

Détermination De La Qualité Physique Et Chimique Et Analyse Des Micropolluants Des Eaux De La Rivière Lukunga A Kinshasa/ Rd Congo

Mukwita Ntwabwa Joseph², Jean-Claude Tshijik Kamb¹, Déogratias Schie' Nkung' MUTAMBEL'HITY,
Edouard Mbungu Sisa^{1, 1} and Jolie Lukonde KIPIMBYE¹

¹ Hydrobiology Laboratory, National Pedagogical University (NPU) B.P. 8815 Kinshasa I, DRC.

² Biochemical Laboratory, National Pedagogical University (NPU) B.P. 8815 Kinshasa I, DRC.



Résumé – Des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme de polluants graves de l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques. Cette étude est basée sur des prélèvements des eaux qui ont été effectués de Janvier à Mai 2019 dans la rivière Lukunga. Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyse selon les techniques d'évaluation de la qualité de l'eau décrites par les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé. Cette étude concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques (T°, pH, Conductivité, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ et Oxygène dissous) et l'évaluation de la contamination par les éléments traces métalliques (Cd, Pb, Hg, Cr) en vue de caractériser la qualité des eaux de cette Lukunga. Ces résultats des analyses ont montré la présence des ETM dans les eaux de la rivière Lukunga et ces dernières sont moyennement polluées avec des concentrations en micropolluants témoignant en général que les eaux de ce cours d'eau sont de mauvaise qualité chimique.

Mots clés – Rivière Lukunga, paramètres physiques et chimiques, micropolluants

Abstract – Hundreds of pollutants are released into the environment every day. Among them, heavy metals are considered serious pollutants of the aquatic environment because of their persistence and tendency to bioaccumulate in aquatic organisms. This study is based on water samples that were carried out from January to May 2019 in the Lukunga River. These samples were analyzed according to water quality assessment techniques described by the recommendations of the World Health Organization. This study concerns the analysis of physico-chemical parameters (T°, pH, Conductivity, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ and dissolved oxygen) and the evaluation of contamination by metallic trace elements (Cd, Pb, Hg, Cr) in order to characterize the water quality of this Lukunga. These results of the analyses showed the presence of ETMs in the waters of the Lukunga River and the latter are moderately polluted with concentrations of micropollutants generally indicating that the waters of this river are of poor chemical quality.

Keywords – Lukunga River, physical and chemical parameters, micropollutants

I. INTRODUCTION

Des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme de polluants graves de l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (Harte et *al.*, 1991 ; Schuurmann et Markert, 1998). Plusieurs métaux lourds se retrouvent dans le milieu aquatique, par action de l'homme, par transport atmosphérique et à la suite d'érosion due à la pluie (Veena et *al.*, 1997).

Ainsi donc, les animaux aquatiques peuvent se retrouver exposés à des concentrations élevées des métaux lourds (Kalay et Canh, 2000). Les métaux lourds peuvent ainsi affecter les organismes directement en s'accumulant dans leurs corps ou, indirectement par transfert par le biais de la chaîne alimentaire.

La contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds peut être confirmée dans l'eau, les sédiments ou les organismes qui s'y retrouvent (Forstner et Wittman, 1983). L'accumulation des métaux lourds dans ces compartiments peut résulter à la suite de sérieux changements écologiques. L'une des causes sérieuses de leur persistance est la bioamplification de ces métaux dans la chaîne alimentaire (Unlu et Gumgum, 1993).

Les problèmes associés à la contamination par les métaux lourds ont été tout d'abord mis en évidence dans les pays industrialisés, en raison de leurs développements industriels plus importants, et spécialement à la suite d'accidents dus à une pollution par le cadmium en Suède et le mercure au Japon (maladie de Minamata de 1949 à 1965) (Gigon, 1975 ; Jobin, 2006). Bien que le niveau des activités industrielles soit relativement moins élevé dans la plupart des pays africains, on y observe une prise de conscience croissante sur la nécessité de gérer rationnellement les ressources aquatiques et notamment de maîtriser les déversements de déchets dans l'environnement (Rashed, 2001 ; Chale, 2002 ; Okwonko *et al.*, 2005 ; Assonye *et al.*, 2007).

Spécifiquement pour la République Démocratique du Congo, son paysage économique est caractérisé par une industrie à l'état embryonnaire. Mais aussi beaucoup de produits chimiques à usage agricole, sanitaire et domestique sont utilisés dans le pays. La ville de Kinshasa est une bonne représentation de la pollution due aux effluents liquides urbains. En effet, le réseau d'assainissement est pratiquement inexistant et seulement peu visible au niveau des grandes artères de la ville. Dans les autres rues ou ruelles, les égouts à ciel ouvert sont creusés à même le sol et la pollution se déverse dans les rivières, sans aucun traitement (Lelo, 2008).

