakis et al., 2003 ; Wang & Tessier, 2009). Dans les écosystèmes aquatiques, de nombreux éléments traces participent à de nombreux mécanismes biogéochimiques et constituent une grave préoccupation en raison de leur toxicité, de leur persistance, de leurs processus de bioaccumulation, de bioamplification et de leur transfert dans la chaîne alimentaire (Haller et al., 2011 ; Ouyang et al., 2018).

Au cours des dernières décennies, des nombreuses études ont porté sur le niveau de contamination de milieu aquatique, et un intérêt croissant pour la consommation des ressources halieutiques en relation avec les risques pour la santé (Storelli, 2008 ; Bandowe et al., 2014 ; Amara et al., 2019).

Les ressources halieutiques, plus précisément les poissons, de par leur qualité nutritionnelle et leurs effets bénéfiques pour la santé, est en nette progression à travers le monde. Selon FAO (2020), l'offre mondiale de poissons est passée de 9,8 kg/personne/an dans les années 1960 à 20,5 kg/personne/an en 2018 (Storelli, 2008). Toutefois, cette ressource, peut être une source importante d'exposition à des métaux toxiques, entre autres, les Eléments Traces Métalliques (ETMs) présent dans l'environnement à travers le processus de la bioaccumulation dans leur tissus (Jourdan et al., 2005).

En effet, les ETMs font partie des polluants majeurs de l'environnement tant par leur caractère ubiquiste, leur présence au sein de la biosphère que par leur toxicité et leur bioaccumulation potentielle dans plusieurs espèces aquatiques, induisant des effets dévastateurs sur la balance écologique (Katemo et al., 2010). Les ETMs peuvent être très dangereux pour la santé de l'Homme et pour les autres êtres vivants lorsqu'ils sont présents dans l'environnement à des concentrations élevées (Fakayode, 2005).

En République Démocratique du Congo, la plupart des écosystèmes aquatiques urbains font l'objet de multiples rejets des déchets d'origines anthropiques (industrielles, agricoles, domestiques, etc) chargés en ETMs qui se concentrent dans différents composants aquatiques (eau, sédiment et biotes) (Munganga et al., 2020 ; Nakweti et al., 2021). Des nombreuses études

relatives à la pollution chimique par les ETMs ont été réalisées dans de différents hydrosystèmes du pays (Foxall et al., 2000 ; Katemo et al., 2010 ; Muteba et al., 2011 ; Nsimanda et al., 2015a et b ; Kashimbo et al., 2016 ; Nzapo et al., 2018 ; Mata et al., 2020 ; Nakweti et al., 2021, Tshibanda et al., 2021).

Ainsi, dans le Pool Malebo (Fleuve Congo) à Kinshasa, des études récentes menées par Mwanamoki et al. (2014) ; Falasi (2018) ; Nzapo et al. (2018) ; Mata et al. (2020) ; Nakweti et al. (2021) ; Nsimanda et al. (2015a et b) ont mise en évidence l'existence d'une contamination métallique dans les eaux, le sédiment, la flore et la faune de cet écosystème. Bien que l'évaluation d'ETMs ait été réalisée par ces auteurs, l'information sur la contamination métallique d'un grand nombre d'espèces animale et végétale présentes dans cet écorégion reste encore fragmentaire. Il est nécessaire d'élargir les études sur la contamination métallique dans ce milieu en prospectant les espèces non évaluées jusqu'à ce jour. L'objectif de cette étude est de déterminer la teneur en ETMs dans l'eau, le sédiment et les tissus de deux espèces de poissons *Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et *Protopterus dolloi* Boulenger, 1900 pêchés à la station de Kingabwa dans le Pool Malebo (Fleuve Congo).

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Cette étude a eu lieu dans le Fleuve Congo dans sa partie du Pool Malebo plus précisément à la station de pêche de Kingabwa sur le site de Ngwele (figure 1). Le prélèvement d'échantillons a eu lieu sur deux points situés respectivement à 4° 20' 58,398'' de latitude Sud et 15° 21' 44,838'' de longitude Est puis à 4° 20' 59,653'' de latitude Sud et 15° 21' 51,222'' de longitude Est.

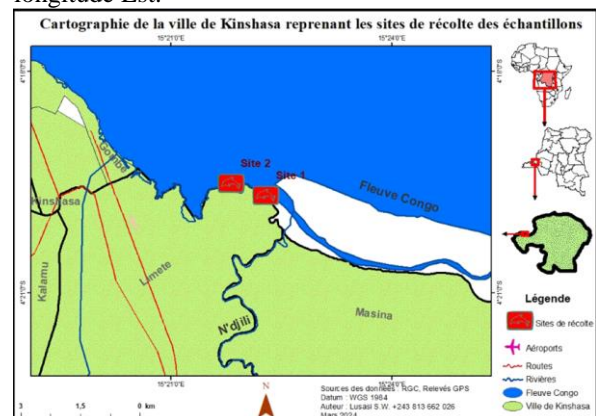


Figure 1. Cartographie de la station de Kingabwa et le site de collecte des données dans le Pool Malebo (Fleuve Congo)

2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude était constitué de soixante (60) spécimens de poissons *Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et *Protopterus dolloi* Boulenger, 1900 à raison de trente spécimens (30) pour chaque espèce. Le choix de ces espèces s'explique d'un côté en fonction de leur abondance (pour *Marcusenius stanleyanus*) et d'un autre côté par leur importance du point de vue alimentaire et économique (pour *Marcusenius stanleyanus* et *Protopterus dolloi*) (Lusasi et al., 2019, 2020, 2024).

2.3. Méthodes

2.3.1. Échantillonnages et prélèvement des paramètres physico-chimique

Les échantillons ont été récoltés entre les mois de juillet et novembre 2023 et les poissons ont été capturés à travers la pêche artisanale à l'aide des hameçons de plusieurs séries et des filets maillants.

Après capture, les poissons étaient placés dans une glacière bien fermée puis transportés au Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture de la Mention Sciences de la Vie de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa pour les manipulations appropriées.

L'eau a été prélevé à l'aide des galons en plastiques de 500 ml préalablement stérilisés, étiquetés puis gardés dans une glacière et transporter au Laboratoire pour les analyses. Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une perche des creuseurs de sables à une profondeur d'environ 1,5 m ensuite placés dans des sachets en plastique avant d'être acheminés au laboratoire pour les analyses écotoxicologiques.

La température (°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité (µS/cm) ainsi que la turbidité (ppm) ont été analysés *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamétrique Combo HANNA.

2.3.2. Manipulation des poissons au laboratoire

Au laboratoire, une série des mesures morphométriques a été réalisée sur chaque individu, notamment : la longueur totale (Lt) et la longueur standard (Ls) grâce à un ichtyomètre dans le but de les regrouper en classe de taille. Ensuite, les poissons ont été identifiés à l'aide des clés d'identification systématique proposées par Lévêque et al. (1990 et 1992) ; Mbega & Teugels (2003) et FishBase.

