

## Analysis of groundwater quality and soils of Golf Munua district in the city of Lubumbashi in the Democratic Republic of Congo

### [ Analyse de la qualité des eaux souterraines et des sols du quartier Golf Munua dans la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo ]

*Yuma Muyungwa Phalaris, Mbuyu Ilunga Eddy, Kapinga Kalonji Chance, Kitungwa Kabuge Bertin, and Kyona Wansanga Crépin*

Laboratoire de Chimie, Département de Chimie, Faculté des Sciences,  
Université de Lubumbashi, BP1825 Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2019 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:** Our study focused on analyzes of environmental samples to determine if there is a risk of contamination or likely pollution. To do this, we performed a series of samples of water samples for physicochemical and microbiological characterization as well as soil samples for the characterization of metallic trace elements. At the end of these characterizations it appears that the pH of the samples were acidic and varied between 4.33 and 6.30. The three elements Copper, Manganese and Cadmium in the waters were characterized by high values in the well water samples. The soil analysis showed that there is no pollution link with the metallic trace elements because the parameter values analyzed meet the required standards. Without knowing the limit values of certain elements such as Zinc, Iron, Nickel, Manganese, Sodium, Magnesium and Calcium we had the difficulty to pronounce about. As for microbiological analyzes, the waters showed, for some poorly maintained wells, the presence of enteric organisms as well as total coliforms; This shows that these waters have been in contact with surface water and a possibility of infiltration of septic water that could cause some waterborne diseases.

**KEYWORDS:** Water, Well, Physicochemical, Microbiology, Contamination.

**RÉSUMÉ:** Notre étude a été orientée sur les analyses des échantillons environnementaux afin de déterminer s'il existe un risque de contamination ou une probable pollution. Pour ce faire nous avons effectué une série de prélèvements des échantillons d'eaux pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique ainsi que des échantillons du sol pour la caractérisation des éléments traces métalliques. A l'issue de ces caractérisations il ressort que le pH des échantillons étaient acides et variait entre 4,33 et 6,30. Les trois éléments Cuivre, Manganèse et Cadmium dans les eaux ont été caractérisés par des valeurs élevées dans les échantillons des eaux de puits. L'analyse du sol a montré qu'il n'existe aucun lien de pollution avec les éléments trace métalliques car les valeurs de paramètres analysés répondent aux normes exigées. Faut de connaître les valeurs limites de certains éléments tels que Zinc, Fer, Nickel, Manganèse, Sodium, Magnésium et Calcium nous avons eu la difficulté de nous prononcer à propos. Quant aux analyses microbiologiques, les eaux ont manifesté, pour certains puits mal entretenus, la présence des organismes entériques ainsi que les coliformes totaux ; Ceci montre que ces eaux ont été en contact avec les eaux de surface et une possibilité d'infiltration des eaux de fausse septique qui pourraient causés certaines maladies hydriques.

**MOTS-CLEFS:** Eaux, Puits, physicochimique, Microbiologie, contamination.

## 1 INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo, à l'instar d'autres pays en voie de développement, assiste à une prise de conscience tant au niveau de la population que des gouvernants sur la nécessité de protéger l'environnement [1],[2]. Ainsi des efforts sont fournis pour dénoncer les pollueurs et décourager la pollution tant au niveau institutionnel que civile [3],[4] ; l'Etat Congolais a pris de son côté un trait des mesures pour mener sa lutte en mettant sur pieds des études des problèmes d'eaux parfois assez graves dans certaines localités. En effet, les eaux souterraines en milieu urbain subissent à une forte croissance démographique

et l'inadaptation. La mise à disposition de l'eau potable au robinet nécessite le captage, le contrôle et la distribution de l'eau potable. Toutes ces opérations exigent des moyens techniques et financiers qui ne sont pas à la portée des pays en voie de développement en général et la République Démocratique du Congo en particulier. La population fait largement recours aux eaux de puits et de forage qui sont souvent mal protégés et les eaux souterraines parfois fortement contaminés par le sol.[5],[6],[7]. Face à cette situation, nous avons opté de mener une étude minutieuse afin de déterminer s'il existe une probable pollution. A cet effet, nous avons fait une descente sur terrain et avons effectué une série de prélèvements des échantillons d'eaux pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique ainsi que des échantillons des sols pour les ETM [4],[8]. Les valeurs des paramètres analysés ont été comparées aux normes de l'OMS [9].

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE

La zone d'étude est localisée dans le site du Quartier Golf Munua, situé dans la commune Annexe dans la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo.

### 2.2 HYDROGRAPHIE ET SAISONS

Du Nord au Nord-ouest vers le sud Est, la ville de Lubumbashi est traversée par deux grandes rivières Kafubu et Lubumbashi. Son bassin hydrographique est composé de deux ruisseaux qui sont : Karavia et Lubumbashi. La ville de Lubumbashi est sous un climat sec avec deux saisons ; La saison de pluie allant de novembre à avril et la saison sèche allant de fin avril à mi-octobre. Il faudra noter qu'il y a une forte chaleur pendant les mois d'Août, de septembre et d'octobre. Alors qu'il fait froid au mois de juin et de juillet.

### 2.3 SITE DE L'ÉTUDE

Les données obtenues et les observations visuelles faites pendant le recensement des puits nous ont permis de sélectionner les différents points. Les facteurs tels que l'usage fait de l'eau et les sources de pollutions potentielles ont été pris en compte lors de leur sélection.

