

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

[Evaluation of Trace Metal (Copper) Contamination in Water and *Clarias gariepinus* Fished in Pool Malebo: Case of Kinkole and Kingabwa Fishing Sites]

Mabaya Ndemba Ghyslain¹ and Kalala Bolokango Gaétan²

¹Département de Gestion des Ressources Naturelles, Option de Faune et Flore, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

²Professeur, Département de Zootechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study is to contribute to food security by evaluating the level of contamination in Trace Metallic Element (Copper) in water and in *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), a fish widely consumed in the city province of Kinshasa. It took place in the fishing sites of Kinkole and Kingabwa. The analyzes of the Metallic Trace Element (Copper) were carried out using the UV-visible spectrophotometer brand «Spectrophotometer 721». The ETM levels in the waters were respectively 17.3 mg/l and 14.7 mg/l for the Kinkole and Kingabwa fishing sites. The levels of ETM in fish were respectively 18.16 mg/kg and 19.31 mg/kg for the Kinkole and Kingabwa fishing sites. Copper bioconcentration was found in *Clarias gariepinus* from both fishing sites. The various results obtained show that the regular consumption of *Clarias gariepinus* from these two sites could have harmful effects on human health and that the bioconcentration of copper could represent a long-term risk for the fish fauna of *Clarias gariepinus*.

KEYWORDS: Health, Bio accumulation, Copper, Pool Malebo, *Clarias*.

RESUME: La présente étude a pour objectif de contribuer à la sécurité alimentaire par l'évaluation du niveau de contamination en Élément Trace Métallique (Cuivre) dans l'eau et dans le *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), poisson très consommé dans la ville province de Kinshasa. Elle a eu lieu dans les sites de pêche de Kinkole et Kingabwa. Les analyses de l'Élément Trace Métallique (Cuivre) ont été effectuées à l'aide du spectrophotomètre UV-visible de marque « Spectrophotometer 721 ». Les teneurs en ETM dans les eaux ont été respectivement de 17,3 mg/l et 14,7 mg/l pour les sites de pêche de Kinkole et Kingabwa. Les teneurs en ETM dans les poissons ont été respectivement de 18,16 mg/kg et 19,31 mg/kg pour les sites de pêche de Kinkole et Kingabwa. Il a été constaté une bioconcentration du cuivre dans le *Clarias gariepinus* des deux sites de pêche. Les différents résultats obtenus montrent que la consommation régulière du *Clarias gariepinus* de ces deux sites pourrait engendrer des effets néfastes pour la santé humaine et que la bioconcentration du cuivre pourrait représenter à long terme un risque pour la faune ichtyologique du *Clarias gariepinus*.

MOTS-CLEFS: Santé, Bio accumulation, Cuivre, Pool Malebo, *Clarias*.

1 INTRODUCTION

1.1 PROBLEMATIQUE

La pollution des milieux aquatiques est un problème majeur tant pour la population humaine, utilisatrice des ressources en eau, que pour les populations végétales et animales pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie (GALLOWAY et DEPLEDGE, 2001).

En dehors de la forêt, du sol et de l'air, la vie sur terre dépend de l'eau. Paradoxalement, depuis un demi-siècle, partout de par le monde, la qualité de l'eau est altérée, parfois gravement (SOUTTER et al., 2007; MAUDE, 2009). La contamination métallique des écosystèmes aquatiques a attiré l'attention de chercheurs d'horizons très différents. Elle constitue en effet l'un des aspects de la pollution la plus menaçante pour ces milieux. Par ses effets néfastes, elle pourrait engendrer des situations critiques voire dangereuses affectant souvent l'équilibre écologique de ces écosystèmes (NSIMANDA et al., 2015).

Les métaux lourds sont des composantes essentielles de l'écosystème et existent dans l'environnement avec un large éventail d'états d'oxydation et d'espèces chimiques. La teneur en métaux lourds dans la biosphère a augmenté en raison de l'activité économique de l'homme (Baker et al., 1990 cités par ESMAEILI, 2018).

Le transfert des éléments traces métalliques (ETM) de l'environnement vers la chaîne alimentaire est une source importante d'inquiétude au niveau global (FALASI, 2018). Une des particularités des éléments traces métalliques est d'entraîner des effets majeurs sur la santé humaine (caractère toxique des substances) et/ou sur les écosystèmes (caractère écotoxique des substances) en cas d'exposition (GOUZY et DUCOS, 2014). L'altération d'une ou plusieurs fonctions biologiques est susceptible de modifier l'homéostasie et la capacité d'adaptation des organismes avec pour conséquence la remise en cause de leur croissance, de leur reproduction, voire de leur survie (GAGNAIRE, 2019).

L'accumulation de métaux toxiques dans la chaîne alimentaire humaine est reconnue mondialement comme un risque de santé publique.

Le *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) est un poisson très consommé dans la ville de Kinshasa et est pêché dans le fleuve Congo au niveau des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa. Une intoxication au cuivre du *C. gariepinus* représenterait un risque majeur pour la santé humaine et pour l'écosystème aquatique du Pool Malebo. La question suivante mérite d'être posée: La contamination du fleuve Congo par les métaux lourds peut aussi occasionner la contamination des espèces aquatiques y compris le *Clarias gariepinus* ?

1.2 HYPOTHESE

Le *Clarias gariepinus* pêché dans le fleuve Congo au niveau des différents sites pourrait être contaminé au Cuivre suite à la bioaccumulation de cet élément dans le poisson.

1.3 OBJECTIFS

Le présent travail vise à contribuer dans la sécurité alimentaire par l'apport d'un aliment sain à la population et le maintien de l'équilibre environnemental. Spécifiquement, il s'agit de:

- Évaluer le niveau de contamination en ETM (Cuivre) dans les eaux du fleuve Congo au niveau de Kinkole et Kingabwa;
- Évaluer la contamination en Cuivre dans le *Clarias gariepinus* pêché dans le fleuve Congo au niveau des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa;
- Évaluer la bioaccumulation du Cuivre dans le *Clarias gariepinus* au niveau du site de pêche de Kinkole et Kingabwa.

1.4 INTERET DU SUJET

La contamination en Cuivre des cours d'eau représente un danger pour les écosystèmes aquatiques. La présente étude permet d'évaluer le niveau de contamination des écosystèmes aquatiques du Pool Malebo afin de les préserver et prévenir une intoxication de la faune ichtyologique ainsi que la santé des consommateurs.

1.5 SUBDIVISION DU TRAVAIL

Hormis la présente introduction et la conclusion, le présent travail est subdivisé en trois chapitres:

- Le premier chapitre est consacré à la revue de la littérature;
- Le deuxième chapitre décrit le milieu et la méthodologie du travail;
- Le troisième chapitre présente et discute les résultats.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 GENERALITE SUR LES ÉLÉMENTS TRACES METALLIQUES (ETM)

2.1.1 DEFINITION

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. Cependant, la classification en métaux lourds est souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (par exemple le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (c'est le cas de l'arsenic qui est un métalloïde). Ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation « éléments traces métalliques » -ETM- ou par extension « éléments traces » est préférable à celle de métaux lourds (INERIS, 2006).

Selon BAIZE (2007), les éléments traces sont les 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %. Certains éléments traces sont des métaux (Cd, Cr, Zn, Pb, Cu) d'autres sont des non-métaux (As, Se, B). Certains éléments traces sont indispensables aux processus biologiques donc à la production agricole végétale et animale: ce sont les oligo-éléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B). D'autres ne jouent aucun rôle utile: Cd, Pb, Hg, Sn. Ils sont tous potentiellement polluants. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout de leur forme chimique (spéciation).