Pour déterminer les différentes classes de taille des spécimens faisant l'objet de cette étude, la formule mathématique proposée par Sturge a été utilisée. Elle sert à découper une plage de valeurs en tranches dans un échantillon donné pour en faire une discrimination des groupes en fonction du paramètre considéré qui peut être la taille ou de poids (Pwema, 2014). La formule mathématique ci-après a été appliquée : $N.C = 1 + 3,3 \log N$ et $I.C = X_{max} - X_{min} / N.C$ où :

- N.C = nombre des classes ;
- I.C = intervalle des classes ;
- N = effectif total des spécimens ;

- X_{max} = valeur maximale et
- X_{min} = valeur minimale (mm).

Les spécimens de deux espèces des poissons ont été classés en fonction de leur longueur totale.

2.3.3. Analyses toxicologiques des échantillons des poissons, eaux et sédiments

La préparation et les analyses toxicologiques des échantillons ont été réalisées au Laboratoire de Physique des sols et d'Hydrologie du Commissariat Général à l'Énergie Atomique/Centre Régional d'Études Nucléaires de Kinshasa (CGEA/CREN-K). Au laboratoire, la première démarche a consisté à la dissection des poissons à l'aide des bistouris pour le prélèvement des organes cibles (muscle et tête).

Les échantillons ont été séchés à l'étuve Memmert US à 60 °C pendant 24 heures puis refroidis dans un dessiccateur. Deux (2) g de matière sèche (MS) était introduit dans un creuset en porcelaine et calciner pendant minimalement 2 h au four à moufle à 450°C jusqu'à l'obtention de cendres. Les cendres obtenues ont été conservées dans un dessiccateur jusqu'à la minéralisation avant le dosage des ETMs. Un (1) g des cendres a été pulvérisé avec 30 ml de HCl concentré dans un bécher de 100 ml. La solution obtenue a été filtrée puis ramenée à 100 ml avec de l'eau distillée.

Un (1) g de sédiment séché à l'étuve à 105°C a été mélangé avec 4 g de carbonate de sodium dans un creuset de platine. Le mélange a été recouvert par 1 g de carbonate et chauffé dans un four électrique jusqu'à la déshydratation et à la fusion et dégagement complet du CO₂. Le creuset a été mis dans un bécher avec 50 ml d'eau distillée auquel 10 ml de HCl concentré y était ajouté. Le bécher a été porté sur la plaque chauffante jusqu'à la dissolution complète. La solution a été filtrée et jaugée dans une fiole de 100 ml.

Quarante millilitres (40 ml) d'échantillon d'eau ont été prélevés et mélangés avec 10 ml de HNO₃ (65%) dans un bécher de 50 ml auquel, puis chauffé à 103 °C pendant 3 heures sur une plaque chauffante électrique. Le minéralisat obtenu est refroidi à température ambiante, jaugé à 50 ml à l'eau déminéralisée et homogénéisée.

2.3.4. Dosage d'ETMs et détermination des paramètres chimiques

Les concentrations en ETMs étudiés (Al, Cd, Cu, Pb) ont été déterminées à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X de marque ED-XRF Xepos III assisté par ordinateur, à partir des minéralisats obtenus des échantillons.

Les paramètres chimiques considérés dans cette étude ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre ED-XRF Xepos III. La demande biologique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) ont été déterminées grâce à un DCO-mètre de marque Fischer Bioblock. Les ions nitrates ont été évalués par spectrophotométrie à 355 nm selon la méthode Hach.

2.3.5. Facteur de Bioconcentration (FBC)

Les Facteurs de Bioconcentration ont été calculés par la formule utilisée par Casas (2005), à partir des données des analyses de l'échantillon d'eau et sédiment de chaque site et celles des poissons :

$$FBC = \frac{C_o}{C_e}$$

Où, Co: concentration en ETM dans l'organisme; Ce: concentration environnementale (eau/sédiment). Si le FBC est supérieur à 1, il y a une bioconcentration de l'Elément Trace.

La cartographie de la zone d'étude a été élaborée à l'aide des coordonnées géographiques relevées à l'aide du GPS de marque Garmin Etrex.

3. Résultats

3.1. Paramètres physico-chimiques et chimiques de l'eau

Les résultats des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux du Fleuve Congo (Pool Malebo) prélevés dans les sites d'échantillonnage des poissons à Kingabwa sont consignés au [tableau 1](#).

Tableau 1. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux du Fleuve Congo dans les sites de récolte à Kingabwa

| Sites | Paramètres physico-chimiques | | | | Paramètres chimiques | | | |
|-------------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|
| | Températ (°C) | pH | Conduct (µS/cm) | Turbidité (ppm) | O ₂ dissous (mg/L) | DCO (mg/L) | DBO ₅ (mg/L) | Nitrate (mg/L) |
| Site 1 | 29,12±0,26 | 5,93±0,1 | 64±6,67 | 33,67±0,56 | 3,95±0,05 | 8,34±0,25 | 5,74±0,08 | 19,84±0,12 |
| Site 2 | 28±0,57 | 5,97±0,12 | 63,83±0,28 | 32,17±0,28 | 3,68±0,03 | 8,51±0,4 | 5,97±0,07 | 17,95±0,05 |
| Moyenne | 28,55±0,61 | 5,95±0,12 | 63,91±3,2 | 32,91±0,8 | 3,81±0,13 | 8,42±0,32 | 5,85±0,11 | 18,89±0,94 |
| OMS (2000) | * | * | * | * | * | * | * | ≤ 50 |
| OMS (2011) | 25 et 29 | 6,5 – 7,5 | 50 à 2000 | * | * | * | * | * |
| CCME | * | * | * | * | 5,5 – 6 | * | * | * |
| UE (2006) | * | * | * | * | * | < 20 | < 3 | * |

*: Non disponible

2.3.6. Classification hiérarchique ascendante

La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) basée sur la mesure des distances des similitudes entre les entités écologiques (Kouamélan, 1999 ; Ter Braak, 1998) a été réalisée pour comparer le rapprochement des teneurs en ETMs dans l'eau, le sédiment ainsi que les deux espèces de poissons étudiées.

2.3.7. Analyse et traitement statistique des données

Les données obtenues ont été encodées sur le tableur Excel 2013; les moyennes et écart-types ont été calculés pour chaque paramètre étudié.

L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) utilisant le test de Fisher (Saville, 1990) ainsi que le LSD test à l'intervalle de 95% de confiance (Scherrer, 1984) a été appliquée à l'aide du logiciel Statistix (version 10,8) pour relever la différence significative entre les moyennes des teneurs en ETMs de la matrice eau-sédiment et organes des poissons. Les logiciels Origin (version 10.8) et Past ont été utilisés pour dresser les graphiques.

Il ressort du [tableau 1](#) que, de manière globale, les eaux de surface du fleuve Congo à Kingabwa sont chaudes (28,55±0,61°C) avec un pH légèrement acide (5,95±0,12). La teneur moyenne en ions dissous mesurée indique un bon degré de minéralisation des eaux de Kingabwa (63,91±3,2 µS/cm); la teneur moyenne en solides totaux dissous a montré une valeur de 32,91±0,8 ppm.

