



## Evaluation des risques sanitaires liés aux métaux traces dans les poissons du Pool Malebo (Fleuve Congo) à Kinshasa (RD Congo)

Jeff NAKWETI KUKATULA<sup>1,2\*</sup>, Persy-Jérôme NGOMA NZAU<sup>2</sup>, Willy LUSASI SWANA<sup>1,2</sup>, Joel ILUNGA BULOBO<sup>3</sup>, Victor PWEMA KIAMFU<sup>1,2</sup>, José MBIMBI MAYI MUNENE<sup>2</sup>, John TEMBENI MAKIADI<sup>1,2</sup> & MBOMBA N'SEU Bekeli<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de limnologie, Hydrobiologie et aquaculture, Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P 190, Kinshasa XI, R.D. Congo

<sup>2</sup>Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P 190, Kinshasa XI, R.D. Congo

<sup>3</sup>Bureau d'études écotone recherche, B.P 123, Limete, Kinshasa, R.D. Congo

\*Correspondance : [jeff.nakweti@unikin.ac.cd](mailto:jeff.nakweti@unikin.ac.cd) , +243819619075

Submitted 04/04/2026, Published online on 31/05/2026 in the <https://www.m.elewa.org/journals/journal-of-applied-biosciences-about-jab/> <https://doi.org/10.35759/JABs.220.10>

### RESUME

**Objectif:** La présente étude vise à évaluer le risque pour la santé humaine associé à la consommation de deux espèces de poissons du Pool Malebo (fleuve Congo), *Oreochromis niloticus* et *Clarias gariepinus* contaminées par cinq métaux traces (As, Cd, Cr, Ni et Pb).

**Méthodologie et Résultats:** Les échantillons des poissons ont été récoltés à la station de pêche de Kingabwa entre Mai et Août 2025. Les concentrations des métaux traces ont été déterminée dans les muscles, par spectrométrie à fluorescence X de marque ED- XRF Xepos III. Les résultats obtenus dans les muscles de *C. gariepinus* (As : 1,11±0,99 mg/kg ; Cd : 5,08±0,55 mg/kg ; Cr : 0,69±0,14 mg/kg ; Ni : 4,55±1,88 mg/kg et Pb : 2,12±0,45 mg/kg) et *O. niloticus* (As : 1,37±0,50 mg/kg ; Cd : 4,33±2,7 mg/kg ; Cr : 0,69±0,14 mg/kg ; Ni : 3,08±2 mg/kg et Pb : 2,21±0,81 mg/kg) ont révélé des teneurs élevées aux seuils acceptables établis par l'OMS, FEPA, FAO. La consommation de ces espèces présente un risque pour les populations riveraines de Kingabwa considérés dans la présente étude comme le groupe le plus exposé via la consommation régulière. L'estimation de la DJE, de QD et QDT indique que les enfants présentent une exposition chronique plus élevée aux effets non cancérogènes et cumulatifs des métaux étudiés. En revanche, l'ensemble de la population est potentiellement exposé aux risques cancérogènes par l'As, le Cr et le Ni.

**Conclusion et application des résultats:** Ces résultats indiquent que la consommation de deux espèces des poissons constituent un sérieux problème de santé publique pour les riverains, particulièrement pour les enfants. Ils appellent à une sensibilisation nutritionnelle afin de réduire le risque d'exposition par une consommation modérée de ces poissons, à une surveillance environnementale complète et à des mesures réglementaires strictes par les autorités politiques pour limiter la contamination par les MTs et protéger la santé de la population riveraine.

**Mots clés :** Métaux traces, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, Risque pour la santé humaine, Pool Malebo, fleuve Congo

## Assessment of health risks associated with trace metals in fish from the Malebo Pool (Congo River) in Kinshasa (DR Congo)

### ABSTRACT

**Objective:** This study aims to assess the risk to human health associated with the consumption of two fish species from the Malebo Pool (Congo River), *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*, contaminated with five trace metals (As, Cd, Cr, Ni, and Pb).

**Methodology and Results:** Fish samples were collected at the Kingabwa fishing station between May and August 2025. Trace metal concentrations were determined in the muscle tissue using ED-XRF Xepos III X-ray fluorescence spectrometry. The results obtained in the muscle tissue of *C. gariepinus* (As:  $1.11 \pm 0.99$  mg/kg; Cd:  $5.08 \pm 0.55$  mg/kg; Cr:  $0.69 \pm 0.14$  mg/kg; Ni:  $4.55 \pm 1.88$  mg/kg; and Pb:  $2.12 \pm 0.45$  mg/kg) and *O. niloticus* (As:  $1.37 \pm 0.50$  mg/kg; Cd:  $4.33 \pm 2.7$  mg/kg; Cr:  $0.69 \pm 0.14$  mg/kg; Ni:  $3.08 \pm 2$  mg/kg; and Pb:  $2.21 \pm 0.81$  mg/kg) revealed high levels compared to the acceptable thresholds established by the WHO, FEPA, and FAO. Consumption of these species poses a risk to the riverside populations of Kingabwa, considered in this study to be the group most exposed through regular consumption. Estimates of the ADI, QD, and QDT indicate that children are chronically exposed to higher levels of the non-carcinogenic and cumulative effects of the metals studied. However, the entire population is potentially exposed to carcinogenic risks from As, Cr, and Ni.

**Conclusion and application of the results:** These results indicate that the consumption of these two fish species poses a serious public health problem for local residents, particularly for children. They call for nutritional awareness campaigns to reduce the risk of exposure through moderate consumption of these fish, comprehensive environmental monitoring, and strict regulatory measures by political authorities to limit contamination by trace metals and protect the health of the local population.

