



Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun

Barkai OUMAR¹, Nga Léopold EKENGÉLE^{1*} et Ondoa Augustin Désiré BALLA¹

¹Département des Sciences de la Terre, Université de Ngaoundéré, Cameroun
BP 454 Ngaoundéré, Cameroun

* Correspondance, courriel : ekengeleleo@yahoo.fr

Résumé

La présente étude a pour objectif principal d'évaluer le niveau de pollution métallique des lacs Bini et Dang (Ngaoundéré, Cameroun) à travers l'analyse des eaux et des sédiments de surface. La concentration des métaux lourds (Ni, Cr, Fe, Pb, Cd, Zn) a été mesurée par spectrophotométrie d'absorption atomique. Des résultats obtenus, il ressort que les éléments Ni, Fe, Cr, Pb et Cd ont des teneurs élevées dans les eaux des deux lacs comparés aux normes OMS sur les eaux de boisson et aux normes canadiennes sur la protection de la vie aquatique. Afin d'évaluer le niveau de contamination des sédiments des deux lacs, le facteur d'enrichissement (FE) et l'indice de géoaccumulation (*I-geo*) ont été calculés.

Ainsi, le cadmium présente des FE forts à très forts alors que le plomb affiche des FE modérés à forts. L'*I-geo* varie d'une forte contamination à une contamination extrême pour le cadmium. Cet index est modéré à fort pour le plomb et modéré pour le fer. Les sédiments du lac de Dang sont dans l'ensemble les plus contaminés en métaux lourds par rapport à ceux du lac Bini. Les activités agricoles, les rejets des eaux usées domestiques et les décharges incontrôlées sont considérés comme principales sources de pollution des deux lacs.

Mots-clés : *bini, dang, métaux lourds, lac, sédiment.*

Abstract

Assessment of heavy metals pollution level of Bini and Dang lakes, Adamawa Region, Cameroon

The main objective of this study is to assess the level of heavy metals pollution of lakes Bini and Dang through the analysis of water and subsurface sediment. From the results, it appears that Ni, Fe, Cr, Pb and Cd showed high levels in water samples of the two lakes compared to WHO standards for drinking water and Canadian standards for the protection of aquatic life.

To assess the level of contamination of the sediments of the two lakes, the enrichment factor (EF) and the index of geoaccumulation (*I-geo*) were calculated. Thus, cadmium shows a strong to very strong EF while lead shows a moderate to a strong EF. The *I-geo* varies from a high to an extreme contamination for cadmium. This index is moderate to strong for lead and moderate for iron. Sediments from lake Dang are the most contaminated overall in heavy metals compared to those from lake Bini.

Agricultural activities, domestic wastewater discharges and uncontrolled landfills are considered major sources of pollution of the two lakes.

Keywords : *bini, dang, heavy metals, lake, sediment.*

1. Introduction

La prise de conscience des dommages causés par la pollution au milieu naturel a contraint les autorités des pays développés et ceux en développement à introduire des réglementations visant à protéger l'environnement. L'importance de l'étude de la pollution des eaux a cru considérablement depuis le début des années soixante dans le monde entier à cause des effets nuisibles sur les poissons et l'homme à travers la chaîne alimentaire. Chaque jour des centaines de tonnes de polluants sont déversés dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme des polluants graves de l'environnement aquatique, à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques [1, 2]. Certains métaux lourds, comme le zinc, le cuivre, le manganèse et le fer, sont indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants, y compris l'homme. Ils ont des effets toxiques quand les organismes sont exposés à des niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement. D'autres éléments, comme le plomb, le mercure et le cadmium ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques [3].

La contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds demeure donc un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant surtout à cause des affections notées sur les populations qui y sont exposées. Ainsi, ces dernières années, la pollution par les métaux lourds est devenue un problème d'actualité qui préoccupe toutes les régions du monde soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un haut degré de qualité [4]. En Afrique, il s'est produit ces dernières années, une croissance démographique spectaculaire qui s'est accompagnée d'une urbanisation intensive, du développement des activités industrielles et d'une exploitation des terres cultivables. Il en est résulté un fort accroissement des décharges et une grande diversification des polluants susceptibles d'atteindre les cours d'eau [3, 5]. 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 [6, 7].

Au Cameroun, les études sur la pollution des cours d'eau et des lacs par les métaux lourds sont encore à leur début. Les travaux connus jusque-là sont ceux de [8] et de [9] concernant l'étude des métaux lourds (mercure et cadmium) dans les poissons de Douala et Limbé. On note aussi les études des métaux lourds dans les eaux et sédiments du lac Municipal de Yaoundé et son principal affluent Mingoa, réalisées par [10] et [11]. C'est dans ce contexte général que s'inscrit la présente étude afin d'évaluer le niveau des métaux lourds des lacs Bini et Dang. Ces deux lacs, appartiennent au cours supérieur du bassin de la Vina nord (fleuve Bini), sous bassin du Logone occidental [12]. Le lac de Dang et le lac Bini représentent une source importante de revenus pour les populations locales notamment à travers l'agriculture et la pêche. Les études menées jusqu'ici concernent l'évaluation des transports solides dans le lac de Dang [13]. Ces deux lacs sont envahis par les herbes qui couvrent leurs surfaces, signe d'une eutrophisation avancée. Les poissons se raréfient de jour en jour poussant certains pêcheurs à migrer vers d'autres lacs plus productifs. L'objectif principal du présent travail consiste à déterminer quantitativement et qualitativement le niveau de contamination métallique des deux lacs. De manière spécifique, il s'agit : de mesurer certains paramètres physico-chimiques (pH, température) et d'analyser les métaux lourds (Cu, Ni, Pb, Cd, Zn, Cr, Fe) dans les eaux et les sédiments de ces lacs.

2. Matériel et méthodes

La zone d'étude est située à environ 15 km de la ville de Ngaoundéré, Chef-lieu de la Région de l'Adamaoua, Cameroun. Elle se localise entre 13°28' et 13°32' de longitude Est et entre 7°23' et 7°27' de latitude Nord. Les lacs Bini et Dang sont situés non loin de l'Université de Ngaoundéré, dans la Commune Urbaine de Ngaoundéré III°. La localité de Dang compte plus de 40 000 habitants et la population est en majorité très jeune (15 - 25 ans) constituée essentiellement des étudiants. Les principales activités menées dans cette Commune sont l'agriculture, l'élevage et la pêche.