Picot (2011) dit que contrairement aux oligoéléments dont le cuivre, les métaux traces toxiques n'ont aucune utilité dans l'organisme et normalement ne devraient pas s'y trouver. Ils ont uniquement un rôle toxique et leur taux dans l'organisme reflète seulement leur niveau de contamination. Parmi ces métaux lourds traces toxiques on trouve des éléments comme le mercure, le plomb, le cadmium ou l'argent, des métaux toxiques qui, par ailleurs, peuvent perturber la destinée du cuivre dans l'organisme car ils sont capables d'interférer avec une protéine de transport des métaux: la métallothionéine. Ceci signifie que ces intoxications simultanées par des métaux traces toxiques peuvent aggraver l'intoxication attribuée au cuivre (PICOT, 2011).

2.1.2 LES ETM DANS L'ENVIRONNEMENT ET LEURS EFFETS

Les sources de métaux lourds dans l'environnement sont d'origine géogénique, atmosphérique, industriel, agricole, domestique et pharmaceutique (He et al., 2005 cités par ESMAEILI, 2018).

Après la libération des ETM dans l'environnement suite à leur emploi direct ou comme sous-produits, ces éléments peuvent se retrouver dans l'air, dans les eaux, dans les sols et les sédiments, dans les organismes végétaux et animaux. Chacune de ces « boîtes » de l'environnement peut à son tour entraîner la contamination d'une autre boîte (GOUZY et DUCOS, 2014).

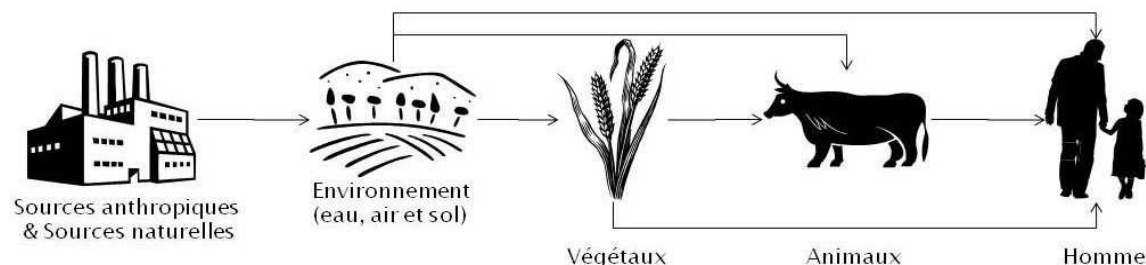


Fig. 1. Cycle simplifié des éléments traces métalliques depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine (Source: GOUZY et DUCOS, 2014)

Les installations industrielles ont conduit à des concentrations très élevées de métaux lourds dans l'environnement, d'ordre de 100-1000 fois supérieures à ceux de la croûte terrestre, et les organismes vivants peuvent être exposés à des niveaux encore plus élevés (Macfarlane et Burchett, 2001; Bradl, H., 2002; He et al., 2005; Leung et Jiao., 2006 cités par ESMAEILI, 2018). Il existe aussi des sources de pollution diffuses provenant de zones agricoles par exemple (Adriano et al., 2005; Gadd, 2009 cités par ESMAEILI, 2018).

Une des particularités de ces éléments est d'entraîner des effets majeurs sur la santé humaine (caractère toxique des substances) et/ou sur les écosystèmes (caractère écotoxique des substances) en cas d'exposition (GOUZY et Ducos, 2014).

Tableau 1. Effets majeurs toxiques et écotoxiques des éléments traces métalliques (Sparks, 1998)

ELEMENTS TRACES METALLIQUES	EFFET (S)
As	Toxique, possible cancérigène
Cd	Hypertension, dommages sur le foie
Cr	Cancérigène sous forme de Cr (VI)
Cu	Peu toxique envers les animaux, écotoxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Hg	Toxicité chronique et aiguë
Ni	Allergies de peau, maladies respiratoires, possible cancérigène
Pb	Toxique
Se	Essentiel à faibles doses, Toxique à doses élevées
Zn	Écotoxique pour les végétaux à de fortes teneurs

2.2 LE CUIVRE

2.2.1 PRESENTATION

Élément chimique de numéro atomique $Z=29$, le cuivre est un métal de transition, les hommes l'ont utilisé depuis l'antiquité. C'est un oligo-élément, il est indispensable à la vie en faible quantité, et toxique en quantité plus importante. Il est présent dans la nature sous forme de minerais.

La dénomination du cuivre vient étymologiquement du latin *cyprum* signifiant île de Chypre, réputée pour ses mines de cuivre.

Les minerais de cuivre sont principalement constitués de sulfures, de sulfosels, d'oxydes, de carbonates, de silicates et de sulfates de cuivre. Les minerais ne sont pas employés en tant que tels dans des applications courantes. Ils servent à élaborer le cuivre métal, les alliages et les composés du cuivre. Dans les alliages de cuivre les plus fréquemment employés, la proportion de cuivre est majoritaire. Ils se caractérisent en général par une bonne conductivité thermique, électrique et une résistance à la corrosion. De nombreux alliages de cuivre existent, leur nombre est estimé à 400 (Laitons, bronzes, cupro-aluminums, cupronickels etc.). Les principaux composés du cuivre sont: l'acétate de cuivre, le chlorure cuivrique, le chlorure cuivreux, l'oxyde cuivrique, l'oxyde cuivreux, le sulfate de cuivre (ENVIRONNEMENT INDUSTRIE, 2013).

2.2.2 PROPRIETE PHYSICO-CHEMIQUE (INRS, 2013)

Le cuivre est un métal de couleur rose saumon, extrêmement ductile et malléable aussi bien à froid qu'à chaud. Il possède des conductivités électrique et thermique particulièrement élevées.

Le cuivre métal est peu réactif. Au contact de l'atmosphère (en présence d'oxygène et de dioxyde de carbone), il s'oxyde pour former une couche protectrice constituée de carbonate de cuivre basique connu sous le nom de « vert de gris ».

La valeur du potentiel standard du cuivre ($E^\circ \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34 \text{ V}$) étant supérieure à celle de l'hydrogène ($E^\circ \text{H}^+/\text{H}_2 = 0 \text{ V}$), le cuivre métal ne réagit pas avec les solutions acides non oxydantes comme l'acide chlorhydrique (réaction très lente avec l'acide sulfurique concentré). Par contre, des solutions acides ayant des propriétés oxydantes marquées (comme l'acide nitrique ou des solutions diluées d'acide sulfurique aérées et oxygénées) peuvent attaquer le cuivre pour conduire au dinitrate de cuivre

dans le cas d'une attaque à l'acide nitrique. Les solutions d'ammoniacque, de sels ammoniacaux ou de cyanures formant des complexes très stables avec le cuivre produisent une corrosion rapide du métal.

En solution, le cuivre présente les deux principaux degrés d'oxydation suivants: Cu (+I) et Cu (+II).

Fondu, il donne des alliages avec de nombreux métaux (étain, zinc, nickel, aluminium...).

Sous forme de poudre métallique, le cuivre forme des composés explosifs en présence des constituants suivants: acétylène, nitrure de sodium, bromates, chlorates, iodates de baryum, calcium, magnésium, potassium, sodium ou zinc. La poudre de cuivre peut également réagir violemment en présence de bases fortes et d'oxydants puissants tels que le nitrate d'ammonium, les vapeurs de brome, le chlore, le peroxyde d'hydrogène.

En chimie organique, le cuivre catalyse certaines réactions (déshydrogénation, condensation, oxydation, hydrogénation.) (INRS, 2013).

