

Influence d'une usine hydrométallurgique en activité sur la qualité des eaux du canal Naviundu: Cas de l'usine Chemical of Africa (CHEMAF) Lubumbashi/Katanga, RD. Congo

[Influence of a hydrometallurgical plant in active on the water quality of the Naviundu channel: Case of the Chemical Plant of Africa (CHEMAF) Lubumbashi / Katanga, DR. Congo]

S. Kashimbo Kalala¹, B. Mongoli Mwangi¹, P. Kazadi Kanyama², and M. Mpundu Mubemba¹

¹Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825, R.D. Congo

²Département de Biochimie, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Lubumbashi (2012), B.P 1825, R.D. Congo

Copyright © 2015 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: Analysis of physicochemical parameters (T°, pH, EC, ORP) and ETM along the Naviundu channel on the water and the sediment was made to establish a diagnosis of the state of surface water of the river downstream of the plant hydrometallurgical Chemical of Africa (CHEMAF). Thus, samples were taken from nine stations in the rainy season. In view of the physico-chemical parameters measured on water samples, it is easy to conclude that it is of poor quality and can be of no use without prior treatment.

Laboratory results on water samples show extremely high values for Cu, Co and U 9903, respectively, 29,758 and 0,016 mg/L at the exit of effluent CHEMAF factory, station 1. The Pb and Cd were also high levels exceeding the WHO standard in all stations although they decrease with increasing distance from the CHEMAF factory. The iron in the sediment comes from the soil geochemical background and presents correlations with ETM especially in remote stations of the plant while Cu and Co have a higher content of the guidelines of the sediment quality.

The presence of high concentrations of Cu, Co, U, Cd and Pb in water and sediment at the first station (SW1) adequately demonstrates that the effluent from the metallurgical activities CHEMAF plant does not undergo treatment before to be discharged into the river Naviundu whose self-purifying capacity is limited.

KEYWORDS: Contamination, Surface water, effluent, CHEMAF, physicochemical parameters, ETM.

RESUME: L'analyse des paramètres physico-chimiques (T°, pH, C.E, ORP) et d'ETM le long du canal Naviundu sur l'eau et le sédiment a été faite pour établir un diagnostic de l'état des eaux de surface de cette rivière située en aval de l'usine hydrométallurgique Chemical of Africa (CHEMAF). Ainsi, des prélèvements ont été effectués dans neuf stations en saison des pluies. Au regard des paramètres physico-chimiques mesurés sur les échantillons d'eau, il est aisé de conclure que celle-ci est de mauvaise qualité et ne peut faire l'objet d'aucun usage sans traitement préalable.

Les résultats de laboratoire sur les échantillons d'eau montrent des valeurs extrêmement élevées pour le Cu, le Co et l'U respectivement 29.758, 29.758 et 0.016 mg/L à la sortie des effluents de l'usine CHEMAF, à la station 1. Le Pb et le Cd ont des teneurs élevées dépassant aussi la norme de l'OMS, dans toutes les stations bien qu'ils diminuent à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. Le fer présent dans le sédiment provient du fond pédogéochimique et présente des corrélations avec les ETM surtout dans les stations éloignées de l'usine tandis que le Cu et le Co présentent une teneur supérieure aux directives de la qualité des sédiments. La présence des teneurs élevées en Cu, Co, U, Cd et Pb dans l'eau et le sédiment à la première

station (SW1) démontre à suffisance que les effluents issus des activités métallurgiques de l'usine CHEMAF ne subissent pas de traitement avant d'être déversés dans le canal Naviundu dont la capacité auto-épuratrice est limitée.

MOTS-CLEFS: Contamination, Eaux de surface, Effluent, CHEMAF, Paramètres physico-chimiques, ETM.

1 INTRODUCTION

Dans la province du Katanga, les rivières et les sédiments sont sous une sérieuse menace de dégradation résultant des décharges régulières des effluents riches en polluants, provenant des usines de traitement, d'enrichissement et de production des cathodes de cuivre[1]. L'exploitation minière par les entreprises ainsi que celle artisanale, les procédés métallurgiques à différents stades sont à l'origine de la pollution de l'air, des eaux de surface et des sédiments par suite des émanations des gaz d'usine, des poussières augmentées par l'activité d'exploitation mais également des rejets accidentels ou volontaires des effluents liquides chargées en substances dangereuses dans les cours d'eau [2]. Le procédé hydrométallurgique consiste à dissoudre les minéraux de cuivre et de cobalt dans de l'acide sulfurique dilué, à débarrasser mécaniquement de sa gangue, la solution de sulfate ainsi obtenue pour soumettre la solution la plus pure possible à l'électrolyse [3]. Les résidus minéraux ainsi que les effluents liquides qui en découlent sont rejetés dans l'environnement (rivières) [4]. Ils sont soit des stériles, soit des solutions de stériles, ou des boues et scories. Les scories et stériles sont généralement entreposés en tas sur le site industriel, ou valorisées comme remblais et les effluents relâchés dans la nature souvent sans aucun traitement préalable. Du dioxyde de soufre est également émis [5] et donne lieu à la production d'acide sulfurique, à l'origine des pluies acides.

Le canal Naviundu souffre d'un problème de pollution par les éléments traces métalliques, sous l'effet de la pression de l'usine CHEMAF, pratiquant l'hydrométallurgie du cuivre qui génère des volumes importants d'effluents liquides et de boues. Ces effluents, en général acides, sont souvent toxiques car ils peuvent renfermer des éléments tels que l'arsenic, le plomb, le cadmium, le chrome [6]. Ces effluents non traités au regard des résultats obtenus sur la concentration d'ETM dans les eaux de surface et le sédiment au point de sortie (SW1 et SD 1) sont déversés dans le canal Naviundu. Ceux-ci sont responsables des déséquilibres éco-systémiques observés actuellement le long de celle-ci et sont à l'origine des pathologies respiratoires, dermatologiques observées sur la population du quartier Tshamilemba et représentent la principale source de contamination par des métaux toxiques pour les milieux aquatiques, y compris l'eau et le sédiment [7]. A cette première cause, on ajoute la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui provoque de nombreuses perturbations pour les milieux naturels [8], l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides, le passage intense des véhicules et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs [9], mais aussi altérer les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.)[10].

L'objectif principal de cette présente étude consiste à étudier l'impact des activités de traitement, d'enrichissement et de production de cuivre et d'acide sulfurique de l'usine Chemical of Africa (CHEMAF) en activité sur la qualité des eaux de surface du canal Naviundu. Un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la pollution de l'eau et de sédiments et un suivi rigoureux de son évolution sur le canal Naviundu ont été mis en place pour comprendre les mécanismes de dissipation des ETM dans l'eau. Des échantillons d'eau et de sédiments ont été récoltés sur le terrain, au quartier Tshamilemba le long du canal CHEMAF (SW1, SW2, SW3) et Naviundu (SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW9) et ont fait l'objet d'analyse chimique au laboratoire pour connaître leurs niveaux de concentration dans le but d'en déduire les conséquences liées à leurs fortes teneurs afin d'envisager ensemble avec l'entreprise des pistes des solutions durables pour une gestion durable de cette ressource naturelle difficilement renouvelable.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE

Cette étude a été menée en République Démocratique du Congo, dans la province du Katanga réputée comme celle où les activités d'exploitation minière, de traitement métallurgique et d'enrichissement des minerais affectent pratiquement l'environnement dans toutes ses facettes dans la province du Katanga. Le quartier Tshamilemba est situé non loin du centre ville de Lubumbashi, dans la commune annexe, de la chefferie Kaponda le long du canal Naviundu. Le canal Naviundu est l'un des affluents de la rivière Kafubu, son importance vient du fait qu'elle traverse la ville de Lubumbashi. Malheureusement, son

trajet présente différents biefs caractérisés l'un par l'entrée des eaux usées (effluents industriels) déversées par l'usine Chemical of Africa (CHEMAF) dans sa première partie (les cinq premiers points) et l'autre par des eaux usées domestiques rejetées par la population vivant le long de celle-ci. Le site d'étude est situé à 1257 m d'altitude, à 11°39'00.67" de Latitude Sud et à 27° 29'57.72" de Longitude Est. Du point de vue climat régional, Lubumbashi et ses environs sont caractérisés par une température moyenne annuelle de 20°C. Le régime pluviométrique est caractérisé par une saison des pluies (Novembre à Mars), une saison sèche (Mai à Septembre) et deux mois de transition (Octobre et Avril). Pour la période de 1985 à 2005, la moyenne générale des précipitations annuelles a été de 1100.1mm/an [11].