2-1. L'échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés le 11 août 2009 dans le lac Bini et le 12 août 2009 dans le lac de Dang. Les analyses chimiques ont été effectuées au Laboratoire de Génie Chimique et Environnement de l'Institut Universitaire de Technologie (IUT) de l'Université de Ngaoundéré.

2-1-1. L'eau

Un litre et demi d'eau a été échantillonné dans chaque site, dans de bouteilles en plastique neuves. Les bouteilles étaient préalablement bien rincées à l'eau distillée et, avant prélèvement, avec l'eau du site à échantillonner. Les prélèvements étaient faits à 25 cm de profondeur, sur les deux rives et au milieu. Au total, 12 échantillons d'eau ont été prélevés dans 12 sites du lac Bini et 12 sites du lac de Dang (*Figures 1 et 2*). Immédiatement après l'échantillonnage, le pH et la température étaient mesurés *in situ* à l'aide d'un appareil de marque Symphony SB90M5. Les échantillons restant étaient ensuite acidifiés par de l'acide nitrique et acheminés au laboratoire.

2-1-2. Les sédiments

Douze et quatorze échantillons de sédiment ont été prélevés dans 12 sites du lac Bini et 14 sites du lac de Dang à l'aide d'une perche de 8 m de long et de 6 cm de diamètre au bout de laquelle était insérée une petite pelle en matière plastique pour prélever les sédiments superficiels (0 à 10 cm). Les échantillons ont été conservés dans des sacs en plastique neufs puis acheminés au laboratoire et enfin séchés au soleil.

2-2. Préparation des échantillons

Chaque bouteille d'eau a été agitée et laissée au repos pendant quelques minutes. Le surnageant a été filtré une première fois dans une éprouvette de 100 ml à l'aide d'un papier filtre ordinaire. Les 100 ml d'échantillon recueilli étaient ensuite filtrés une seconde fois à l'aide d'une membrane de cellulose. Le filtrat a été conservé dans un flacon préalablement rincé à l'eau distillée jusqu'à la lecture au spectrophotomètre d'absorption atomique. Les sédiments préalablement séchés à la température ambiante du laboratoire et au soleil étaient homogénéisés puis placés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Chaque échantillon était ensuite émotté et tamisé à l'aide d'un tamis de 2 mm. Le tamisât était broyée afin d'obtenir une poudre de granulométrie inférieure à 250 µm. La minéralisation a été réalisée sur 0,5 g d'échantillon par ajout de 6 ml d'acide chlorhydrique concentré à 35% et 2 ml d'acide nitrique concentré à 70% à l'aide d'une plaque chauffante. Après refroidissement à l'air ambiant, le minéralisât est filtré à l'aide d'une membrane de cellulose sans cendre, ensuite ajusté à 50 ml avec de l'eau distillée et passé au spectrophotomètre d'absorption atomique.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de marque VARIAN SpectrAA 50B, alimenté par une flamme air-acétylène à la pression de l'air de 2,5 à 4 bars et celle de l'acétylène : 2,5 à 4 bars également. Le courant d'alimentation était de 4 mA.