**Keywords:** Trace metals, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, Health risk, Pool Malebo, Congo River.

### INTRODUCTION

Les métaux traces (MTs) font partie des polluants majeurs de l'environnement en raison de leur toxicité potentielle, de leur persistance, de leur non-dégradabilité et de leur tendance à la bioaccumulation (Ye *et al.*, 2012; Liang *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016; Otansev *et al.*, 2016). Ce sont des composés stables, naturellement présent dans l'environnement en très faibles quantités, et sont introduits dans les milieux aquatiques par le rejet d'eaux usées industrielles, agricoles et domestiques ; ruissellement des précipitations; et les dépôts atmosphériques (Gaillardet *et al.*, 2003; Kolarova et Napiorkowski, 2021). Dans les systèmes aquatiques, les métaux traces se dissolvent dans l'eau ou s'adsorbent sur les particules en suspension, et s'accumulent dans les sédiments et le biote, en particulier dans les

tissus des poissons par le processus de la bioconcentration et la bioaccumulation, puis se transfèrent dans la chaîne alimentaire (Marselina et Wilaya, 2024), ce qui peut entraîner des graves risques écologiques sur les écosystèmes et sanitaire pour la population humaine. En République Démocratique du Congo, plusieurs hydrosystèmes sont soumis à des pressions anthropiques. Depuis plusieurs décennies, le développement rapide des secteurs économiques et industriels, ainsi que l'urbanisation dans certaines régions du pays ont induit à la mobilisation des plusieurs types de pollution (Salakiaku *et al.*, 2023), dont la pollution métallique, telle que démontrée par diverses études (Foxall *et al.*, 2000; Katemo *et al.*, 2010 ; Monama *et al.*, 1985; Muteba *et al.*, 2011 ; Nsimanda *et al.*, 2015; Kashimbo *et al.*,

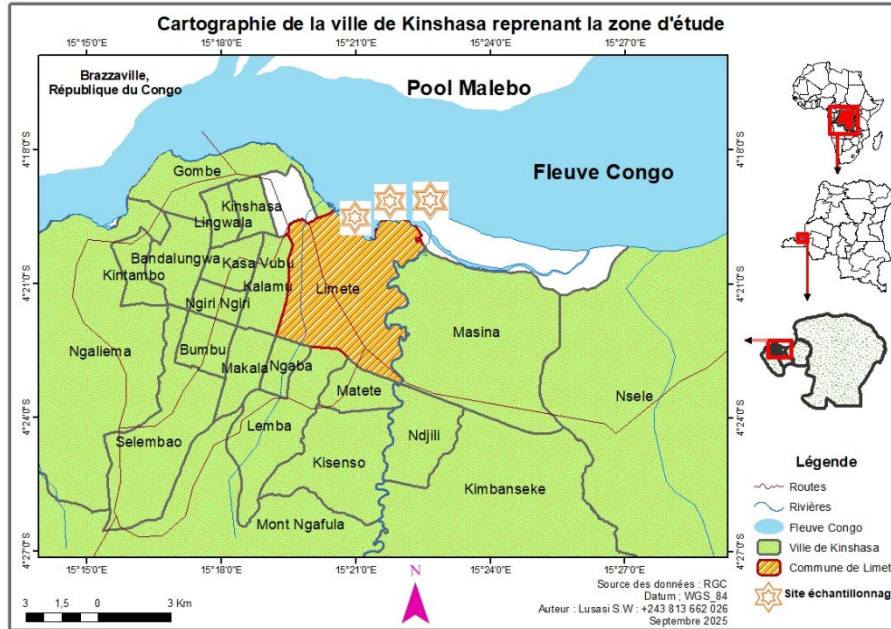
2016 ; Nzapo *et al.*, 2018; Nakweti *et al.*, 2021 ; Mabaya et Kalala, 2023 etc). D'après Gizanga *et al.* (2016), les principales causes conduisant à cette pollution sont : les eaux usées des industries, les déchets domestiques, les déchets médicaux et l'agriculture. Le Pool Malebo au fleuve Congo à Kinshasa n'échappe guère à ce constat. C'est un lac de rivière où se déroulent d'intenses activités économiques (industrielles, agricoles, domestiques, pêches etc.) (Nsimanda *et al.*, 2015) et, présente une ichthyofaune riche et diversifiée comptant plus de 282 espèces valides (Hanssens *et al.*, 2008). Le Pool Malebo constitue l'une des sources principales d'approvisionnement en différentes espèces des poissons sur les marchés commerciaux de Kinshasa et pour la population riveraine dont la pêche constitue presque exclusivement la principale source de revenus mais également de protéines. Cependant, ce milieu englutit d'énormes quantités des substances chimiques d'origine naturelle ou anthropique dont un grand nombre possède des propriétés toxiques (Nsimanda *et al.*, 2015). Des études récentes, menées dans le Pool Malebo ont indiqué une contamination par les métaux traces (Mwanamoki *et al.*, 2014 ; Nsimanda *et al.*, 2015 ; Nzapo *et al.*, 2018 ; Mata *et al.*, 2020 ; Nakweti *et al.*, 2021; Lusasi *et al.*, 2024). Cette situation peut constituer un risque pour la santé de cet écosystème et pour la santé publique,

principalement pour les riverains qui consomment plus de poissons que n'importe quel consommateur. La plupart d'études sur la contamination métallique dans cet écosystème ont permis de déterminer le niveau de concentrations en MTs dans l'eau (Nzapo *et al.*, 2018; Nakweti *et al.*, 2021 ; Lusasi *et al.*, 2024), dans les sédiments de surface (Nakweti *et al.*, 2021; Lusasi *et al.*, 2024), en caractérisant leur niveau de toxicité et leur risque environnemental (Mata *et al.*, 2020 ; Mwanamoki *et al.*, 2014), et d'appréhender la bioaccumulation de ces éléments dans les organismes des poissons (Nsimanda *et al.*, 2015 ; Nzapo *et al.*, 2018; Nakweti *et al.*, 2021 ; Lusasi *et al.*, 2024). Malgré l'importance de ces études, il existe très peu d'informations sur le risque pour la santé liée à la contamination des poissons par les métaux traces dans le Pool Malebo. C'est dans ce contexte que la présente étude s'engage à évaluer les risques pour la santé humaine associés à la consommation de deux espèces de poissons (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 et *Clarias gariepinus* Burchell, 1822) contaminées par les métaux traces (As, Cd, Pb, Ni et Cr) à la station de pêche de Kingabwa dans le Pool Malebo (fleuve Congo) à Kinshasa, en vue de déterminer le degré d'exposition des riverains à la consommation des ressources halieutiques.

## MATERIEL ET METHODES

**Milieu d'étude :** Cette étude a été menée dans le Pool Malebo au fleuve Congo, plus précisément à la station de pêche de Kingabwa dans la ville province de Kinshasa. Cette zone située à 4° 20' 58,398'' de latitude Sud et 15° 21' 44,838'' de longitude Est, à la périphérie de la commune de Limete au quartier Kingabwa en République Démocratique du Congo regorge un grand réseau industriel à caractère chimique, métallurgique et agroalimentaire,

elle abrite des pêcheries artisanales qui approvisionnent les riverains et certains marchés de la ville de Kinshasa en poissons frais. Plusieurs activités agricoles notamment la riziculture sont réalisées le long des rives dans cette zone. En plus elle reçoit des eaux usées municipales et industrielles, ainsi que des grandes quantités des déchets solides de la ville de Kinshasa drainés par les rivières N'djili et Bitshakutshaku.