2.2.3 UTILISATION DU CUIVRE

Le cuivre est un matériau de base de l'industrie électrique (en concurrence avec l'aluminium) et de la construction (conduites d'eau). Ses qualités mécaniques rendent possibles de nombreux procédés d'usinage (emboutissage, forgeage, laminage, matricage, tréfilage). Le cuivre étant le métal usuel conduisant le mieux la chaleur, cette propriété est mise à profit pour chauffer ou refroidir rapidement un liquide ou un gaz: chauffe-eau ou chaudières murales, radiateurs de véhicules, condenseurs et réchauffeurs des centrales électriques, thermiques, nucléaires (VINOT, 2004).

Dans les élevages de bovins, porcins et volailles, le cuivre est utilisé en tant que complément alimentaire. Le cuivre favorise la croissance et la prévention de certaines maladies. Depuis plus d'une centaine d'années, le cuivre est utilisé principalement en tant que fongicide en viticulture majoritairement (83 %) mais aussi pour la culture fruitière (14 %), pour la culture légumière (2 %) et la culture de la pomme de terre (1 %). Il est utilisé pour le traitement des parties aériennes des cultures. Le sulfate de cuivre est utilisé dans les produits phytosanitaires pour traiter les vignobles contre plusieurs espèces de champignons (majoritairement le mildiou, mais aussi l'oïdium). Le sulfate de cuivre est le composant actif de la bouillie bourguignonne (CuSO_4 avec du CO_3Na_2) et de la bouillie bordelaise (CuSO_4 avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$) (ENVIRONNEMENT INDUSTRIE, 2013).

Le cuivre et ses composés ont de nombreuses applications industrielles (INRS, 2013):

- Fabrication de nombreux alliages à base de cuivre: bronze (avec l'étain), laiton (avec le zinc), cupro-alliages tels que constantan, monel (avec le nickel), maillechort (avec le nickel et le zinc), alliage de Devarda (avec l'aluminium et le zinc), alliages de joaillerie (avec l'or et l'argent);
- Utilisation dans la fabrication de matériels électriques (câbles, fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), de matériels pour l'électronique (circuits imprimés, résistances électriques et autres composants électroniques), de matériels de plomberie (canalisations, tuyauteries), de matériels pour l'automobile (sièges à sou papes), de matériels pour le bâtiment (couvertures), de matériels pour les équipements industriels (hélices, organes de pompes, tubes de condenseurs), fabrication de pièces de monnaie;
- Fabrication de catalyseurs en synthèse organique;
- Fabrication de bains colorants pour métaux, de pigments pour le verre, les céramiques, les émaux, les peintures, encres et vernis;
- Industrie pétrolière: agents désodorisants, désulfurants, agents de flottation;
- Industrie textile: teinture des textiles, mordant, tannage du cuir;
- Hydrométallurgie: raffinage des métaux;
- Galvanoplastie, traitements de surfaces, électrodes de galvanisation, bains électrolytiques;
- Soudage: fabrication de pâtes pour brasures;
- Agents de polissage pour les verres optiques;
- Fabrication de produits biocides: produits antisalissure, produits de protection du bois, désinfectants non en contact avec les denrées alimentaires;
- Fabrication de produits phytopharmaceutiques: herbicides, fongicides (anti-mildiou), bouillie bordelaise, sulfate de cuivre tribasique;
- Photographie: fixateur;
- Pyrotechnie: production de couleurs dans les compositions pyrotechniques.

2.2.4 ORIGINE ET PRESENCE DU CUIVRE DANS L'ENVIRONNEMENT

Le cuivre est présent naturellement dans la croûte terrestre et dans les océans, les lacs, les rivières sous différentes formes et concentrations. C'est un des rares métaux existant à l'état natif (ENVIRONNEMENT INDUSTRIE, 2013).

Le Cuivre est surtout présent dans la croûte terrestre sous forme de sulfure de cuivre (la chalcocite, Cu_2S), de sulfure de cuivre-fer (la chalcopyrite, CuFeS_2), de bonite (Cu_5FeS_4), et aussi comme des minéraux oxydés tels que les carbonates, sulfates et le cuivre des hydroxyle-silicates. Le cuivre se retrouve dans l'eau de surface, l'eau souterraine, l'eau potable et l'eau de mer, mais il est initialement présent sous forme de complexes ou de matière particulaire (ESMAEILI, 2018).

La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'adsorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. L'ion Cu^+ est instable dans l'eau sauf en présence d'un ligand stabilisateur comme les sulfures, les cyanures ou les fluorures. L'ion Cu^{2+} forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, tels les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques. Le cuivre migre en profondeur dans des conditions particulières de drainage ou en milieu très acide et risque donc de contaminer l'eau souterraine. Les matières en suspension des cours d'eau sont fortement chargées en cuivre. Les sources anthropiques de cuivre dans l'environnement sont liées à la production, à l'utilisation ou à l'élimination du cuivre métal (plus ou moins pur, affiné ou raffiné) et/ou des composés du cuivre et/ou des alliages du cuivre (ENVIRONNEMENT INDUSTRIE, 2013).

2.2.5 TOXICITE ET ÉCOTOXICITE

2.2.5.1 TOXICITE CHEZ L'HOMME

Le Corps humain contient naturellement du Cuivre, de l'ordre de 100 à 150 mg selon les individus. Pour son bon fonctionnement, le corps humain a besoin d'un apport journalier de Cuivre, oligoélément essentiel nécessaire à la vie, de l'ordre de 2 à 3 mg (PICOT, 2011).

Selon l'OMS, « chez l'Homme, l'intervalle des concentrations physiologiques de Cuivre dans le sérum se situe en moyenne entre 800 à 1200 $\mu\text{g}/\text{L}^{-1}$. ». Ces valeurs sont plus élevées de 10 % chez la femme, soit 1320 $\mu\text{g}/\text{L}^{-1}$. Des valeurs supérieures révèlent une charge excessive en Cuivre de l'Organisme humain (PICOT, 2011).

Les effets d'une intoxication à long terme au Cuivre sont bien connus: l'excès de Cuivre dans le sang n'est pas facilement dosable car le Cuivre est immédiatement stocké dans le foie, sous forme de cuproprotéines. Lorsque le Cuivre en excès dans le sang est dosable, cela signifie que les capacités de stockage cuprique dans le foie sont saturées. Le Cuivre perturbe alors le métabolisme du Fer et provoque au niveau du foie, stéatose et cirrhose (PICOT, 2011).

2.2.5.2 BIODISPONIBILITE DU CUIVRE EN MILIEU AQUATIQUE

La fraction disponible d'une substance est généralement décrite comme la proportion qui est disponible pour l'absorption par les organismes vivants. En milieu aquatique la biodisponibilité recouvre deux phénomènes distincts (FORBES et KURE, 1996; HAMELINK et al., 1994 cités par VINOT, 2004):

- La disponibilité environnementale qui est due à des processus purement physico-chimiques de désorption et/ou de mise en solution des métaux dans l'eau interstitielle des sédiments ou dans le milieu liquide ambiant;
- La biodisponibilité environnementale qui correspond aux processus physiologiques d'absorption des métaux.

Dans les eaux naturelles, le cuivre peut être présent sous trois formes: particulaire, colloïdale et soluble (STIFF, 1971 cité par VINOT, 2004).

Une large part de la littérature démontre que la disponibilité des métaux est généralement peu reliée à la concentration en métal total dans l'eau et que c'est l'ion libre Cu^{2+} et non la concentration en cuivre totale qui est toxique pour les organismes végétaux et pour les organismes animaux. Dans un environnement aquatique, la concentration en cuivre et sa biodisponibilité dépend de facteurs tels que la dureté de l'eau, l'alcalinité, la force ionique et le pH, le potentiel redox, les ligands susceptibles de complexer le métal, les matières particulaires en suspension, la concentration en carbone, les interactions entre les sédiments et l'eau (VINOT, 2004).