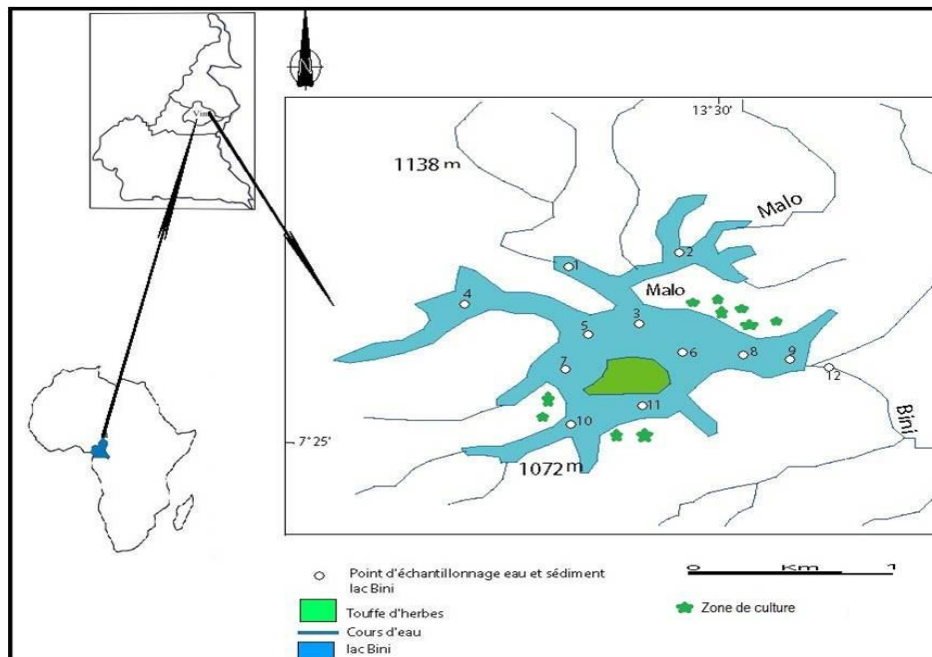


Figure 1 : *carte d'échantillonnage du lac Bini*

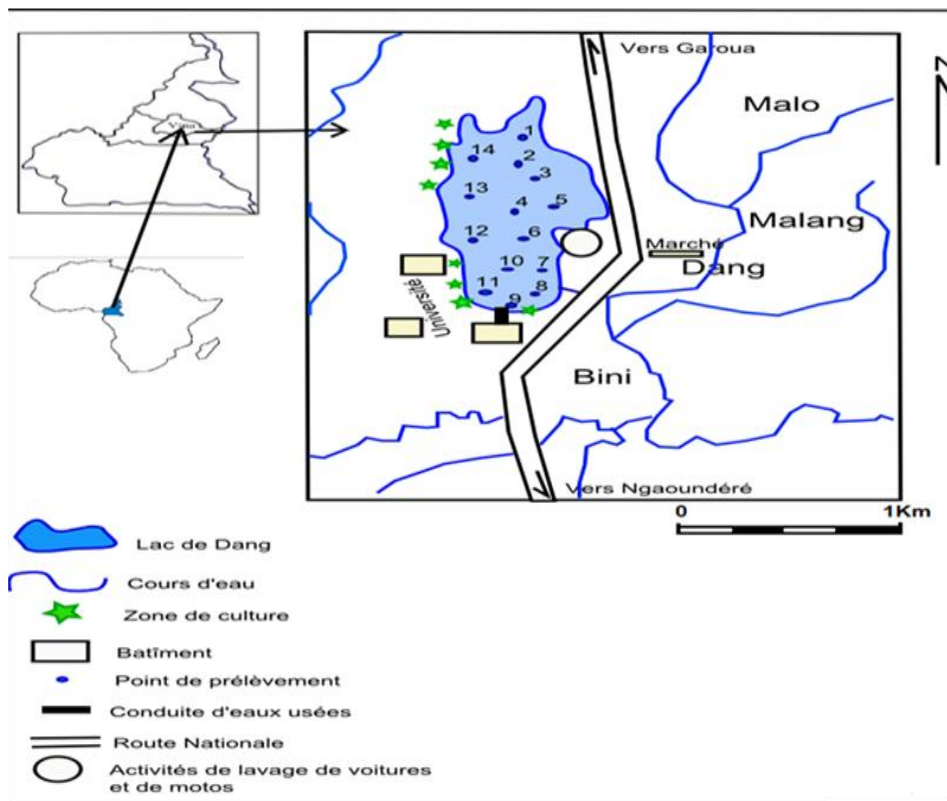


Figure 2 : *carte d'échantillonnage du lac de Dang*

2-3. Estimation de l'intensité de la contamination

Pour estimer l'intensité de la contamination, le facteur d'enrichissement et l'index de géo-accumulation ont été calculés. Leur principe est fondé sur la comparaison des valeurs mesurées par rapport à des valeurs de références telles que les moyennes des teneurs en éléments de la croûte terrestre (Average Shale).

2-3-1. Le Facteur d'Enrichissement (FE)

Le facteur d'enrichissement fournit le nombre de fois qu'un élément est enrichi par rapport à l'abondance de cet élément dans le matériau de référence. Le matériau de référence utilisé dans cette étude est celui défini par [14] et reconnu mondialement comme concentration de référence dans les zones non polluées. Le calcul du FE a été défini en rapportant la teneur d'un élément contaminant de l'échantillon à la concentration d'un élément réputé relativement immobile de cet échantillon, comparé avec le même rapport trouvé dans le matériau de référence (Average shale). Le fer (Fe) a été choisi comme élément immobile de référence pour réaliser ce calcul. Ce choix repose sur le fait que le fer est naturellement présent dans les eaux et les sédiments de la zone d'étude. En plus, il fait partie des matériaux de référence largement utilisés dans la littérature [15-16].

$$FE = \frac{[M]_{éch} / [Fe]_{éch}}{[M]_{RM} / [Fe]_{RM}} \quad (1)$$

où **FE** = facteur d'enrichissement; $[M]_{éch}$ = concentration en métal M dans l'échantillon; $[Fe]_{éch}$ = concentration du fer dans l'échantillon; $[M]_{RM}$ = concentration du métal M dans le matériau de référence et $[Fe]_{RM}$ = concentration du fer dans le matériau de référence.

Les valeurs du FE sont interprétées en fonction du niveau de contamination de Acevedo-Figueroa et al. dans [11] : FE < 1, pas d'enrichissement; 1~3, enrichissement faible ; 3~5, enrichissement modéré ; 5~10, enrichissement modéré à fort ; 10~25, fort enrichissement ; 25~50, très fort enrichissement et FE > 50, enrichissement extrême.

2-3-2. L'Index de Géo-accumulation (*I*-géo)

Un second critère pour évaluer l'intensité de la pollution métallique est l'index de géo-accumulation [17]. Cet index de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique.

$$I_{géo} = \log_2 (Cn/1,5Bn) \quad (2)$$

Où *I*-géo = Index de géo-accumulation; \log_2 = logarithme de base 2; **n** = élément considéré; **C** = concentration mesurée dans l'échantillon; **B** = fond géochimique; **1.5** = facteur d'exagération du fond géochimique, dont la fonction est de prendre en compte les fluctuations naturelles du fond géochimique. En outre, [17] a défini une échelle de valeurs avec six classes en fonction de l'intensité de la pollution. Cette échelle stipule que : $I_{géo} < 0$ (classe 0), sans contamination ; 0~1 (1), sans à légère contamination ; 1~2 (2), contamination modérée ; 2~3 (3), contamination modérée à forte ; 3~4 (4), forte contamination ; 4~5 (5), Forte à extrême contamination et $I_{géo} > 5$ (6) traduit une contamination extrême.

3. Résultats et discussion

3-1. Paramètres mesurés *in situ*

Le **Tableau 1** présente les résultats des mesures du pH et de la température des deux lacs. Le pH moyen de l'eau du lac Bini est de 7,74 tandis que celui du lac de Dang est de 7,60. Ces pH sont neutres à légèrement alcalins. Ce caractère neutre à alcalin reflète la nature géologique de la zone d'étude, dominée par des roches basaltiques. Le pH mesuré pendant la période d'étude est en conformité avec les recommandations de l'organisation mondiale pour la santé (OMS) c'est-à-dire situé entre 6,5 et 8,5. La température des eaux varie de 23,1°C à 24,4°C pour le lac Bini et de 26,0°C à 29,5°C pour le lac de Dang. Cette variation de température au sein des deux lacs illustre bien la variation de temps en saison pluvieuse dans la zone d'étude et caractérise aussi le niveau de pollution de ces lacs. En effet, le lac de Dang connaît une eutrophisation poussée par rapport au lac Bini. La température des eaux de ces lacs est dans l'ensemble médiocre et peut favoriser la croissance des microorganismes, l'apparition des mauvaises odeurs, la couleur et les problèmes de corrosion. En plus, la température peut affecter la solubilité des gaz et des sels dans l'eau [18].