On y rencontre les usines dont, les effluents sont déversés dans les rivières ou le fleuve Congo. Cependant, la pollution de l'eau peut contaminer les poissons avec les métaux toxiques résultant de plusieurs sources, telles que le rejet accidentel des déchets chimiques, l'air pollué, les déchets industriels, les égouts domestiques et les produits de combustion des véhicules (Jent *et al.*, 1998).

Devant ces réalités où tous les effluents urbains et industriels, sont directement rejetés dans les rivières ou le fleuve Congo. Il se pose la question suivante : quelle est la quantité des métaux lourds qui proviennent des effluents dans les eaux et les sédiments de la rivière Lukunga ?

La présente étude, vise donc l'évaluation de la teneur en métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le mercure et le chrome de l'eau et des sédiments de la rivière Lukunga étant donné que les eaux de cette dernière sont utilisées pour les activités agro-pastorales et pour le traitement des eaux de boissons.

II. MILIEU D'ÉTUDE

L'étude s'est effectuée sur la rivière Lukunga, son bassin versant est situé dans la zone de collines, précisément dans la partie Ouest et Sud-ouest de la ville de Kinshasa. L'écoulement des eaux de la rivière Lukunga est orienté du Sud-est vers le Nord-Ouest sur une distance d'environ 14 520 m (Mbadu, 2002).

Cette rivière prend sa source dans la vallée de Matadi-Mayo (Mont – Ngafula) à 380 m d'altitude, et coule dans les contreforts de la cité Mama Mobutu, de la colline de l'UPN et des quartiers Tshikapa, Malueka, Ngombe Lutendele et Pompage avant de se jeter dans le fleuve Congo (Figure 1). Dans son parcours, la rivière Lukunga reçoit plusieurs affluents dont les rivières Bikela (Matshotsho), Ikusu, Binza et Mangungu. A ce réseau naturel des rivières vient s'ajouter un canal en terre puis bétonné qui double sur 275 m pour dériver et acheminer l'eau de la Lukunga vers l'usine de la Régideso. On note aussi à la hauteur de la même usine, un barrage muni d'un déversoir érigé sur la même rivière.

Le bassin versant de la rivière Lukunga traverse un substratum schisto-gréseux de la série de Inkisi (Van Caillie, 1987). Cette structure schisto-gréseuse est visible à maints endroits, notamment aux lieux d'émergence des eaux (sources aux pieds de la colline de la cité Mama Mobutu), à quelques sites érosifs (érosions de Masikita, de Marine et de Matadi-Mayo).

Ces sites laissent en outre voir sur leurs abords, un manteau de sable fin jaunâtre ou brunâtre d'épaisseurs variables; c'est le cas des sites érosifs de Mataba à Binza Delvaux et des cités Mama Mobutu et Matadi-Kibala.

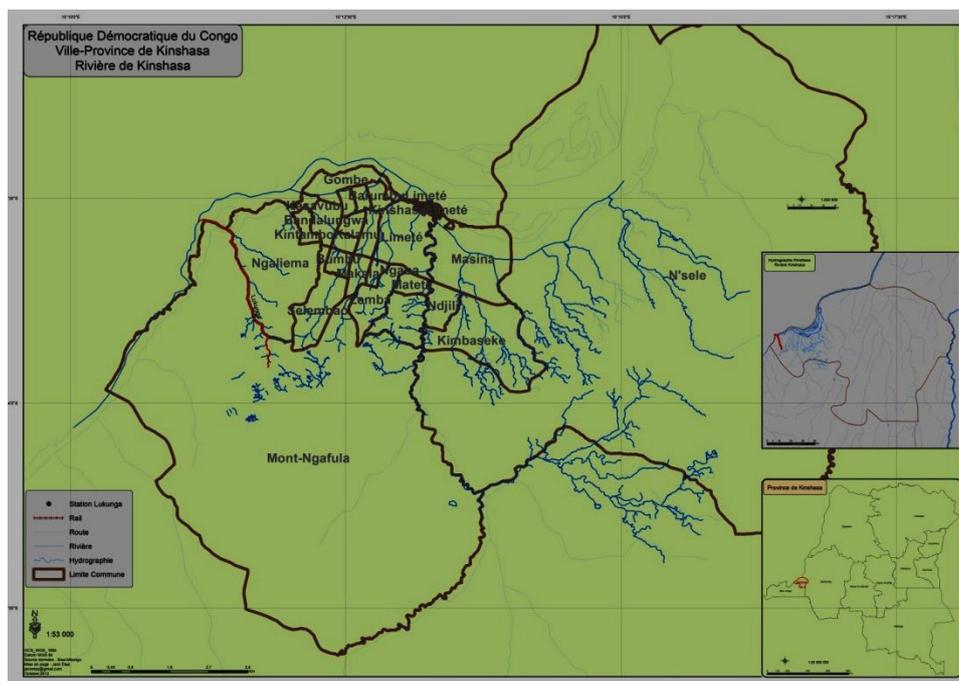


Figure1. Localisation de la rivière Lukunga à Kinshasa

L'évaluation de la qualité physico-chimiques a été effectuée dans cinq stations précédemment déterminées, du créneau au potamon de la rivière Lukunga. Ces stations ont été choisies en fonction de leurs caractéristiques hydrologiques moyennes (largeur moyenne du lit, profondeur moyenne de la colonne d'eau et vitesse d'écoulement de l'eau) (tableau 1). Les coordonnées des stations d'échantillonnage ont été déterminées à l'aide d'un Garmin GPSmap 60CSx.