Les eaux de la station de Kingabwa présentent un faible degré d'oxygénation avec une teneur moyenne de 3,81±0,13 mg/L. La DCO et DBO₅ sont restés constants dans les deux sites avec respectivement des moyennes de 8,42±0,302 mg/L et 5,85±0,11 mg/L. La teneur en ions nitrate a varié très légèrement entre les sites avec une moyenne globale de 18,89±0,94 mg/L.

3.2. Classes de tailles de poissons

Les résultats sur les classes des tailles des spécimens de poissons *Marcusenius stanleyanus* et *Protopterus dolloi* expérimentés établies en fonction

des longueurs totales des poissons suivant la règle de Sturge sont repris au [tableau 2](#).

hautement significative ($F = 66969$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0432$) où la teneur moyenne la plus élevée est détectée dans le sédiment (soit $7,8 \pm 0,01$ mg/kg) que

Tableau 2. Différentes classes des tailles des spécimens des espèces de poissons expérimentés

| Classes de tailles | Intervalle des classes (mm) | | Nombre des spécimens | |
|--------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | <i>M. stanleyanus</i> | <i>P. dolloi</i> | <i>M. stanleyanus</i> | <i>P. dolloi</i> |
| I | [127 ; 141,2 [| [480 ; 502 [| 6 | 8 |
| II | [142 ; 155,4 [| [503 ; 523 [| 7 | 5 |
| III | [156 ; 169,6 [| [524 ; 546 [| 4 | 6 |
| IV | [171 ; 183,8 [| [547 ; 569 [| 7 | 6 |
| V | [185 ; 199 [| [570 ; 590 [| 6 | 5 |
| Total | | | 30 | 30 |

Légende : *M. stanleyanus* = *Marcusenius stanleyanus* et *P. dolloi* = *Protopterus dolloi*

Au total, 30 spécimens des poissons *Marcusenius stanleyanus* et 30 autres spécimens de poissons *Protopterus dolloi* ont été regroupés en Cinq classes de taille. Il se dégage que tous les spécimens de poissons exploités dans le cadre de cette étude sont matures et, sont de grande taille. Par contre, chez les poissons *M. stanleyanus*, les spécimens de poissons sont de petites tailles par rapport aux spécimens de *P. dolloi*, où les spécimens analysés sont de grande taille.

3.3. Teneurs en éléments traces métalliques dans la matrice eau et sédiment

Les teneurs en ETMs détectées dans les eaux et le sédiment du Pool Malebo (Fleuve Congo) à la station de Kingabwa sont présentés dans le [tableau 3](#).

dans l'eau (soit $2,53 \pm 0,03$ mg/kg) suivi de l'aluminium ($F = 66969$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0359$) avec une teneur moyenne de $4,88 \pm 0,02$ mg/kg dans le sédiment et $0,26 \pm 0,00$ mg/kg dans l'eau. Le plomb et le cadmium présentent des teneurs moyennes faibles quelle que soit la matrice et les teneurs les plus élevées avec une différence très hautement significative (Pb : $F = 3235$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0188$; Cd : $F = 2336$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0240$) ont été détectées au niveau de sédiment (cadmium : $0,65 \pm 0,01$ mg/kg et plomb $0,6 \pm 0,01$ mg/kg).

3.4. Bioaccumulation d'éléments traces dans les poissons

Tableau 3. Teneurs moyennes en ETMs des eaux (mg/L) et sédiment (mg/kg de poids sec) de la station de Kingabwa (Fleuve Congo)

| Matrices concernées | ETMs | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Al | Cu | Cd | Pb |
| Eau (mg/L) | $0,26 \pm 0,00^b$ | $2,53 \pm 0,03^b$ | $0,18 \pm 0,17^b$ | $0,15 \pm 0,00^b$ |
| OMS (2017) | 0,2 | 2 | 0,003 | 0,01 |
| Sédiment (mg/kg) | $4,88 \pm 0,02^a$ | $7,8 \pm 0,01^a$ | $0,65 \pm 0,01^a$ | $0,6 \pm 0,01^a$ |
| SQG | 10-50 | 35.70 | 0,60 | 35.00 |

SQG: Recommandations sur la Qualité des Sédiments pour la protection de la vie aquatique

Les résultats repris au [tableau 3](#) ci-dessus illustrent la présence des quantités importantes en éléments traces métalliques dans l'eau et le sédiment du Pool Malebo dans le site de Kingabwa. Le cuivre se révèle comme étant l'élément le plus concentré dans les deux matrices abiotiques avec une différence très

Les résultats de la Bioaccumulation des ETMs étudiés dans les organes (muscles et têtes) des poissons *Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et

Protopterus dolloi Boulenger, 1900 sont consignées dans le [tableau 4](#).

Les données telles que reprises au [tableau 4](#) ci-

poissons *P. dolloi* ($0,96 \pm 0,01$ mg/kg) que chez les poissons *M. stanleyanus* ($0,59 \pm 0,02$ mg/kg). Quant à l'aluminium, la teneur moyenne la plus élevée avec une

Tableau 4. Concentrations moyennes en ETMs (mg/kg) dans les muscles de poissons *Marcuseinius stanleyanus* et *Protopterus dolloi* pêchés à Kingabwa

| Espèces des poissons | Organes | ETM s | | | |
|---------------------------------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | Al | Cu | Cd | Pb |
| <i>Marcuseinius stanleyanus</i> | Muscle | $0,14 \pm 0,01^b$ | $0,41 \pm 0,02^b$ | $0,15 \pm 0,01^a$ | $0,18 \pm 0,00^a$ |
| | Tête | $0,15 \pm 0,00^b$ | $0,59 \pm 0,0^b$ | $0,21 \pm 0,02^a$ | $0,23 \pm 0,01^b$ |
| Moyenne globale | | $0,15 \pm 0,01$ | $0,5 \pm 0,13$ | $0,18 \pm 0,04$ | $0,21 \pm 0,04$ |
| <i>Protopterus dolloi</i> | Muscle | $0,01 \pm 0,00^c$ | $0,85 \pm 0,01^a$ | $0,13 \pm 0,00^a$ | $0,16 \pm 0,01^b$ |
| | Tête | $0,01 \pm 0,00^c$ | $0,96 \pm 0,01^a$ | $0,21 \pm 0,01^a$ | $0,26 \pm 0,01^a$ |
| Moyenne globale | | $0,01 \pm 0$ | $0,91 \pm 0,08$ | $0,17 \pm 0,06$ | $0,21 \pm 0,07$ |
| OMS (1995 et 2005) | | * | * | 0,05 | 0,2 |
| EFSA (2008) | | 1 | * | * | * |

* : Non disponible

dessus indiquent que les muscles des poissons *Marcuseinius stanleyanus* et *Protopterus dolloi* pêchés dans le site de Kingabwa accumulent en grande quantité le cuivre dans leur muscle avec une différence statistique très hautement significative ($F = 1128$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0340$) contrairement aux autres éléments traces. La plus grande teneur moyenne en cuivre est observée chez les *P. dolloi* ($0,85 \pm 0,01$ mg/kg) par rapport aux spécimens de poissons *M. stanleyanus* ($0,41 \pm 0,02$ mg/kg). En revanche, les plus faibles teneurs moyennes avec une différence très hautement significative ($F = 487$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0149$) en éléments traces dans les muscles sont enregistrées pour l'aluminium où la plus faible valeur moyenne est observée chez le poisson *P. dolloi* ($0,01 \pm 0,00$ mg/kg).