**Figure 1 :** Localisation de la zone d'études et points d'échantillonnages des poissons.

**Matériel biologique :** Le matériel biologique de cette étude est constitué de plusieurs spécimens de poissons *Oreochromis niloticus* Linnaeus (1758) et *Clarias gariepinus* Burchell (1822). Ces deux espèces ont été sélectionnées conformément aux critères de choix des bioindicateurs établis en écotoxicologie, notamment l'abondance et la représentativité dans le milieu prospecté, la capacité à accumuler les polluants et la facilité à l'échantillonnage (Craig, 1997). Ces poissons sont largement répandus dans le Pool Malebo, et font partie des espèces les plus prisées par la population riveraine (Nakweti *et al.*, 2021).

### Méthodes

**Collecte d'échantillonnages:** Les échantillons des poissons étudiés ont été prélevés durant la saison sèche, entre les mois de Mai et Aout 2025, en raison de 4 campagnes d'échantillonnages. Les poissons *C. gariepinus* et *O. niloticus* ont été capturés par la pêche artisanale à l'aide des hameçons de plusieurs séries, des nasses, des filets maillants et éperviers par les pêcheurs du Pool Malebo dans les endroits de pêchés. Les échantillons ont été prélevés aléatoirement et traités suivant

le protocole d'échantillonnage pour le suivi de substances toxiques dans les poissons d'eaux douces proposé par le Ministère canadien de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2022). Pour chaque espèce, un effectif de 30 spécimens a été collecté, placés dans des sachets en polyéthylène et gardés au froid dans la glacière puis transporter au laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture du Département de Biologie à la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa pour le traitement. Les clés d'identification proposées par Lévêque *et al.*, (1990 et 1992); Mbega et Teugels (2003); Stiassny *et al.* (2007) ont été utilisées pour confirmer la position systématique des espèces étudiées. Ces poissons ont ensuite été conservés au froid, à -4 °C jusqu'aux analyses toxicologiques appropriées.

### Préparation des échantillons des poissons:

La préparation des échantillons a été fait au Laboratoire Centrale d'Analyses du Centre Régional d'Etude Nucléaire de Kinshasa (CREN-K). Tout d'abord les poissons ont été décongelés à la température ambiante, ensuite nettoyés avec de l'eau distillée pour la dissection. Cette opération a été réalisée dans

un état semi-congelé à l'aide d'un bistouri et des pinces. Seul l'organe cible, le muscle, a été prélevés pour les analyses toxicologiques. Les muscles de deux espèces ont été séchés à l'étuve de marque **Memmert US** à 105 °C pendant 72 heures pour recueillir la matière sèche (MS), puis refroidis dans un dessiccateur. La MS obtenu a été réduite en poudre à l'aide de broyeur électronique de model **Pulverisette 5**. Ensuite, 5 g de poudre obtenu a été mélangé avec 2 g de liant (**Cereox**) puis homogénéiser pendant 5 minutes jusqu'au mélange complet. Ceci a été transféré dans une presse à pastille pour former un disque compact. La pastille obtenue a été recueillie et conservée au dessiccateur dans un sachet en polyéthylène codifié, jusqu'à l'analyse spectrophotométrique.

**Analyse toxicologique des échantillons :** La détermination des concentrations en cadmium, plomb, nickel et chrome dans les muscles d'espèces des poissons étudiés a été réalisée à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X (modèle **ED-XRF Xepos III**) équipé par ordinateur. Les échantillons ainsi préparés ont été placés dans le carrousel ou le changeur d'échantillons de l'appareil. Une fois l'échantillon placé, démarré la séquence d'analyse via le logiciel. L'appareil analyse chaque échantillon en l'irradiant de rayon X, ce qui provoque l'émission de rayons X de fluorescence. Le détecteur mesure les signaux. Les teneurs en métaux étaient exprimées en mg/kg de poids humides de poissons frais.

**Evaluation du risque pour la santé humaine :** Le risque pour la santé humaine résultant de la consommation de poissons couramment prisés par les riverains de la station de pêche de Kingabwa dans le Pool Malebo et vendues dans la ville de Kinshasa, en RD Congo, a été réalisée conformément aux méthodes décrite par l'USEPA (2000). La démarche a d'abord consisté à une série d'enquête préalable sur le focus groupe déterminé sur les riverains des ilots de Kingabwa dans le Pool Malebo pour recueillir

les informations concernant leurs habitudes alimentaires. Au moins 60 personnes, repartis en 2 groupes (30 adultes et 30 enfants) ont été concernées par les enquêtes. Le risque a été évalué à travers l'estimation du degré d'exposition, le calcul du quotient de danger (QD), la détermination du risque global (QDT) ainsi que le risque cancérigène, en utilisant les concentrations déterminées dans les muscles (organe comestible).

**Estimation de l'exposition :** L'estimation des quantités moyennes de poids frais de poissons ingérés par jour par les groupes considérés ont été déterminées selon l'équation suivante (Badassan, 2021) :

$Q_{moy} = \sum [Q_{min} * \%(adulte\ ou\ enfant)] / 60$   
D'où **Q<sub>moy</sub>** : quantité moyenne de poissons consommée par jour ; **Q<sub>min</sub>** : quantité minimum (g) de poissons consommée par jour ; **% (Adulte ou Enfant)** : pourcentage d'adultes ou d'enfants correspondant aux différentes quantités ; 60: nombre d'individus enquêtés.

La voie d'exposition orale et chronique via la consommation des poissons a été considérée. Ainsi l'exposition quotidien aux métaux traces étudiés par la consommation des poissons *O. niloticus* et *C. gariepinus* a été estimée par la détermination de la dose journalière d'exposition (**DJE**), calculé à la fois pour les enfants et les adultes à partir de la formule suivante (USEPA, 2001):

$$DJE = \frac{C * IR * EF * ED}{BW * AT}$$

D'où **DJE** : dose journalière d'exposition (mg/kg/j) ; **C** : concentration de métaux traces des tissus (mg/kg) ; **IR** : quantité moyenne journalière de poisson ingérée (d'après l'estimation à travers nos données) ; **EF** : fréquence d'exposition (365 jours/an) ; **ED** : durée de l'exposition (30 ans) ; **BW** : poids corporel moyen de la population étudiée, un poids corporel moyen de 60 kg pour les adultes et 30 kg pour les enfants a été adopté conformément aux études réalisées en Afrique subsaharienne sur l'évaluation du risque pour la santé humaine (Fosu-Mensah *et al.*, 2021 ; Olayinka-Olagunju *et al.*, 2025) ; **AT** : temps

moyen pour les non-cancérigènes, généralement de 365 jours × 30 ans.