Tableau 1. Coordonnées et paramètres hydrologiques moyens des stations d'étude.

Stations	Altitude (m)	Longitude (Est)	Latitude (Sud)	Lageur (m)	Profondeur (cm)	Vitesse (cm/s)
Luk I	354	E015°14' 21.0''	S04°26'46.1''	3.5	16	71.4
Luk II	348	E015°14' 21.4''	S04°26'46.0''	6.5	16.4	89.2
Luk III	323	E015°13'33.4''	S04°24'43.3''	4.9	29.6	125
Luk IV	321	E015°13'33.66''	S04°24'43.4''	4.3	31.3	116.3
Luk V	267	E015°12'32.7''	S04°20'52.9''	4.5	32.3	88

III. MATERIEL ET MÉTHODES

3.1. Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a été faite en tenant compte de la diversité lithologique du bassin ainsi que la distribution des activités anthropiques. Cinq stations de prélèvement ont été échantillonnées (Figure 1) au cours de sept campagnes d'échantillonnage et de mesure réalisées au pas de temps, puis épisodique, entre janvier 2021 et décembre 2021. Les échantillons d'eau ont été collectés dans des flacons en polyéthylène propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à échantillonner, puis fermés hermétiquement avant d'être gardé au frigidaire, à 4°C.

3.2. Analyse des paramètres physiques et chimiques de l'eau *

Le pH, la température, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ à l'aide d'un analyseur multiparamètre WTW 340i avec sondes spécifiques et une marge d'erreur égale à $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pour la température, $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour la conductivité électrique. La turbidité a été déterminée grâce au spectrophotomètre HACH DR2000.

Les analyses chimiques des ions ammonium, nitrates, nitrites, chlorure et sulfates ont été effectuées au Laboratoire du Département de Physique des Sols et d'Hydrologie du CREN-K/CGEA (Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa/Commissariat Général à l'Energie Atomique), par spectrophotomètre HACH DR /2400.

L'étude de la teneur en métaux lourds des eaux et des sédiments de la rivière Lukanga a porté sur les éléments : Cr, Hg, Cd, Pb et Ni. Ils ont été déterminés à l'aide d'un Spectrophotomètre UV visible de marque Jenway 7305.

Nous avons échantillonné un litre et demie d'eau, trois fois par site, dans de bouteilles en plastique neuves. Les bouteilles étaient rincées à l'eau distillée et, avant prélèvement, rincées deux fois avec l'eau du site à échantillonner (Chale, 2002). Les prélèvements étaient faits à 15 cm en profondeur, sur les deux rives et au milieu.

Deux cent grammes (200gr) de sédiment ont été prélevés à la main, sur une profondeur de 0 à 5 cm dans chaque station, placés dans de sacs en plastique neufs. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire, mis à sécher à la température ambiante du laboratoire. Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'analyses du CREN-K/ CGEA.

3.3. Analyses statistiques des données

La méthode d'Analyse en Composante Principale a été utilisée pour interpréter les données des paramètres physico-chimiques de ce hydrosystème. Cette méthode permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives non corrélées, appelées Composantes Principales (Kamb, 2018). Les corrélations entre les stations et les micropolluants ont été établies.

Le logiciel Past (Paleontological statistics, version 2.16) a été utilisé à cet effet pour réaliser l'APC (Hammer *et al.*, 2001).

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Qualité physiques et chimique de la rivière Lukunga

Les paramètres physico-chimiques qui ont été prélevés au niveau des stations d'études telles que signalées dans la figure 1 sont repris dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la Rivière Lukunga