3-2. Les concentrations des métaux lourds dans les eaux du lac Bini et du lac Dang

Le **Tableau 1** présente les résultats des concentrations des métaux lourds dans les eaux des lacs Bini et Dang respectivement. A la lecture de ces résultats, il ressort que les valeurs (en µg/L) des métaux lourds dans les eaux du lac Bini varient comme suit :

Ni : 7,47 ~ 24,28 (moyenne 14,08) ; Cr : 6,73 ~ 13,47 (10,66) ; Fe : 122,22 ~ 677,78 (271,03) ;
Pb : 0,72 ~ 3,58 (2,09) ; Zn : 0,06 ~ 0,33 (0,19) et Cd : 0,00 ~ 0,52 (0,25)

Dans les eaux du lac de Dang les métaux lourds varient ainsi :

Ni : 10,27 ~ 32,68 (21,63) ; Cr : 12,79 ~ 23,57 (17,23) ; Fe : 193,65 ~ 453,97 (316,01) ;
Pb : 1,07 ~ 4,17 (0,35) ; Zn : 0,00 ~ 0,56 (0,35) et Cd : 0,00 ~ 0,67 (0,42).

Il apparaît dans ces résultats que les concentrations des métaux lourds sont un peu plus élevées dans les eaux du lac de Dang que dans celles du lac Bini. La pollution du lac de Dang est visible par la forte eutrophisation qui a considérablement réduit ses dimensions. Les concentrations des métaux lourds dans ces eaux ont été comparées à la norme sur les eaux de boisson de l'Organisation Mondiale de la Santé [18] et à d'autres résultats obtenus dans d'autres lacs à travers le monde (**Tableau 1**). Les concentrations des métaux lourds de la présente étude sont supérieures aux normes sur les eaux de boissons établies par l'OMS, à l'exception du Zn. Les concentrations des métaux des autres études sont plus élevées que celles obtenues dans les lacs Bini et Dang, sauf pour le Cr, le Cd et le Fe du lac de Dang qui sont supérieures à la norme canadienne sur la protection de la vie aquatique. En définitive, cette comparaison montre que les eaux du lac Bini et du lac de Dang sont de mauvaise qualité pour la boisson et la vie aquatique selon des normes sus citées.

Tableau 1 : Concentrations des métaux lourds ($\mu\text{g/L}$), pH et températures dans les eaux des lacs Bini et Dang

sites	Ni $\mu\text{g/L}$		Cr $\mu\text{g/L}$		Fe $\mu\text{g/L}$		Pb $\mu\text{g/L}$		Zn $\mu\text{g/L}$		Cd $\mu\text{g/L}$		pH	T °C
B1	11,20	$\pm 1,00$	6,73	$\pm 2,08$	211,11	$\pm 20,82$	1,07	$\pm 0,08$	0,06	$\pm 0,00$	0,29	$\pm 0,01$	7,75	23,6
B2	8,40	$\pm 2,65$	8,75	$\pm 1,15$	677,78	$\pm 23,09$	1,19	$\pm 0,04$	0,11	$\pm 0,00$	0,38	$\pm 0,01$	7,75	24,0
B3	7,47	$\pm 1,15$	12,79	$\pm 2,08$	187,3	$\pm 11,55$	2,62	$\pm 0,10$	0,11	$\pm 0,00$	0,40	$\pm 0,01$	7,73	23,7
B4	7,47	$\pm 0,58$	12,12	$\pm 1,73$	287,3	$\pm 35,12$	3,22	$\pm 0,03$	0,06	$\pm 0,00$	0,36	$\pm 0,01$	7,73	23,9
B5	9,34	$\pm 3,21$	7,41	$\pm 2,08$	185,71	$\pm 20,00$	1,79	$\pm 0,05$	0,17	$\pm 0,00$	0,36	$\pm 0,01$	7,73	23,8
B6	16,81	$\pm 1,73$	12,12	$\pm 1,00$	407,94	$\pm 15,28$	2,15	$\pm 0,00$	0,28	$\pm 0,00$	0,52	$\pm 0,00$	7,73	23,7
B7	16,81	$\pm 1,73$	13,47	$\pm 0,58$	304,76	$\pm 60,00$	3,58	$\pm 0,06$	0,14	$\pm 0,00$	0,12	$\pm 0,00$	7,73	23,3
B8	13,07	$\pm 0,58$	7,41	$\pm 1,53$	195,24	$\pm 17,32$	0,72	$\pm 0,05$	0,31	$\pm 0,00$	0,14	$\pm 0,01$	7,73	23,4
B9	16,81	$\pm 1,00$	12,12	$\pm 3,00$	122,22	$\pm 20,82$	2,86	$\pm 0,08$	0,17	$\pm 0,00$	0,21	$\pm 0,01$	7,75	24,4
B10	15,87	$\pm 2,31$	13,47	$\pm 2,08$	284,13	$\pm 15,28$	2,38	$\pm 0,02$	0,28	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	7,75	23,1
B11	24,28	$\pm 2,89$	10,10	$\pm 1,73$	239,68	$\pm 35,12$	1,79	$\pm 0,09$	0,25	$\pm 0,00$	0,07	$\pm 0,00$	7,75	23,2
B12	21,48	$\pm 5,69$	11,45	$\pm 1,53$	149,21	$\pm 25,17$	1,67	$\pm 0,04$	0,33	$\pm 0,00$	0,17	$\pm 0,01$	7,73	23,2
Min.	7,47	$\pm 1,00$	6,73	$\pm 1,15$	122,22	$\pm 20,82$	0,72	$\pm 0,03$	0,06	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	7,73	23,1
Max.	24,28	$\pm 4,04$	13,47	$\pm 1,53$	677,78	$\pm 23,09$	3,58	$\pm 0,06$	0,33	$\pm 0,00$	0,52	$\pm 0,00$	7,75	24,4
Moy.	14,08	$\pm 2,04$	10,66	$\pm 1,71$	271,03	$\pm 24,96$	2,09	$\pm 0,05$	0,19	$\pm 0,00$	0,25	$\pm 0,01$	7,74	23,61
D1	32,68	$\pm 2,52$	13,47	$\pm 1,53$	334,92	$\pm 49,33$	1,31	$\pm 0,07$	0,44	$\pm 0,00$	0,24	$\pm 0,02$	7,68	29,5
D2	16,81	$\pm 1,00$	12,79	$\pm 1,53$	193,65	$\pm 23,09$	2,98	$\pm 0,19$	0,44	$\pm 0,00$	0,48	$\pm 0,00$	7,62	29,3