L'analyse de la variance à un facteur appliquée à la variation des teneurs moyennes de cadmium et plomb dans les muscles indique une différence très hautement significative (Cd : $F = 135$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0240$ et Pb : $F = 597$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0133$) où les fortes teneurs sont relevées dans les muscles des poissons *M. stanleyanus* avec respectivement $0,15 \pm 0,01$ mg/kg pour le Cd et $0,18 \pm 0,00$ mg/kg pour le Pb.

Au niveau de la tête, les deux espèces de poissons renferment d'importantes concentrations en cuivre que les autres éléments traces. La plus grande concentration avec une différence statistiques significative ($F = 1773$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0312$) est détectée chez les

différence très hautement significative ($F = 1274$; $p = 0,0000$; $LSD = 9,418$) est enregistrée dans les têtes des poissons *M. stanleyanus* (soit $0,15 \pm 0,00$ mg/kg) que chez les poissons *P. dolloi* ($0,01 \pm 0,00$ mg/kg). La teneur en plomb reste légèrement élevée avec une différence statistique très significative ($F = 349$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0249$) dans les têtes des poissons *P. dolloi* ($0,26 \pm 0,01$ mg/kg) que dans les poissons *M. stanleyanus* ($0,23 \pm 0,01$ mg/kg).

L'analyse de la variance à un facteur appliquée aux données des teneurs moyennes de cadmium renseigne aucune différence significative entre les teneurs observées dans les têtes des poissons *P. dolloi* ($0,21 \pm 0,01$ mg/kg) et *M. stanleyanus* ($0,21 \pm 0,02$ mg/kg).

3.5. Variation des teneurs en ETMs dans l'eau, le sédiment, les muscles et têtes de poissons

La visualisation des [figures 2](#) et [3](#) ci-dessous montrent la variation des teneurs en ETMs étudiés dans les matrices eau, sédiment et les espèces des poissons (organes). De manière générale, il se dégage que les ETMs étudiés sont plus concentrées dans les matrices abiotiques que dans les poissons, le sédiment emmagasine plus des teneurs suivi de l'eau. Dans les organes des poissons, les têtes emmagasinent les plus fortes concentrations que les muscles quelle que soit l'espèce. Par ailleurs l'observation du degré d'accumulation des quatre ETMs montre une forte présence du cuivre dans les différents compartiments aquatiques.

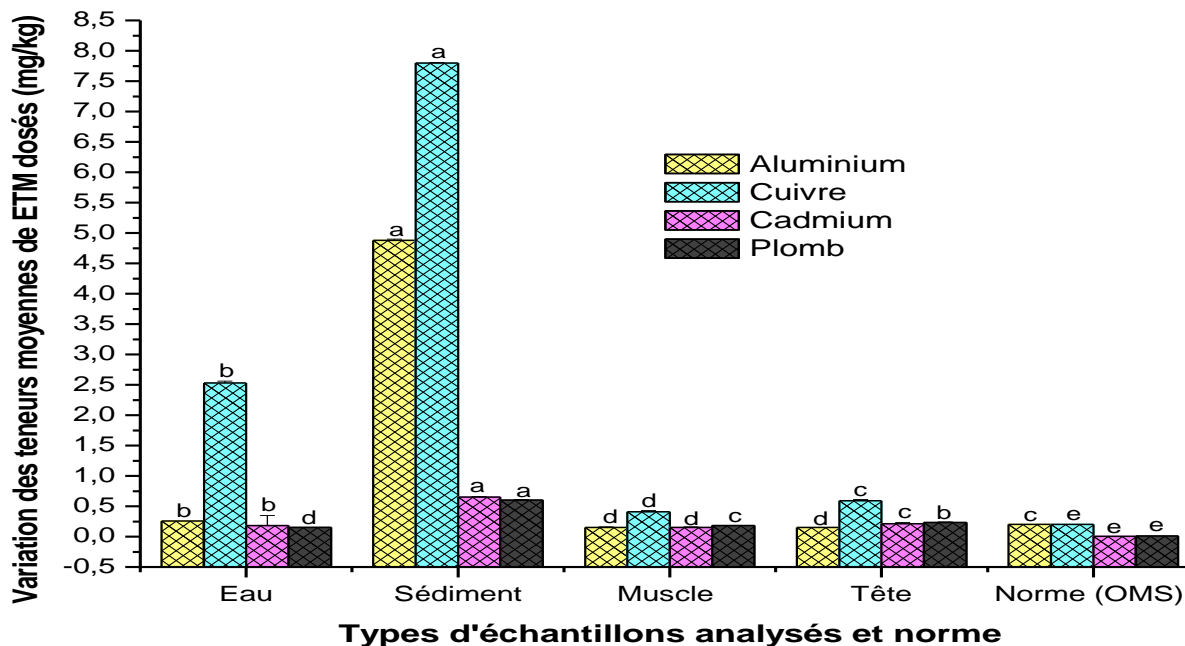


Figure 2. Variation des teneurs moyennes en ETMs dans l'eau, le sédiment, les muscles et têtes des poissons *Marcusenius stanleyanus*