**Caractérisation du risque :** Cette étape consiste à exprimer le risque attendu en fonction des expositions afin d'estimer le risque pour la santé humaine encouru par les groupes exposés. Elle repose au calcul du quotient de danger (QD) pour les effets avec seuil, et de risque cancérigène (CR) pour les effets sans seuil.

**Quotient du danger :** Le quotient de danger (QD), est le rapport de la dose journalière d'exposition d'un élément potentiellement toxique (DJE) et sa dose journalière acceptable ou de référence (RfD ou DJA) (Host *et al.*, 2006). Il permet d'évaluer potentiellement le risque non cancérigène associé à l'exposition à long terme par les MTs. Il a été déterminé par l'équation suivante (USEPA, 2001) :

$$QD = \frac{DJE}{(RfD)}$$

D'où DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg/j) ; RfDo : dose de référence par voie orale en mg/kg/j pour les MTs concernés selon USEPA (2017) (As : 0,0003 ; Cd : 0,001 ; Cr : 0,003 ; Ni : 0,02 ; Pb : 0,004). Des valeurs de QD supérieure à 1, indique la survenue potentiel d'effets toxiques au sein du groupe exposé. En revanche, la valeur de QD est inférieure à 1, l'apparition d'un effet toxique est peu probable. Ainsi, les QD d'As, Cd, Cr, Ni et Pb ont été additionnés pour déterminer l'effet conjugué à l'exposition par les trois métaux traces par le  $QDT = QD_{As} + QD_{Cd} + QD_{Pb} + QD_{Cr} + QD_{Ni}$

**Risque cancérigène :**

Le risque cancérigène (CR) représente la probabilité pour un individu de développer un cancer associé à la substance exposée pendant sa vie entière. Il est défini par la relation suivante (Badassan, 2021) :

$$CR = DJE * \frac{T}{Tm} * ERU$$

D'où DJE : dose journalière d'exposition individuelle ; T : durée d'exposition; Tm : période moyenne de vie entière. Selon USEPA (1991), La durée d'exposition (T) pour les effets sans seuil est définie comme égale à 30 ans et la durée de vie entière (Tm) est considérée comme égale à 70 ans; Selon USEPA (2017), Emurotu *et al.* (2024), l'excès de risque unitaire ou facteur de pente (ERU) pour le Pb, le Cr, le Ni, le Cd et As sont respectivement : 0,0085 mg/kg/j, 0,5 mg/kg/j, Ni : 1,7 mg/kg/j, le Cd : 0,38 mg/kg/j, As : 1,5 mg/kg/j. Si  $ERI < 10^{-6}$  : l'excès de risque individuel est négligeable ;  $10^{-6} < ERI < 10^{-4}$  : l'excès de risque individuel est acceptable ;  $ERI > 10^{-4}$  : l'excès de risque individuel est inacceptable.

**Analyses et traitements statistiques des données :** Les valeurs des concentrations de métaux traces obtenues ont été encodées sur le tableur Excel 2013 suivies du calcul des moyennes et des écart-types pour chaque MTs. Le test de Hartley (1959) a été appliqué pour vérifier l'homogénéité des variances des données. L'analyse de la variance unidirectionnelle ainsi que le LSD test à l'intervalle de 95% de confiance ont été appliquées à l'aide du logiciel Statistix (version 10,8) pour relever la plus petite différence significative entre les différentes concentrations. Les moyennes portant une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%, en revanche les lettres distinctes indiquent une différence significative. Les moyennes des teneurs relevés dans les poissons ont été comparé aux limites maximales de OMS (1985 et 2006), FEPA (2003), FAO (1983).

## RESULTATS

### Concentrations des métaux traces dans les poissons

**Concentrations en métaux traces dans les muscles de poissons :** Les concentrations moyennes de métaux traces déterminées dans

les muscles des poissons *O. niloticus* et *C. gariepinus* provenant de la zone de pêche de Kingabwa au Pool Malebo dans le fleuve Congo, sont consignées dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Concentrations moyennes des métaux traces (MTs) dans les muscles des poissons *O. niloticus* et *C. gariepinus*

MTs	Espèces		Normes
	<i>O. niloticus</i>	<i>C. gariepinus</i>	
Chrome (mg/kg)	0,56±0,18 <sup>a</sup>	0,69±0,14 <sup>a</sup>	<b>0,15***</b>
Nickel (mg/kg)	3,08±2 <sup>b</sup>	4,55±1,88 <sup>a</sup>	<b>80****</b>
Arsenic (mg/kg)	1,37±0,50 <sup>a</sup>	1,11±0,99 <sup>a</sup>	<b>0,01**</b>
Cadmium (mg/kg)	4,33±2,7 <sup>a</sup>	5,08±0,55 <sup>a</sup>	<b>0,05*</b>
Plomb (mg/kg)	2,21±0,81 <sup>a</sup>	2,12±0,45 <sup>a</sup>	<b>0,2*</b>

Légende : \* = OMS (2006) ; \*\* = OMS (1985) ; \*\*\* = FEPA (2003) ; \*\*\*\* = FAO (1983)

L'observation des concentrations en métaux traces dans les muscles de deux espèces montre une variation considérable dans l'ordre décroissant suivant : Cd>Ni>Pb>As>Cr. Excepter le Ni, ces concentrations sont nettement supérieures aux seuils tolérables de OMS et FEPA pour la consommation. Le Cd est le métal le plus concentré dans les muscles de deux espèces, la valeur la plus élevée a été mesuré chez *Clarias gariepinus* (soit 5,08±0,55 mg/kg). Statiquement, aucune différence significative (F = 0,16 ; p = 0,7037 ; LSD = 4,5999) n'a été observée chez les deux espèces. Les concentrations en Ni ont varié significativement entre les de deux espèces (F = 0,83 ; p = 0,0471 ; LSD = 3,9519), la concentration moyenne la plus élevée a été relevée chez *C. gariepinus* avec notamment 4,55±1,88 mg/kg. Les deux espèces présentent des teneurs en Pb et As approximatives sans différence significative (F = 0,02, p = 0,8802, LSD = 1,3999). Le Cr s'est révélé comme l'élément le moins concentré dans les muscles de deux espèces avec 0,56±0,18 mg/kg chez *O. niloticus* et 0,69±0,14 mg/kg chez *C.*

*gariepinus*. L'ANOVA 1 appliqué à ces teneurs ne relève aucune différence significative (F = 0,67 ; p = 0,4429 ; LSD = 0,3798).