Neufs points s'étalant de l'amont en aval du canal Naviundu ont été retenus afin de vérifier la qualité des eaux de surface par la mesure des paramètres physico-chimiques ainsi que par l'analyse de la concentration des éléments traces métalliques étant donné que la source probable de pollution est connue. Les points de prélèvement des échantillons d'eau et des sédiments sont repris sur l'image Google Earth ci-dessous (Figure 1).

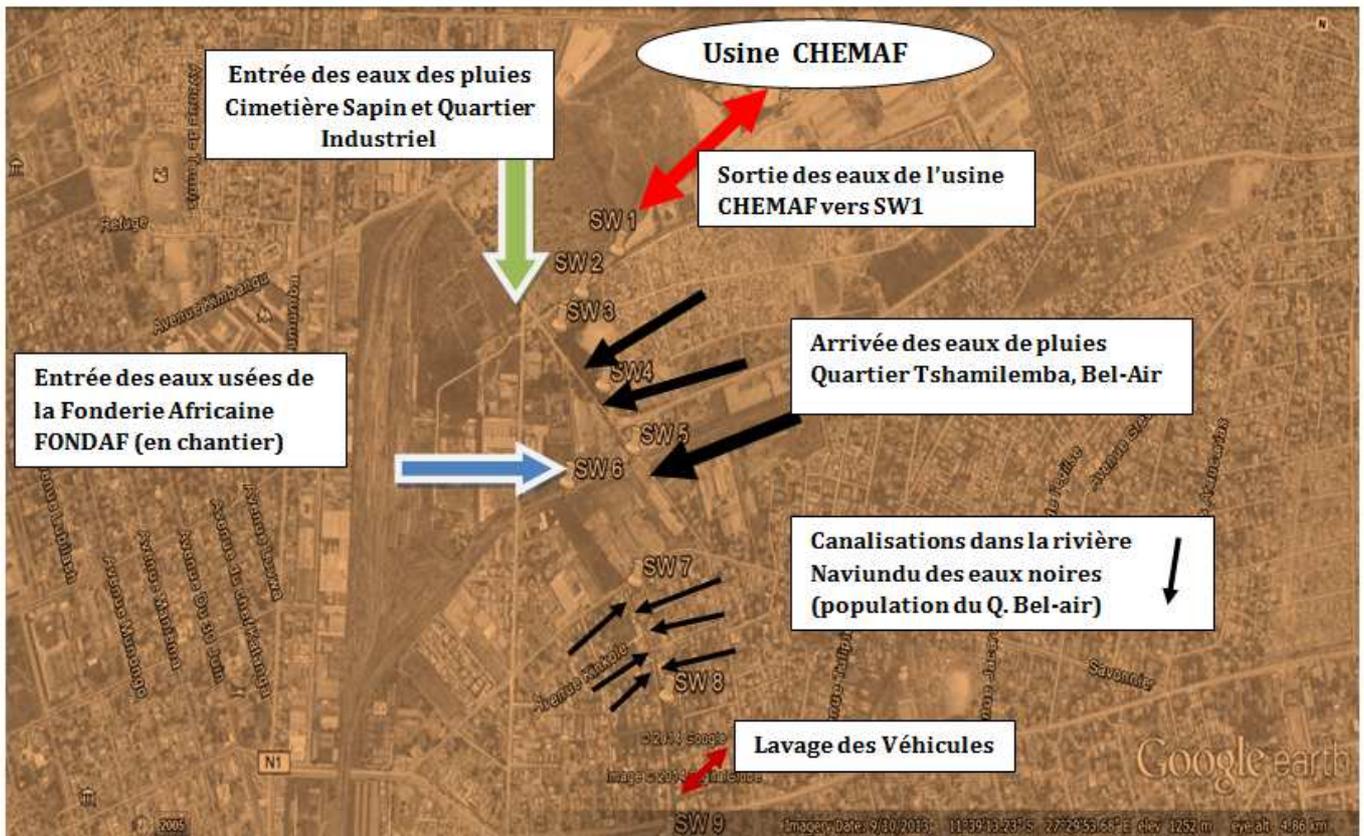


Fig. 1. Localisation de la zone étudiée et des points de collecte (SW1 à SW9)

2.2 METHODOLOGIE DE TERRAIN POUR PRELEVER LES ECHANTILLONS D'EAUX ET DES SEDIMENTS

Le choix des neuf points de collecte des échantillons d'eau et de sédiments a été basé sur la possibilité de comparer les résultats de cette étude avec ceux des autres réalisées dans la même zone, sachant que les conditions hydrodynamiques sont globalement comparables d'un point à l'autre. Un transect de 8 Km a été établi le long du canal Naviundu, partant de la sortie des eaux de l'usine CHEMAF (premier point) jusqu'au pont jeté sur la chaussée de Kasenga (dernier point). Ce transect de 8Km est reparti en deux biefs le long du canal Naviundu, le premier constitué de cinq points, part de la sortie des eaux de l'usine CHEMAF jusqu'au cinquième point caractérisé par le brassage des eaux de CHEMAF avec celles des pluies, et celles venues des travaux ménagers de la population de Tshamilemba et Bel-air. Le deuxième part du sixième point caractérisé par l'entrée dans la rivière des eaux venues des travaux de construction effectuée au sein de la FONDAF jusqu'au dernier point. L'on note au cours du deuxième bief, la présence des maisons de fortune construites le long du canal Naviundu, sans collecte des eaux résiduelles, l'on constate également des décharges des déchets d'ordures ménagères à côté de celle-ci. Ces deux situations constituent une source supplémentaire susceptible d'apporter des lixiviats dans ce cours d'eau. Les points de collectes sont espacés de 300 à 400 m le long de ce transect, entre la sortie des eaux de l'usine et son passage au neuvième

point avant d'atteindre le lit de la rivière Kafubu. Le tableau ci-dessous reprend la première campagne d'échantillonnage de l'eau et des sédiments (**Tableau 1**).

Tableau 1: Coordonnées des points de collecte des échantillons d'eaux et des sédiments.

Identification	Coordonnées géographiques		Végétation autour du point de prélèvement	Caractéristiques autour au point de prélèvement	Activité autour du point de prélèvement
	Latitude	Longitude			
SW001 SD001	11°39'.01.7"	27°29'.44.9"	<i>Tithonia diversifolia</i> <i>Bidens pilosa</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Setaria palidifusca</i> <i>Celosia trigyna</i>	Sortie des eaux de l'usine CHEMAF, présence des fenestrations laissées au pied du mur vers le canal CHEMAF	Aucune activité humaine
	Altitude : 1246m				
SW002 SD002	11°39'.05.5"	27°29'.41.7"	<i>Tithonia diversifolia</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Imperata cylindrica</i> <i>Setaria palidifusca</i> <i>Celosia trigyna</i>	Présence d'une décharge d'ordures ménagères et des déchets divers	Aucune activité humaine
	Altitude : 1247m				
SW003 SD003	11°39'.08.4"	27°29'39.8"	<i>Tithonia diversifolia</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Celosia trigyna</i> <i>Leuceana leucocephala</i>	Sortie des eaux de CHEMAF vers le canal Naviundu Entrées des eaux du Cimetière Sapin et du Quartier Industriel	Aucune activité humaine
	Altitude : 1248m				
SW004 SD004	11°39'.12.6"	27°29'.44.9"	<i>Leuceana leucocephala</i> <i>Celosia trigyna</i>	Brassage des eaux de pluies avec celles de CHEMAF et du Q. Tshamilemba	Aucune activité
	Altitude : 1247m				
SW005 SD005	11°39'.17.1"	27°29'.48.6"	<i>Celosia trigyna</i> <i>Panicum maximum</i> <i>Tithonia diversifolia</i> <i>Setaria palidifusca</i>	Brassage des eaux de CHEMAF avec celles des travaux ménagers de Tshamilemba, celles de pluies et du Q. bel-air	Aucune activité humaine
	Altitude : 1245m				
SW006 SD006	11°39'.20.6"	27°29'.42.3"	<i>Panicum maximum</i> <i>Tithonia diversifolia</i> <i>Setaria palidifusca</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Celosia trigyna</i>	L'eau de CHEMAF, celles des travaux ménagers de Tshamilemba plus celles venues de FONDAF	Aucune activité humaine
	Altitude : 1243m				
SW007 SD007	11°39'.27.3"	27°29'.50.2"	<i>Manihot esculanta</i> <i>Tithonia diversifolia</i> <i>Carica papaya</i> <i>Mangifera indica</i>	Des jardins familiaux utilisent de l'eau dérivée de trois sources citées au SW006	Nettoyage des véhicules
	Altitude : 1245m				
SW008	11°39'.35.7"	27°29'.54.5"	<i>Tithonia diversifolia</i> <i>Imperata cylindrica</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Convolvulus sagittatus</i>	Canalisations des eaux noires dans la rivière par la population le long de celle-ci	Aucune activité humaine
	Altitude : 1238m				
SW009 SD009	11°39'.46.3"	27°29'.55.9"	<i>Tithonia diversifolia</i> <i>Cynodon dactylon</i>	Rejet des immondices, des eaux noires, canalisation des fosses septiques	Nettoyage des véhicules
	Altitude : 1236m				