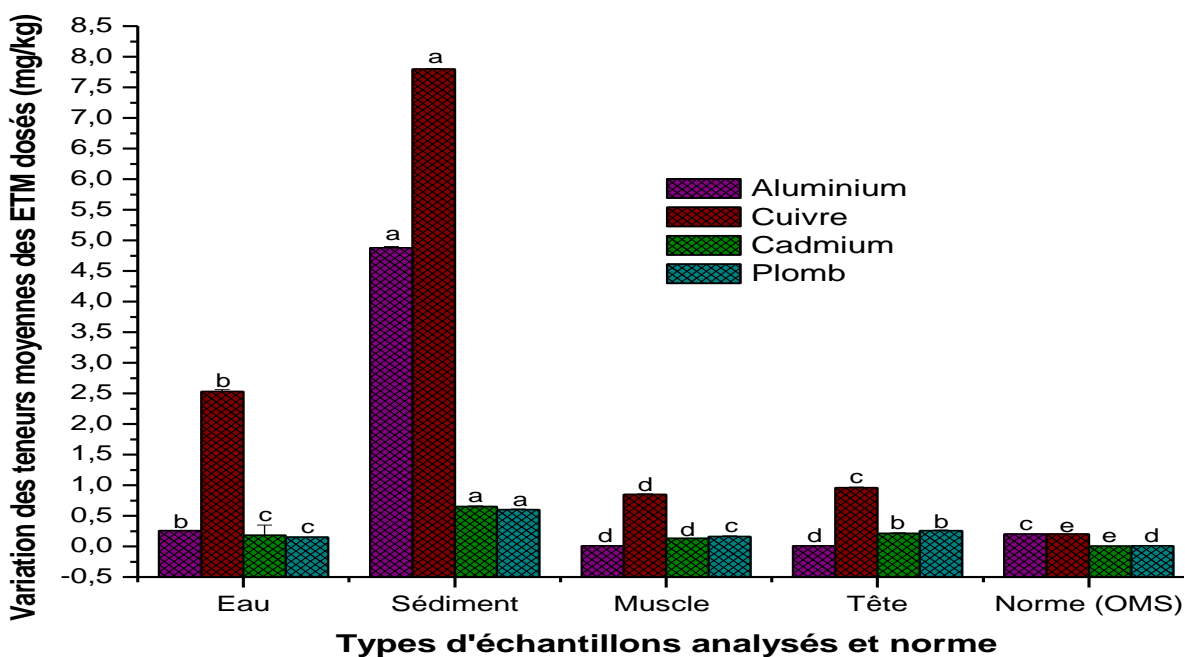
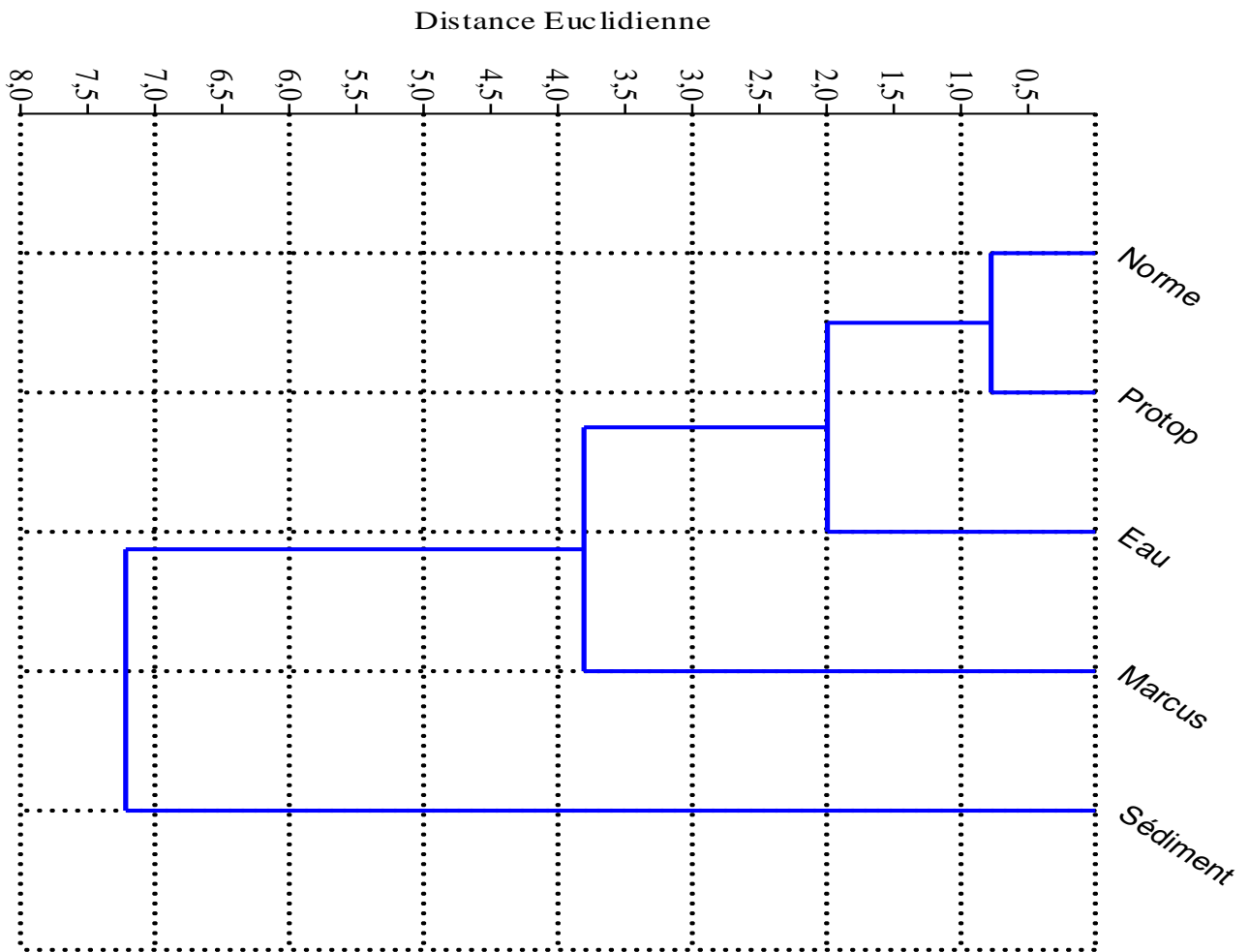


Figure 3. Variation des teneurs moyennes en ETMs dans l'eau, le sédiment, les muscles et têtes de poissons *Protopterus dolloi*

3.6. Classification hiérarchique ascendante des échantillons dosés en fonction des teneurs des ETMs dosés

L'analyse du dendrogramme obtenu par la classification ascendante hiérarchique des teneurs globales en éléments traces en fonction des compartiments aquatiques étudiés (eaux et sédiments), des poissons ainsi que de la norme de l'OMS en évidence deux groupes distincts (figure 4).

stanleyanus, de la norme établie par l'OMS ainsi que de l'eau qui sont proches les uns des autres où, seule les spécimens de l'espèce de poisson *P. dolloi* renferment des faibles concentrations en ETMs qui sont plus proches de la norme de l'OMS. Le deuxième groupe est formé par les teneurs de différents ETMs relevées dans le sédiment qui restent plus élevées par rapport aux teneurs enregistrées dans les autres compartiments (eau et poissons).



Légende = Marcus = *Marcusenius stanleyanus* et Protop = *Protopterus dolloi*

Figure 4. Classification hiérarchique ascendante des échantillons d'eau, sédiment et poissons dosés en fonction des teneurs moyennes des éléments métalliques dosés

Il ressort des observations des résultats de cette figure que deux principales entités écologiques se distinguent les uns des autres. Le premier groupe est formé par les teneurs relevées dans les espèces de poissons *Protopterus dolloi* et *Marcusenius*

3.7. Facteur de bioconcentration

Les facteurs de bioconcentration en ETMs des espèces de poissons *Marcusenius stanleyanus* et *Protopterus dolloi* par rapport à l'eau (FBC_e) et au

sédiment (FBC_s) sont repris dans le [tableau 5](#) ci-dessous.

des grandes quantités d'oxygène ([Morin-Crini et al., 2017](#) ; [Edéa et al., 2019](#)).

Tableau 5. Facteur de bioconcentration d'ETMs par rapport à l'eau et au sédiment

| ETMs | FBC _e | | FBC _s | |
|------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | <i>M. stanleyanus</i> | <i>P. dolloi</i> | <i>M. stanleyanus</i> | <i>P. dolloi</i> |
| Al | 1,11 | 0,07 | 0,05 | 0,004 |
| Cu | 0,39 | 0,71 | 0,12 | 0,23 |
| Cd | 2 | 1,88 | 0,55 | 0,52 |
| Pb | 2,73 | 2,8 | 0,68 | 0,7 |

FBC_e = Facteur de bioconcentration dans l'eau et FBC_s = Facteur de bioconcentration dans le sédiment

Les FBC par rapport à l'eau pour les deux espèces de poissons sont nettement supérieures à ceux des sédiments, et sont généralement supérieures à 1. Ils oscillent de 0,39 pour le Cu à 2,73 pour le Pb chez *Marcusenius stanleyanus*, et de 0,07 pour Al à 2,8 pour le Pb chez *Protopterus dolloi*. Quant au FBC par rapport aux sédiments, ils ont fluctué de 0,05 pour Al à 0,68 pour Pb chez *M. stanleyanus*, et de 0,004 pour Al à 0,7 pour le Pb chez *P. dolloi*.