**Evaluation du risque sanitaires lié à la consommation des poissons étudiés :** L'évaluation du risque pour la santé humaine a porté sur la population riveraine du Pool Malebo, précisément celle de la station de pêche de Kingabwa dans le fleuve Congo, considéré comme le groupe le plus vulnérable aux effets chroniques des métaux traces en raison d'un régime alimentaire basé sur la consommation régulière des poissons. Elle a porté sur la détermination de la dose journalière d'exposition (DJE), du quotient de danger (QD) et quotient de danger total (QDT) ainsi que du risque cancérigène (CR).

**Quantité moyenne des poissons consommés par les riverains :** Le tableau 2 reprend les données de l'estimation de la quantité journalière des poissons consommés par les riverains de la station de Kingabwa dans le Pool Malebo au fleuve Congo.

**Tableau 2:** Estimation de la quantité moyenne des poissons consommés par groupe d'âges

Qconsommés/jour	Adultes	Adultes%	$\sum(Q_{min} * \%) / n$	Enfants	Enfants%	$\sum(Q_{min} * \%) / n$
75 g	13	43,33	3250	7	23,3	1747,5
175 g	9	30	5250	10	33,3	5827,5
375 g	3	10	3750	7	23,3	8737,5
600 g	5	16,7	10000	6	20	12000
<b>Total</b>	<b>30</b>		<b>22250</b>	<b>30</b>		<b>28312,5</b>
<b>Qmoy kg/j</b>			<b>0,370</b>			<b>0,471</b>

Les résultats de ce tableau montrent que les deux groupes de population étudiés ne consomment pas les produits de la pêche de la même manière. La quantité des poissons ingérée au sein d'un même groupe varie d'un individu à l'autre. La quantité moyenne ingérée par jour pour les enfants est de 0,471 kg/j, et la quantité moyenne pour les adultes déterminés est de 0,370 kg/j.

**Dose journalière d'exposition (DJE) :** Le tableau 3 résume la dose journalière

d'exposition (DJE) des métaux traces étudiés dans les muscles de poissons *O. niloticus* et *C. gariepinus*. Ce paramètre met en évidence la quantité d'un contaminant ingéré quotidiennement par un individu par la consommation alimentaire. Il fournit les informations sur le degré de l'exposition à une substance ou produit chimique. Les valeurs de DJE obtenus ont été comparées aux RfDo pour évaluer si l'exposition par le quatre MTs est acceptable.

**Tableau 3 :** Estimation de la Dose Journalière d'Exposition (DJE)

MTs	DJE (mg/kg/j)				RfDo (mg/kg)
	<i>C. gariepinus</i>		<i>O. niloticus</i>		
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	
<b>Cr</b>	0,0034	0,011	0,003	0,008	0,003
<b>Ni</b>	0,028	0,017	0,018	0,048	0,02
<b>As</b>	0,0068	0,017	0,008	0,021	0,0003
<b>Cd</b>	0,031	0,079	0,026	0,067	0,001
<b>Pb</b>	0,013	0,033	0,013	0,034	0,004

De manière globale, les résultats consignés dans ce tableau démontrent que les valeurs de la DJE pour l'ensemble des métaux traces évalués excèdent les doses de références (RfDo) tant chez les adultes que chez les enfants, ce qui indique une exposition avérée liée à la consommation régulière de ces poissons. Le Cd, l'As et le Pb présentent les valeurs de DJE les plus élevées quel que soit le groupe exposé ou l'espèce de poissons étudiée. Les deux espèces sont une source préoccupante à l'exposition de la population à l'As, le Cd et le Pb, plus particulièrement chez

les enfants, avec respectivement 0,017 mg/kg/j, 0,079 mg/kg/j, 0,033 mg/kg/j chez *Clarias gariepinus* et 0,021 mg/kg/j, 0,067 mg/kg/j, 0,034 mg/kg/j chez *O. niloticus*. Par ailleurs, *C. gariepinus* se distingue par un potentiel d'exposition plus élevé chez les enfants étudiés par l'apport des éléments nocifs.

**Quotient de danger et quotient de danger total :** Le quotient de danger et le quotient de danger total ont été calculé en se basant sur l'absorption quotidienne des métaux étudiés par la population. Les détails de ce paramètre sont donnés dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Quotient de danger (QD) et quotient de danger total (QDT) chez les adultes et enfants pour les deux espèces des poissons

MTs	QD			
	<i>C. gariepinus</i>		<i>O. niloticus</i>	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Cr</b>	0,21	0,54	0,17	0,43
<b>Ni</b>	1,4	71,4	18,9	48,3
<b>As</b>	2,28	5,8	2,81	7,16
<b>Cd</b>	7,83	19,9	6,67	16,9
<b>Pb</b>	3,27	8,33	3,41	8,68
<b>QDT</b>	<b>14,99</b>	<b>105,97</b>	<b>31,96</b>	<b>81,47</b>

L'analyse de QD révèle des valeurs supérieures au seuil de sécurité ( $QD > 1$ ) à l'exception du Cr, quel que soit le groupe de population ou l'espèce considérée, ce qui suggère la survenue probable des effets nocifs associés à l'As, Cd, Ni, et Pb sur la santé des riverains de Kingabwa. Les enfants sont le groupe le plus vulnérable aux effets délétères individuels de chaque métal, mais également aux effets cumulatifs combiné de tous les MTs avec des QDT largement supérieurs à 1, soit 105,97 pour *Clarias gariepinus* et 81,47 pour *Oréochromis niloticus*, ce qui indique un risque global élevé, particulièrement chez les

enfants. Le Ni présente les quotients de danger le plus critique, avec des valeurs allant de 1,4 à 71,4.

**Risque cancérigène :** Les résultats relatifs au risque cancérigène lié à la consommation des poissons *Oréochromis niloticus* et *Clarias gariepinus* contaminés par les MTs sont repris dans le tableau 5. Ce paramètre représente la probabilité pour un individu de développer un cancer associé à la substance exposée pendant sa vie entière. Il est calculé uniquement pour les éléments cancérigènes et présentant un facteur de pente cancérigène pour la voie d'ingestion, dans le cas de la présente étude.