D3	24,28	±3,51	15,49	±1,53	300	±10,00	1,07	±0,06	0,00	±0,00	0,38	±0,02	7,55	28,6
D4	25,21	±2,65	14,81	±1,53	298,41	±40,41	2,38	±0,03	0,25	±0,00	0,36	±0,01	7,5	28,5
D5	20,54	±0,58	16,16	±1,53	325,4	±45,09	3,22	±0,10	0,28	±0,00	0,00	±0,00	7,49	28,5
D6	20,54	±0,58	15,49	±1,53	309,52	±20,00	2,15	±0,08	0,36	±0,00	0,52	±0,01	7,48	28,3
D7	18,67	±2,52	20,20	±1,53	339,68	±20,82	4,17	±0,04	0,39	±0,00	0,36	±0,01	7,56	28,9
D8	10,27	±2,52	16,16	±1,53	453,97	±61,10	3,22	±0,00	0,31	±0,00	0,40	±0,01	7,63	28,4
D9	25,21	±1,00	23,57	±1,53	319,05	±26,46	2,03	±0,07	0,39	±0,00	0,50	±0,01	7,65	27,5
D10	24,28	±1,53	19,53	±1,53	314,29	±20,00	1,43	±0,05	0,33	±0,00	0,48	±0,00	7,67	28,2
D11	24,28	±2,31	20,88	±1,53	273,02	±11,55	2,98	±0,03	0,42	±0,00	0,64	±0,01	7,69	26,0
D12	16,81	±1,00	18,18	±1,53	330,16	±68,07	1,91	±0,02	0,56	±0,00	0,67	±0,00	7,67	26,3
Min.	10,27	±2,52	12,79	±1,53	193,65	±23,09	1,07	±0,03	0,00	±0,00	0,00	±0,00	7,48	26,0
Max.	32,68	±2,00	23,57	±1,53	453,97	±61,10	4,17	±0,07	0,56	±0,00	0,67	±0,00	7,69	29,5
Moy.	21,63	±1,81	17,23	±1,53	316,01	±32,99	2,40	±0,06	0,35	±0,00	0,42	±0,01	7,60	28,17
OMS ¹	0,07		0,05		0,3		0,01		5,00		0,003			
CCME ²	25-150		8,9		300		1-7		30		0,017			
Normes indiennes ³	-		50		300		100		5000		10			

B = lac Bini,

D = lac Dang ;

1 = Organisation Mondiale de la Santé, « Guidelines for Drinking-water Quality » ;

2 = CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg) 1999; 3 = [23].

3-3. Les concentrations des métaux lourds dans les sédiments du lac Bini et du lac de Dang

Le **Tableau 2** présente les résultats des analyses des métaux lourds dans les sédiments des lacs Bini et Dang. Les concentrations des différents métaux lourds (mg/kg) dans les sédiments du lac Bini varient pour : le Cr : 65,59~183,37 (moyenne 120,06) ; le Cu : 7,83~99,19 (45,46) ; le Cd : 3,51~7,02 (5,12) ; le Pb : 13,77~151,52 (65,43) ; le Fe : 31269,54~150093,81 (87033,56) ; le Zn : 0,00~138,89 (43,52) et le Ni : 2,04~9,16 (4,62).

Pour le lac de Dang, les concentrations des métaux (mg/kg) dans les sédiments varient comme suit :

le Cr : 78,59~255,40 (174,95) ; le Cu : 2,61~67,87 (22,75) ; le Cd : 5,27~11,41 (8,37) ;
le Pb : 27,55~206,61 (95,43) ; le Fe : 37523,45~156347,72 (86214,60) ; le Zn : 11,11~255,56 (88,10)
et le Ni : 0,00~21,37 (8,51).

Il ressort de ces résultats que les sédiments du lac de Dang présentent dans l'ensemble des concentrations en métaux lourds élevées par rapport à ceux du lac Bini, sauf pour le cuivre et le fer qui sont légèrement plus élevés dans le lac Bini. Cette différence de concentrations pourrait être liée à la forte anthropisation du lac de Dang. Les concentrations des métaux lourds obtenus dans les sédiments de la présente étude ont été comparées avec les concentrations moyennes de référence dans les sédiments non pollués (Average shale) et les concentrations de métaux lourds obtenus dans les sédiments de quelques lacs en Afrique (**Tableau 2**). Le Cr et le Fe de cette étude présentent des teneurs élevées comparativement aux teneurs des lacs cités. Par ailleurs, les concentrations en Cu, Cd, Pb, Zn et Ni des lacs Bini et Dang sont moins élevées par rapport à celles du lac Municipal de Yaoundé.

3-3-1. Facteur d'Enrichissement

Les valeurs du facteur d'enrichissement (FE) ont été calculées afin de voir si les concentrations des métaux lourds obtenues dans les sédiments sont d'origine anthropique ou naturelle. Le **Tableau 3** présente les résultats des FE des métaux lourds dans les sédiments des lacs Bini et Dang. Les résultats des facteurs d'enrichissement dans les sédiments montrent que les éléments Cr, Cu, Zn et Ni présentent une variation allant d'un enrichissement nul à un enrichissement très faible dans les deux lacs. Par contre le cadmium et le plomb affichent des valeurs de FE élevées avec FE Cd variant de 4,68 à 23,67 et FE Pb de 0,47 à 7,20 pour le lac Bini et FE Cd de 8,84 à 47,34 et FE Pb de 0,94 à 6,29 pour le lac de Dang. Le niveau d'enrichissement de ces deux éléments varie pour le Cd d'un enrichissement modéré à un enrichissement fort pour le lac Bini et à un très fort enrichissement pour le lac de Dang. Par ailleurs, le Pb varie d'un enrichissement nul à un enrichissement modéré à fort pour les deux lacs. Il est connu que diverses activités anthropiques peuvent changer la dynamique d'un cours d'eau et ajouter une variété de métaux lourds [19, 20]. Ce fort enrichissement en Cd et en Pb pourrait s'expliquer par des activités anthropiques telles que l'agriculture à travers l'usage des intrants chimiques, le lavage des voitures et des motos, les effluents en provenance de l'université (lac de Dang) et enfin les dépôts atmosphériques issus de la combustion des carburants liés au trafic routier.