4. Discussion

Les résultats des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux du Pool Malebo prélevées *in situ* dans la station de Kingabwa ont montré dans sa globalité que les eaux étaient légèrement acides (pH = 5,91±0,12) avec une température moyenne de 28,55±0,61 °C. La conductivité mesurée a indiqué que ces eaux renferment une bonne quantité des sels dissous (soit 63,91±3,2 µS/cm), tandis que la turbidité a montré une valeur moyenne de 32,91±0,8 ppm. Ces valeurs enregistrées pour la température et la conductivité sont comprises dans les limites recommandées par l'OMS (2011) (25 à 29°C ; 50 à 2000 µS/cm) le pH a été en deçà de la norme (6,5 - 7,5). La teneur en O₂ dissous (3,81±0,13mg/L) a été inférieure à la norme de CCME (5,5-6 mg/L). La DCO₅ (8,42±0,32mg/L) et la teneur moyenne en nitrate ont été dans les limites recommandées par UE (2006) (soit < 20 mg/L) et OMS (2000) (soit ≤ 50 mg/L). Par contre la DBO₅ a été supérieure à la norme UE (2006), soit < 3 mg/L.

La forte valeur en DBO₅ couplée à la faible teneur en O₂ dissous traduirait une quantité considérable en composés biochimiquement oxydables dans le milieu et l'activité des micro-organismes intervenant dans la dégradation de ces composés en consommant

Les teneurs en ETMs mesurées dans les eaux (Al = 0,26±0,00 mg/L ; Cu = 2,53±0,03 mg/L ; Cd = 0,18±0,17 mg/L et Pb = 0,15±0,00 mg/L) ont montré des valeurs moyennes supérieures aux limites maximales fixées par l'OMS (2017) pour l'eau potable (Al = 0,2 mg/L ; Cu = 2 mg/L ; Cd = 0,003 mg/L et Pb = 0,01 mg/L). Ces observations sont en harmonie à celles faites par [Nakweti et al. \(2021\)](#) (Cd = 0,01 à 0,02 mg/L ; Pb = 0,01 à 0,05 mg/L) ; [Nzapo et al. \(2018\)](#) (Cd = 0,12 à 0,13 mg/L ; Pb = 0,12 à 0,13 mg/L) qui ont montré que les eaux de la station de Kingabwa étaient contaminées par le Pb et Cd.

Les teneurs supérieures enregistrées dans la présente étude contrairement à ces auteurs pourraient s'expliquer à la période de réalisation entre études et une possible augmentation de teneurs en ETMs dans le Pool Malebo. Quant aux sédiments, les teneurs détectées (Al = 4,88±0,02 mg/kg ; Cu = 7,8±0,01 mg/kg ; Cd = 0,65±0,01 mg/kg et Pb = 0,6±0,01 mg/kg) dans cette matrice ont été inférieures aux SQG (Al = 10-50 mg/kg ; Cu = 35.70 mg/kg ; Cd = 0,60 mg/kg et Pb = 35.00 mg/kg). Ces teneurs sont inférieures à celles rapportées par [Mata et al. \(2020\)](#) pour le Cd (soit 0,02 à 6,65 mg/kg) et le Pb (2,36 à 200,89 mg/kg) et supérieures à celles détectées par [Nakweti et al. \(2021\)](#) (Cd = 0,01 à 0,04 µg/g ; Pb = 0,01 à 0,02 µg/g). Ceci pourrait s'expliquer par la nature des sédiments étudiés ainsi que la période d'étude. La comparaison des teneurs enregistrées dans les matrices eau-sédiment par rapport aux normes précitées indique une contamination des eaux par les ETMs.

Les fortes teneurs en Cu relevées dans ces matrices s'expliquent par la présence des activités anthropiques notamment les rejets des effluents industriels des usines métallurgiques dans la zone de Kingabwa. Ces observations corroborent avec celles

faites par Katemo et al. (2010) dans leur étude. Ces derniers font savoir que les industries minières contribuent fortement dans la pollution des hydrosystèmes aquatiques en ETMs à travers les rejets des effluents. Ils proviendraient de lessivage des sols, des boues de station d'épuration et des diverses activités fongicides cupriques et de l'agriculture (Brun et al., 2001).

Les résultats d'analyses toxicologiques d'ETMs de poissons *Marcusenius stanleyanus* et *Protopterus dolloi* ont montré des valeurs moyennes globales supérieures par rapport aux limites maximales recommandées par l'OMS (1995 et 2005) pour la comestibilité des poissons (Cd = 0,05 mg/kg ; Pb = 0,02 mg/kg) et inférieurs à limite hebdomadaire tolérables proposées par EFSA (2008) pour Al (soit 1 mg/kg). Quant au Cu, il n'existe actuellement aucune recommandation pour les produits halieutiques. Ces résultats indiquent que les poissons capturés à Kingabwa sont contaminés par les Cd et Pb, de ce fait, ils seraient impropres à la consommation humaine. Les résultats de cette étude faite à Kingabwa sont en accord avec ceux obtenus par Nakweti et al. (2021) ; Nzapo et al. (2018) qui ont mis en évidence des teneurs élevées en ETMs chez quelques espèces des poissons d'intérêt commercial dans le même site de Kingabwa. Comparativement à ces travaux, les teneurs rapportées dans cette étude sont inférieures à celles de Nakweti et al. (2021) pour le Cd (0,21 mg/kg) et le Pb (0,26 mg/kg) et à ceux de Nzapo et al. (2018) pour le Cu (1,281mg/kg), Pb (10,117 mg/kg), et Cd (0,0872 mg/kg).

Les teneurs relevées dans cette étude restent également inférieures à celles obtenues par Nsimanda et al. (2015a) en aval du Pool Malebo (Kinsuka) chez trois espèces des poissons (*Distichodus fasciolatus* : Pb = 12,48 ; Cd = 8,34 mg/kg ; *Mormyrops anguilloides* : Pb = 28,91 mg/kg ; Cd = 8,44 mg/kg et *Schilbe mystus* : Pb = 75,22 ; Cd = 15,29 mg/kg). Les teneurs observées dans la présente étude sont supérieures à celles des Nsimanda et al. (2015b) chez les mêmes espèces de poissons, *D. fasciolatus* (Pb = 0,003275 mg/kg ; Cd = 0,001459 mg/kg), *M. anguilloides* (Pb = 0,00502 ; Cd = 0,0019935 mg/kg) et *S. mystus* (Pb = 0,0077 mg/kg ; Cd = 0,002018 mg/kg) en amont du Pool Malebo (Maluku).