**Tableau 5 :** Risque Cancérigène (CR) chez les adultes et enfants

MTs	CR			
	<i>C. gariepinus</i>		<i>O. niloticus</i>	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Cr</b>	$3,10 \times 10^{-3}$	$7,89 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$6,41 \times 10^{-3}$
<b>Ni</b>	$2,04 \times 10^{-2}$	$1,16 \times 10^{-2}$	$3,09 \times 10^{-3}$	$7,88 \times 10^{-3}$
<b>As</b>	$1,47 \times 10^{-3}$	$3,73 \times 10^{-3}$	$1,81 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-3}$
<b>Cd</b>	$1,14 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-4}$	$9,73 \times 10^{-5}$	$2,48 \times 10^{-4}$
<b>Pb</b>	$4,76 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$4,96 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-4}$

D'une manière générale, le risque cancérigène associé à la consommation de *C. gariepinus* et *O. niloticus* révèle des valeurs comprises entre  $4,76 \times 10^{-5}$  et  $1,16 \times 10^{-2}$ . Les valeurs obtenues pour Ni, Cr et As chez les deux espèces se situent dans une marge inacceptable. Ce qui suggère un risque cancérigène non négligeable par l'As, le Cr et le Ni à l'exposition de la

population riveraine de Kingabwa, plus gravement chez les enfants qui présentent des valeurs de CR plus élevées. En revanche, les valeurs de Cd et Pb sont dans le niveau acceptable variant entre  $9,73 \times 10^{-5}$  et  $2,91 \times 10^{-4}$  pour le Cd et entre  $4,76 \times 10^{-5}$  et  $1,26 \times 10^{-4}$  pour le Pb.

## DISCUSSION

Les poissons constituent une partie importante de l'alimentation humaine en raison de sa haute qualité nutritionnelle. En tant que composant intégré de la chaîne alimentaire aquatique, ils possèdent une bonne capacité à accumuler les métaux traces, ce qui en fait une source d'exposition pour l'homme, susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé. Les concentrations des MTs dans les poissons du Pool Malebo à la station de Kingabwa a été suivi dans les muscles de deux espèces de poissons, *C. gariepinus* et *O. niloticus*. Les résultats d'analyses toxicologiques ont montré que ces espèces accumulent différemment les MTs (As, Cd, Cr, Ni et Pb) à des concentrations variables. L'observation de la variation de ces concentrations entre les deux espèces indique que *C. gariepinus* (As :  $1,11 \pm 0,99$  mg/kg ; Cd :  $5,08 \pm 0,55$  mg/kg ; Cr :  $0,69 \pm 0,14$  mg/kg ; Ni :  $4,55 \pm 1,88$  mg/kg et Pb :  $2,12 \pm 0,45$  mg/kg) accumulent plus les MTs que *O. niloticus* (As :  $1,37 \pm 0,50$  mg/kg ; Cd :  $4,33 \pm 2,7$  mg/kg ; Cr :  $0,69 \pm 0,14$  mg/kg ; Ni :  $3,08 \pm 2$  mg/kg et Pb :  $2,21 \pm 0,81$  mg/kg). Ces concentrations dans les muscles de deux poissons sont généralement supérieures aux limites maximales préconisées par OMS (2006), OMS (1985), FEPA (2003) et FAO (1983) pour la consommation des poissons. Ces résultats indiquent que ces deux espèces auraient des implications sur la santé humaine. Les concentrations supérieures observées dans les muscles de *C. gariepinus* s'expliquent par son régime omnivore incluant les poissons, des planctons, des crabes, des cadavres, et des plantes et sa position trophique plus élevée, favorisant une exposition multiple aux MTs (Houlihan *et al.*, 2001 ; Fermon, 2011). À l'inverse, *O. niloticus* est principalement phytoplanctonophage (Wagaw *et al.*, 2021) et présente un mode de vie pélagique. D'après Wu *et al.* (2023), les organismes au sommet de la chaîne alimentaire emmagasinent des fortes concentrations en MTs, ce qui confirme notre affirmation. Des études antérieures

menées par Nzapu *et al.* (2018), Nakweti *et al.* (2021) et Lusasi *et al.* (2024) sur la contamination métallique à la station de Kingabwa corroborent nos résultats en confirmant une contamination des poissons par les MTs. Ces teneurs relevées pour le Cd et le Pb sont supérieures à celles de Nakweti *et al.* (2021) chez les mêmes espèces (*C. gariepinus* : Cd : 0,17 mg/kg, Pb : 0,21 mg/kg ; *O. niloticus* : Cd : 0,179 mg/kg, Pb : 0,24 mg/kg), et de Lusasi *et al.*, (2024) chez *Marcusenius stanleyanus* (Cd : 0,15 mg/kg ; Pb : 0,18 mg/kg) et *Protopterus dolloi* (Cd : 0,13 mg/kg ; Pb : 0,16 mg/kg), tout en restant inférieures à celles de Nzapu *et al.* (2018) chez *C. gariepinus* pour le Pb : 37,3 mg/kg sauf pour *Mormyrops anguilloides* (Pb : 1,93 mg/kg) et *Chrysichthys nigrodigitatus* (Cd : 0,34 mg/kg ; Pb : 1,18 mg/kg). Les différences avec des concentrations signalées par ces auteurs seraient liées aux variations spatio-temporelles des niveaux de contamination, entre les périodes d'études mais aussi au dynamisme du milieu et les différences de méthodes analytiques. Le Cd s'est avéré comme le métal le plus concentré dans les muscles de deux espèces, en raison de son affinité pour le groupement thiols des protéines. Cette observation concorde avec celles de Cyrille *et al.* (2012) dans le muscle de *Sarotherodon melanotheron* du système lagunaire l'Aby en Côte d'Ivoire. D'après ces auteurs, Les muscles étant riches en protéines et peptides offrent de nombreux sites de liaisons pour la fixation de Cd. La bioaccumulation des métaux traces dans les muscles des poissons étudiés peut poser de graves problèmes sanitaires. L'estimation de la quantité moyenne des poissons ingérés par jour a montré que les adultes (0,370 kg/j) ingèrent moins des poissons par jour que les enfants (0,471 kg/j). Ceci s'expliquerait par la fréquence d'ingestion de chaque groupe concerné. Selon la FAO (2024), la quantité d'ingestion journalière moyenne mondiale des poissons est

d'environ 56 g/j, ce qui est largement inférieure à nos estimations. Cette différence s'explique du fait que Kingabwa est une zone de pêche où le poisson est la principale source de protéine animale, contrairement au reste de la population congolaise qui consomment rarement les poissons frais du Pool Malebo. Les résultats de la dose journalière d'exposition calculée ont révélé un niveau d'exposition préoccupant par l'As, le Cd et le Pb via la consommation de deux espèces, dépassant largement les seuils de références d'apport journalier tolérable établie par USEPA. Les valeurs de DJE évaluée pour les enfants étaient plus élevées que pour les adultes, ce qui implique que les enfants sont le groupe le plus exposé aux MTs. Ces résultats ont également indiqué des DJE légèrement élevés ou autour de seuils tolérables pour le Cr et le Ni, suggérant ainsi une exposition non négligeable pour les consommateurs réguliers. Le même constat de DJE chez les enfants a également été fait par Adebisi *et al.* (2024) au Nigeria ; d'après ces mêmes auteurs, ces valeurs élevées chez les enfants s'expliquent du fait qu'ils consomment plus de nourriture par unité de poids corporel que les adultes.