SD008 : Manquant suite à la vitesse élevée de passage de l'eau à ce point.

2.3 ECHANTILLONNAGE DES EAUX DE SURFACE ET DES SEDIMENTS

Une campagne de prélèvement d'échantillons d'eaux et des sédiments a été effectuée au cours du mois d'Avril, pendant la saison des pluies. 9 échantillons d'eaux contre 8 des sédiments ont été prélevés à chaque station préalablement établi le long du canal Naviundu dans les bouteilles en polyéthylène et dans les sachets.

Afin de minimiser la contamination des échantillons pendant l'étape de collecte, des méthodes propres ont été employées afin de réduire au strict minimum les risques de contaminer les échantillons d'eau et aboutir aux données biaisées: pré lavage au détergent du matériel, calibrage de l'appareil avec des solutions tampon universelles, nettoyage de l'appareil à l'eau distillée, port de gants en latex sans talc par le collecteur, mise en sac plastique étanche du conteneur de chaque échantillon d'eau ou de sédiment, conservation à 4°C pendant le transport et avant l'expédition au laboratoire pour analyse [12]. À chaque point de collecte, un litre d'eau a été prélevé manuellement à mi-profondeur dans une bouteille en polyéthylène décontaminée avec de l'eau distillée. Prés des berges du cours d'eau, quatre sous-échantillons de 250 ml de sédiments superficiels ont été prélevés dans le lit de la rivière avec une spatule, puis homogénéisés. Ces échantillons ont été transférés dans un sac plastique préalablement décontaminé pour l'analyse des éléments traces métalliques (ETM) [13].

2.4 MESURES SUR TERRAIN

Au moment de l'échantillonnage, les mesures de température, de pH, de la conductivité électrique et du potentiel d'oxydo-réduction(ORP) ont été effectuées à l'aide de l'appareil de mesure portable Multi probe de marque HACH HQ40d/Multi, alors que les coordonnées géographiques à chaque point ont été prises au moyen d'un GPS.

2.5 MATÉRIELS

2.5.1 MATÉRIELS À ANALYSER

2.5.1.1 L'EAU

Les effluents liquides (Eau) issus des procédés de lavage, de traitements métallurgiques et d'enrichissement des minerais par l'entreprise CHEMAF constituent le matériel sur lequel des mesures devront être effectuées dans cette étude. Ceux-ci étant chargés en substances toxiques sont déversés dans le canal Naviundu, qui se situe en aval de ce complexe industriel érigé au cœur du quartier Tshamilemba.

2.5.1.2 LE SÉDIMENT

Les sédiments seront utilisés comme substrat sur lequel des mesures devront être faites, afin de déterminer les phases porteuses d'ETM, qui joue un rôle important dans l'absorption et la libération des ETM en milieu aquatique.

2.5.2 MATÉRIELS DE TERRAIN

La phase de terrain a nécessité pour être conduite, la présence d'un certain nombre des Matériels tels que repris ci-dessous :

- Le GPS ;
- Le Multi-probe HACH HQ40d/Multi ;
- Les bouteilles plastiques ;
- Les sachets en polyéthylène ;
- Les gants en latex sans talc ;
- La spatule ;
- Les formulaires de prise des paramètres de terrain ;
- L'eau distillée ;
- Le détergent ;
- Le sac plastique dur pour le transport des échantillons.

2.6 MÉTHODE DE LABORATOIRE

2.6.1 CONDITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons d'eau ont subi une digestion acide simple, conformément aux méthodes standards pour l'examen des eaux potables et usées un volume de 10 ml de chaque échantillon d'eau préalablement acidifié est placé dans une éprouvette à laquelle est ajoutée un volume de 0,5 ml d'acide nitrique ultra pur (concentration résiduelle en ETM < 10ppb), puis les éprouvettes sont mise dans un bloc chauffant à 105°C sous une hotte pendant 2h sans atteindre l'ébullition. Une fois refroidies, les éprouvettes sont diluées à 10 ml avec de l'eau ultra-pure type I ASTM puis stockées à 4°C en attendant les analyses [13]. Les échantillons des sédiments ont été séchés à l'air, à la température ambiante, puis broyés et tamisés au travers d'un passoir de grosseur de maille de 1.4.µm recommandé dans la démarche d'analyse des sédiments. Environ 1g de sédiment tamisé a été digéré afin d'être soumis à l'analyse [14].

2.6.2 LES ANALYSES À RÉALISER

2.6.2.1 TENEUR EN ETM DANS L'EAU

Les échantillons d'eau ont été analysés par Induction Couplée de spectroscopie de masse Plasma (*ICP de marque VARIAN*). L'objectif étant de déterminer les concentrations en ETM dans l'eau en tenant compte des limites de détection de l'appareil fixées pour chaque élément métallique. Il s'agit de: Cu, Co, Cd, Pb, U. D'autres paramètres physico-chimiques seront analysés dans les échantillons d'eau, il s'agit de: pH, C.E.

2.6.2.2 TENEUR EN ETM DANS LES SEDIMENTS

Les échantillons de sédiments ont subi aussi l'analyse à l'Induction Couplée de spectroscopie de masse Plasma (*ICP de marque VARIAN*) afin de déterminer les concentrations en éléments traces métalliques. Il s'agit de: Cu, Co, Cd, Pb, U, Fe, Mn ainsi que du pH.

2.7 TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour les échantillons d'eaux et de sols, les résultats de laboratoire seront comparés aux normes internationales déterminées par l'organisation mondiale de la santé (OMS). Les résultats d'analyses de laboratoire ont été traités à l'aide du logiciel Past, présentés dans les tableaux et sous forme de graphiques.

3 RÉSULTATS

Les tableaux 3, 4, 5, 6 ci-dessous présentent les résultats obtenus après analyse de laboratoire sur les rejets des effluents dans les eaux de surface et des sédiments de l'usine CHEMAF le long du canal CHEMAF et Naviundu ((**Tableau 2**)).

Tableau 2 : Paramètres de qualité de l'eau pris sur le terrain à l'aide du Multi-probe

Site ID	Date	Time	pH	C.E	ORP	Temp. /pH	Temp./C.E	Identité de l'
	(M/J/A)	(24h)	S.U	µS/Cm	mV	(°C)	(°C)	échantillon
SW1	04.05.2014	07:05	7.38	1073	-1	24.7	24.5	04052014SW001
SW2	04.05.2014	07:45	7.28	1084	5.1	25	25.3	04052014SW002
SW3	04.05.2014	08:20	7.51	968	-8.7	25.2	25.3	04052014SW003
SW4	04.05.2014	08:45	7.55	920	-10.7	24.5	24.6	04052014SW004
SW5	04.05.2014	09:15	7.56	427	-11.6	24.8	25.3	04052014SW005
SW6	04.05.2014	09:50	8.79	226	-84	26	26.8	04052014SW006
SW7	04.05.2014	10:35	8.25	1805	-52.4	26.1	26.9	04052014SW007
SW8	04.05.2014	10:55	7.83	1820	-27.3	26.4	26.3	04052014SW008
SW9	04.05.2014	11:15	7.79	955	-25.4	27.9	28.8	04052014SW009

pH: potentiel Hydrogène, ORP: Potentiel d'oxydo-réduction, C.E: Conductivité électrique, ID : Identité de l'échantillon

Au regard des paramètres physico-chimiques ci-haut repris dans le tableau 3, il ressort que le pH varie entre 7.28 à la station SW2 et 8.79 (SW6). En général le pH est neutre dans toutes les stations, excepté la sixième et la septième influencées par l'entrée des eaux de pluies et des rejets directs qui sont composés des effluents domestiques, artisanaux et industriels. Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 226 et 1820 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. La plus faible conductivité a été observée à la station 6, tandis que la plus élevée à la huitième. On notera qu'en amont de ce point 8, l'entrée des canalisations d'eau de diverses natures dans la rivière, celles-ci viennent des maisons d'habitation construites le long du canal Naviundu. Le potentiel redox est négatif au niveau de toutes les stations exceptées, la deuxième. Tandis que la température varie entre 24°C tôt le matin à 7h à la première station (SW1) et 28°C à 11h à la dernière station (SW9) (**Figure 2**).