Paramètres physiques et chimiques	Stations				
	Luk 1	Luk 2	Luk 3	Luk 4	Luk 5
	Moy \pm SD	Moy \pm SD	Moy \pm SD	Moy \pm SD	Moy \pm SD
Température ($^\circ\text{C}$)	23,7 \pm 0,08	26,4 \pm 0,36	25,6 \pm 0,90	26,3 \pm 0,07	25,5 \pm 0,5
pH	6,43 \pm 0,77	5,98 \pm 0,29	6,02 \pm 0,58	6,08 \pm 0,80	6,13 \pm 0,7
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	72,67 \pm 6,25	40,67 \pm 13,89	44,50 \pm 1,38	46,52 \pm 13,42	51,1 \pm 4,7
Turbidité (NTU)	27,55 \pm 4,33	23,93 \pm 0,67	45,07 \pm 3,91	51,35 \pm 5,53	37 \pm 5,3
Oxygène dissous (mg/l)	3,22 \pm 0,44	1,38 \pm 0,72	2,96 \pm 2,30	1,94 \pm 0,86	2,38 \pm 0,7
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,05 \pm 1,48	4,13 \pm 0,48	2,52 \pm 0,08	3,6 \pm 0,88	3,08 \pm 0,8
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	1,22 \pm 1,21	0,17 \pm 0,02	1,22 \pm 0,14	1,30 \pm 0,08	0,98 \pm 0,06
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	3,5 \pm 0,8	3,7 \pm 0,8	5,3 \pm 1,0	10,0 \pm 1,3	5,63 \pm 1,2

Les valeurs de la conductivité ont varié de 52 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (station L1) à 164 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Station Luk 2) dans la rivière Lukunga, le pic a été atteint à la station Luk 2. Le pH de l'eau, s'est situé entre 6,3 (station Luk 1) et 7,4 (station Luk 3), la valeur la plus élevée a

été observée à la station Luk 3. La conductivité dans l'eau s'est échelonnée entre 40 et 72 μ s/cm, le cap a été parvenu à la station Luk 1 ; la turbidité dans la Lukunga a varié entre 23,9 et 51,3 NTU, la valeur la plus élevée a été constatée à la station Luk 4. L'oxygène dissous a oscillé entre 1,1mg/l (station Luk 5) et 5,1mg/l (station Luk 5), la valeur la plus élevée a été enregistrée à la station L1. Les teneurs en nitrates ont oscillé dans la fourchette de 2,05 et 4,1mg/l, la valeur la plus élevée a été observée à la station Luk 2.

La température de l'eau joue un rôle important dans la modification des propriétés chimiques, physiques ainsi que les réactions biologiques (Abboudi *et al.*, 2014). Dans les eaux étudiées, ce paramètre présente des valeurs comprises entre 23,2°C (Luk 1) et 27,5°C (Luk 3) (Tableau 2) et ne montre pas de grandes variations entre les stations et reste proche de la température de la région pendant cette période (Kamb, 2013). Elles sont proches de celles obtenues par DETAY (1997) qui confirme que la plupart des eaux tropicales ont une température supérieure ou égale à 25°C. Cette situation s'explique par l'exposition des eaux aux rayonnements solaires directs.

Dans cette étude, la valeur extrême de température était de 26,4°C (Luk 1). Ceci pourrait être occasionné par les rejets des matières organiques qui contribuent à l'augmentation de la température lors de leur décomposition. Ces résultats sont conformes à ceux de la littérature (Degremont, 1978 ; Rodier, 1978).

Le pH (potentiel d'hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ dans l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ses valeurs se situent entre 6 et 7,4 dans les eaux naturelles (Chapman et Kimstach, 1996) et pour ce qui des eaux de surface de Lukunga, elles ne montrent pas de variations notables et ont tendance d'être neutre avec un minimum de 6,3 et un maximum de 7,4. Ces valeurs situées autour de la neutralité sont le plus souvent liées à la nature des terrains traversés par l'eau (kamb, 2013). Selon Kabamba (1981), la plupart des cours d'eau de Kinshasa ont un pH qui oscille autour de la neutralité.

Le pH acide observé en certains sites pourrait s'expliquer par le fait que cet écosystème limnique reposerait sur un substrat de roche naturellement acide (Ramade, 2005).

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau. En effet, des mesures contrastées sur un milieu permettent de mettre en évidence l'existence de pollution, des zones de mélange ou d'infiltration (Ghazali et Zaid, 2013). Ce paramètre permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985; Rodier, 1996). Les eaux de surface de la Lukunga sont faiblement minéralisées avec des valeurs comprises entre 52 μ s/cm et 173 μ s/cm. Ces valeurs enregistrés d'amont en aval traduisent la croissance de la teneur globale en substances dissoutes ionisées qui proviendraient de la minéralisation globale de la matière organique ou des apports des rejets ; ce qui provoquerait un accroissement de la conductivité d'amont en aval (Kamb, 2013).

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau (Rodier *et al.*, 1996). Les concentrations en O₂ constituent l'un de plus importants paramètres de qualité des eaux dans la mesure où il est indispensable à la vie aquatique et à la dégradation des polluants biodégradables permettant l'autoépuration (Kamb, 2013). L'oxygène dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthèse des algues et des plantes aquatiques (macrophytes). Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique et sa teneur moyenne dans les eaux de surface non polluée est de 8 mg/L.