2.3 CLARIAS GARIEPINUS (BURCHELL, 1822)

2.3.1 PRESENTATION

Étymologie: Clarias: du grec chlaros = vif, en référence à la capacité du poisson à vivre longtemps hors de l'eau; gariepinus: Nommé d'après sa localité type, la rivière Gariep, le nom en langue Hottentot de la rivière Orange, Afrique du Sud (FISHBASE N° 1934, 2021).

Le poisson chat africain appartient à la position systématique ci-après: règne animal, embranchement des vertébrés, classe des poissons, ordre des siluriformes, famille des clariidae, genre: Clarias, espèce: Clarias gariepinus Burchell, 1822 (POLL et GOSSE, 1995).

Le poisson-chat africain est largement distribué en Afrique. Il vit dans les marais tropicaux, les lacs et les cours d'eau dont certains sont sujet à des assèchements saisonniers (VIVEEN et al, 1985).

Tableau 2. Taxonomie Clarias gariepinus Burchell, 1822 (FISHBASE N° 1934, 2021)

Règne	Animalia
Embranchement	Chorodata
Classe	Actinopterygii
Ordre	Siluriformes
Famille	Clariidae
Genre	Clarias
Rang	Espèce
Nom scientifique	Clarias gariepinus
Descripteur	Burchell
Année description	1822
Protonyme	Silurus gariepinus
Synonymes	Silurus gariepinus, Clarias capensis
Nom communs	Poisson-chat nord-africain (français) Ngolo (Lingala)

2.3.2 DESCRIPTION BIOLOGIQUE

Le poisson chat a un corps nu, pigmenté de noir sur les parties dorsale et latérale, le ventre est par contre blanc, la tête aplatie est hautement ossifiée, portant quatre paires des barbillons qui jouent le rôle de détecteur des proies (DUCARME et MICHA, 2003).

Le poisson chat possède une peau sans écaille et couverte de mucus, cette peau est pigmentée de noir sur la partie dorsale et latérale du corps. Lorsqu'il est exposé à la lumière, il devient plus clair. Lors de stress, il montre un patron de coloration en forme de mosaïque: des taches foncées et claires (VIVEEN et al, 1985).

La biologie du *Clarias gariepinus* est spéciale puisqu'on note la présence d'un organe respiratoire accessoire qui autorise cette espèce à respirer de l'air atmosphérique dans des conditions très sèches, d'assèchement de son habitat. Ces poissons chats restent alors dans les substrats vaseux des étangs ou trous d'eau et absorbent de l'air par gorgée de temps en temps par la bouche (AQUAPORTAIL, 2021).

Chez les deux sexes des poissons-chats, l'ouverture urogénitale est située sur une papille localisée juste derrière l'anus. Le mâle adulte se distingue de la femelle par une papille allongée se prolongeant vers l'arrière. Chez la femelle, la papille a la forme d'une éminence ovale. Les fingerlings n'ont pas encore de développement de la papille (VIVEEN et al, 1985).

2.3.3 REPRODUCTION NATURELLE

Dans la plupart des pays africains, le cycle de reproduction du poisson-chat débute au commencement de la saison des pluies. Le stimulus final de la fraie semble être associé à la montée des eaux et l'inondation des zones marginales. La fraie se produit en larges bancs de mâles et de femelles adultes, dans des eaux d'une profondeur souvent moindre que 10 cm, en bordure de lacs ou de calmes (VIVEEN et al, 1985).

2.3.4 ENVIRONNEMENT

Le grand poisson chat africain est potamodrome (migrateur), il supporte presque toute condition de maintenance, le pH et la dureté de l'eau n'ayant aucune influence sur son état. Il est possible de le voir plonger aussi bas que 80 m de profondeur. Il est également indifférent à la température, tolérant de vivre à 8 °C ou à 35 °C (AQUAPORTAIL, 2020).

2.3.5 ALIMENTATION

Les Clarias, appelés silures-prédateurs, sont des mangeurs de fond qui, parfois, se nourrissent à la surface mais, dans tous les cas, ils se nourrissent la nuit sur une grande variété de proies, mais les grands adultes sont capables aussi de capturer de jeunes oiseaux, de consommer de la chair en décomposition et des plantes (AQUAPORTAIL, 2021). Le *Clarias gariepinus* est répertorié dans la catégorie « Préoccupation mineure (LC) » pour la liste rouge de l'IUCN (IUCN RED LIST, 2018).

2.3.6 DISTRIBUTION

Cette espèce est presque panafricaine, absente uniquement d'Afrique du Nord sauf en Algérie, où elle est originaire des ruisseaux de l'oasis de Tolga à la marge nord du Sahara, ainsi que des gueltas sur les pentes nord du Tassili n'Ajjer. Il est également connu des massifs du Tibesti et de l'Ennedi au Tchad. Il est dans le Nil mais absent des régions de haute et basse Guinée et de la province du Cap et probablement aussi de la province de Nogal. Il a été introduit dans d'autres régions d'Afrique ainsi qu'en Asie tropicale et subtropicale. Parfois, il s'est échappé d'installations d'aquaculture en eau chaude en Europe, mais il ne s'est pas établi. Au Moyen-Orient, il est originaire des bassins hydrographiques d'Asie et de Jordanie et de certains cours d'eau côtiers d'Israël et de l'oasis d'Azraq. Il a été largement introduit dans le sud de la Turquie à Ceyhan, Seyhan et Göksu et très probablement ailleurs le long de la côte méditerranéenne (IUCN RED LIST, 2018).

2.4 FACTEUR DE BIOCONCENTRATION

L'accumulation traduit un équilibre dynamique entre les processus d'absorption, de stockage, et d'excrétion, sachant que l'état d'équilibre ne représente que le niveau d'accumulation atteint dans un organisme pour des conditions données. Afin d'évaluer l'accumulation d'un polluant dans un organisme à l'état d'équilibre, on utilise généralement les facteurs de bioconcentration BCFs) et de Bioaccumulation (BAFs) (VINOT, 2004).

La bioconcentration dans un organisme implique l'accumulation d'une substance chimique uniquement via l'eau, par la respiration ou par le contact direct avec la peau. Le BCF est alors défini comme le ratio à l'état d'équilibre entre la concentration en contaminant dans l'organisme (C_B) sur la concentration en contaminant dissous dans l'eau (C_{ED}) (SIRE et AMOUROUX, 2016):

$$BCF = \frac{C_B}{C_{ED}}$$

La bioconcentration, c'est à dire l'absorption des polluants depuis le milieu ambiant est distinguée de la bioaccumulation qui correspond à l'absorption des polluants contenus dans la nourriture (Walker et al., 1996 cités par VINOT, 2004).

3 MATERIEL ET METHODE

3.1 MILIEU

Notre milieu d'étude est le Pool Malebo dans le fleuve Congo au niveau des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa.

3.1.1 POOL MALEBO

Le pool malebo (ex Stanley Pool) est un delta intérieur de plus de 35 km sur 25 km maximum, formé par le fleuve Congo entre ses cours inférieur et moyen. Il résulte du fait qu'en aval, le fleuve franchit une trentaine de chutes et rapides qui se succèdent sur un dénivelé d'environ 300 m. Le pool est situé entre 4°5' - 4°18'S et 15°19' - 15°32'E, et est entouré d'un ensemble de plaines inondables par les crues saisonnières, localisées de part et d'autre du fleuve Congo, à Kinshasa (RD Congo) et à Brazzaville (RP Congo). Du côté de Kinshasa, la plaine dont la superficie est de 6000 ha, est située au Nord-Est de

l'agglomération, à cheval sur trois communes (Limete, Masina et N'sele) (République Démocratique du Congo, 2009; NEPAD-FAO, 2006; PARSSA-RD Congo, 2009; Tembeni et al., 2014; Shomba et al., 2015 cités par FALASI, 2018).