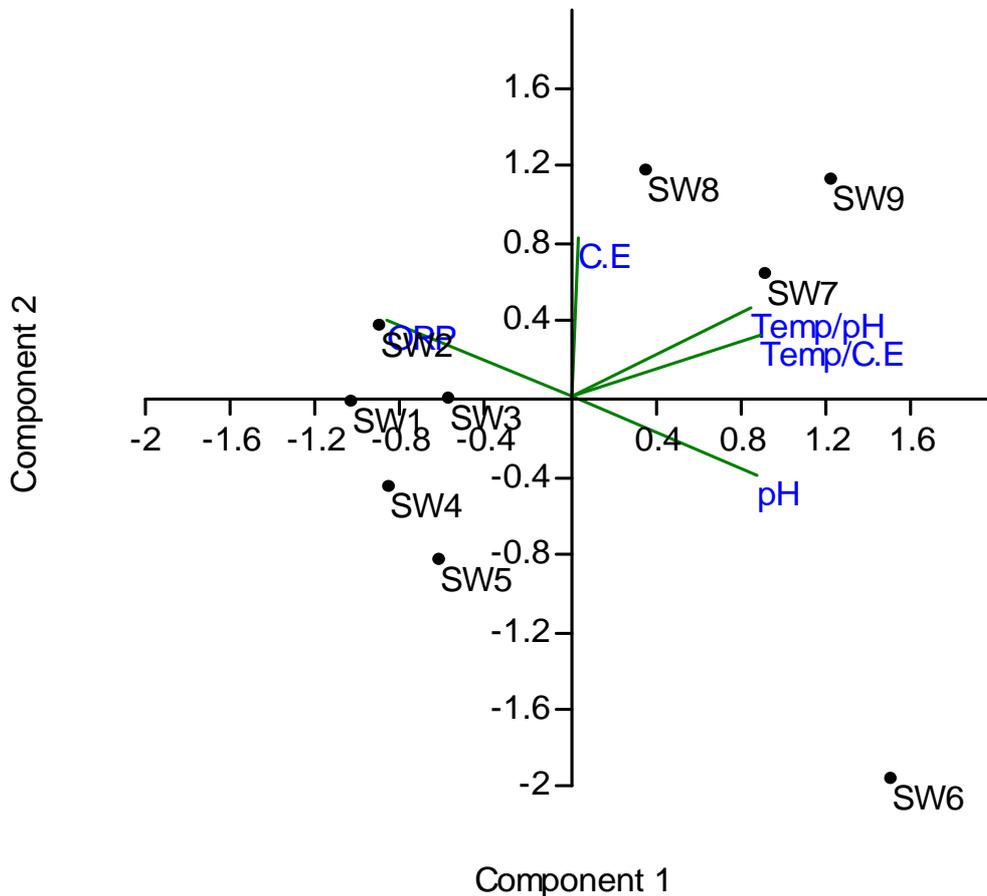


Figure 2 : Analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques dans l'eau

En examinant la figure 2 ci-dessus montrant les corrélations entre les paramètres physico-chimiques, il ressort que les deux températures présentent une corrélation positive très hautement significative [0.96952] entre elles et cela s'observe au niveau de la 7^{ième}, 8^{ième} et 9^{ième} stations. Par contre ces deux températures ont une corrélation positive, faiblement significative avec la conductivité électrique, ce qui signifie que l'augmentation de la température s'accompagne de celle de la conductivité de l'eau. Les deux températures présentent enfin une corrélation positive avec le pH mais l'on notera que celle entre [Temp C.E/pH] est moyennement significative [0.55049]. Le pH et la conductivité électrique sont positivement significativement corrélés [0.72522], plus le pH augmente (devient basique), la conductivité diminue, cas de la station 7, par contre la huitième et la neuvième montrent une réaction inverse. Le pH et l'ORP sont négativement corrélés, par contre la conductivité et l'ORP ont une corrélation positive faiblement significative (Tableau 3)

Tableau 3: Concentration en ETM dans l'eau de surface prélevée à chaque station (mg/L)

ID	Cu	Co	Pb	Cd	U	pH
SW001	9,903	29,758	0,335	1,65	0,016	6,7
SW002	5,829	26,59	0,311	2,15	0,013	6,48
SW003	3,069	24,877	0,109	1,13	0,012	7,03
SW004	1,615	23,062	0,312	0,95	0,009	7,07
SW005	1,192	11,098	0,181	2,04	0,006	7,06
SW006	0,748	4,515	0,324	1,87	0,004	7,33
SW007	0,418	2,271	0,117	0,74	0,004	7,25
SW008	0,261	2,158	0,105	0,56	0,001	7,38
SW009	0,174	0,303	0,045	0,02	0,001	7,31
*Reference (OMS)	2	-	0.01	0.003	0.015	6.5-9.5

* : Les lignes directrices de l'OMS concernant la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006

Les valeurs de pH des effluents varient de 6.7 à 7.31, elles sont donc relativement neutres. L'acidité diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. Les concentrations moyennes de cuivre, cobalt à la sortie de l'usine dépassent les valeurs de référence admises par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) aux premières stations proches de l'usine CHEMAF. Ces résultats montrent que la concentration en cuivre, cobalt diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine de CHEMAF. Ceci laisse voir que les effluents issus des activités métallurgiques de l'usine CHEMAF ne subissent pas de traitement suffisant avant d'être déversés dans le canal Naviundu dont la capacité auto-épuratrice est limitée [15]. Les concentrations en plomb et cadmium sont très élevées au niveau de toutes les stations comparativement aux seuils fixés respectivement à 0.01 et 0.003 mg/L dans l'eau. Les teneurs d'ETM ont été comparées aux valeurs de référence de l'eau de boisson selon l'OMS du fait que les cours d'eau (rivières, fleuves, lacs) constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable des populations rurales [16]. La concentration en uranium est légèrement supérieure à la sortie de l'usine (SW1) et dépasse la valeur seuil de l'OMS fixé à 0.015mg/L pour l'uranium, on note également une même tendance de diminution des teneurs comme pour tous les éléments. Au regard de ces résultats, on constate que la concentration en ETM dans les sédiments est liée à la distance, plus on s'éloigne de l'usine CHEMAF, moins sont concentrés les ETM dans l'eau et les sédiments (Figure 3).