## CONCLUSIONS ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les niveaux de concentrations en métaux traces (As, Cd, Cr, Ni et Pb) dans les muscles des deux espèces de poissons *C. gariepinus* et *O. niloticus* du Pool Malebo à la station de pêche de Kingabwa, ainsi que les implications pour la santé humaine liées à leur consommation. Les concentrations de MTs déterminées dans les muscles de deux espèces ont été supérieures aux limites acceptables préconisés par OMS, FAO et FEPA pour la consommation des poissons. Il a été constaté que le poisson *C. gariepinus* accumule plus les MTs que *O. niloticus*. L'estimation de l'apport journalier d'exposition, de risque non cancérigène et cancérigène liés à la consommation des

L'analyse du quotient de danger a montré que les valeurs d'As, Cd, Ni et Pb étaient supérieures au seuil de référence ( $QD > 1$ ), ce qui indique que la consommation de ces deux poissons présenterait un risque potentiel pour la santé des riverains via l'apport de ces MTs quel que soit le groupe considéré. Par ailleurs, l'effet additifs de ces métaux traces a montré que les enfants sont plus exposés aux effets cumulatifs que les adultes. Selon les lignes directrices de l'USEPA, un risque cancérigène compris entre  $10^{-6}$  et  $10^{-4}$  est considéré comme acceptable, tandis que des valeurs supérieures à  $10^{-4}$  indiquent un risque potentiel préoccupant. Le niveau de CR déterminé pour l'As ( $1,47 \times 10^{-3}$  –  $4,61 \times 10^{-3}$ ), le Cr ( $2,52 \times 10^{-3}$  –  $7,89 \times 10^{-3}$ ) et le Ni ( $3,09 \times 10^{-3}$  –  $1,16 \times 10^{-2}$ ) ont été dans le seuil inacceptable, ce qui indique un risque cancérigène potentiellement élevé à la consommation de ces espèces de poissons. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la consommation régulière des poissons provenant du Pool Malebo pourrait constituer une voie importante d'exposition à des risques sanitaire graves pour les populations riveraines.

muscles de ces deux espèces par les groupes de riverains considérés dans la présente étude ont montré que les enfants sont plus exposés aux effets individuels et cumulatifs des métaux traces étudiés. Par ailleurs, la consommation de ces deux espèces expose sévèrement l'ensemble de la population riveraine à un risque cancérigène par l'As, le Cr et le Ni. Cette étude recommande une consommation modérée des poissons de la zone de Kingabwa, ainsi qu'une surveillance accrue des activités industrielles de la zone et une évaluation périodique de niveau de concentration en métaux traces pour réduire les risques sur la santé.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les pêcheurs du Pool Malebo notamment Mr Héritier LOFANGA pour son accompagnement et

contribution dans la collecte des poissons analysés dans le cadre de cette étude.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adebiyi, F.M., Ore, O.T. & Owolafe, O.S. (2024). Human health risk assessment of potentially toxic metals in fish (*Cynoglossus* sp) commonly consumed in Nigeria. *Discov toxicol* **1**, 7. <https://doi.org/10.1007/s44339-024-00009-3>.
- Badassan, T. (2021). Evaluation de la contamination des éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé et bioaccumulation chez deux espèces de poisson. Thèse, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT (Français); Université de Lomé (Togo), 196 p.
- Craig, A. (1997). La bioaccumulation du cadmium chez la larve de l'insecte aquatique *Chironomus staegeri* Lundbeck : distribution interne et mécanisme d'entrée. Thèse de Doctorat. Québec, Université de Québec, Institut national de la recherche scientifique, 136 p.
- Cyrille, Y. D. A., Victor, K., Sanogo, T. A., Boukary, S., & Joseph, W. (2012). Accumulation de cadmium dans les tissus de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) du système lagunaire d'Aby en Côte d'Ivoire. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **9**(3), 821-830. <https://doi.org/10.3390/ijerph9030821>.
- Emurotu, J. E., Olawale, O., Dallatu, E. M., Abubakar, T. A., Umudi, Q. E., Eneogwe, G. O., & Atumeyi, A. (2024). Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals in the offal of animals from Felele Abattoir, Lokoja, Nigeria. *Toxicology Reports*, **13**, 101701. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101701>.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1983). *Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products*; FAO Fishery Circular 1983 No. 464; FAO: Rome, Italy, pp. 5–100.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2024). *The state of world fisheries and aquaculture. Blue Transformation in action.* Rome, Italie. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- FEPA (Federal Environmental Protection Agency) (2003). *Guidelines and Standards for Environmental Pollution Control in Nigeria*; FEPA: Washington, DC, USA, 238 p.
- Fermon, Y. (2011). *La pisciculture de subsistance en étangs en Afrique : manuel technique. Action contre la faim.* ACF-International Network, Paris, 27.
- Fosu-Mensah, B. Y., Ofori, A., Ofosuhen, M., Ofori-Attah, E., Nunoo, F. K. E., Tuffour, I., Gordon, C., Arhinful, D., Nyarko, A. K., & Appiah-Opong, R. (2021). Bioaccumulation of toxic metals in commercially valuable fish from the Western Region of Ghana. *Universal Journal of Public Health*, **9**(5), 296–305. <https://doi.org/10.13189/ujph.2021.090512>.
- 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.
- Gaillardet, J., Viers, J. & Dupré, B. (2003). Trace elements in waters. *Treatise on Geochemistry*, 5, 225-272 p. <https://doi.org/10.1016/B0-086043751-605165-3>.
- Gizanga, V.R., Musibono, E.A.D., Aleke, A.L. & Milau, E.F. (2016). Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels et de leurs impacts sur les milieux récepteurs (ville de Kinshasa, République Démocratique du Congo, R.D.C). *International journal of Innovation and Scientific Research*, 21 (2), 360-366.
- Hanssens, M., Vreven, E. & Snoeks, J. (2008). The ichthyofauna of the Lower Congo and the Pool Malebo. African fish and fisheries diversity and utilization. 4<sup>th</sup> *International Conference of the Pan African Fish and fisheries association (PAFFA)*. Ethiopia, 22-26 Sept. 2008, 212 p.
- Host, S., Camard J-P., Franconi, A., Lefranc, A. & Grémy, I. (2006). L'évaluation des risques sanitaires : principe et méthode. Observatoire régional de santé d'Île-de-France, 6 p. ISBN : 2-7371-1564-7.
- Houlihan, D., Boujard, T. & Jobling M. (2001). Food Intake in fish. Blackwell Scientific Publications, London, UK, 418 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/RD. Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 21 (2). 285-292 p.
- Katemo, B.M., Colinet, G., André, L., Chocha, A.M., 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/RD Congo). *Tropicultura*, Vol 28, N°4, 246-252 p.
- Kolarova, N. & Napiorkowski, P. (2021). Trace elements in the aquatic environment. Origin, distribution, assessment and toxicity effect to aquatic biota. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21, 4, 655-668p. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.02.002>.
- Lévêque, C., Paugy, D. & Teugels, G.G. (1990). 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.
- Lévêque, C., Paugy, D. & Teugels, G.G. (1992). 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.
- Liang, P., Wu, S-C., Zhang, J., Cao, Y., Yu, S. & Wong, M-H. (2016). The effects of mariculture on heavy metal distribution in sediments and cultured fish around the Pearl River Delta region, south China. *Chemosphere*, 148, 171-177p. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.110>.
- Lusasi, S.W., Baibangaka, M.M., Nakweti, K.J., Bipendu, M.N., Unyumbe, Y.K.B. & Pwema, K.V. (2024). 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* Boulenger, 1900) du Pool Malebo à Kingabwa (Kinshasa, RD Congo). *Rev. Cong. Sci. Technol*, 03 (04), 465-477 p.