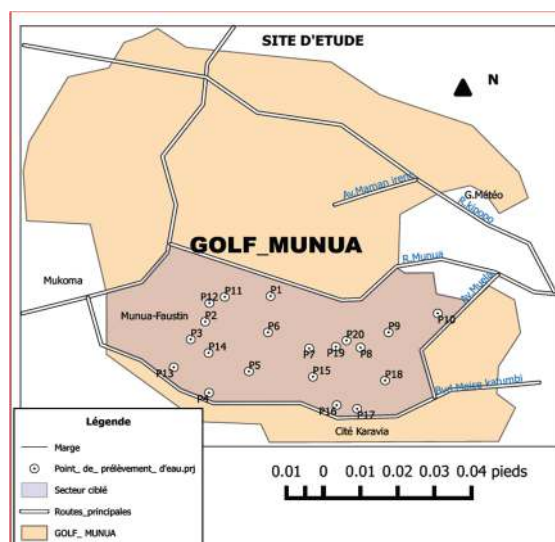


Fig. 1. Coordonnées des points d'échantillonnage

### 2.4 ECHANTILLONNAGE

#### 2.4.1 CHOIX DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE

La localisation des points d'échantillonnage sur la carte a été établie à l'aide du logiciel Quantum GIS en tenant compte des coordonnées prises par le GPS de marque GARMIN lors de l'échantillonnage.

#### 2.4.2 PRÉLÈVEMENT

Avant le prélèvement de chaque échantillon, les paramètres de terrain tels que le pH et la température ont été mesurés à l'aide d'un pH-mètre de marque Hanna HQ 40d ; Il a été calibré avec des solutions appropriées. Les bouteilles en plastique de 500 millilitres et des petits sacs plastiques ont été utilisées au cours de cette étude pour le prélèvement des échantillons d'eau à analyser ainsi que le sol dans le proche voisinage du puits. Pour chaque site, une bouteille a été dédiée au prélèvement de l'échantillon pour les analyses bactériologiques, une autre bouteille et un sac plastique pour les analyses physico-chimiques. Toutes les bouteilles et sacs plastiques ont été étiquetés et numérotés très soigneusement à l'aide d'un marqueur indélébile. Selon Rodier [10],[11]. il conviendra de s'assurer par des tests que le filtre utilisé n'est pas susceptible d'introduire des éléments traces métalliques. Pour le prélèvement de l'échantillon pour les analyses bactériologiques, les manipulations au cours de l'échantillonnage ont été faites de manière aseptique afin d'éviter toute contamination, tel que le port obligatoire des équipements de protection individuel lors de la prise de l'échantillon ; Par la désinfection des mains et de l'extérieur avec l'alcool pure ; Par le rinçage des bouteilles avec l'échantillon à prélever [12].

#### 2.4.3 PRÉLÈVEMENT DE L'EAU DU PUIIS

Après avoir tiré l'eau du puits, la bouteille (stérile) de collecte et son couvercle ont été rincés avec l'eau à échantillonner à 3 reprises, puis l'échantillon a été prélevé, la bouteille fermée et rangée dans la glacière [12],[13],[14].

#### 2.4.4 PRÉLÈVEMENT DU SOL

Afin d'avoir un échantillon représentatif du sol, des petits sacs plastiques à usage unique nous ont servi de conserver les échantillons. Les échantillons ont été pris à la surface dans le proche voisinage du puits. Les prises ont été faites à l'aide des spatules appropriées.

### 2.5 MÉTHODES

#### 2.5.1 ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

Nous avons recouru à différent type de milieux de culture tel que le milieu de Wallerstein Laboratoires Nutrient, Le milieu Tergitol 7 Agar avec supplément du chlorure de triphényltétrazolium (TTC), le milieu MacConkey Agar (McA) et le milieu de Slanetz & Bartley.

#### 2.5.2 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

##### 2.5.2.1 TITRE HYDROTIMÉTRIQUE (TH)

On assiste à dosage des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  contenus dans l'échantillon par une solution d'EDTA 0,1 N en présence d'un indicateur coloré, soit le noir d'Euriochrome.

##### 2.5.2.2 MESURE DE TDS ET DE LA CONDUCTIVITÉ

Le principe consiste à mesurer la quantité totale de matières dissoutes dans l'eau, par exemple le calcium, magnésium, chlorures et les sulfates.

##### 2.5.2.3 DOSAGE DE MÉTAUX

Pour notre étude nous avons utilisé la méthode du spectromètre d'émission atomique [12],[13],[14] et comme équipement nous avons utilisé un spectromètre d'émission atomique ICP Genesis Prosop et un spectromètre à fluorescence des rayons X.

### 3 RESULTATS ET LEURS INTERPRETATIONS

Nous présentons, dans cette partie, nos résultats sous formes des tableaux et figures. Leurs interprétations et leurs discussions s'effectueront au fur et à mesure de leur présentation.

### 3.1 ANALYSE SUR SITE

#### 3.1.1 EXAMEN ORGANOLEPTIQUE

Les analyses organoleptiques ont consisté en la détermination de la couleur, de l'odeur, de l'aspect ainsi que de la saveur tel que mentionné dans le tableau suivant. Ces résultats se sont observés pour tous les 20 puits qui ont fait l'objet de notre échantillonnage.

*Tableau 1. Caractéristiques organoleptiques des eaux prélevées*

<b>Echantillons</b>	<b>Couleur</b>	<b>Aspect</b>	<b>Odeur</b>	<b>Saveur</b>
<b>P1</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P2</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P3</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P4</b>	Incolore	Limpide	inodore	Normale
<b>P5</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P6</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P7</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P8</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P9</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P10</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P11</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P12</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P13</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P14</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P15</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P16</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P17</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P18</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P19</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale
<b>P20</b>	Incolore	Limpide	Inodore	Normale

Les eaux dans l'ensemble des puits sont claires et ne présentent ni mauvaises odeurs ni mauvais goût ce qui fait croire à la population qu'elles sont potables mais il faut passer à d'autres analyses pour bien apprécier la potabilité de ces eaux.