Tableau 2 : Concentration des métaux lourds (mg/kg) dans les sédiments des lacs Bini et Dang

sites	Cr	Cu	Cd	Pb	Fe	Zn	Ni
B1	78,59 ±1,00	7,83 ±1,00	5,27 ±1,00	41,32 ±1,00	150093,81 ±100,00	27,78 ±0,15	3,05 ±0,00
B2	78,59 ±1,73	10,44 ±1,53	5,71 ±2,08	110,19 ±2,08	37523,45 ±100,00	27,78 ±0,21	2,54 ±0,12
B3	91,68 ±1,53	31,32 ±2,00	6,58 ±1,00	55,10 ±0,58	100062,54 ±152,75	44,44 ±0,21	2,04 ±0,06
B4	65,49 ±1,53	46,99 ±2,65	4,39 ±0,58	96,42 ±1,15	31269,54 ±115,47	0,00 ±0,00	2,54 ±0,06
B5	98,23 ±1,00	36,54 ±1,53	3,95 ±1,00	13,77 ±0,58	56285,18 ±100,00	50,00 ±0,00	9,16 ±0,46
B6	111,33 ±2,31	31,32 ±1,73	4,83 ±1,53	41,32 ±1,00	100062,54 ±251,66	5,56 ±0,06	2,54 ±0,06
B7	117,88 ±1,00	36,54 ±1,15	4,39 ±1,15	151,52 ±1,53	75046,90 ±200,00	0,00 ±0,00	6,11 ±0,20
B8	137,52 ±2,65	49,60 ±1,15	5,27 ±0,00	41,32 ±1,73	106316,45 ±152,75	50,00 ±0,20	4,07 ±0,15
B9	157,17 ±1,00	65,26 ±1,53	3,51 ±0,58	82,64 ±1,00	56285,18 ±0,00	105,56 ±0,15	6,11 ±0,30
B10	163,72 ±2,08	57,43 ±1,53	6,58 ±1,00	68,87 ±1,53	62539,09 ±230,94	16,67 ±0,10	5,09 ±0,15
B11	183,37 ±2,08	73,09 ±2,08	3,95 ±1,73	55,10 ±0,58	131332,08 ±0,00	55,56 ±0,31	7,12 ±0,15
B12	157,17 ±1,00	99,19 ±2,31	7,02 ±1,53	27,55 ±0,58	137585,99 ±208,17	138,89 ±0,15	5,09 ±0,15
Min	65,49 ±1,00	7,83 ±1,00	3,51 ±0,00	13,77 ±0,58	31269,54 ±0,00	0,00 ±0,00	2,04 ±0,00
Max	183,37 ±2,65	99,19 ±2,65	7,02 ±2,08	151,52 ±2,08	150093,81 ±251,66	138,89 ±0,31	9,16 ±0,46
Moyenne	120,06 ±1,58	45,46 ±1,68	5,12 ±1,10	65,43 ±1,11	87033,56 ±134,31	43,52 ±0,13	4,62 ±0,15
D1	189,91 ±2,31	10,44 ±0,58	7,46 ±0,58	27,55 ±0,58	43777,36 ±57,74	44,44 ±0,12	9,16 ±0,17
D2	216,11 ±2,00	2,61 ±0,58	5,27 ±0,00	27,55 ±1,15	68793,00 ±208,17	161,11 ±0,15	8,14 ±0,06
D3	176,82 ±1,00	5,22 ±0,58	8,34 ±2,31	55,10 ±0,58	75046,90 ±100,00	16,67 ±0,17	12,21 ±0,10
D4	242,31 ±3,21	10,44 ±1,15	7,02 ±1,53	96,42 ±2,31	50031,27 ±57,74	11,11 ±0,12	8,65 ±0,21
D5	157,17 ±1,00	7,83 ±1,00	8,34 ±0,58	41,32 ±0,00	87554,72 ±152,75	233,33 ±0,17	0,00 ±0,00
D6	222,66 ±1,53	10,44 ±1,15	7,46 ±0,58	82,64 ±0,00	131332,08 ±346,41	255,56 ±0,06	7,12 ±0,21

D7	209,56	±1,15	7,83	±1,00	11,41	±0,58	27,55	±0,58	37523,45	±0,00	150,00	±0,36	13,23	±0,12
D8	222,66	±1,53	28,71	±2,08	7,46	±1,53	68,87	±1,53	68793,00	±57,74	105,56	±0,15	6,62	±0,25
D9	216,11	±1,00	49,60	±2,31	8,34	±0,58	123,97	±1,00	87554,72	±251,66	77,78	±0,15	10,69	±0,17
D10	255,40	±1,73	33,93	±4,16	9,22	±1,73	123,97	±1,00	125078,17	±57,74	27,78	±0,15	12,21	±0,10
D11	85,13	±0,58	31,32	±1,00	10,09	±1,53	179,06	±1,53	106316,45	±57,74	11,11	±0,06	5,60	±0,32
D12	78,59	±0,00	28,71	±1,15	9,22	±0,00	151,52	±1,15	56285,18	±0,00	33,33	±0,00	0,00	±0,00
D13	91,68	±1,53	67,87	±3,06	7,90	±0,00	123,97	±1,00	112570,36	±100,00	44,44	±0,21	4,07	±0,15
D14	85,13	±1,53	23,49	±1,73	9,66	±1,53	206,61	±1,73	156347,72	±251,66	61,11	±0,12	21,37	±0,20
Min	78,59	±0,00	2,61	±0,58	5,27	±0,00	27,55	±0,00	37523,45	±0,00	11,11	±0,00	0,00	±0,00
Max	255,40	±3,21	67,87	±4,16	11,41	±2,31	206,61	±2,31	156347,72	±346,41	255,56	±0,36	21,37	±0,32
Moyenne	174,95	±1,44	22,75	±1,54	8,37	±0,93	95,43	±1,01	86214,60	±121,38	88,10	±0,14	8,51	±0,15
Lac Kariba ² Zimbabwe	25,9		16,1		0,72		23,9		-		71,1		25,9	
Lac Taihu ³ Chine	56,7- 155		26,6- 238		0,28- 1,23		42,8- 143		23400- 47200		89-471		26,2- 98,7	
Lac Municipal de Yaoundé ⁴ Cameroun	94,68- 199,39		42,79- 141,96		2,80- 15,61		20,31- 249,12		29338,66- 119316,52		26,79- 340,63		2,68- 32,69	
Average shale ⁵	90		45		0,3		20		46700		95		68	

nd = non détecté ; 1= Présente étude ; 2= [24]; 3= [25]; 4= [11]; 5= [14].