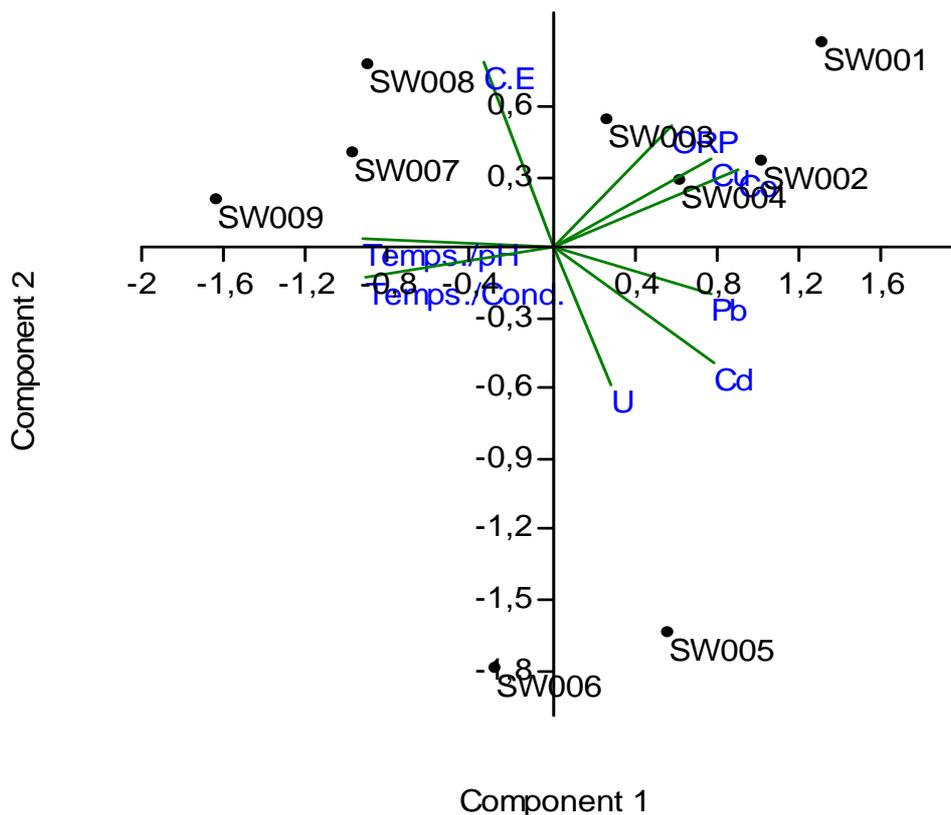


Figure 3 : Analyse en composantes principales des ETM prélevés dans les eaux de surface

L'examen de la Figure 3 basée sur l'Analyse en composantes principales d'ETM prélevés dans les eaux de surface issues des effluents rejetés dans le canal CHEMAF et le canal Naviundu (matrice de corrélations : échantillons ; matrice de variables : ETM) expliquant 55% de variabilité. On observe une corrélation positive hautement significative entre le cuivre et le cobalt [Cu/Co: 0.81727], ceci confirme l'existence d'une association entre le cuivre et le cobalt de la variabilité totale et entre le cadmium et le plomb qui présentent aussi une corrélation positive significative [Cd/Pb: 0.72358]. On note également une corrélation positive, significative entre le cobalt et l'uranium [Co/U: 0.79649]. Les stations SW1, SW2, SW3 et SW4 formant le bloc à droite présentent des enrichissements en cuivre et cobalt comme le montre la figure 3, par ailleurs les sites SW5 quant à lui présente des enrichissements en plomb et cadmium. Par contre les stations SW6, SW7, SW8, SW9 formant un bloc à gauche enregistrent un appauvrissement en ces ETM (Tableau 4)

Tableau 4: Concentration en éléments traces métalliques dans les sédiments récoltés (mg/kg)

ID	pH	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Al	Cu	Co	Cd	Pb	U
SD001	6,82	50.08	34.20	0.75	120,80	47,40	0,98	45,40	37,80	0,48	0,34	0,13
SD002	6,02	2.08	10.84	0.39	98,60	18,84	2,62	34,50	5,86	0,40	0,04	0,16
SD003	5,96	12.36	21.78	0.40	131,60	7,68	11,44	12,68	5,84	0,32	0,22	0,07
SD004	7,02	10.76	18.38	0.317	157,40	4,78	0,87	13,18	3,08	0,22	0,52	0,07
SD005	6,35	15.52	15.18	0.31	139,80	4,52	15,07	9,48	4,08	0,22	0,42	0,07
SD006	6,610	22.98	14.70	0.28	103,40	2,04	1,29	7,34	3,20	0,022	0,48	0,06
SD007	6,00	3.42	8.82	0.41	100,20	0,10	2,74	0,16	0,58	0,46	0,04	0,12
SD008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD009	6,95	2.398	7.8	0.48	142,80	0,14	17,19	0,16	0,54	0,42	0,02	0,08
*Valeurs Guides	-	-	-	-	20	-	-	35	35	-	35	-

* : Directives de qualité de sédiments: Recommandations pour la protection de la vie aquatique

(Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life).

Le pH est relativement acide le long du canal CHEMAF avec un pH acide de 5.965 à la troisième station où l'on trouve des déchets (ordures ménagères de diverses natures) dans les sédiments récoltés. L'analyse des résultats du tableau 5 laisse voir que le cuivre dans les sédiments présentent une concentration élevée aux deux premières stations (SD001: 45.4 mg/kg, SD002: 34.5 mg/kg), celle-ci dépasse la valeur de référence fixée à 35mg/kg pour la protection de la vie aquatique [17]. Elle diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source de contamination. Par contre le cobalt présente la concentration élevée à la station 1, 37.8 au lieu de 35 mg/kg exigés par les directives de la qualité de sédiments. Comme pour l'eau, on remarque aussi que la concentration des ETM (Cu, Co, Mn) dans le sédiment diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. Le brassage des eaux issues des effluents de CHEMAF avec celle des pluies diminuent généralement la teneur d'ETM dans les sédiments par l'effet de dilution [18]. Le fer présent au niveau de chaque station, montre de concentrations élevées qui dépassent la valeur limite reprise par les directives de qualité de sédiments pour la protection de la vie aquatique (Figure 4).