### 3.1.2 DESCRIPTION EXTERNE DU PUIT

Tableau 2. Aspects externes des puits

Désignation du puits	Usage des eaux	Profondeur	Type de protection	Remarques (Leurs distances par rapport aux fosses septiques)
PT1	Tout usage	16 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT2	Tout usage	18 m	Non bétonné sans couvercle	Très loin
PT3	Tout usage	14 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT4	Tout usage	16 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT5	Tout usage	15 m	Bétonné sans couvercle	Très loin
PT6	Tout usage	18 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT7	Tout usage	17 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT8	Tout usage	14 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT9	Tout usage	14 m	Non bétonné avec couvercle	Très loin
PT10	Travaux ménagers	12 m	Non bétonné avec couvercle	Très loin
PT11	Travaux ménagers	16 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT12	Tout usage	12 m	Non bétonné sans couvercle	Très loin
PT13	Tout usage	17 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT14	Tout usage	15 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT15	Tout usage	14 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT16	Travaux ménagers	17 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT17	Tout usage	17 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT18	Tout usage	15 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT19	Tout usage	16 m	Bétonné avec couvercle	Très loin
PT20	Tout usage	18 m	Bétonné avec couvercle	Très loin

Il ressort de ce tableau que 75% des puits sélectionnés répondent aux normes de construction ; ceci ne suffit pas pour en déduire la potabilité de ces eaux.

### 3.2 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Les analyses portant sur la détermination du pH, du potentiel, de la dureté totale, de la conductivité électrique et du TDS ont conduit aux résultats repris ci-dessous.

#### 3.2.1 LE PH

Les valeurs de pH après le prélèvement dans chaque puits sont présentées dans la figure ci-dessous :

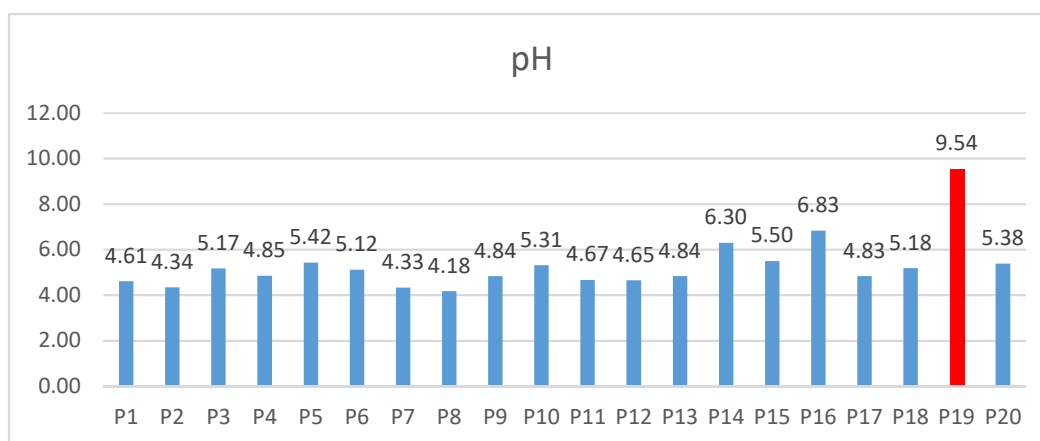


Fig. 2. Valeurs de pH de différents puits

Il résulte de l'analyse des données présentées dans le Fig.2. ci-dessus que le P16 (pH = 6,83) présentent des valeurs qui respectent les normes de l'OMS pour l'eau destinée à l'usage domestique. Les autres échantillons ont des valeurs de pH en dessous de la norme sauf l'échantillon P19 qui présente une valeur supérieure (pH = 9,54). Ces valeurs de pH peuvent être influencées par la nature du fond de l'eau qui pourrait être constituée des silices, carbonates ou hydrogencarbonates.

### 3.2.2 TEMPÉRATURE

La variation de la température des échantillons d'eaux de puits du quartier golf Munua est présentée par le graphique ci-dessous.

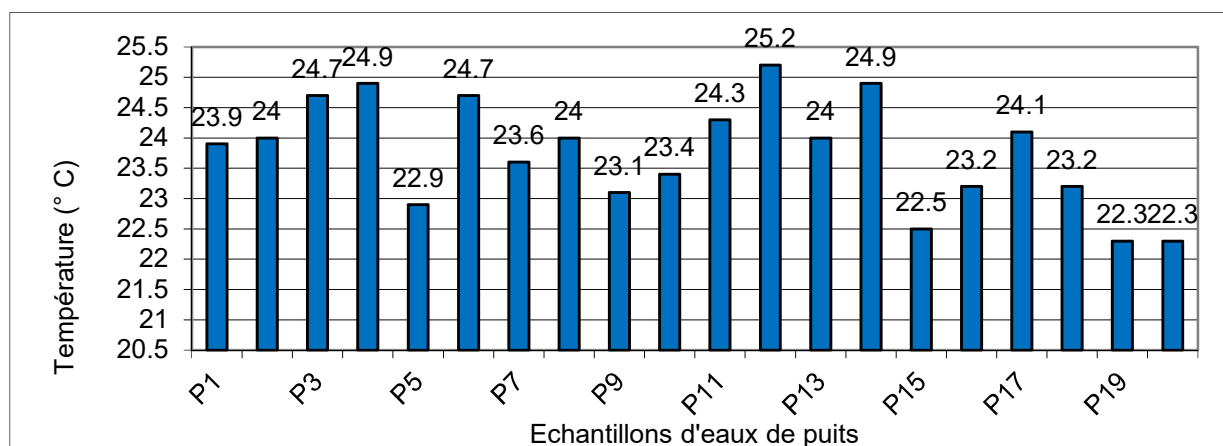


Fig. 3. Valeurs des températures de différents puits

Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15 °C ; mais entre 20 et 25°C, elle désaltère mal. Le niveau guide de la température de l'eau destinée à la consommation humaine, peut aller jusqu'à 25 °C, la température à ne pas dépasser. Tous les échantillons ont une température comprise entre 22 et 25°C sauf l'échantillon P12 qui présente une valeur de 25,2 °C plus élevée que les autres et pourrait mal désaltérer.