Tableau 3 : Facteur d'enrichissement des métaux lourds dans les lacs Bini et Dang

sites	FE Cr	FE Cu	FE Cd	FE Pb	FE Zn	FE Ni
B1	0,27	0,05	5,46	0,64	0,07	0,02
B2	1,09	0,29	23,67	6,86	0,27	0,06
B3	0,48	0,32	10,24	1,29	0,16	0,02
B4	1,09	1,56	21,85	7,20	0,00	0,08
B5	0,91	0,67	10,92	0,57	0,32	0,15
B6	0,58	0,32	7,51	0,96	0,02	0,02
B7	0,82	0,51	9,10	4,71	0,00	0,08
B8	0,67	0,48	7,71	0,91	0,17	0,04
B9	1,45	1,20	9,71	3,43	0,67	0,10
B10	1,36	0,95	16,39	2,57	0,10	0,08
B11	0,72	0,58	4,68	0,98	0,15	0,05
B12	0,59	0,75	7,94	0,47	0,36	0,03
D1	2,25	0,25	26,53	1,47	0,36	0,20
D2	1,63	0,04	11,92	0,94	0,84	0,11
D3	1,22	0,07	17,30	1,71	0,08	0,15
D4	2,51	0,22	21,85	4,50	0,08	0,16
D5	0,93	0,09	14,83	1,10	0,96	0,00
D6	0,88	0,08	8,84	1,47	0,70	0,05
D7	2,90	0,22	47,34	1,71	1,44	0,33
D8	1,68	0,43	16,88	2,34	0,55	0,09
D9	1,28	0,59	14,83	3,31	0,32	0,11
D10	1,06	0,28	11,47	2,31	0,08	0,09
D11	0,42	0,31	14,78	3,93	0,04	0,05
D12	0,72	0,53	25,49	6,29	0,21	0,00
D13	0,42	0,63	10,92	2,57	0,14	0,03
D14	0,28	0,16	9,61	3,09	0,14	0,13

3-3-2. Index de géo-accumulation

Le **Tableau 4** présente les résultats de l'index de géo-accumulation (*I_{géo}*). Des sept métaux lourds analysés dans les sédiments du lac Bini, le zinc et le nickel ne présentent aucune contamination. Par contre, le fer, le chrome et le cuivre présentent une contamination nulle à légère. Le plomb varie d'une contamination nulle à une contamination modérée à forte. Quant au cadmium, il présente une forte contamination dans les sédiments. Pour les sédiments du lac de Dang, l'index de géo-accumulation ne montre aucune contamination pour le cuivre et le nickel (*I_{géo}* < 0). Cependant, le chrome, le zinc et le fer présentent une contamination légère.

Le plomb, par contre, varie d'une contamination nulle à une contamination modérée à forte. Le cadmium présente une forte à une extrême contamination de ces sédiments. La contamination au Pb et au Cd des sédiments des deux lacs aurait pour principales sources d'une part les activités sus mentionnées et d'autre part les dépôts atmosphériques liés au trafic routier sur la Nationale 1. Il a déjà été noté que les déchets domestiques et industriels, les émissions automobiles, les activités minières et l'emploi des engrais et pesticides pour l'agriculture ont contribué à une accumulation continue des métaux lourds dans les sols [21].

Tableau 4 : *Index de géo-accumulation des sédiments des lacs Bini et Dang*

sites	Igéo Cr	Igéo Cu	Igéo Cd	Igéo Pb	Igéo Zn	Igéo Ni	Igéo Fe
B1	-0,78	-3,12	3,57	0,46	-2,37	-5,09	1,10
B2	-0,78	-2,71	3,68	1,89	-2,37	-5,35	-0,91
B3	-0,56	-1,11	3,89	0,88	-1,69	-5,68	0,52
B4	-1,05	-0,53	3,30	1,69	0,00	-5,35	-1,17
B5	-0,46	-0,89	3,15	-1,13	-1,52	-3,49	-0,32
B6	-0,28	-1,11	3,44	0,46	-4,70	-5,35	0,52
B7	-0,20	-0,89	3,30	2,35	0,00	-4,08	0,10
B8	0,03	-0,45	3,57	0,46	-1,52	-4,67	0,60
B9	0,22	-0,05	2,98	1,47	-0,44	-4,08	-0,32
B10	0,28	-0,23	3,89	1,20	-3,11	-4,35	-0,16
B11	0,44	0,12	3,15	0,88	-1,37	-3,86	0,91
B12	0,22	0,56	3,98	-0,12	-0,04	-4,35	0,98
D1	0,49	-2,71	4,07	-0,12	-1,69	-3,49	-0,68
D2	0,68	-4,72	3,57	-0,12	0,18	-3,67	-0,03
D3	0,39	-3,71	4,23	0,88	-3,11	-3,08	0,10
D4	0,85	-2,71	3,98	1,69	-3,70	-3,58	-0,49
D5	0,22	-3,12	4,23	0,46	0,72	0,00	0,32
D6	0,73	-2,71	4,07	1,47	0,85	-3,86	0,91
D7	0,64	-3,12	4,69	-0,12	0,07	-2,96	-0,91
D8	0,73	-1,24	4,07	1,20	-0,44	-3,97	-0,03
D9	0,68	-0,45	4,23	2,06	-0,88	-3,27	0,32
D10	0,92	-1,00	4,38	2,06	-2,37	-3,08	0,84
D11	-0,67	-1,11	4,51	2,59	-3,70	-4,21	0,60
D12	-0,78	-1,24	4,38	2,35	-2,11	0,00	-0,32
D13	-0,56	0,01	4,15	2,06	-1,69	-4,67	0,69
D14	-0,67	-1,52	4,42	2,78	-1,22	-2,25	1,16

Bien plus, de grandes quantités de produits chimiques sont annuellement appliqués aux sols agricoles comme engrais et pesticides et peuvent résulter à l'accroissement des métaux lourds et particulièrement le Cd, le Pb et l'As dans l'environnement [22]. Dans l'ensemble des métaux analysés dans la présente étude, le cadmium et le plomb sont assez élevés comparativement aux valeurs obtenues dans les lacs suscités.

4. Conclusion

La présente étude avait pour objectif global d'étudier le niveau de pollution métallique des lacs Bini et Dang à travers les eaux et les sédiments. Les résultats obtenus montrent que le pH et la température sont dans les normes. L'analyse des métaux lourds dans les eaux a exhibé des teneurs élevées pour le nickel, chrome, cadmium, plomb et fer par rapport à la norme de l'OMS sur les eaux de boisson. Il peut ainsi être déduit de cette étude que les eaux des lac Bini et Dang sont de mauvaise qualité pour la boisson et la vie aquatique. Les sources principales de cette dégradation seraient liées aux activités anthropiques qui se déroulent au niveau du bassin versant de ces lacs et les dépôts atmosphériques associés au trafic routier.