Les fortes teneurs par rapport à ces derniers auteurs s'expliquent du fait que le bassin versant de la station de Kingabwa fait l'objet d'intenses activités

anthropiques (agricoles, industrielles, etc.) par rapport à Maluku où la pression anthropique est moins exercée.

La comparaison interspécifique en ETMs a montré que *Marcusenius stanleyanus* accumule légèrement plus d'ETMs que les poissons *Protopterus dolloi*. Les têtes emmagasinent des fortes teneurs que les muscles du fait qu'elles portent des branchies qui filtrent en grande quantité les ETMs environnants (Katemo et al., 2010).

Les résultats de FBC ont montré que les quatre ETMs sont bioconcentrés à partir de teneurs de l'eau environnante contrairement aux sédiments. Ceci étant normal du fait que les sédiments sont des pièges à ETMs, des réservoirs où s'accumulent les métaux traces dans les eaux alcalines (Grandi et al., 2007 ; Katemo et al., 2010 ; Dimon et al., 2014 ; Ouro-Sama et al., 2014).

5. Conclusion

L'objectif de cette étude était de déterminer le teneur en ETMs (Al, Cu, Cd et Pb) dans l'eau, le sédiment et les tissus de deux espèces de poissons *Marcusenius stanleyanus* (Boulenger, 1897) et *Protopterus dolloi* (Boulenger, 1900) pêchés à la station de Kingabwa dans le Pool Malebo (Fleuve Congo). Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé la présence d'ETMs dans toutes les matrices étudiées avec une forte concentration du Cu. Les eaux de Kingabwa sont plus contaminées par les ETMs par rapport au sédiment. Les poissons *Marcusenius stanleyanus* (Mormyridae) et *Protopterus dolloi* (Protopteridae) ont présenté des teneurs en Cd et Pb supérieures aux limites maximales préconisées par l'OMS. Par ailleurs, le poisson *Marcusenius stanleyanus* concentre un peu plus de métaux traces que *Protopterus dolloi*. Ainsi donc la consommation régulière de ces espèces des poissons constitue un risque pour la santé de la population kinoise.

Références bibliographiques

- Amara, R., Diop, M., Diop, C. & Ouddane, B. (2019). *The senegalese coastal and marine environment. World Seas. An Environmental Evaluation Volume I : Europe, The Americas and West Africa*, Charles Sheppard, 2nd Edition, Elsevier, Londre, Angleterre, Chapter 37, 855-873.
- Bandowe, B., Bigalke, M., Boamah, L., Nyarko, E., Saalia, K. & Wilcke, W., (2014). Polycyclic aromatic compounds (PAHs and oxygenated PAHs) and trace metals in fish species from

- Ghana (West Africa): bioaccumulation and health risk assessment. *Environ., Int.*, 65, 135 – 146.
- Brun, A. J. (2001). *Les métaux dissous en Seine*. Rapport PIREN- Seine, France.
- Casas, S. (2005). *Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, Mytilus galloprovincialis en milieu méditerranéen* [Thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon].
- CCME. (1999). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique - oxygène dissous (eau douce)*. Recommandations Canadiennes pour la Qualité de l'Environnement, Winnipeg, le Conseil.
- Dassenakis, M., Andrianos, H., Depiazzi, G., Konstantas, A., Karabela M., Sakellari A. & Scoulls, M. (2003). The use of various methods for the study of metal pollution in marine sediments, the case of Euvoikos Gulf, Greece. *Appl. Geochem*, 18, 781-794.
- Dimon, F., Flavien, D., Naéssé, A., Waris, C., Daouda, M., Abdoukarim, A. & Moussa B. (2014). Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la population des sédiments par les Plomb, le Zinc et l'Arsenic. *Journal de la Société Ouest- Africaine de Chimie*, 37, 36-42.
- Edéa, O. G., Hinvi, L.C., Abou, Y. & Gbangboche, A. B. (2019). Synthèse bibliographique sur des paramètres biologiques et zootechniques du poisson-chat Africain *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. *European Scientific Journal*, 15(27), 54 - 88. Doi :10.19044/esj.2019.v15n27p54.
- EFSA. (2008). Avis scientifique du groupe scientifique sur les additifs alimentaires, arômes, auxiliaires technologiques et matériaux en contact avec les aliments (AFC) sur la sécurité de l'aluminium provenant de rapport alimentaire. *Le Journal de l'EFSA*, 754 p.
- EU. (2006). European Directive/CE of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing. Directive 76/160/EEC.
- Fakayode, S.O. (2005). Impact assessment of industrial effluent on water quality of the receiving Alaro River in Ibadan, Nigeria. *AJEAM-RAGEE*, 10, 1-13.
- Falasi, N. (2018). *Pollution de la rivière N'djili et contraintes de gestion des sols autour Du Pool Malebo (cas du site agricole Masina rail I/Kinshasa)* [Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondies, Université de Liège].
- FAO. (2020). *La situation mondiale de pêches et de l'aquaculture, la durabilité en action*. Rome, FAO.
- Foxall, C., Chale, F., Bailey-Watts, A., Patterson, G. & West, K. (2000). Les pesticides et les métaux lourds dans les poissons et les mollusques du Lac Tanganyika. *Lake Tanganyika Biodiversity Project*, République Démocratique du Congo, 16 p.
- Grandi, K., Tchangbedji, G., Killi, K., Baba, G. & Abbé, K.D. (2006). The Impact of phosphate mine tailings on the bioaccumulation of heavy metals in marine fish and crustaceans from the coastal zone of Togo. *International Journal of Mine Water and Environment*, 7, 25(1), 56-62.
- Haller, L., Tonolla, M., Zopfi, J., Peduzzi, R., Wildi, W. & Poté, J. (2011). Composition of bacterial and archaeal communities in freshwater sediments with different contamination levels Lake Geneva, Switzerland. *Water Res*, 45, 1213-1228.
- Jourdan, B., Piantone, P., Lerouge, C. & Guyonnet, D. (2005). Atténuation des métaux à l'aval de sites de stockage de déchets : Synthèse bibliographique. *BRGM*, 110 p.
- Kashimbo, K. S., Mukanya, S. S., Mukoj, K. A., Mwenge, T. L., Kesonga, N. M., Meli, K. & Kiyukeno, K. Y. (2016). Etudes d'impacts des rejets liquides de l'usine STL (Société de Terril de Lubumbashi) sur la rivière Lubumbashi (Haut-Katanga/D.R. Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 21, 285-292.
- Katemo, M. B., Colinet, G., André, L., Chocha, M. A., Marquet, J- P. & Micha, J- C. (2010). Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/R Congo). *Tropicultura*, 28(4), 246-252.
- Kouamélan, E. P. (1999). *L'effet du lac de barrage Ayamé (Côte d'Ivoire) sur la distribution et l'écologie alimentaire des poissons Mormyridae (Teleostei, Osteoglossiformes)* [Thèse de Doctorat, Katholieke Universiteit Leuven].
- Lévêque, C., Paugy, D. & Teugels, G. G. (1990 et 1192). *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest*. Tome 1 et 2, MRAC, O.R.S.T.O.M, Collection Faune Tropicale, n°28, 902 p.
- Lusasi, S. W., Makiese, M. P., Kunonga, N. L., Munganga, K. C., Kavumbu, M. S., Pwema, K. V. (2019). Proportion de vente des poissons frais locaux et importés dans les marchés de Kinshasa en République Démocratique du Congo (cas des marchés de la Liberté de Masina et Central de Kinshasa). *Journal of Applied Biosciences*, 141, 14353-14363. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v14i1.2>.
- Lusasi, S. W., Manza R. K., Bipendu, M. N., Kavumbu, M. S., Munganga, K. C., Gafuene, N. G. & Pwema, K. V. (2020). Analysis of the