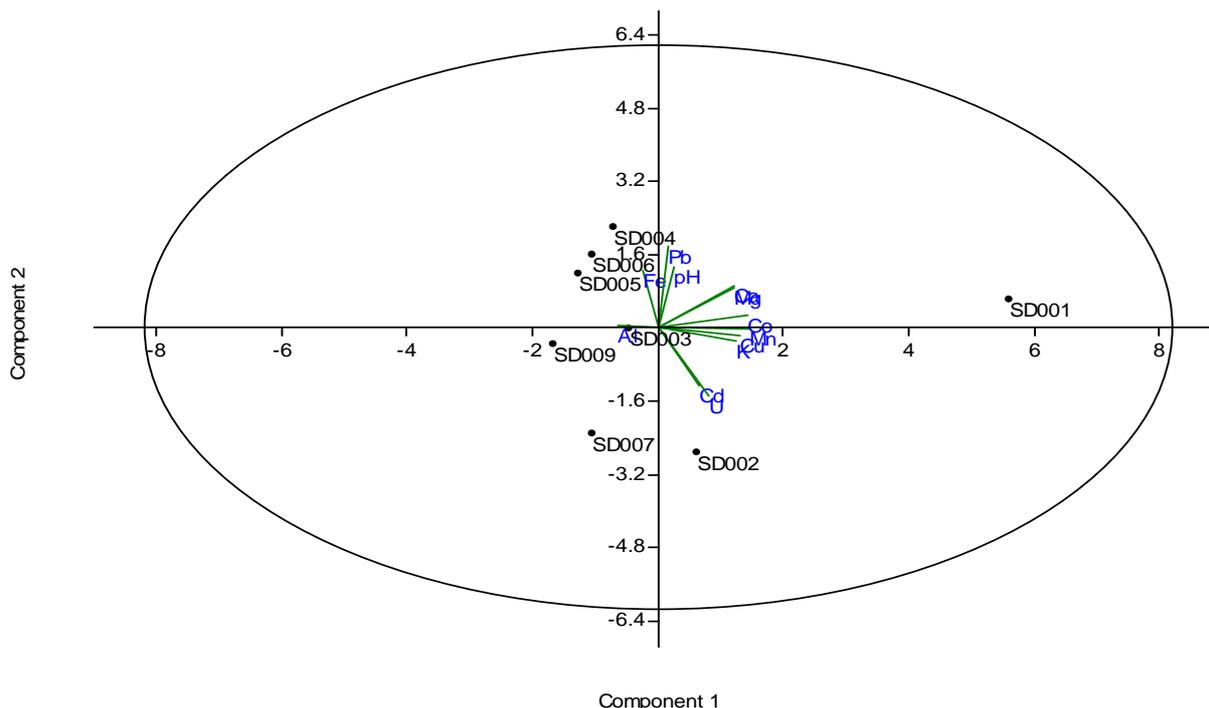


Figure 4 : Analyse en composantes principales d'ETM dans les sédiments prélevés

En se référant à la matrice de corrélation de Pearson et à la figure 4, on se rend compte de l'existence de plusieurs corrélations positives, faiblement, légèrement, moyennement et hautement significatives mais l'attention sera portée sur les plus importantes, ceci afin d'expliquer l'origine de la présence et de la répartition d'ETM dans les sédiments. Le pH présente des corrélations positives avec les Ca, Mg, Mn, K, Fe bien qu'étant légèrement significatives, avec le Co, une corrélation positive significative et très hautement significative avec le Cu [0.94889] et l'Al [0.9411]. Il en est de même du Cu, Co, Pb. En résumé, le gradient de pH neutre (7.11) explique la présence et la répartition de ces éléments dans les sédiments. Le Cu quant à lui présente des corrélations positives, significatives avec le Ca, Mg, K et des corrélations positives très hautement significatives avec le Mn [0.93885] et le Pb [0.84074]. En examinant le graphique 4, l'on remarque l'isolement de la station 1, la deuxième se rapprochant un peu, ce qui laisse voir au regard de la projection des axes du Cu, Cd, Pb, U, K, Mn, Mg, Ca influencés par le pH vers la station 1, la forte concentration des ETM dans celle-ci, puis la deuxième ensuite la troisième et la cinquième stations sous une forte influence du Fe et de l'Al pendant que la quatrième est seulement influencée par une forte concentration en Fe. Les autres stations c'est-à-dire 6, 7, 8 et 9 très éloignées de la première présentent de faibles concentrations en ETM, ceci rejoint la théorie de la diminution des teneurs en ETM liée à l'éloignement de la source de pollution aussi observée sur les échantillons d'eaux.

4 DISCUSSION

4.1 LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DANS L'EAU

TEMPERATURE DE L'EAU

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées oscillent entre 24°C, à la première station (SW1) et 28°C à la dernière (SW9). Ces variations de température ne suivent pas tellement celles du climat de la région, qui enregistre une moyenne annuelle de 20°C [11]. Les températures ainsi mesurées sur le canal Naviundu appartiennent à la classe de moins bonne à mauvaise. Elle est le facteur physico-chimique qui détermine un grand nombre des processus biologiques et chimiques se déroulant dans l'eau. Ainsi, les températures mesurées sur les échantillons d'eau sont élevées et pourraient contribuer à l'accélération des processus biologiques et chimiques avec le réchauffement de l'eau, à la solubilité des gaz dans l'eau et surtout à la dissociation des sels dissous et des complexes métalliques [19] [20]. Ce qui justifie le passage du cuivre dans la phase aqueuse et sa concentration dans le sédiment par précipitation.

LE POTENTIEL REDOX (POTENTIEL D'OXYDO-REDUCTION ORP)

Le potentiel redox affiche des valeurs négatives dans toutes les stations exceptées, la deuxième avec 5.1mV. Un potentiel négatif signifie que la solution est réductrice et celui positif que la solution agit comme un oxydant, on constate que les mesures faites au niveau des stations indiquent des valeurs négatives, celles-ci s'accompagnent de plusieurs conséquences sur la qualité de l'eau : la création des substances toxiques, le dégagement de mauvaises odeurs (hydrogène sulfuré) [21]. Les potentiels négatifs rencontrés à la station 1,3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 induisent souvent des valeurs d'oxygène basses dans l'eau (<10% saturation)[article sur les paramètres] ce qui occasionne la libération des phosphates piégés dans le sédiment aggravant les problèmes d'eutrophisation de la rivière [22].

LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Les valeurs moyennes enregistrées, montrent des variations importantes. Elles oscillent entre 226 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à la station S6 en période humide et 1820 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à la station S8 dans les eaux de surface du canal Naviundu dépassant la norme pour les eaux de surface (1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$)[23], indiquant une minéralisation excessive attribuée aux eaux usées des populations qui déversent toute sorte des déchets dans celle-ci (S8). La répartition de la conductivité électrique des eaux étudiées montre une gamme variée des valeurs (diminution, augmentation) pendant la période humide de la campagne. Celle-ci réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales et surtout par l'entrée dans ldes rejets directs (composés des effluents domestiques, artisanaux et industriels) de diverses natures entraînant par le fait, la solubilité et le transport des ETM vers le lit de la rivière, ce qui justifie aussi leurs faible teneur dans l'eau comme dans le sédiment. Au regard de ces valeurs de la conductivité, on peut conclure que l'eau du canal Naviundu ne peut pas permettre une bonne vie aquatique [24].

LE PH

Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin dans toutes les stations du canal Naviundu. En effet, le pH varie entre 7,28 dans la station S2 et 8,79 dans la station S6. Ceci est dû à l'application de la chaux [25] dans l'eau en amont, qui permet de tamponner les eaux qui s'écoulent du canal Naviundu vers la rivière Kafubu. Ce seuil de pH influence la forme de certains composés chimiques qui peuvent devenir toxiques lorsque le pH dépasse certaines limites. En effet, le pH a tendance à augmenter vers la sixième et la septième station influencée par l'entrée des eaux de pluies et des rejets directs puis redevient neutre, ce qui peut être expliqué par la dilution de l'eau [18]. Par la suite, le pH reprend immédiatement les valeurs acquises en amont des stations 6 et 7 avec une faible variation d'une station à l'autre.

4.2 CONCENTRATION DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS L'EAU DU CANAL NAVIUNDU

L'usine CHEMAF est de type hydro-métallurgique et extraie principalement le cuivre, le cobalt en utilisant de grandes quantités d'eau et des procédés chimiques pour enrichir le minerai. Ce type d'usine nécessite des structures adéquates pour gérer les eaux usées, sans les évacuer hors de la concession. Malheureusement celle-ci se livre au déversement des quantités énormes de ses eaux usées dans le canal Naviundu située en aval de celle-ci, sur un versant. Les études hydrologiques indiquent que le sens des écoulements des eaux superficielles vont dans le sens de la topographie c'est-à-dire de l'usine CHEMAF en passant par le quartier Tshamilemba vers la rivière Kafubu (bas-fond). Au regard des résultats obtenus, il se dégage que le cuivre, le cobalt et l'uranium ont été identifiés dans les échantillons d'eau prélevés, à des concentrations très

élevées respectivement 9.993, 29.758 et 0.016mg/L à la première station. Ces teneurs dépassent les normes de l'OMS fixées pour chacun d'eux et démontrent que les effluents liquides déversés dans le canal Naviundu par l'usine CHEMAF ne sont pas traités avant leurs évacuations [4]. Des quantités importantes de ces éléments dans l'eau sont très nuisibles à la vie aquatique [27] et surtout contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau de boisson et des sédiments [27]. La teneur en ces éléments diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF, pour devenir moins significative dans les stations éloignées de l'usine CHEMAF, c'est le cas de dernières stations (SW6, SW7, SW8 et SW9). Par contre le plomb et le cadmium ont été trouvés à des concentrations élevées qui dépassent chacun, la norme de l'OMS dans toutes les stations sur le canal Naviundu. Ces résultats corroborent avec ceux de Banza qui a travaillé sur le même site et ayant trouvé un autre comportement de plomb et cadmium. Dans la présente étude, ces deux éléments présentent des concentrations élevées au niveau de toutes les stations bien que diminuant avec l'éloignement de l'usine CHEMAF, elles restent toujours supérieures à la norme de l'OMS. Cette situation pourrait être justifiée d'une part par le rejet des déchets de diverses natures (batteries, accumulateurs) dans l'eau mais aussi par l'influence du passage répété des véhicules à cote de la rivière, et d'autre part par l'apport d'engrais au sol en culture de maïs réalisée par la population du quartier Tshamilemba comme activité champêtre.