Les concentrations des métaux lourds dans les sédiments des deux lacs ont présenté des niveaux élevés pour le Pb, le Fe et le Cd. Les valeurs du FE présentent un enrichissement très faible pour l'ensemble des métaux, à l'exception du Pb et du Cd qui oscillent entre un enrichissement modéré pour le lac Bini à un très fort enrichissement pour le lac de Dang. Les niveaux de contamination obtenus par l'*I-géo* suggèrent pour le Cr, le Fe, le Cu, le Ni et le Zn une contamination légère des deux lacs alors que le Cd et le Pb présentent une contamination variant de modérée à forte pour le lac Bini et très forte pour le lac de Dang. La présente étude a révélé que les lacs Bini et Dang sont pollués par les métaux lourds surtout le cadmium et le plomb.

Références

- [1] - HARTE J., HOLDREN C., SCHNEIDER R. and SHIRLEY C. Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards. Oxford, England: *University of California Press* (1991) 478p.
- [2] - SCHUURMANN G. and MARKERT B. Ecotoxicology, Ecological Fundamentals, Chemical Exposure, and Biological Effects. *John Wiley & Sons Inc. and Spektrum Akademischer Verlag* (1998) 900p.
- [3] - BINEY C., AMUZU A.T., CALAMARI D., KABA N., MBOME L.I., NAEVE H., OCHUMBA O., OSIBANJO O., RADEGONDE V. et SAAD M.A.H. Etude des métaux lourds. *Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain, FAO, 25* (1994) 37-67.
- [4] - BEN BOUIH H., H. NASSALI, M. LEBLANS et SRHIRI A. Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc). *Afrique Science, 01: 1*(2005) 109-125.
- [5] - BAWA L.M., DJANEYE-BOUNDJOU G., BOYODE, B.P and ASSIH B.T. Water quality evaluation from Lomé's lagoon: Effects on heavy metals contamination on fishes. *Journal of Applied Sciences and Environment Management, 11: 4* (2007) 33 – 36.
- [6] - OKWONKO J.O. and MOTHIBA M. Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the rivers in Thohoyandou, South Africa. *Journal of Hydrology, 308* (2005) 122-127.
- [7] - ASSONYE C.C., OKOLINE N.P., OKENWA E.E. and IWUANYANWU U.G. Some physicochemic characteristics and heavy metal profiles of Nigerian rivers, streams and waterways. *African Journal of Biotechnology, 6: 5* (2007) 617-624.
- [8] - MBOME I. L., AGBOR E. T., MARTIN G. E., NJOCK C., IKOME F. and MBI C. Preliminary survey on mercury and cadmium levels in some marine fishery products. Cameroon: Institut de recherches médicales et d'études des plantes médicinales, Yaoundé, Station de recherches halieutiques de Limbé. *IOC Workshop Report, 2* (1985) 7p.
- [9] - MBOME, I.L. Heavy metals in marine organisms from Limbé and Douala. Report presented to Second Workshop of participants in the Joint FAO/IOC/WHO/IAEA/UNEP Project on pollution in the marine environment of the west and central African region (WACAF/2-First Phase), Accra, Ghana, 13–17 June 1988. Paris, *IOC of Unesco, Mesres/Orstom 9* (1988) 733 p.
- [10] - DEMANOU J. et BRUMMETT R.E. Heavy metal and faecal bacterial contamination of urban lakes in Yaoundé, Cameroon. *African Journal of Aquatic Science, 28: 1*(2003) 49-56.
- [11] - EKENGLE N. L., M. C. JUNG, A. OMBOLO, N. NGATCHA, G. EKODECK, and MBOME L. metals pollution in freshly deposited sediments from river Mingoa, main tributary to the Municipal lake of Yaounde, Cameroon. *Geosciences Journal, 12: 4* (2008) 337-347.
- [12] - OLIVRY J.-C. Fleuves et rivières du Cameroun. Monographies hydrologiques (1986) 781.
- [13] - DAIWE N. Evaluation des transports solides dans le lac de Dang, Université de Ngaoundéré, mémoire de Maîtrise en Sciences de la Terre (2004).
- [14] - TUREKIAN K.K. and WEDEPOHL K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *American Geological Society. Bulletin, 72* (1961) 175–182.

- [15] - LIU W., ZHAO J., OUYANG Z., SODERLUND L. and LIU G. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*, 31(2005) 805-812.
- [16] - FANG T. H., HWANG J. S., HSIAO S. H. and CHEN H. Y. Trace metals in seawater and copepods in the ocean outfall area off the northern Taiwan coast. *Marine Environmental Resources*, 61: 2 (2006) 224-243.
- [17] - MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2 (1969) 109-118.
- [18] - OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Guidelines for drinking-water quality. *Third edition*, 1 (2008).
- [19] - OUYANG Y., NKEDIKIZZA P., WU Q., SHINDE D. and HUANG C. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Resources*, 40 (2006) 3800–3810
- [20] - N'GUESSAN Y., PROBST J., BUR T. and PROBST A. Trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France): where do they come from? *Science Total Environment*, 407 (2009) 2939–2952.
- [21] - NOURI J., MAHVI A. H., JAHED G. R., and BABAEI A. A regional distribution pattern of groundwater heavy metals resulting from agricultural activities. *Environmental Geology*, 5 (2008) 1337–1343.
- [22] - Zahra A., MESDAGHINIA A., NOURI J., HOMAEI M., YUNESIAN M., AHMADIMOGHADDAM M. and MAHVI A.M. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environment Monitoring Assessment*. 160 (2010) 83–89.
- [23] - NAYAKA S.B.M., RAMAKRISHNA S., and JAYAPRAKASH, DELVI M.R. Impact of heavy metals on water, fish (*Cyprinus carpio*) and sediments from a water tank at Tumkur, India. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 38 (2009) 2, 17-28.
- [24] - BERG, H., KIIBUS, M., and KAUTSKY, N. Heavy metals in tropical lake Kariba, Zimbabwe. *Water, Air and Soil Pollution*, 83 (1995) 237–252.
- [25] - QU W., DICKMAN M., and WANG S. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient concentrations in sediments of Taihu Lake, China. *Hydrobiologia*, 450 (2001) 83–89.