- ichtyological composition of smoked fish sold in the Liberté and Gambela markets in Kinshasa, Democratic Republic of Congo. *Agriculture Science*, 2(2), 69-79. DOI: <https://doi.org/10.30560/as.v2n2p69>.
- Lusasi, S. W., Manza, K. R., Munganga, K. C. & Pwema, K. V. (2024). Contribution à la connaissance des modes de transformation et conservation des poissons locaux vendus dans les marchés de la ville de Kinshasa, R.D Congo. *European Scientific Journal, ESJ*,
- Mata, K. H., Mohammed, M. A. D., Ngweme, N. G., Konde, N. J., Mulaji, K. C., Kiyombo, M. G. & Poté, W. J. (2020). Toxique metal concentration and ecotoxicity test of sediments from dense populated areas of Congo River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 83 - 90.
- Mbega, J. D. & Teugels, G. G. (2003). *Guide de détermination des poissons du Bassin inférieur de l'Ogooué*. Namur, Presse Universitaire de Namur.
- Morin-Crini, N., Winterton, P., Trunfio, G., Torri, G., Louvard, N., Girardot, S., Hutinet, X. & Crini, G. (2017). Paramètres chimiques de l'eau et rejets industriels. In Morin- Crini, N. & Crini, G. (éds.), *Eaux industrielles contaminées*. Presses Universitaires de Franche-Comté. <https://doi.org/10.4000/books.pufc.10972>.
- Munganga, K. C., Lusasi, S. W. & Pwema, K. V. (2020). *Evaluation de la qualité écologique de la rivière Musolo à Kinshasa : Basée sur les macros invertébrées benthiques en République Démocratique du Congo*. Londres, Editions Universitaires Européennes.
- Muteba, L. J- P., Kitoko, N. F., Moma, T. M. B. & Mandé, S. M. (2011). Pollution de la rivière Kafubu. *Rapport d'enquête*, 97 p.
- Mwanamoki, P. M., Naresh, D., Niane, B., Ngelinkoto, P., Thevenon, F., Nlandu, J. W., Mpiana, T. P., Prabakar, K., Mubedi, I. J., Kabele, G. C., Wildi, W. & Poté, J. (2014). Trace metal distributions in the sediments from river-reservoir systems: case of the Congo River and Lake Ma Vallée, Kinshasa (Democratic Republic of Congo). *Environ Sci., Pollut., Res.*, 10, 11356 - 3381.
- Nakweti, K. J., Lusasi, S. W. & Tembeni, M. J. (2021). Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques (Cadmium et Plomb) dans l'eau, les sédiments et deux espèces de poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) dans le Pool Malebo (Fleuve Congo), RD Congo. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(25), 174 - 192. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p17>.
- Nsimanda, I. C., Musobono, E. D., Basosila, L. N. & Wanga, B. M. B. (2015a). Étude préliminaire de la contamination au cadmium et au plomb de *Distichodus fasciolatus*, *Mormyrops anguilloides* et *Schilbe mystus* au Pool Malebo (Fleuve Congo-Kinshasa/RD Congo) à Kinsuka. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(1), 176-183.
- Nsimanda, I. C., Musobono, E. D., Basosila, L. N. & Wanga, B. M. B. (2015b). Contribution à l'étude écotoxicologique du Cadmium et du Plomb dans *Distichodus fasciolatus*, *Mormyrops anguilloides* et *Schilbe mystus* au Pool Malebo (Fleuve Congo-Kinshasa/ RD Congo) à Maluku. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(1), 166-175.
- Nzapo, K. H., Ngbolua, K. N., Bongema, A. L., Bongo, N. G., Inkoto, L. C., Falanga, M. C., Ashande, M. C., Ndembo, N. J. L., Lokilo, L. E. & Djoza, D. R. (2018). Evaluation de la bioaccumulation de métaux lourds chez *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803), *Mormyrops anguilloides* (Linnaeus, 1758) et *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 38(1), 185-191.
- OMS. (1995). Normes générale codex pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de la consommation humaine et animale. Codex standard 193-1995, 43
- OMS. (2000). *Directives des qualités pour l'eau de boisson, Volume II-critères d'hygiènes et documentation à l'appui* (2ème édition), www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables.13/07/2013.
- OMS. (2005). *Liste provisoire des principales espèces de poissons faisant l'objet d'un commerce internationales (y compris les propositions concernant des concentrations maximales de plomb dans différentes espèces de poissons)*. Trente septièmes sessions. La Haye, OMS.
- OMS. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4th édition). Genève, OMS.
- OMS. (2017). *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (4e édition). Genève, OMS.
- Ouro-Sama, K., Hodabalo, D. S., Kissao, G., Komlan, M. A. & Essô, J. B. (2014). *Évaluation et risques sanitaires de la Bioaccumulation de métaux lourds chez les espèces halieutiques du système lagunaire togolais*.
- Ouyang, Y., Wang, C. & Lin. (2018). Heavy metal loss from agricultural watershed to aquatic system. *Scientometrics Review Sci. Total Environ*, 637–638, 208-220.
- Pwema K.V., 2014. *Ecologie alimentaire, reproduction et modes d'adaptation de cinq*

- espèces de Labeo Cuvier, 1817 dans les milieux lenticules et des rapides au Pool Malebo dans le fleuve Congo.* [Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D Congo, 163 p].
- Saville, D. J. (1990). Multiple comparison procedures: the practical solution. *American Statistician*, 44(2), 174 - 180.
- Scherrer, B. (1984). *Biostatistique*. Québec, Gaëtan Morin Edition.
- Storelli, M. M. (2008). Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food Chem Toxicol.*, 46(8), 2782-2791. doi: 10.1016/j.fct.2008.05.011.
- Ter Braak, C. J. F. (1998). Canoco: a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial, dendreded and canonical) correlation analysis, principal components analysis (version 2.1). *Wageningen*.
- Tshibanda, J. B., Augustin, M. M, Mpiana, P. T., Mulaji, C. K., Otamonga, J. P. & Poté, W. J. (2021). Influence of watershed on the accumulation of Heavy metals in sediments of urban rivers under tropical conditions : Case of N'djili and Lukaya rivers in Kinshasa Democratic Republic of The Congo. *Watershed Ecology And The Environment*, 3, 30 - 37. <https://Doi.Org/10.1016/J.Wsee.2021.06.001>.
- Wang, F. & Tessier, A. (2009). Zero-valent sulfur and metal speciation in sediment porewaters of freshwater lakes. *Environ Sci Technol*, 43(19), 7252-7269. doi: 10.1021/es8034973.