4.2.1 CORRÉLATION ENTRE ETM

L'analyse en composante principale montre une corrélation importante entre le cuivre, le cobalt et l'uranium, étant donné que le gisement exploité à la mine de CHEMAF(Etoile) est cupro-cobaltifère et pourrait avoir des traces des minerais d'uranium. Celui-ci se trouve sur l'arc cuprifère Katangais [28]. C'est ainsi qu'on constate des enrichissements en ces éléments dans la première station (SW1) étant donné que l'usine CHEMAF extraie principalement le cuivre et le cobalt. Cette situation est similaire à une étude menée sur les rivières Lulu et Musonoi par Atibu et al ayant débouché sur des concentrations très élevées en cuivre, cobalt et fer dans l'eau, et cela à proximité des usines de traitement des minerais à KZC et à UZK. Une autre corrélation importante est observée entre le cadmium et le plomb à la deuxième station (SW2) où l'on constate une décharge des déchets ménagers et divers (Batteries, accumulateurs). Les stations SW3, SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW9 ne présentent pas de corrélations et accusent un appauvrissement en ces éléments étudiés. La figure 5 ci-dessous illustre la matrice des corrélations d'une part entre les ETM et d'autre part entre ceux-ci et les paramètres physico-chimiques. (Figure 5)

	Cu	Co	Pb	Cd	U	pH Lab.	pH site	C.E	ORP	Temp/pH	Temp/C.E
Cu	1	0.00715	0.10033	0.17886	0.001169	0.003781	0.10906	0.93435	0.10904	0.12529	0.079137
Co	0.81727	1	0.09097	0.15932	1.43E-05	0.003229	0.0323	0.6764	0.03176	0.009784	0.0051424
Pb	0.58175	0.59504	1	0.027553	0.085037	0.10763	0.87942	0.2492	0.87193	0.044205	0.06991
Cd	0.49166	0.51145	0.72358	1	0.10845	0.070885	0.75397	0.12612	0.74983	0.033138	0.083407
U	0.89347	0.97041	0.60391	0.57081	1	0.001601	0.07233	0.70371	0.071906	0.015317	0.011773
pH Lab.	-0.84909	-0.85603	-0.5719	-0.62673	-0.88312	1	0.03361	0.81531	0.033331	0.062006	0.063247
pH site	-0.57002	-0.70948	-0.0594	-0.12229	-0.62428	0.70583	1	0.72522	1.05E-16	0.21749	0.12457
C.E	-0.03226	-0.16237	-0.429	-0.54862	-0.14812	0.091293	-0.13701	1	0.72571	0.54569	0.79279
ORP	0.57005	0.71101	0.06308	0.1244	0.62499	-0.70659	-0.99998	0.13676	1	0.21406	0.1219
Temp/pH	-0.54962	-0.79902	-0.6792	-0.70713	-0.76953	0.64254	0.45586	0.23334	-0.45889	1	1.58E-05
Temp/C.E	-0.61311	-0.83452	-0.6284	-0.60641	-0.78737	0.64025	0.55049	0.10261	-0.55374	0.96952	1

Figure 5 : Matrice des corrélations entre ETM et paramètres physico-chimiques

4.2.2 CORRELATION ENTRE ETM ET LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Des pH faibles (eaux acides) augmentent le risque de présence des métaux sous forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac toxique pour les poissons [29]. Les pH ont une corrélation entre eux mais aussi et surtout avec la conductivité. Ceux-ci ont une relation de causalité avec les trois ETM, le cuivre, le cobalt et l'uranium. Le pH légèrement acide de deux premières stations explique la présence des métaux dans l'eau, et dans le sédiment à des concentrations relativement élevées, ce qui justifie les valeurs de conductivité élevée. Par contre le potentiel redox négatif dans presque toutes les stations présente une relation de causalité avec le plomb, ce qui permet de conclure que les effluents rejetés par l'usine CHEMAF en mélange avec les eaux du canal Naviundu entraînent la création des substances toxiques ainsi que le dégagement de mauvaises odeurs.

4.3 CONCENTRATION DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES SEDIMENTS

Il est important de connaître l'origine de fortes concentrations des ETM dans les sédiments, car la présence de ces contaminants toxiques peut induire un risque accru d'infection humaine due à leur éventuelle remise en suspension par la turbulence naturelle (mouvement de masse, turbidité) ou d'activités humaines (Travaux de construction, dragage) [30]. La détermination de l'origine d'ETM dans les sédiments implique de choisir un élément métallique normalisateur, généralement l'aluminium ou le fer en raison de leur abondance naturelle dans l'environnement terrestre [31]. Pour ce travail, le fer a été retenu comme élément normalisateur. La concentration en Cu de l'échantillon prélevé dans le lit du canal Naviundu au sortir des eaux (SD001), reste supérieure à la limite de la directive de qualité de sédiments fixée à 35 mg/kg (Tableau 5). Toutefois, les échantillons de sédiments situés en aval de l'usine CHEMAF en activité présentent des concentrations inférieures exception du fer, à la recommandation canadienne pour la protection de la vie aquatique. Ces concentrations peuvent s'expliquer par les rejets de lixiviats non traités qui se déversent dans la rivière à proximité, rejets constatés visuellement par les habitants du quartier à 20 m du point SD001. Lorsque les conditions de pH tendent vers la basicité, et lorsque la vitesse d'écoulement des eaux diminue, certains ETM tels le cuivre, le cobalt, l'uranium deviennent immobiles [32], la sédimentation devient importante, ce qui justifie leurs précipitations et leurs dépôts dans le lit du canal Naviundu. La teneur en fer est élevée à la première station, elle diminue à la deuxième, augmente sensiblement à la troisième, pour atteindre la valeur la plus élevée à la quatrième, puis redescend à 142 mg/kg à la dernière station (SD009). Cette variation irrégulière de la concentration en fer indique clairement l'origine géogène car la théorie de la diminution liée à l'éloignement montre une situation inverse pour le minerai de Fer. Il est clair de constater que le fer est présent dans toutes les stations proches ou éloignées de l'usine CHEMAF qui déverse ses effluents liquides sans aucun traitement préalable dans le canal Naviundu. Etant donné que les sols du Katanga présentent des teneurs normales élevées en fer [34], suite à cette distribution irrégulière de la concentration en fer SD009>SD001, il apparaît clairement que le fer présent dans le sédiment provient du fond pédogéochimique et non des activités de traitement et de production de cuivre par CHEMAF au regard de la carte pédologique (présence des croutes riches en sesquioxydes de fer) [33]. Le sol étant nu à Tshamilemba, le travail de l'eau sous forme d'érosion arrache des particules aux croutes, pour les transporter par ruissellement beaucoup plus loin à la rencontre des eaux ou la vitesse d'écoulement de l'eau diminue, c'est le cas de la station 4. C'est ainsi qu'on constate le fer concentré beaucoup plus dans les stations 3, 4, 5,6 et 9 éloignés de la source de pollution ou il affiche des corrélations avec tous les ETM, [Fe/Mn: 0.69513], [Fe/Cu: 0.61768], [Fe/Co: 0.85602], [Fe/Cd: 0.78666], [Fe/Pb: 0.34566], [Fe/U: 0.12467], par contre les ETM présentent avec le fer des corrélations négatives [Cu/Fe: -0.21], [Co/Fe:-0.077092], [Cd/Fe:-0.11478], [U/Fe:-0.58148], ce qui signifie que le fer explique la répartition des ETM dans le sédiment, mais à des degrés différents.

5 CONCLUSION

Dans la présente étude, il a été question d'examiner la concentration d'ETM dans les échantillons d'eau et de sédiments prélevés dans le canal Naviundu, qui reçoit les effluents miniers de l'usine Chemical of Africa(CHEMAF), situé en amont de celle-ci et du quartier Tshamilemba. L'objectif étant de déterminer les niveaux de concentration en métaux dans ces échantillons d'eau et de sédiment afin d'évaluer le niveau d'exposition humaine due à l'usage de celle-ci pour les différents besoins.

Les résultats d'analyse des échantillons d'eau montrent des valeurs extrêmement élevées pour le cuivre, le cobalt et l'uranium respectivement 9.903, 29.758 et 0.016 mg/L à la sortie des effluents de l'usine, c'est-à-dire à la station 1. Ces valeurs dépassent les seuils fixés par l'OMS pour chacun d'eux (2mg/L Cu, 0.016mg/L U, 0.01mg/L Pb, et 0.003mg/L). Elles diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. Le plomb et le cadmium ont été trouvés à des teneurs élevées qui dépassent aussi la norme de l'OMS, au niveau de toutes les stations bien qu'ils diminuent à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. La présence des teneurs élevées en Cu, Co, U, Cd et Pb au niveau de la première station (SW1) démontre à suffisance que les effluents issus des activités métallurgiques de l'usine CHEMAF ne subissent pas de traitement adéquat avant d'être déversés dans le canal Naviundu dont la capacité auto-épuratrice est limitée. L'analyse en composante principale entre les ETM fait apparaître deux nuages des points. Le premier forme une association d'ETM à savoir le cuivre, cobalt et l'uranium et cela s'observe aux premières stations (SW1, SW2, SW3), ce qui traduit un enrichissement de ces éléments étant donné que la mine de l'étoile qui alimente en minerais bruts l'usine CHEMAF repose sur un gisement cupro-cobaltifère, et le deuxième nuage des points, une association entre le plomb et le cadmium, ce qui traduit un enrichissement de ces éléments, le long du canal Naviundu, justifié par l'impact des activités anthropiques (dépôts des déchets divers : Batteries, piles,..).