### 3.2.3 LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement et très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. Ainsi d'après [10] dans le cas d'un contrôle de distribution d'eau potable, l'intérêt de cette méthode ne réside pas dans une seule mesure mais dans une série de déterminations ou d'enregistrements en continu qui permettront de déceler les variations de composition pouvant signaler des arrivées d'eau susceptibles d'être polluées. Le graphique ci-dessous donne la comparaison des valeurs de la conductivité électrique des échantillons d'eaux de puits.

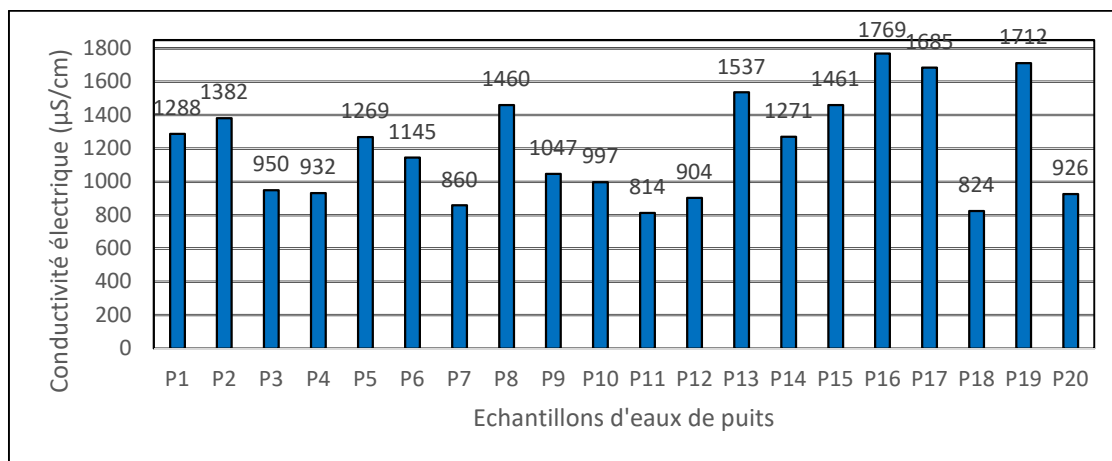


Fig. 4. Conductivité associée la minéralisation de différents puits

L'analyse de cette figure montre que les valeurs de la conductivité électrique de la moitié de nos échantillons sont non conformes aux normes de l'OMS pour l'eau destinée à l'usage domestique car ils présentent des valeurs supérieures au seuil acceptable à l'exception de P3, P4, P6, P7, P9, P10, P11, P12, P18 et P20. Une eau dont la conductivité électrique est supérieure à 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  présente une minéralisation très élevée (Rodier J, 2000).

### 3.2.4 LE POTENTIEL

Les résultats d'analyses du potentiel dans les échantillons de puits sont repris dans le graphique ci-dessous.

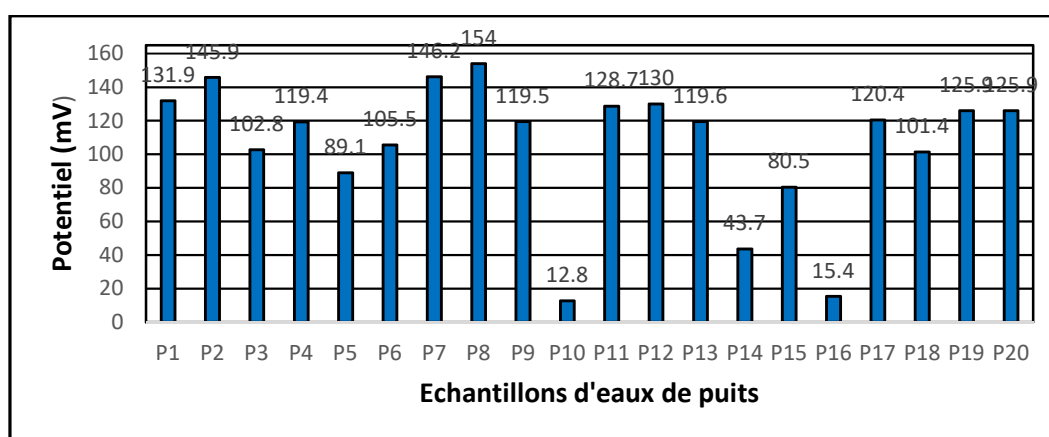


Fig. 5. Potentiel des échantillons d'eaux de puits

En observant le graphique ci-dessus, le potentiel varie de 12,8 mV à 154 mV. La valeur du potentiel nous renseigne sur la solubilisation de la plupart des ETM, c'est un paramètre important. Il convient de signaler que l'OMS présente les valeurs limites en potentiel inférieures à 250 mV. Au regard de ce qui vient d'être dit, nous constatons que ces valeurs sont conformes par rapport à ces normes.

### 3.2.5 LE TDS

Bien qu'aucune valeur guide fondée sur les critères de santé n'ait pas été fixée jusqu'à ce jour, l'OMS présente des lignes directrices selon lesquelles une eau destinée à la consommation humaine doit avoir une valeur de TDS inférieure à 1000 mg/L. La variation de TDS dans les eaux de puits du quartier Golf Munua est représentée par la Fig. 6. Ci-dessous.