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

Les résultats de notre étude ont dégagé de valeurs comprises entre 1,4 mg/L et 5,1mg/L. De façon générale, la teneur en oxygène dissous décroît avec la pollution organique. Ces valeurs indiquent que la qualité des eaux de la Lukunga va de bonne qualité à la forte pollution en raison de son utilisation ou de l'occupation de ses berges.

Présents à l'état naturel et soluble dans le sol, les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Cependant, ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais (Chapman et Kimstach, 1996) et constituent l'un des facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau.

Les nitrates proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification (Abboudi *et al.*, 2014). Les teneurs en nitrates sont comprises entre la valeur minimale de 1,6 mg/L enregistrée à la station (Luk 3) et la valeur maximale trouvée au niveau de la station (Luk 5) avec 3,6 mg/L.

La contamination en nitrates semble être liée aux apports des eaux souterraines (sources d'eau) contaminées par l'infiltration de ces composés à partir des terres agricoles (NEAL *et al.*, 2000) et aussi au lessivage des sols. Néanmoins, ses valeurs restent inférieures à la valeur limite des 30 mg/L fixées par l'OMS.

Les origines naturelles des sulfates sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques notamment le gypse (CaSO₄), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite) (Abboudi *et al.*, 2014). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures et, l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive (Barry, 1989). La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (Peck, 1970). Les eaux de surface contiennent des teneurs très variables de sulfates et leur concentration est généralement comprise entre 2.2 mg/L et 58 mg/L (Meybeck *et al.*, 1996). Les valeurs de ce paramètre dans les eaux étudiées sont très variables et oscillent de l'amont vers l'aval entre 3 mg/L et 10 mg/L. Ces teneurs en sulfates dans la zone d'étude peuvent être engendrées par les activités anthropiques (utilisation des engrais, lessive, etc.).

4.2. Les micropolluants (Cr, Hg, Cd, Pb et Ni)

La présente étude s'est limitée à la détermination de la teneur de sept éléments les plus étudiés dans les eaux de surface. Certes, ces métaux même en faibles concentration, leurs impacts écologiques et sanitaires peuvent être importants (Abboudi *et al.*, 2014). Les teneurs desdits micropolluants dans les eaux de la rivière Lukunga sont reprises dans la figure 2.

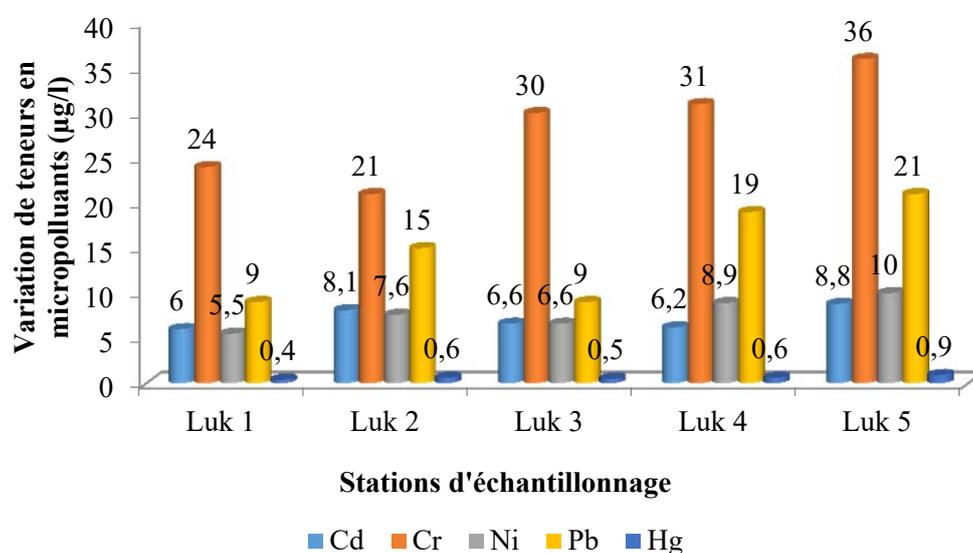


Figure 2. Teneur des micropolluants dans les eaux de la rivière Lukunga.

Dans les eaux de surface de la Lukunga, la concentration en micropolluants étudiés varie entre 6µg /l et 8,8µg de de Cd ; 21µg/l et 36µg/l de Cr ; 5,5µg/l et 10µg/l de Ni ; 9µg/l et 21µg/l de Pb et 0,4µg/l et 0,9µg/l de Hg (figure 1). En général, les concentrations en ces dits éléments traces dans les eaux de la Lukunga sont inférieures à 1mg/l.

Les sources anthropiques d'émission des substances métalliques sont principalement dues à l'intensification des activités urbaines, agricoles ou industrielles (Urbain, 2009). Ces activités intensives génèrent de fortes concentrations en métaux lourds (Cu, Zn, Pb, Cd) et des polluants organiques dans le sol qui peuvent être alors accumulés par la plante (Gremion, 2003) et d'autres organismes vivants.