Fig. 2. Localisation du Pool malebo (ex. Stanley Pool) (NASA Earth Observatory, Image of the day for March 22, 2004)

3.1.2 SITE DE PECHE DE KINKOLE ET DE KINGABWA

Le site de pêche de Kinkole dans le pool Malebo sur le Fleuve Congo est situé dans la commune NSELE, dans le quartier de Kinkole-Pêcheurs. On y trouve essentiellement des activités agricoles mais aussi urbaine.

Le site de pêche de Kingabwa dans le pool Malebo sur le Fleuve Congo est situé dans la commune de LIMETE, dans le quartier de Kingabwa-Pêcheurs. On y trouve des activités essentiellement industrielles mais aussi urbaine et agricole.

3.2 MATERIELS

- Matériel biologique: *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822);
- Eaux prélevés dans le fleuve Congo au niveau des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa;
- Balance de précision (0,001) de marque OHAUS, étuve, four à moufle, congélateur, broyeur, plaque chauffante, bécher de 100ml, papier aluminium, entonnoirs, fioles jaugées de 50ml;
- Sonde de détermination du pH, Sonde de mesure de la conductivité, Sonde de mesure de l'oxygène dissout;
- Papier-filtre sans cendre de diamètre 125mm;
- HNO₃ 1 mole;
- Spectrophotomètre UV-visible.

3.3 METHODOLOGIE

3.3.1 PRELEVEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons de *Clarias gariepinus* utilisés lors de nos analyses ont été achetés frais au lieu de pêche à Kinkole et Kingabwa puis acheminés au laboratoire d'analyse des aliments de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa pour être conservés à des températures négatives allant jusqu'à -21°C. La taille de l'échantillon était de 5 échantillons par site de pêche.

Les échantillons d'eau analysés ont été prélevés dans des bouteilles de 1 litre sur les lieux de pêche à Kinkole et Kingabwa puis acheminés au laboratoire d'analyse des aliments de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa pour être conservés à des températures négatives allant jusqu'à -21°C.

3.3.2 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Les paramètres physico-chimiques analysés à partir des échantillons d'eaux prélevées dans les deux milieux naturels sont: la mesure de l'oxygène dissous; la mesure de la conductivité; la détermination du pH. Les données ont été mesurées ex-situ, au laboratoire d'analyse des aliments de la faculté des sciences agronomiques de l'Université de Kinshasa.

3.3.3 DETERMINATION DU TAUX D'HUMIDITE DES ÉCHANTILLONS DE CLARIAS GARIEPINUS

Le taux d'humidité de chaque poisson a été déterminé par la différence entre le poids frais et le poids sec.

3.3.4 ANALYSES ÉCOTOXICOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS D'EAUX ET DE POISSONS

Au laboratoire d'analyse des aliments de la faculté des sciences agronomiques de l'Université de Kinshasa, les échantillons de poisson ont d'abord été décongelés à température ambiante du laboratoire puis pesés avant d'être séchés à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures afin d'obtenir les produits secs. Ces produits ont été broyés à l'aide du broyeur.

Les analyses écotoxicologiques pour la détermination du taux en cuivre des différents échantillons ont été effectuées au laboratoire de pédologie de la faculté des sciences agronomiques de l'Université de Kinshasa à l'aide de la méthode de PAUWELS et al., 1992.

3.3.4.1 MINÉRALISATION

Le principe consiste dans la destruction des composés organiques par calcination suivie d'une solubilisation des éléments par attaque avec un acide minéral fort.

1g de chaque échantillon de poissons broyé a été pesé puis incinéré entre 450-500 °C au four jusqu'à l'obtention de la cendre. La cendre obtenue a été refroidie.

Les échantillons d'eau ont été décongelés à la température ambiante du laboratoire.

Les cendres et les échantillons d'eaux ont été chacun attaqué par HNO₃ 1mole. Les solutions obtenues ont été digérées par ébullition douce sur une plaque chauffante pendant 30 minutes tout en veillant à ce que l'évaporation ne dépasse pas 5ml.

Après digestion, les solutions ont été filtrées à l'état tiède dans une fiole jaugée de 50ml. Le filtrat a été refroidi à température ambiante et complété avec de l'eau.

3.3.4.2 DOSAGE

Après minéralisation, le dosage de cuivre s'est réalisé par la méthode spectroscopique à l'aide d'un spectrophotomètre de marque « Spectrophotometer 721 » et le réactif spécifique pour le cuivre à la longueur d'onde 585nm (Méthode HACH, 1990).

3.3.5 FACTEUR DE BIOCONCENTRATION (BFC OU FBC)

A partir des données des analyses des échantillons d'eau de chaque site et celles des poissons, les Facteurs de Bioconcentration ont été calculés par la formule:

$$BCF = \frac{\text{Moy.C}_B}{C_{ED}}$$

Moy.C_B: Moyenne des concentrations en contaminant dans l'organisme;

C_{ED}: concentration en contaminant dissous dans l'eau.

Si le FBC est supérieur à 1, il y a une bioconcentration de l'Élément Trace (NAKWETI et al., 2021).

3.3.6 ANALYSES STATISTIQUES

Les résultats obtenus ont été traités par l'analyse de variance à l'aide du Logiciel Excel 2010 au seuil de probabilité de 0,05%. Le test de LSD a permis de déceler les différences significatives entre les traitements.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

4.1.1 ANALYSES PHYSICO-CIMIQUES DES EAUX

Les Tableaux 3 et 4 présentent respectivement les propriétés physico-chimiques des eaux des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa.

Tableau 3. Propriétés physico-chimiques des eaux du site de pêche de Kinkole

Paramètres	Valeurs Moyennes	Écart type
pH	6,315	0,145
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	34,95	2,15
Oxygène dissout (%)	46,15	0,15

Tableau 4. Propriétés physico-chimiques des eaux du site de pêche de Kingabwa

Paramètres	Valeurs Moyennes	Écart type
pH	6,165	0,035
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	64,3	3,1
Oxygène dissout (%)	35,4	3

Il ressort des tableaux 3 et 4 que:

- L'eau des deux sites de pêche est légèrement acide;
- La conductivité de l'eau des deux sites varie entre 34,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Kinkole et 64,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Kingabwa. Ceci traduit une faible minéralisation des eaux au niveau des sites étudiés notamment dans le site de pêche de Kinkole;
- L'oxygène dissout des deux sites varie entre 46,15% à Kinkole et 35,4% à Kingabwa. Ces valeurs traduisent un taux d'oxygène faible dans les deux sites.

4.1.2 TAUX D'HUMIDITE DES ÉCHANTILLONS DE CLARIAS GARIEPINUS

Les Tableaux 5 et 6 présentent respectivement les taux d'humidité des échantillons de poisson des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa.