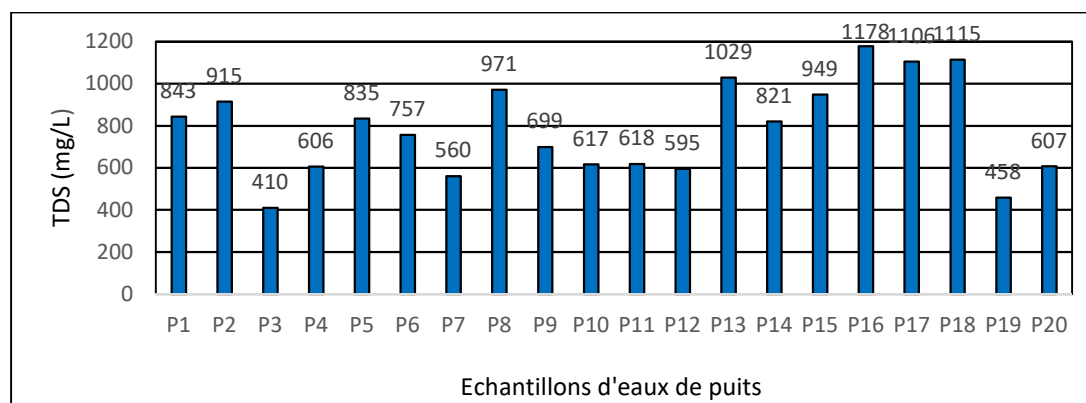


Fig. 6. TDS dans les échantillons d'eaux de puits

Il ressort de cette figure que les échantillons P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P14, P15, P19, P20 présentent des valeurs inférieures à celles fixées par les normes OMS (<1000 mg/L) tandis que les autres échantillons d'eaux de puits comme P13 (1029 mg/L), P16 (1178 mg/L), P17 (1106 mg/L), P18 (1115 mg/L), sont non conformes car leurs valeurs sont au-

dessus du seuil acceptable défini par l'OMS. Une eau dont la valeur en TDS est supérieure à 1000 mg/L est une eau chargée (Rodier J., 2000). Les eaux de P13, P16, P17 et P18 sont non conformes et impropres à l'usage domestique.

### 3.2.6 TITRE HYDROTIMÉTRIQUE (TH)

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS (2006) présente une ligne directrice fixée à 7,5°f.

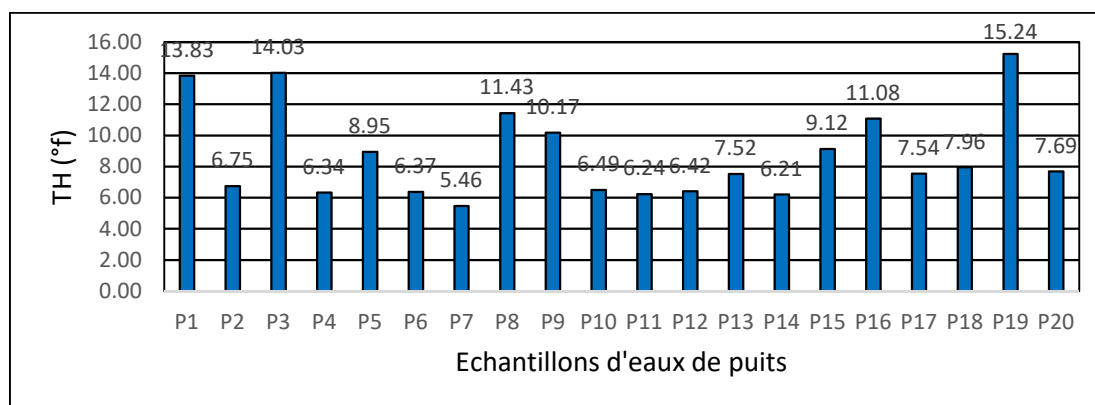


Fig. 7. Comparaison de TH des échantillons d'eaux de puits du quartier Golf Munua

Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (c'est-à-dire 7,5 ° f de TH calcique) ou à 30 mg/L de Ca est une eau douce et qu'au-dessus, il s'agit d'une eau dure (Rodier, 2000). D'après cette classification, nous constatons, à partir de la figure ci-dessus, que certains échantillons d'eaux ont des valeurs supérieures à 7,5 °f, il s'agit de P1 (13,83 °f), P3 (14,03 °f), P5 (8,95 °f), P8 (11,43 °f), P9 (10,17 °f), P13 (7,52 °f), P15 (9,21 °f), P17 (7,54 °f), P18 (7,96 °f), P19 (15,24 °f) et P20 (7,69 °f). Par conséquent ces eaux sont dures et non conformes par rapport aux normes.

### 3.3 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Pour les résultats des analyses microbiologiques, quatre micro-organismes indicateurs de pollutions, ont été consignés dans le tableau ci-dessous.



Tableau 3. Résultats d'analyse microbiologiques des échantillons

Chlorure de Triphényl tétrazolium + Gélose Lactosée au Tergitol 7 Agar		Milieux de culture			
		Wallerstein Laboratories Nutrient Medium Ou Agar Nutritif	MacConkey II Agar	Slanetz and Battery (Enterococcus Selective Agar)	
Echantillon	Coliformes totaux à 37°C(UFC)	Coliformes fécaux (E. Coli) à 45 °C (UFC)	Germes totaux à 22 °C (UFC)	Isolement des organismes entériques (UFC)	Entérocoques fécaux (UFC)
P1	> 50	-	38 col + 1 Bactérie gram négatif	-	-
P2	9	-	27 Bactéries Gram négatif	18	-
P3	> 50	-	44 col + 2 moisissures	-	8
P4	-	-	32 col + 10 bactéries gram négatif	-	-
P5	-	-	-	-	-
P6	3	-	28 Bactéries gram négatif	42	-
P7	-	-	22 col	28	-
P8	> 50	-	> 50 col + 25 bactéries gram négatif	> 50	> 50
P9	10	-	6 col moisissures + 1 bactérie gram négatif	> 50	-
P10	40	-	33 col moisissures	42	-
P11	18	-	1 bactérie gram négatif	27	-
P12	24	-	4 col	21	-
P13	16	-	15 bactéries gram négatif	31	-
P14	38	-	38 bactéries gram négatif	> 50	-
P15	11	-	> 50 bactéries gram négatif	2	-
P16	32	-	3 col	> 50	-
P17	11	-	1 col moisissure	12	-
P18	-	-	2 col moisissures	18	-
P19	-	-	-	-	-
P20	3	-	4 col germes totaux non identifiés	17	-
Normes OMS	< 1	< 1	≤ 20	< 1	< 1