Dans les aires urbaines, la production des déchets et leur mode d'élimination est une des activités de polluants métalliques. La plupart des constituants des déchets urbains contiennent des métaux lourds tels que les piles (Hg, Zn, Pb, Cd), les peintures (Cr, Cd, Pb), les plastiques (Cd, Ni), les papiers cartons (Pb), etc. (De Miguel, 2001 ; Aloueimine, 2006).

Les activités urbaines liées au développement des villes et des réseaux routiers sont également une source potentielle de métaux lourds, en particulier de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn (Pagotto, 1999). La pollution ainsi générée se trouve soit dans les eaux de ruissellement de chaussées routières, soit sous forme de poussières atmosphériques (Fevier, 2001).

Les eaux pluviales qui lessivent les surfaces urbaines imperméables contiennent une grande partie de polluants. Il est estimé que, généralement pour la plupart des paramètres, 15 à 25 de ce pollution contenue dans les eaux de ruissellement est imputable à la pollution des eaux de pluies et cette proportion peut être nettement plus forte pour certains polluants, en particulier les nutriments et les métaux lourds, pour lesquels elle pourrait atteindre 50 à 75% (Gromaire-Metz, 1998).

Les métaux lourds qui se retrouvent systématiquement dans les eaux sont les Zn, Pb, Cu, Cd (Datry, 2003). Ils ont pour principale origine la circulation automobile, les fumées d'usines, les déchets urbains ou industriels (Crosnier, 1999).

Etant donné que dans le bassin versant de la Lukunga comme ailleurs en Kinshasa, les déchets urbains ne sont pas collectés de manière systématique et sont généralement accumulés dans les rues ou sur des terrains non aménagés ou sont directement déversés dans le cours d'eau.

La présence de ces macropolluants dans les eaux de la Lukunga pourrait provenir des déchets qu'entraîne le ruissellement des eaux des pluies et/ou des déversements directs de déchets d'origine diverse et aussi des activités agro-pastorales pratiquées en marge de la rivière Lukunga.

4.3. Corrélations entre les paramètres chimiques et les micropolluants

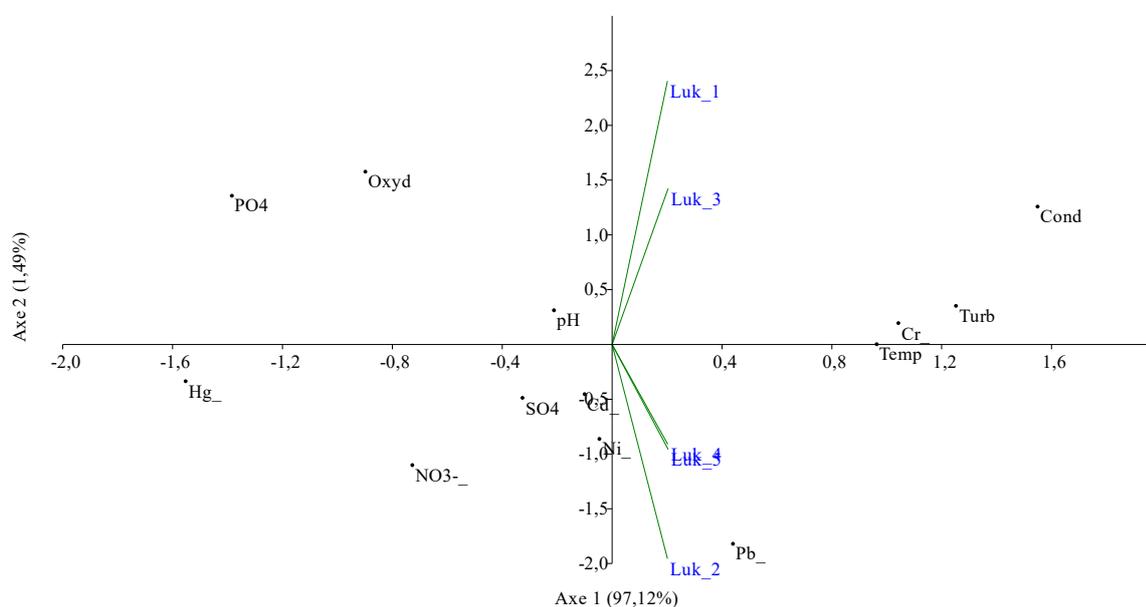


Figure 3. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les micropolluants et stations d'étude dans la rivière Lukunga en saison pluvieuse 2021.

Il ressort de la figure 3 que deux axes principaux (axe 1 et axe 2) ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 98,6% de la dispersion des variables ; l'axe 1 ayant présenté 97,12% de la variance totale et l'axe 2 en a présenté 1,49%.