Au regard des paramètres physico-chimiques, on note une corrélation positive entre le pH, la conductivité et les températures dans l'eau. Ceux-ci sont corrélés au cuivre, cobalt et uranium. Les valeurs élevées de ces paramètres ainsi que leurs corrélations avec les ETM traduisent la mauvaise qualité de l'eau du canal Naviundu accompagnée des conséquences néfastes sur la santé de la population vivant le long de celle-ci et au quartier Tshamilemba.

La concentration des ETM dans les échantillons de sédiments, prélevés dans le lit du canal Naviundu montre un niveau élevé du cuivre 45 au lieu de 35 mg/kg à la première station (SD001), par contre les autres éléments ont des concentrations qui restent inférieures aux directives de qualité pour la protection de la vie aquatique. Le Cu dans le sédiment diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'usine CHEMAF. Au regard des paramètres physico-chimiques (Températures élevées, conductivité élevée et pH acide,...), ces conditions contribuent à la solubilité des gaz dans l'eau et surtout à la dissociation des sels dissous et des complexes métalliques (W.H.O, 1997). Ce qui traduit que l'eau du canal Naviundu ne peut pas favoriser une bonne vie aquatique et ne doit pas être utilisée pour un quelconque besoin. En se référant à la matrice de corrélations de Pearson, on se réalise de l'existence des corrélations entre le fer et les ETM, étant un élément métallique normalisateur, la variation de sa concentration le long du canal Naviundu dans les sédiments montre très clairement que le fer présent dans le sédiment provient du fond pédogéochimique et non des activités de traitement et de production de cuivre par CHEMAF. Le fer concentré dans les stations 3, 4, 5,6 et 9 éloignés de la source de pollution ou il affiche des corrélations positives, significatives avec les ETM, [Fe/Mn: 0.69513], [Fe/Cu: 0.61768], [Fe/Co: 0.85602], [Fe/Cd: 0.78666], [Fe/Pb: 0.34566], [Fe/U: 0.12467], ce qui signifie que le fer explique la répartition des ETM dans le sédiment, mais à des degrés différents.

REFERENCES

- [1] Banza, C.L.N., Nawrot, T.S., Haufroid, V., Decree, S., De Putter, T., Smolders, E., Kabyla, B.I., Luboya, O.N., Ilunga, A.N., Mutombo, A.M., Nemery, B., 2009. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga. *Environ. Res.* 109, 745–752
- [2] MOULAERT, N., *Emissions de l'industrie métallurgique à Lubumbashi (Shaba - Zaïre) et conséquences sur l'environnement*, Travail de fin d'études inédit, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, 1992.
- [3] GHISLAIN, Y., *GECOMIN. Traitement métallurgique*, in *Les expatriés de Lubumbashi*, [en ligne], <http://lubum2.free.fr/umhk/gecomin/traitement.htm>, page consultée le 10Fevrier 2015.
- [4] Atibu, K.E., Devarajan, N., Thevenon, F., Mwanamoki, P.M., Tshibanda, J.B., Mpiana, T.P., Prabakar, K., Mubedi, I.J., Wildi, W., Poté, J., 2013. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, Kolwezi-Katanga, Democratic Republic of Congo. *Art.* 26, 1-7.
- [5] LETEINTURIER, B., *Early stages of natural revegetation of metalliferous mine workings in South Central Africa. A preliminary survey*, in *BASE, Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, Vol. 3, n°1, 1999, pp. 28-41.
- [6] WINAND R. Hydrométallurgie du cuivre - État actuel de la technique. *Mémoires et Études scientifiques de la Revue de Métallurgie*, mars 1982, p. 125-134.
- [7] Célestin Lubaba Nkulu Banza. *Mining and metal processing in Katanga. Human exposure to metals and health effects. Le secteur minier de la République Démocratique du Congo à la croisée des chemins*. TF MIRECA, GECO, Tervuren, Décembre 2010 ;
- [8] Mc KINNEY M.L. (2002). Urbanization, biodiversity and conservation. *Biosci.*, 52, 880-890.
- [9] MULLISS R.M, REVITT D.M., SHUTES R.B.E. (1997). The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water Sci. Technol.*, 36, 190-199.
- [10] BURTON G.A.JR., PITT R.E. (2001). *Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers*. CRC/ Lewis Publishers, 875p.
- [11] Mukobo, 2007. Evaluation et cartographie des contaminations des sols autour du site de la Gécamines, DEA UNILU, 50p.
- [12] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996, Method 1669 : Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Level, Washington DC, USA, Office of water, 39 p.
- [13] APHA, AWWA et WPC, 1999, Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington DC, USA, APHA , 20^eéd., 1368 p
- [14] CHAPMAN D., 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 and FN Spon, London, pp. 40-126.
- [15] Pardos, M., Benninghoff, C., de Alencastro, L.P., Wildi, W., 2004. The impact of a sewage treatment plant's effluent on sediment quality in a small bay in Lake Geneva (Switzerland–France). Part 1: Spatial distribution of contaminants and the potential for biological impacts. *Lakes Reservoirs: Res. Manage* 2004 (9), 41–52.
- [16] W.H.O. 1998. *Guideline for drinking water quality*, 2nd ed., vol. 2, health criteria and other supporting information. World Health Organisation, Geneva.
- [17] Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement (CCMRE). 1987. *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*, Préparé par le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux du Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement, 350p.

- [18] Yu J.Y. et Heo B. Dilution and removal of dissolved metals from acid mine drainage along Imgok Creek, Korea. *Appl. Geochem.* 16, 1041-1053 (2001).
- [19] McNeely, R.N., V.P. Neimanis and L. Dwyer. 1979. Water Quality Sourcebook – A Guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Minister of Supply and Services Canada. Ottawa, ON.
- [20] LEYNAUD G. (1968). Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- [21] BREMOND R., PERRODON C. (1979). Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2ème éd: 259 p.
- [22] Soares, H.M.V.M., R.A.R. Boaventura, A.A.S.C Machado et J.C.G. Esteves da Silva, 1999, Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal) : multivariate analysis of data, *Env. Poll.*, 105, 3 , pp. 311-323.
- [23] AFNOR, (1997). Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4. 1372 p.
- [24] DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16p.
- [25] MARTIN. J.H ; KNAUER. G.A, 1983. Vertex : manganese transport with CaCo3. *Deep Sea Res.*, Vol 30. P. 411-425.
- [26] Katemo M.B., 2009. Évaluation de la contamination de la chaîne trophique par les métaux lourds dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/ RD Congo). Mémoire de DEA, Université de Lubumbashi. 50p.
- [27] Fergusson, J.E., 1990. The Heavy Elements, Chemistry. Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press, 614 pp.
- [28] François A., 1987. Synthèse géologique sur l'arc cuprifère du Shaba (Rép Du Zaïre). Centenaire de la Société belge de géologie. p 55-65.
- [29] Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Dudka M., 1993. *Trace elements in legumes and monocotyledons and the suitability for the assessment of soil Contamination in: MARKET B(Ed) plants are biomonitors for heavy Metal in the terrestrial environment.* Wheinheim, VCF, 485-494.
- [30] Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Reidy Lie rmann, C., Davies, P.M., 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467, 555–561.
- [31] Rubio, B.,M.A. Nombela et F.M. Vilas, 2000, Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain) : an assessment of metal pollution, Vigo, Espagne, *Metal Poll. Bulletin*, 40, 11, pp. 968-969.
- [32] Poté, J., Haller, L., Loizeau, J.-L., Garcia Bravo, A., Sastre, V., Wildi, W., 2008. Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Biores. Techn.* 99, 7122–7131.
- [33] Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L.,Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M., 2009. Guide des Sols en R.D.Congo, Tome I. Étude et Gestion. UGent, HoGent, UNILU. Lubumbashi, 262 p.