Tableau 5. Taux d'humidité des échantillons de poisson de Kinkole

Échantillon	Poids frais en gramme	Poids sec en gramme	Taux d'humidité en %
1	35,43	8,37	76,37
2	47,24	16,10	65,91
3	63,13	10,84	82,82
4	54,77	12,70	76,81
5	68,84	16,18	76,49
Moyenne	53,882	12,838	75,68

Tableau 6. Taux d'humidité des échantillons de poisson de Kingabwa

Échantillon	Poids frais en gramme	Poids sec en gramme	Taux d'humidité en %
1	55,36	13,78	75,10
2	74,33	18,24	75,46
3	78,87	18,95	75,97
4	114,23	29,51	74,16
5	231,52	56,33	75,66
Moyenne	110,862	27,362	75,27

Partant des données des tableaux 5 et 6, nous constatons que le *Clarias gariepinus* du Pool Malebo à un taux d'humidité moyenne d'environ 75%.

4.1.3 TENEUR EN CUIVRE DANS L'EAU ET LE CLARIAS GARIEPINUS

Le tableau 7 présente les résultats des teneurs en cuivre dans les échantillons de poisson des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa.

Le tableau 8 présente les résultats des teneurs en cuivre dans les échantillons d'eau des sites de pêche de Kinkole et Kingabwa.

Tableau 7. Teneurs en Cuivre dans les échantillons de poisson (N=3)

Échantillons	Teneur en Cuivre (mg/kg)	
	Site de Kinkole	Site de Kingabwa
1	26,1 ^a	18,7 ^b
2	19 ^b	19,5 ^b
3	18,1 ^b	23,2 ^{ab}
4	10,3 ^c	24,7 ^a
5	17,3 ^b	10,5 ^c
Moyenne	18,16	19,31
LSD	4,05	4,74

^{a, b, c}: Pour une même colonne, les valeurs suivies de mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05.

Les résultats du tableau 7 nous montrent que des différences significatives ont été détectées entre les échantillons concernant la concentration en cuivre, voire annexe. Cela revient à dire que la concentration du cuivre dans la chair des poissons varie d'un individu à un autre, cela n'est pas identique chez tous les individus si bien qu'ils partagent le même écosystème.

Tableau 8. Teneurs en Cuivre dans les échantillons d'eau (N=3)

Site de pêche	Teneur en Cuivre (mg/kg)
Kinkole	17,3
Kingabwa	14,7

Les résultats ci haut nous montrent qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux sites à ce qui concerne la teneur en Cuivre dans les échantillons d'eau prélevés (voir annexe).

Partant des données EZEONYEJIAKU et al. (2011) dont le test de toxicité aiguë durant 96 heures du cuivre sur le *Clarias gariepinus* a donné une CL₅₀ de 70,135mg/l (= 70,135mg/kg), nous constatons que les teneurs en cuivre dans les *Clarias gariepinus* et les eaux du fleuve Congo au niveau des différents sites de pêche ne représentent pas un danger à court terme pour la faune ichtyologique du *Clarias gariepinus*.

4.1.4 FACTEUR DE BIOCONCENTRATION

Le tableau 9 présente les résultats des facteurs de bioconcentration chez le *Clarias gariepinus* pêché au site de pêche de Kinkole et Kingabwa.

Tableau 9. Facteurs de bioconcentration en Cuivre chez le *Clarias gariepinus*

Site de pêche	FBC
Kinkole	1,04
Kingabwa	1,31

Au regard du tableau ci-haut, nous constatons qu'il y a bioconcentration de l'élément trace métallique (Cuivre) dans le *Clarias gariepinus* des deux sites de pêche. Cela démontre une bioaccumulation du cuivre dans l'organisme du *Clarias gariepinus* et donc un probable risque sur le long terme.

4.2 DISCUSSION

Contrairement aux résultats obtenus par MUSEME et al. (2020) qui démontrent une faible capacité d'assimilation du cadmium par le *Clarias gariepinus*, nous constatons grâce au facteur de bioconcentration, une forte capacité d'accumulation du cuivre présent dans l'eau par le *Clarias gariepinus*. Cette situation peut s'expliquer par le fait que le cuivre est un oligoélément et se retrouve donc à l'état naturel présent dans l'organisme animal à faible dose.

Des données obtenues par EZEONYEJIAKU et al. (2011), nous constatons que les teneurs en cuivre présent dans le Pool Malebo au niveau des différents sites de pêche ne représentent pas un risque à court terme pour le *Clarias gariepinus* mais représente un risque à long terme pour le *Clarias* et d'autre espèces de poisson plus sensible à la toxicité du milieu selon les données synthétisées de VINOT (2004) repris en annexe.

Des changements de comportement ont été observés par EZEONYEJIAKU et al. (2011) chez le *Clarias gariepinus* lors de l'exposition aux différentes concentrations de sulfate de cuivre. Les nageoires sont devenues dures et étirées suite à une excitabilité élevée. Il y avait perte d'équilibre et épuisement. Après une période d'évitement stressant à travers diverses anomalies comportementales, les poissons sont restés suspendus en position verticale avec la bouche vers le haut, près de la surface de l'eau et la queue pointant vers le bas avant de finir par mourir. Ces données révèlent qu'à long terme, la contamination en cuivre des eaux du Pool Malebo pourrait représenter un sérieux risque pour la faune ichthyologique du *Clarias gariepinus* dans le Pool Malebo par le développement des malformations, anomalies, insuffisances et la mort de ce poisson.

5 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

La présente étude a démontré une contamination en cuivre dans les sites de pêche de Kinkole et Kingabwa et une bioaccumulation du cuivre dans les *Clarias gariepinus* de ces deux sites.

Les eaux ont des teneurs en cuivre supérieur à ceux recommandés par l'OMS pour l'eau potable soit 2mg/l et représente donc un risque pour la santé humaine des populations utilisant ces eaux sans traitement préalable.

Les poissons et les eaux ont des teneurs supérieures à ceux recommandés pour un apport journalier dans le corps humain soit 2 à 3mg par jour, il est donc dangereux pour la santé humaine de consommer le *Clarias gariepinus* de ces deux sites. Ainsi notre hypothèse est confirmée.

Le *Clarias gariepinus* étant un poisson potamodrome et résistant à des situations extrêmes, les teneurs en cuivre mesurées ne représentent pas un risque de toxicité aiguë pour la faune ichthyologique suite à la bioaccumulation du cuivre, les teneurs prélevés pourraient représenter un risque de toxicité chronique par le développement des malformations, maladies et/ou insuffisances diverses.

Nous recommandons que des études de toxicité chronique sur la contamination du *Clarias gariepinus* par le cuivre soient effectuées afin de déterminer avec plus de précision les teneurs qui pourraient représenter un risque pour la faune ichthyologique du *Clarias gariepinus*.

Nous recommandons aussi aux gouvernants la mise en place d'une surveillance environnementale afin de s'assurer de l'absence de tout risque ou de la réduction du risque sur la faune ichthyologique du *Clarias gariepinus*.

REMERCIEMENTS

A travers ces quelques lignes, nous avons l'agréable devoir de témoigner notre réelle reconnaissance envers notre Dieu, maître des temps et des circonstances, et lui remercions pour nous avoir permis d'effectuer notre cursus académique avec succès.

Notre profonde reconnaissance s'adresse à Monsieur le professeur Gaétan KALALA qui, en dépit de ses multiples occupations a accepté la direction de ce travail et pour avoir mis à notre disposition tout le matériel nécessaire au bon déroulement de ce mémoire. Ses remarques, ses capacités intellectuelles nous ont été d'une grande importance et ont fait l'œuvre du présent travail.

Nous tenons aussi à remercier Messieurs Michel MUBIALA, Arthur AMISI, Augustin NGOMBO, Alaska EKUYA, Schadrack MOGBOKULA, Robby KASONGA et Madame Irène KIBAL, pour leur accompagnement dans la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, nous ont aidés dans la réalisation de ce travail, trouvez dans ces quelques lignes notre reconnaissance.