L'analyse en Composantes Principales les paramètres physico-chimiques, les micropolluants et stations d'étude dans la rivière Lukunga en saison pluvieuse, a révélé une corrélation positive entre toutes les stations étudiées et l'axe 1.

L'axe 1 est fortement corrélé aux paramètres physico-chimiques et micropolluants suivants : Température ($r=0,96316$), Conductivité ($r=1,5491$), turbidité ($r=1,2519$), Chrome ($r=1,0422$) et Plomb ($r=0,44008$).

En ce qui concerne les corrélations positives, les paramètres physico-chimiques température, conductivité et turbidité ont corrélé positivement avec les micropolluants ci-après : Chrome et Plomb. Il a été aussi constaté que les phosphates, l'oxygène dissous, le sulfate, le nitrate et le mercure, le cadmium et le nickel ont présenté des affinités positives.

Quant aux rapprochement entre les stations, les Luk 1 et Luk 3 ont été très proches. Ceci s'explique par occupation et l'utilisation (rejets de déchets domestiques) des rives par la population riveraine à ce niveau.

V. CONCLUSION

Cette étude concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques (Température, pH, Conductivité électrique, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- et Oxygène dissous) et l'évaluation de la contamination par les éléments traces (Cr, Hg, Cd, Pb et Ni) en vue de caractériser la qualité des eaux de surface de la Lukunga.

La qualité des eaux de surface de Lukunga dépend de la lithologie drainée par ce cours d'eau ainsi que l'influence non négligeable des activités agro-pastorales localisées sur les rives de ce cours d'eau.

Les résultats des analyses montrent que les eaux de ce cours d'eau sont caractérisées par une minéralisation naturelle faible ($173\mu S/cm$) et des concentrations inférieures aux normes recommandées par l'OMS (Who, 1984) des différents paramètres et aussi les concentrations faibles en métaux lourds témoignant en général que les eaux de ce cours d'eau sont de mauvaise qualité.

Dans les eaux de surface de la Lukunga, la concentration en éléments métalliques étudiés varie entre 0,01mg de Zn/L et 4,7mg de Fe/L.

En général, les concentrations en ces dits éléments traces dans les eaux de la lukunga sont inférieures à 1mg/l. Les sources anthropiques d'émission des substances métalliques sont principalement dues à l'intensification des activités urbaines, agricoles ou industrielles.

REFERENCES

- [1] ABBOUDI A., TABYAOUI H et EL HAMICHI A., 2014. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou. European Scientific journal, ESSN 1857-7881, N°23 p. 84-93.
- [2] Agence Française de Normalisation (AFNOR), 2009. Qualité de l'eau-Prélevement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes. PT 90-333. 15pp.
- [3] ALOUEIMINE S.O., 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Limoges : Université de Limoges, 195p.
- [4] ASONYE C.C., OKOLINE N.P., OKENWA E.E. AND IWUANYANWU U.G., 2007. Some physicochemic characteristics and heavy metal profiles of Nigerian rivers, streams and waterways, African Journal of Biotechnology, vol. 6 (5): 617-624
- [5] Barry G.S. 1989. Sodium sulphate. *Canadian minerals yearbook*– 1988. Mineral Report, n°37. Division des ressources minérales, énergie, mines et ressources. Ottawa.
- [6] CHALE F.M.M., 2002. Trace metal concentrations in water, sediments and fish tissue from Lake Tanganyika, Tanzania. Elsevier. The Science of the Total Environment 299: 115–121.
- [7] CHAPMAN, D. et KIMSTACH, V. 1996. Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon.