- <https://doi.org/10.59228/rcst.024.v3.i4.1132>.
- Mabaya, N.G & Kalala B.G. (2023). Évaluation de la contamination en Élément Trace Métallique (Cuivre) dans l'eau et le *Clarias gariepinus* pêché dans le Pool Malebo : Cas des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 66 (1), 207–224 p.
- Marselina, M. & Wijaya, M. (2024). Heavy metals in water and sediment of Cikijing River, Rancaekek District, West Java: Contamination distribution and ecological risk assessment. *PLoS ONE* 19(4): e0294642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294642>.
- 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. Presse Universitaire de Namur, 165 p.
- Monama, O., Mukinayi, J. & Sibukaku, S. (1985). Chaîne trophique du plomb. *Revue Zaïroise des Sciences Nucléaires*, 6 :226-237.
- Muteba, L. J- P., Kitoko, N. F., Moma, T. M. B. & Mande, 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*, Vol 10, 11356-014-3381 p.
- 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. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p17>.
- Nsimanda, I. C., Musibono, E. D., Basosila, L. N., & Wanga, B. M. B. (2015). Étude préliminaire de la contamination au cadmium et au plomb de *Distichodus fasciolatus*, *Mormyrops anguilloides* et *Schilbe mistus* au Pool Malebo (Fleuve Congo, Kinshasa, RD Congo) à Kinsuka. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(1), 176–183 p.
- Nzapo, K. H, Ngbolua, Koto-te-Nyiwa., 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.
- Olayinka-Olagunju, J. O. (2025). Assessment of heavy metal concentrations in smoked catfish (*Clarias gariepinus*) and grasscutter (*Thryonomys swinderianus*) from Ondo State,

- Nigeria. *Asian Journal of Biology*, 21(7), 45–58.  
<https://doi.org/10.9734/ajob/2025/v21i7528>.
- OMS (Organisation mondiale pour la santé) (2005). Liste provisoire des principales espèces de poissons faisant l'objet d'un commerce international (y compris les propositions concernant des concentrations maximales de plomb dans différentes espèces de poissons). Trente septième session, La Haye, Pays-Bas, 4 p.
- Otansev, P., Taşkın, H., Başsarı, A. & Varinlioğlu, A. (2016). Distribution and environmental impacts of heavy metals and radioactivity in sediment and seawater samples of the Marmara Sea. *Chemosphere*, **154**, 266-275.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.122>.
- Salakiaku, L.D., Ndompetolo, Z.V.R., Lesa, L.A. & Mbumba, B.M. (2023). Pollution des eaux de surface et ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les humains : cas des rivières de Kinshasa en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique). *Revue africaine d'environnement et d'agriculture*, 5 (4).
- Salakiaku, L.D., Ndompetolo, Z.V.R., Lesa, L.A. & Mbumba, B.M. (2023). Pollution des eaux de surface et ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les humains : cas des rivières de Kinshasa en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique). *Revue africaine d'environnement et d'agriculture*, 5 (4).
- Stiassny, M.L.J., Teugels, G.G. et Hopkins, C.D. (2007). Poissons d'eaux douces et saumâtres de basse Guinée, Ouest de l'Afrique centrale. Volume 1. Édition IRD, Collection Faune et Flore tropicales 42.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1991). Risk assessment Guidance for Superfund (RAGS), volume 1 : human health evaluation manual (part A). EPA/540/1-89/002. Washington, DC, 291 p.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2001). Risk assessment guidance for Superfund (RAGS): Volume I—Human health evaluation manual (Part D: Standardized planning, reporting, and review of Superfund risk assessments). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2017). Regional Screening Level (RSL) Resident Soil to GW Table (TR = 1E-06, HQ = 1): Washington, DC, USA.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2000). Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Risk Assessment and Fish Consumption Limit. Office of Science and Technology and Office of Water, Washington, DC, USA.
- Wagaw, S., Mengistou, S., & Getahum, A. (2022). Diet composition and feeding habits of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in lake Shala. *Fishery and Aquatic Sciences*. The Korean society of fisheries and aquatic science.  
<https://doi.10.47853/fas.2022.e3>.
- Wu, D., Feng, H., Zou, Y., Xiao, J., Zhang, P., Ji, Y., Lek, S., Guo, Z., & Fu, Q. (2023). Bioaccumulation spécifique à l'habitude alimentaire des métaux lourds et évaluation des risques sanitaires des poissons dans un réservoir tropical dans le sud de la Chine. *Fishes*, 8(4), 211.  
<https://doi.org/10.3390/fishes8040211>.

- Ye, F., Huang, X., Zhang, D., Tian, L. & Zeng, Y. (2012). Distribution of heavy metals in sediments of the Pearl River Estuary, Southern China: Implications for sources and historical changes. *Journal of Environmental Sciences*, 24, 4, 579-588p. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60783-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60783-3).
- Zhang, Z., Juying, L., Mamat, Z. & QingFu, Y. (2016). Sources identification and pollution evaluation of heavy metals in the surface sediments of Bortala River, Northwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 94-101p. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.025>.