L'analyse des données du tableau 3 ci-dessus montre que les échantillons P1, P3, P8, P10, P12, P14 et P16 indiquent une présence des germes et par conséquent ces eaux sont impropres pour leur usage de consommation. La présence des coliformes totaux dans les eaux nous renseigne sur l'état d'insalubrité. La présence des coliformes révèle l'infiltration des eaux de surface et la présence des matières organiques résiduelles issue de l'activité humaine. Il est cependant évident que certaines eaux ne sont pas contaminées ni par les coliformes ni par les autres germes selon le type de milieu de culture utilisé, par là il est important de signaler que ces eaux ne sont pas en contact permanent et récent avec les matières fécales ou les eaux d'infiltration des toilettes. Il ressort du même constat que certains échantillons d'eaux sont contaminés par les organismes entériques sauf les échantillons tels que P1, P3, P4, P5 et P19 ; Nous avons constaté qu'il n'y a pas contamination par les entérocoques fécaux, à l'exception des puits P3 et P8 qui sont pollués. Cette présence montre un contact lointain avec les matières fécales. D'un point de vu microbiologique ces eaux sont impropres pour leur usage domestique et de consommation mais un traitement simple et permanent au chlore peut y remédier.

### 3.4 ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE PUIITS

Les résultats des analyses chimiques conduites au laboratoire CHEMAF sont présentés dans le tableau 4 suivant.

**Tableau 4. Résultats d'analyses chimiques des ETM pour les eaux de puits**

Ech.	Concentration en ETM (mg/L)												
	Co	Cu	Fe	Mn	Ca	Mg	Zn	Na	Al	Ni	Pb	Cr	Cd
P1	<LOQ	0,05	<LOQ	0,09	1,30	7,42	<LOQ	4,31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,10
P2	<LOQ	0,42	<LOQ	0,09	14,25	8,52	<LOQ	2,40	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01
P3	<LOQ	0,05	<LOQ	0,11	10,30	7,55	<LOQ	4,31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07
P4	<LOQ	0,05	<LOQ	0,09	7,70	0,46	<LOQ	2,31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01
P5	<LOQ	0,06	<LOQ	0,05	11,25	0,70	<LOQ	1,99	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01
P6	<LOQ	0,05	<LOQ	0,07	6,88	5,48	<LOQ	2,36	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05
P7	<LOQ	0,03	<LOQ	0,08	6,99	0,88	<LOQ	1,99	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07
P8	<LOQ	0,05	<LOQ	0,09	7,26	4,70	<LOQ	1,85	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05
P9	<LOQ	0,05	0,149	0,09	1,51	4,37	0,008	1,88	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P10	<LOQ	0,05	<LOQ	0,81	0,33	0,47	<LOQ	1,15	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P11	<LOQ	0,05	<LOQ	0,09	14,01	0,30	<LOQ	0,42	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
P12	<LOQ	0,56	<LOQ	0,02	0,58	9,07	<LOQ	2,98	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P13	<LOQ	0,04	<LOQ	0,07	10,24	0,48	<LOQ	1,06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P14	<LOQ	0,03	<LOQ	0,10	<LOQ	7,27	<LOQ	1,69	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P15	<LOQ	0,04	<LOQ	0,08	0,99	0,14	<LOQ	2,57	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P16	<LOQ	0,04	<LOQ	2,33	0,70	6,48	<LOQ	2,31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00
P17	<LOQ	0,03	<LOQ	0,06	0,75	4,93	<LOQ	1,99	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05
P18	<LOQ	0,04	<LOQ	1,98	4,99	5,01	<LOQ	1,85	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03
P19	<LOQ	0,04	<LOQ	0,09	0,98	4,98	<LOQ	4,54	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02
P20	<LOQ	0,05	<LOQ	0,09	4,32	5,02	<LOQ	5,00	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,50
Normes OMS	1	0,04		0,10	-	-	0,0013	-	-	0,07	0,02	-	0,01

Il ressort de l'analyse des données du tableau ci-dessus les constats ci-après :

Les échantillons en trame de fond jaune présentent des valeurs de concentration supérieure à celle fixée par l'OMS pour l'eau à usage de consommation et domestique. Nous pouvons dire que ces échantillons d'eaux sont fortement concentrés au Cu et cette pollution peut être d'origine naturelle (nature chimique du sol) ou soit d'origine anthropique (activités de l'homme). Certains échantillons comme le P10 (0,814 mg/L), P16 (2,334 mg/L) et P18 (1,978 mg/L) présentent des valeurs de concentration élevées alors que les normes de l'OMS pour l'eau destinée à usage domestique prévoient 0,1 mg/L Mn. Nous pouvons dire que les échantillons identifiés en fond jaune sont pollués au Mn. La plus forte valeur en concentration en Ca est observée dans le puits P12 (9,065 mg/L) et la plus faible valeur dans les puits P15 (0,141 mg/L). En analysant toutes ces valeurs de concentration, les eaux de puits présentent des valeurs en Ca qui ne permettent leur interprétation et attribution de la conformité ou la non-conformité par le fait que le seuil acceptable n'est pas défini. Nous pouvons dire que la plus forte valeur de concentration en Na est observée dans le puits P20 (4,997 mg/L) et la plus faible valeur dans les puits P11 (0,419 mg/L). De ce fait, il nous est difficile d'affirmer si le Na contribue à la pollution des eaux de puits car le seuil limite n'est pas défini par les normes de l'OMS. Il convient de signaler que la présence du sodium dans les eaux de puits est la preuve d'un contact permanent avec les eaux de lessivage ou les eaux de puits mal entretenues ; Certains échantillons présentent des valeurs de concentration supérieures au seuil limite de Cd alors que les normes de l'OMS pour l'eau destinée à usage domestique prévoient 0,005 mg/L de Cd or, le P1 (0,097 mg/L), P2 (0,07 mg/L), P3 (0,068 mg/L), P4 (0,07 mg/L), P5 (0,06 mg/L), P6 (0,045 mg/L), P7 (0,065 mg/L), P8 (0,045 mg/L), P17 (0,045 mg/L), P18 (0,031 mg/L), P19 (0,023 mg/L), P20 (0,499 mg/L). Cette contamination présentant des valeurs élevées du Cd dans les échantillons peut être d'origine anthropique (infiltration des eaux d'érosion, retombées des polluants atmosphériques, etc.) ou soit d'origine naturelle. Au regard des résultats du tableau ci-haut, nous pouvons dire que ces eaux ne sont pas propres pour leur usage domestique et nécessitent des précautions et un prétraitement avant leurs usages.