- [8] CROSNIER J., 1999. Devenir de la pollution métallique drainée par les eaux pluviales influence du compartiment microbien et des alternances de dessiccation/réaffectation sur le transfert du zinc dans la zone non saturée du sol. Thèse e doctorat. Lyon : université Claude Bernard-Lyon, 282p.
- [9] DATRY T., 2003. Urbanisation et qualité des nappes phréatiques-réponses des écosystèmes aquatiques souterrains aux pratiques d'infiltration d'eau pluviale. Thèse de Doctorat. Lyon : Université Claude Bernard- Lyon, 221p.
- [10] DATRY T., 2003. Urbanisation et qualité des nappes phréatiques-réponses des écosystèmes aquatiques souterrains aux pratiques d'infiltration d'eau pluviale. Thèse de Doctorat. Lyon : Université Claude Bernard- Lyon, 221p.
- [11] DE GREMONT G., 1978. Memento technique de l'eau, technique et documentation, 8^{ème} Ed. Lavoisier, Paris, 1200p.
- [12] DE MIGUEL G., 2001. Rapport sur les métaux lourds et leurs effets sur l'environnement et la sante. Paris : Senat, 365p.
- [13] FORSTNER U., WITTMANN G.T.W., 1983. Metal Pollution in Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 486.
- [14] FREVIER L., 2001. Transfert d'un mélange Zn-Cd-Pb dans un dépôt fluvio-glaciaire carbonaté. Approche en colonnes de Laboratoires. Thèse de Doctorat. Lyon : INSA de Lyon. 312p.
- [15] GHAZALI, D. et A. ZAID, 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, pp. 25-36.
- [16] GIGON FERNAND, 1975. Le 400eme chat ou Les pollues de Minamata, edition Robert Laffont.
- [17] GROMAIRE-METZ M.C., 1998. La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire : caractéristiques et origine. Thèse de Doctorat : LCPC, 325p.
- [18] HAMMER Ø, HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics sowftware package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4 (1): 9 p.
- [19] HARTE J., HOLDREN C., SCHNEIDER R., SHIRLEY C., 1991. Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards. University of California Press, Oxford, England, p. 478.
- [20] JENT S., HEING J.S., AND TATE C.M., 1998. Concentration distribution and composition of selected trace elements in bed sediment and fish tissue in the south Platte River basin, USA,1992-1993. National Water-Quality Assessment (NAWQA) program report.
- [21] JOBIN P., 2006. Maladies industrielles et syndicats au Japon, editions de l'EHESS.
- [22] KABAMBA S.B., 1981. Etude de la pollution des eaux des rivières qui traversent la ville de Kinshasa, Mémoire Inédit, Fac. Sciences, UNIKIN, 49p.
- [23] KALAY M., CANLI M., 2000. Elimination of essential (Cu and Zn) and non-essential (Cd and Pb) metals from tissue of a freshwater fish, *Tilapia zilli*. Tr. J. Zool., 24: 429-436.
- [24] Kamb T. J-C, 2018. Structure des peuplements des macroinvertébrés benthiques et évaluation de la qualité biologique et écologique des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge à Kinshasa/ RD Congo, Thèse de Doctorat, UPN, 230p.
- [25] Kamb T.J.-C., 2013. Etude de la structure et de la dynamique des peuplements des Macroinvertébrés benthiques d'un système lotique : Cas de la rivière Lukunga à Kinshasa/R.D Congo. Mémoire de DEA, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, 80 p.
- [26] Lelo N.F., 2008. Kinshasa, ville et environnement, L'Harmattan, Paris, 282p.
- [27] MBADU Z., 2002. Le bassin versant de la rivière Lukunga, impacts de son utilisation sur l'environnement, Mémoire. D.E.A, UNESCO – Mab, Eraïft. Kinshasa, Inédit. 212p.
- [28] Meybeck.M.,1982. Carbon,Nitrogen, and phosphorus transport by world rivers, American journal of science, 282,401-450

- [29] NEAL, C. NEAL M, WICKHAM H et HARROW, M., 2000. The water quality of a tributary of the Thames, the Pang, southern England. *The Science of the Total Environment*. 251 / 252: 459-475.
- [30] OKWONKO J.O., MOTHIBA M, 2005. Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa, *Journal of Hydrology*, vol 308: 122-127.
- [31] PAGOTTO C., 1999. Etude sur l'élimination et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de Doctorat : Poitiers : université de poitier, 252p.
- [32] PECK, H.D., 1970. Sulphur requirements and metabolism of microorganisms. Proceedings of a symposium on sulphur in nutrition. D.H. Muth & J.E. Oldfields. Ari Publishing Co., Westport, CT.
- [33] PESCOD, M.B., 1985. Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed. Pescod and Arar, 93-114.
- [34] RAMADE F., 2005. Elément d'écologie. Ecologie appliquée, 6^{ème} Ed. Dunod, Paris 864p
- [35] RASHED M.N., 2001. Monitoring of Environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, Egypt. *Environment International* 27: 27-33.
- [36] RODIER J., 1978. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 6^{ème} Ed. Dunod, Bordeaux, Paris, 1135p.
- [37] RODIER, J., BAZIN, C., BROUTIN, J.P., CHAMBON, P., ET H. CHAMPSAUR, 1996. L'Analyse de l'Eau. 8^e édition. Dunod : Paris. 1384 pp.
- [38] SCHUURMANN G., MARKERT B., 1998. Ecotoxicology, Ecological Fundamentals, Chemical Exposure, and Biological Effects. John Wiley & Sons Inc. and Spektrum Akademischer Verlag, 900.
- [39] UNLU E., GUMGUM B., 1993. Concentrations of copper and zinc in fish and sediments from the Tigris river in Turkey. *Chemosphere*, 26 (11): 2055–2061.
- [40] VAN CAILLIE X.D. Notice de présentation de la carte géomorphologique et géotechnique de Kinshasa, BEAU, Kinshasa, 125p.
- [41] VEENA B., RADHAKRISHNAN C.K., CHACKO J., 1997. Heavy metal induced biochemical effects in an estuarine teleost. *Indian J. Mar. Sci.*, 26: 74–78.