LISTE DES ABREVIATIONS

As: Arsenic

B: Bore

BAF: Facteur de bioaccumulation

BCF ou FBC: Facteur de bioconcentration

Ca (OH)₂: Hydroxyde de calcium

C_B: Concentration en contaminant dans l'organisme

Cd: Cadmium

CE₅₀: Concentration d'une substance ayant un effet sur 50% des individus testés en un temps donné

C_{ED}: Concentration en contaminant dissous dans l'eau

CICOS: Commission Internationale du Bassin du Congo-Oubangui-Sangha

CL₅₀: Concentration létale d'une substance pour 50% des individus testés en un temps donné

CO₃Na₂: Carbonate de sodium

Cr: Chrome

Cu: Cuivre

Cu₂S: Sulfure de cuivre

Cu₅FeS₄: Bonite

CuFeS₂: Chalcopyrite

CuSO₄: Sulfate de cuivre

dH: dureté de l'eau

ETM: Élément trace métallique

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Hg: Mercure

HNO₃: Acide nitrique

INRS: Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et maladies professionnelles

IUCN: Union internationale pour la conservation de la nature

LSD: La plus petite différence significative de Fisher

mg: milligramme

mg/kg: milligramme par kilogramme

Mo: Molybdène

Ni: Nickel

pH: potentiel en hydrogène

RDC: République Démocratique du Congo

Se: Sélénium

Sn: Etain

Zn: Zinc

µg/L⁻¹: Microgramme par litre -1

µS/cm: microSiemens par centimètre

REFERENCES

- [1] AQUAPORTAIL, 2020. *Clarias gariepinus*. <https://www.aquaportail.com/fiche-poisson-2908-clarias-gariepinus.html>.
- [2] BAIZE, 2007. Les Éléments Traces Métalliques (ETM) dans les sols. Tout ce qu'il faut savoir ! Institut National de la Recherche Agronomique - Science du Sol – Orléans.
- [3] CICOS, 2014. Le Fleuve Congo. Du Katanga à Banana: 4700 km de croisière. <https://www.cicos.int/non-classe/le-fleuve-congo-du-katanga-a-banana-4700-km-de-croisiere>.
- [4] DUCARME et MICHA, 2003. Technique de production intensive du poisson chat africain. *Clarias gariepinus*. *Tropicultura*, 4, 189-198.
- [5] ENVIRONNEMENT INDUSTRIE, 2013. Cuivre. Synthèse spécifique au secteur d'activité Agroalimentaire.
- [6] ESMAEILL, 2018. Effet de la toxicité du cuivre et du cadmium sur la physiologie cellulaire de l'algue verte *Oocystis polymorpha*. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biochimie. Université du Québec à Montréal.
- [7] EZEONYEJAKU, OBIAKOR, and EZENWELU, 2011. Toxicity of Copper Sulphate and Behavioural Locomotor Response of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Catfish (*Clarias gariepinus*) Species. *Online J. Anim. Feed Res.*, 1 (4): 130-134.
- [8] FALASI, 2018. Pollution de la rivière N'djili et contraintes de gestion des sols autour du Pool Malebo (cas du site agricole Masina Rail 1/Kinshasa). Mémoire de DEA, Université de Liège, Belgique.
- [9] FISHBASE N° 1934, 2021. Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2021. FishBase. World Wide Web electronic publication. <https://www.fishbase.org>, version (08/2021).
- [10] GAGNAIRE, 2019. Évaluation des effets de polluants sur les poissons au laboratoire et sur le terrain: développement et utilisation de biomarqueurs – intérêt dans l'évaluation du risque environnemental. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Rapport IRSN/2019-00700. Laboratoire d'Écotoxicologie des Radionucléides, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN).
- [11] GALLOWAY et DEPLEDGE, 2001. Immunotoxicity in invertebrates: measurement and ecotoxicological relevance. *Ecotoxicology* 10, 5-23.
- [12] GOUZY et DUCOS, 2014. La connaissance des éléments traces métalliques: un défi pour la gestion de l'environnement.
- [13] INERIS, 2006. RAPPORT D'ETUDE N° INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a. Éléments traces métalliques. Guide méthodologique Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, 119 p.
- [14] INRS, 2013. Cuivre et composés. Fiche toxicologique n°294.
- [15] IUCN RED LIST, 2018. *Clarias gariepinus*, African Catfish. <https://www.iucnredlist.org/species/pdf/155051767>.
- [16] MAUDE, 2009. Vers un pacte de l'eau. Les Editions Ecosiété C.P.32052, Comptoir Saint-André, Montréal (Québec) H21445, Dépôt légal: 3^e trimestre 2009.
- [17] MUSEME, TANZO, KALALA, 2020. Etude de la Bioaccumulation des Métaux Lourds (Cadmium et Plomb) dans le *Clarias gariepinus* Bruchell dans les Conditions Ecologiques de Kinshasa, R.D.Congo. *Congo Sciences. Journal en ligne de l'ACASTI et du CEDESURK*. ISSN: 2410-4299, an International Journal.
- [18] NAKWETI, LUSASI et TEMBENI, 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.v17n25p174>.
- [19] NRIAGU, J.O 1983. Lead and Lead Poisoning in Antiquity. J. Wiley and Sons. New-York.
- [20] NSIMANDA, MUSIBONO, BASOSILA et WANGA, 2015. Etude 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.
- [21] OMS, 2004. Copper in drinking-water, Background document for the development fo WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Organisation mondiale de la santé, Genève, WHO/SDE/WSH/03.04/88,1-23.
- [22] PICOT, 2011. Le Cuivre: Des bénéfiques aux risques. Association Toxicologie-Chimie.
- [23] POLL et GOSSE, 1995. Genera des poissons d'eau douce d'Afrique. Tome VI, Ed, Académie Royale de Belgique.
- [24] SIRE et AMOUROUX, 2016. Avantages et limites du recours aux BCF - BAF pour produire des VGE mollusques équivalentes aux NQE définies dans l'eau (DCE 2013/39/UE). Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA). Ifremer. Ref: Ifremer, RBE/BE/ARC-16.02.
- [25] SOUTTER, MERMOUD et MUSY, 2007. Ingénierie des eaux et du sol. Presse polytechniques et universitaires romandes, 1ère Edition, 175-176, 264-265p.
- [26] Sparks, 1998. Environmental soil chemistry. Academic Press, 267 p.
- [27] VINOT, 2004. Impact des rejets de cuivre et zinc en milieu aquatique: circulation, spéciation, biodisponibilité, bioaccumulation, transfert et toxicité. *Écotoxicologie*. Université Paul Verlaine - Metz, 2004. Français. NNT: 2004METZ032S. Tel-01750015.
- [28] VIVEEN, RICHTER, VAN OORT, JANSSEN et HUISMAN, 1985. Manuel pratique de pisciculture du poisson-chat africain (*clarias gariepinus*).