### 3.5 ANALYSES CHIMIQUE DES SOLS

L'analyse des sols permet de connaître l'impact du sol sur la qualité physico-chimique des eaux de puits et il convient de signaler que le sol du quartier Golf Munua présente un pH moyen autour de 7,44. Les résultats d'analyses des ETM dans le sol de ce quartier sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 5. Résultats d'analyse chimique pour le sol

Ech	Concentration en ETM (mg/kg)										
	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Na	Mg	Ca
P1	11,24	10,62	71,21	10,21	600,12	31110,45	200,12	41,21	14001,21	10245,2	6669,52
P2	11,23	10,25	72,35	10,25	501,98	21601,12	301,21	60,12	10391,23	9457,61	7659,21
P3	11,64	10,32	92,1	11,95	841,52	45610,52	300,56	54,62	8789,35	29457,2	19247,39
P4	11,52	9,51	61,23	9,65	821,12	53120,45	600,54	42,65	75410,32	13147,1	9123,54
P5	10,02	10,25	270,1	10,52	702,32	24752,12	812,25	51,31	19457,32	10698,9	16214,91
P6	9,09	11,28	61,02	12,24	516,21	45610,2	500,42	32,29	10001,25	9245,31	11201,45
P7	9,12	11,78	81,24	10,25	412,39	24070,08	311,89	42,58	9782,31	6546,62	9214,58
P8	9,52	11,56	90,99	9,52	517,23	15710,02	418,75	41,61	40145,21	32140,2	12014,67
P9	9,54	10,34	64,52	9,84	6021,2	23400,15	321,45	40,09	34781,25	4795,21	6987,56
P10	10,69	9,54	84,21	10,63	701,23	27520,45	409,65	41,61	55470,21	13692,5	9879,38
P11	10,87	9,52	120,6	9,42	503,21	45703,12	302,56	40,23	10524,51	8451,31	7019,52
P12	10,89	9,61	74,39	11,09	541,23	23120,12	301,24	41,19	11369,21	9147,09	11021,37
P13	9,52	12,32	84,41	10,23	521,13	22600,42	403,89	51,24	17564,25	6479,19	13012,64
P14	9,43	10,24	101,3	11,09	752,09	39315,2	1109,4	51,09	13214,37	7470,24	13014,28
P15	10,64	10,65	142,5	11,05	814,21	59005,21	408,97	41,52	10467,51	56471,6	10014,32
P16	10,24	10,41	135,2	9,54	543,96	22701,09	105,87	71,39	14367,37	69780,7	10254,65
P17	10,24	21,51	85,32	9,63	603,99	24005,12	302,52	40,28	16214,21	10214,2	9365,19
P18	10,62	10,23	69,84	9,25	604,19	31700,65	306,99	51,23	10254,51	11325,3	4265,78
P19	10,23	10,61	62,75	11,54	632,08	31125,28	304,78	41,25	4214,19	19243,3	8784,28
P20	10,25	22,31	152,4	10,21	312,51	30712,65	209,42	4,62	7214,09	13214,8	7659,41
Normes	30		35	60	-	-	-	100	-	-	-

En analysant le tableau ci-dessus, nous avons relevé les constats ci-après :

Nous voyons que la concentration des échantillons des sols contient le Cu, Co, Pb, Cr qui présentent des valeurs inférieures au seuil limite. Ce seuil permet de connaître les valeurs au-dessus desquelles les concentrations des métaux peuvent avoir de l'impact sur les eaux de puits. Cependant, les concentrations des métaux précités sont dans les normes. Quant aux autres métaux du même groupe : Zn, Fe, Ni, Mn, Na, Mg et Ca présentent des valeurs qui ne permettent pas de faire une approche globale sur leur impact sur la qualité des eaux de puits car leur seuil limite n'est pas défini par les normes. La contamination des eaux de puits par les ETM du sol est influencée par d'autres paramètres physico-chimiques comme le pH, la conductivité électrique, les ions sulfates et chlorures ainsi que le potentiel de ces eaux. Il convient que la concentration élevée du Fe nous renseigne que le sol de ce quartier est de type ferralitique.

## 4 CONCLUSION

Notre étude a été fondée sur l'évaluation de la qualité des eaux des puits et du sol du Golf Munua de la commune annexe de Lubumbashi. L'eau est un bien vital, indispensable à la vie. Elle ne doit pas être un bien marchand mais un patrimoine commun qu'il faut absolument défendre et protéger pour l'intérêt de tous. Elle peut être source de maladies. Dans cette optique, l'objectif principal de notre étude a été de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux de puits et du sol. Les paramètres physiques nous permettant, en fonction des normes de l'OMS, d'évaluer une probable pollution de ces eaux étant donné que la majeure partie de la population du quartier Munua dépend de ces eaux pour usage domestique. Pour ce faire, nous avons commencé par la descente sur terrain, nous avons effectué les prélèvements de 20 échantillons d'eaux et de sols. Ces échantillons ont été conduits au laboratoire pour les différentes analyses. La détermination des ETM dans ces échantillons a été réalisée grâce à la spectrométrie d'absorption atomique pour les eaux de puits et la fluorescence X pour les sols du quartier.

A l'issu de ces analyses, nous avons obtenu les résultats suivants :

- Pour les paramètres organoleptiques, tous les échantillons présentent un aspect clair, pas d'odeur et les eaux sont limpides. A ceci, ces eaux sont conformes et cela ne suffit pas, raison pour laquelle nous avons vérifié d'autres paramètres ;
- Pour les paramètres physico-chimiques : le pH des eaux de puits varie de 4,33 à 9,54. L'échantillon P16 (6,83) seul respecte les normes tandis que les autres échantillons sont en dessous des normes et au-dessus des normes. La température des échantillons varie de 22,30 à 25,20 et ces eaux, bien que respectant les normes, sont disposées à favoriser le développement des microorganismes dans les canalisations. Le potentiel des eaux varie de 12,8 mV à 154,00 mV, donc, tous les échantillons sont conformes car leurs valeurs sont inférieures à 250 mV. Les valeurs de TDS respectent les normes, à l'exception de P13 (1029) P16 (1178) P17 (1106) et P18 (1115) qui sont non conformes à l'usage domestique car présentant des valeurs supérieures à 1000 mg/L. 11 échantillons, P1(13,82) P3(14,03) P4(17,5) P9(7,78) P10(7,75) P11(9,32) P13(7,52) P15(9,12) P16(11,08) P17(7,54) P18(7,96) P19(17,98) P20(7,69) sur 20 présentent des valeurs de TH non conformes car ce sont des eaux dures (valeurs supérieures à 7,5 °f). La conductivité électrique varie de 814 µS/cm à 1769 µS/cm et 10 échantillons sont non conformes car leurs valeurs sont supérieures à 1 200 µS/cm.
- Pour les paramètres microbiologiques, il n'y a pas de pollution confirmée par les germes totaux à 22°C et les coliformes fécaux. 9 échantillons d'eaux de puits contiennent des germes totaux à 37°C, cela est la preuve que l'eau est en contact direct avec les eaux de surface. 2 échantillons contiennent les entérocoques fécaux et 15 échantillons présentent les organismes entériques ; cela montre que les eaux sont en contact avec les eaux d'infiltration des fosses septiques ou des selles. A partir de ce qui vient d'être dit, ces eaux sont non conformes à l'usage domestique.
- Pour les analyses du sol : le Zn, Fe, Ni, Mn, Na, Mg et Ca présentent des valeurs qui ne permettent pas de faire une approche globale sur leur impact sur la qualité des eaux de puits car les valeurs limites ne sont pas définies par les normes de l'OMS. Les ETM comme Cu, Co, Pb, Cr ont des valeurs de concentration inférieures aux normes.
- Pour les analyses des ETM des eaux de puits, nous avons constaté que 12 échantillons sont pollués au Cd et les valeurs de concentration varient de 0,023 mg/L à 0,097 mg/L. 3 échantillons (P10, P16 et P18) sont pollués en Mn et ont de concentrations qui vont de 0,814 mg/L à 2,334 mg/L. 14 échantillons sont pollués au Cu avec des valeurs variant entre 0,041 mg/L à 0,56 mg/L et sont non conformes pour l'usage domestique. Les ETM tels que Co, Fe, Zn, Ni, Al, Pb et Cr ont des concentrations étant conformes aux normes tandis que Ca, Na et Mg ont des concentrations qui ne permettent pas de déceler leur contribution à la pollution de ces eaux car le seuil limite est non défini.

En réalité, chaque échantillon d'eau est non conforme étant donné que certains paramètres analysés dans ce travail ne sont pas conformes pour l'usage domestique. Ce travail constitue une piste de recherche car la gestion du risque en matière de sécurité environnementale est donc complexe et nécessite une approche globale. Nous suggérons que d'autres recherches soient menées dans le même cadre et/ou continuer avec les analyses des autres paramètres tels que les phosphates, les nitrates et nitrites, la composition minéralogique du sol, les composés organiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les hydrocarbures aromatiques ainsi que les polluants organiques persistants.

## REFERENCES

- [1] Bliefert C. et Perraud R., (2001), Chimie de l'environnement, Air, eaux, sols, déchets, 1ère Ed., 2ème tirage 2003, De Boeck Diffusion, Paris, p. 124, 173, 210-224.
- [2] Ramade F., (2002), Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et Sciences de l'environnement, 2ème Ed., Dunod, Paris, p. 243, 276-375.
- [3] Boudeme C., (2000), Toxicité des métaux lourds, Service d'information alimentaire, Fédération des entreprises du commerce et de la distribution, Paris, pp. 14-26.
- [4] Amrani K., (2007), la pollution de l'eau et ses impacts, Flammarion, Paris, p. 17-34.
- [5] Bliefert C. et Perraud R., (2001), Chimie de l'environnement, De Boeck, Bruxelles, p. 8-24, 271-282, 285-290, 295, 303, 332, 336, 369-388.
- [6] Ramade F., (2005), Elément d'écologie appliquée, 6ème Ed. Dunod, Paris, p864.
- [7] Ramade F., (2007), Introduction à l'écotoxicologie : fondement et application (source électronique), Ed. TEC et DOC, Lavoisier, Paris, p618.
- [8] Raven P., Berg L. et Hassenzahl D., (2009), Environnement, Traduction française de la 6ème édition Américaine, Ed. De Boeck Université, Bruxelles, pp. 451- 600.
- [9] OMS (2006), Lignes directrices sur la qualité de l'eau (source électronique), 3ème Ed., vol.1, Recommandations, Genève, p538.
- [10] Rodier J., 1984, Analyses chimiques et physico-chimiques de l'eau, Eaux naturelles – eaux usées, Dunod, Paris, p412.

- [11] Rodier J., (2000) : L'analyse de l'eau, 8ème édition, Dunod, Paris, p. 421 – 450.
- [12] Wild H., (1978), the vegetation of heavy metal and other toxic soils, in Wager Mja, Edbiogeography and ecology of southern Africa, Pretoria, pp. 1-6.
- [13] Bach J. et Starmans D., (2005), heavy metals in publish and dictionary agronomy: actual state and previsions for the future of agriculture, ecosystems and environment, Environment, Connecticut, pp. 67-69.
- [14] Baize D., (2012), Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français, Premiers résultats du programme ASPITET, Courrier de l'Environnement de l'INRA N°22, p80.