ANNEXE: ANALYSES STATISTIQUES ET TOXICITES AIGUE DU CUIVRE POUR LES POISSONS D'EAU DOUCE

ANOVA POISSONS SITE DE KINKOLE

	KINKOLE					
	FC	4950,0				
	SCT	442,3				
	SCREP	11,0				
	SCTRAIT	374,4				
	SCERR	57,0				
SV	DL	SC	CM	FC	F0,05	Conclusion
Total	14					
Répétition	2	11	5,5	0,8	4,459	NS
Traitement	4	374,4	93,6	13,1	3,838	*
Erreur	8	57	7,125			
LSD	4,05294					
Différence des moyennes						
	10,3	17,3	18,1	19	26,1	
10,3		7	7,8	8,7	15,8	
17,3			0,8	1,7	8,8	
18,1				0,9	8	
19					7,1	
26,1						
Comparaison des moyennes						
E1	E2	E3	E5	E4		
26,1A	19B	18,1B	17,3B	10,3C		

ANOVA POISSONS SITE DE KINGABWA

	KINGABWA					
	FC	5595,8				
	SCT	462,1				
	SCREP	17,2				
	SCTRAIT	366,5				
	SCERR	78,4				
SV	DL	SC	CM	FC	F0,05	Conclusion
Total	14					
Répétition	2	17,2	8,6	0,9	4,459	NS
Traitement	4	366,5	91,625	9,3	3,838	*
Erreur	8	78,4	9,8			
LSD	4,743					
Différence des moyennes						
	10,5	18,7	19,5	23,2	24,7	

10,5		8,2	9	12,7	14,2	
18,7			0,8	4,5	6	
19,5				3,7	5,2	
23,2					1,5	
24,7						
Comparaison des moyennes						
	E4	E3	E2	E1	E5	
	24,7A	23,2AB	19,5B	18,7B	10,5C	

ANOVA L'EAU POUR LES DEUX SITES

FC	1538,2						
SCT	44,7						
SCREP	2,1						
SCTRAIT	9,9						
SCERR	32,7						
SV	DL	SC	CM	FC	F0,05	Conclusion	
Total	5						
Répétition	2	2,1	1,05	0,1	4,459	NS	
Traitement	1	9,9	9,9	0,6	3,838	NS	
Erreur	2	32,7	16,35				

Tableau I-12 : Quelques exemples de toxicité aiguë du cuivre pour les poissons d'eau douce (CL50 -96h).

Organismes	Size/age	T(°c)	Dureté	pH	Composés	Paramètres	Concentration	Références
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	0,66 g	11-13	211	7,4-8,3	Sulfate	CL50 - 96h	58	Hamilton & Buhl (1990)
	0,87 g	11-13	211	7,4-8,3	Sulfate	CL50 - 96h	54	Hamilton & Buhl (1990)
	alevin	12	24	7,1	ND	CL50 - 96h	26	Chapman (1978)
<i>Oncorhynchus kisutch</i>		12	24	7,1	ND	CL50 - 96h	19	Chapman (1978)
	0,41 g	12	41,3	7,1-8,0	Sulfate	CL50 - 96h	15	Buhl & Hamilton (1990)
	6 g	13,5	33	7,0-7,5	ND	CL50 - 96h	17 (Cu ²⁺)	Buckley (1983)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	6 g	13,5	33	7,0-7,5	ND	CL50 - 96h	164 (Cu _{total})	Buckley (1983)
	2,7 kg	9,4	20	7,29	Chloride	CL50 - 96h	46	Chapman & Stevens (1978)
	0,60 g	12	41,3	7,1-8,0	Sulfate	CL50 - 96h	13,8	Buhl & Hamilton (1990)
	1 g	12	44	7,1	Count-N*	CL50 - 96h	20,4	Mayer & Eilersieck (1986)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	1 g	12	44	7,1	Count-NS*	CL50 - 96h	121	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,6 g	13	44	7,1	Sulfate (98%)	CL50 - 96h	135	Mayer & Eilersieck (1986)
	alevin	12	24	7,1	ND	CL50 - 96h	28	Chapman (1978)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> *			50-200				80	Stein <i>et al.</i> (1984)
<i>Salvelinus fontinalis</i>	juvénile	12	ND	ND	Sulfate	CL50 - 96h	110	McKim & Benoit (1971)
<i>Salmo clarki</i>	2,1 g	13	194	7,8	Chloride	CL50 - 96h	83,3	Chakoumakos <i>et al.</i> (1979)
	9,4 g	13	194	7,8	Chloride	CL50 - 96h	221	Chakoumakos <i>et al.</i> (1979)
	25,6 g	13	194	7,8	Chloride	CL50 - 96h	243	Chakoumakos <i>et al.</i> (1979)
<i>Thymallus arcticus</i>	alevin	12	41,3	7,1-8,0	Sulfate	CL50 - 96h	23,9-131	Buhl & Hamilton (1990)
	frai	12	41,3	7,1-8,0	Sulfate	CL50 - 96h	9,6	Buhl & Hamilton (1990)
	0,34 g	12	41,3	7,1-8,0	Sulfate	CL50 - 96h	2,58	Buhl & Hamilton (1990)
<i>Pimephales promelas</i>	1 g	17	44	7,1	Count-N*	CL50 - 96h	35,9	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,1 g	17	44	7,1	Count-NS*	CL50 - 96h	154	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,2 g	18	272	7,4	Sulfate (98%)	CL50 - 96h	838	Mayer & Eilersieck (1986)
	22 mm	20-26	202	7,5-8,2	Sulfate	CL50 - 96h	490	Pickering <i>et al.</i> (1977)
	55 mm	20-26	202	7,5-8,2	Sulfate	CL50 - 96h	460	Pickering <i>et al.</i> (1977)
<i>Lepomis macrochirus</i>	1,2 g	17	44	7,1	Count-N*	CL50 - 96h	3 280	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,2 g	17	44	7,1	Count-N*	CL50 - 96h	13 700	Mayer & Eilersieck (1986)
	1 g	24	44	7,4	oxychloride	CL50 - 96h	980	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,5 g	18	44	7,1	Sulfate (98%)	CL50 - 96h	884	Mayer & Eilersieck (1986)
	1,5 g	18	272	7,4	Sulfate (98%)	CL50 - 96h	7 340	Mayer & Eilersieck (1986)
	18,6 g	24	200	8	ND	CL50 - 96h	8 300	Geckler <i>et al.</i> (1976)
	19,2 g	24	200	8	ND	CL50 - 96h	10 000	Geckler <i>et al.</i> (1976)

(Suite tableau I-12)

Organismes	Size/age	T(°c)	Dureté	pH	Composés	Paramètres	Concentration	Références
<i>Lepomis gibbosus</i>	ND	28	55	8	ND	CL50 - 96h	2700	Rehwooldt <i>et al.</i> (1972)
<i>Carassius auratus</i>	0,9 g	18	272	7,4	Sulfate (98%)	CL50 - 96h	13 800	Mayer & Ellersieck (1986)
<i>Roccus saxatilis</i>	ND	28	55	8	ND	CL50 - 96h	4 000	Rehwooldt <i>et al.</i> (1972)
<i>Roccus americanus</i>	ND	28	55	8	ND	CL50 - 96h	6 400	Rehwooldt <i>et al.</i> (1972)
<i>Anguilla rostrata</i>	ND	28	55	8	ND	CL50 - 96h	6 000	Rehwooldt <i>et al.</i> (1972)
<i>Cyprinus carpio</i>	3,5-5,5 g	20	50	7,5	ND	CL50 - 96h	118	Peres & Pihan (1991)
	3,5-5,5 g	20	100	7,5	ND	CL50 - 96h	289	Peres & Pihan (1991)
	3,5-5,5 g	20	300	7,5	ND	CL50 - 96h	751	Peres & Pihan (1991)
<i>Etheostoma caeruleum</i>	41 mm	24	200	8	ND	CL50 - 96h	320	Geckler <i>et al.</i> (1976)
<i>Etheostoma spectabile</i>	55 mm	24	200	8	ND	CL50 - 96h	850	Geckler <i>et al.</i> (1976)
<i>Ictalurus nebulosus</i>	39 mm	24	200	8	ND	CL50 - 96h	540	Geckler <i>et al.</i> (1976)

* : Référence retenue parmi les données de toxicité critique pour la détermination de seuil de qualité dans la grille du SEQ-eau (Agence de l'eau), CL₅₀ 96h