



## Caractérisation physico-chimique, bactériologique et faciès hydro-chimiques des eaux des forages dans la commune de Lemba

### Physico-chemical, bacteriological and hydro-chemical characterization of water from boreholes in the commune of Lemba

SAMBA LOKOMBE Christian<sup>1</sup>, LOKANGO OKINTAMBOLO Olivier<sup>2</sup>, KATENDE KANYINDA Paul<sup>3</sup>, TSHEFU LOKANGU Lambert<sup>4</sup>, KALONDJI WATAIE Kevin<sup>5</sup>, MBO MUNDILA Rica<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Assistant de Recherche au Centre de Recherche Géologiques et Minières, Département d'hydrologie et d'hydrogéologie, BP.898 Kinshasa/Gombe, RD Congo

<sup>2</sup>Assistant de Recherche au Centre de Recherche Géologiques et Minières, Département de Géologie Urbaine et Environnement, BP.898 Kinshasa/Gombe, RD Congo

<sup>3</sup>Assistant de Recherche à l'Institut Géographique du Congo, Département de la Cartographie, B.P. 3086 Kinshasa/Gombe, RD Congo

<sup>4</sup>Attaché de Recherche au Centre de Recherche Géologiques et Minières, Département de Géologie Appliquée, BP. 898 Kinshasa/Gombe, RD Congo

<sup>5</sup>Assistant de Recherche au Centre de Recherche Géologiques et Minières, Département Géologie appliquée, BP.898 Kinshasa/Gombe, RD Congo

*This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](#) license.*



**Abstract:** The objective of this work is to evaluate the quality of water from boreholes exploited in the Salongo and Kemi/Righini districts. The study focused on verifying the standards established by the WHO in this area on the water samples taken from the boreholes. The result of the physicochemical analyzes of the water from the nine boreholes from the two contiguous districts of Salongo and Kemi/Righini revealed that: four parameters analyzed are above WHO standards: turbidity, suspended matter, BOD<sub>5</sub> and Potassium. Four parameters analyzed are within the range of WHO standards, including; temperature, conductivity, Calcium and Sodium. Ten parameters analyzed are below WHO standards. These are hardness, pH, COD, Magnesium, Chloride, Sulfate, Nitrate, Phosphate, Iron and Copper. The three phenomena are at the origin of the mineralization of water: the contribution of precipitation, the rainfall of soils and the water-rock contact (main mechanism of production of ions). The Ascending Hierarchical Classification (CHA) analysis made it possible to identify four groups and classes of water with different chemical compositions. The results of bacteriological analysis for the occurrence of total Coliforms and Escherichia Coli in water from boreholes in these two districts do not present any possible risks of contamination. Considering the results found after the physico-chemical, bacteriological and hydro-chemical analyzes, we say that the water from the boreholes consumed by the population of Kemi/Righini and Salongo does not meet the potability criteria recommended by the WHO for drinking water.

**Keywords:** Borehole water, physico-chemical and bacteriological parameters, hydro-chemical facies, Kemi/Righini, Salongo, Lemba.

**Résumé:** L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux des forages exploitées dans les quartiers Salongo et Kemi/Righini. L'étude a porté sur la vérification des normes établies par l'OMS en la matière sur les échantillons d'eau des forages prélevés. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux des neuf forages

issus des deux quartiers contigus Salongo et Kemi/Righini ont révélé que: quatre paramètres analysés sont au-dessus des normes de l'OMS à s'avoir la turbidité, les matières en suspension, la DBO<sub>5</sub> et le Potassium. Quatre paramètres analysés sont dans l'intervalle des normes de l'OMS, notamment; la température, le conductivité, le Calcium et le Sodium. Dix paramètres analysés sont en dessous des normes de l'OMS. Il s'agit de la dureté, le pH, la DCO, du Magnésium, du Chlorure, du Sulfate, du Nitrate, du Phosphate, du Fer et du Cuivre. Les trois phénomènes sont à l'origine de la minéralisation des eaux: les apports des précipitations, le pluviollessivage des sols et le contact eau-roche (principal mécanisme de production des ions). L'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a permis d'identifier quatre groupes et classes deau de compositions chimiques différentes. Les résultats d'analyse bactériologique à l'occurrence les Coliformes totaux et *Escherichia Coli* des eaux des forages de ces deux quartiers ne présentent pas d'éventuels risques des contaminations. Au regard des résultats trouvés après les analyses physico-chimiques, bactériologiques et faciès hydro-chimiques, nous disons que les eaux des forages consommées par la population de Kemi/Righini et Salongo ne respectent pas les critères de potabilité recommandées par l'OMS pour les eaux de boisson.

**Mots-clés :** Eaux des forages, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, faciès hydro-chimiques, Kemi/Righini, Salongo, Lemba.

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.10659508>

---

## 1. INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable dans la vie des hommes, des animaux et des végétaux. L'avoir en quantité suffisante et en qualité disponible contribuent au maintien de la santé. Mais elle peut être aussi source de maladies du fait de sa pollution par des rejets industriels, des eaux usées, des déchets ménagers ou agricoles, des excréta et divers déchets organiques [1] ; [3], [21]. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, environ 1,1 milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et 2,4 milliards n'ont pas accès à un système d'assainissement adéquat. Plus de 2 millions de personnes, surtout des enfants de moins de cinq ans des pays en développement où les mesures d'hygiène et d'assainissement sont insuffisantes, meurent chaque année des maladies diarrhéiques [16].

Or, à l'échelle mondiale, près de 90 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des eaux usées. L'eau est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable [19].

Dans les grandes villes congolaises, il y a une absence quasi- totale de réseaux d'assainissement, un manque criant de systèmes de traitement des eaux usées ainsi qu'une gestion inadéquate des déchets solides. A l'exemple des villes camerounaises où d'après [26], « l'élimination des eaux des vannes se fait souvent par déversement direct dans le milieu récepteur (sol, marigots etc.) dans des latrines sèches pour les quartiers traditionnels, et enfin dans les fosses septiques suivies de puisards dans les quartiers résidentiels ». De même, à Kinshasa, l'élimination des eaux ménagères se fait en général directement sur la voie publique, dans la cour de la concession ou dans des caniveaux (s'il en existe), qui d'ailleurs sont souvent remplis d'immondices, de chiffons, de bouteilles et de poches d'eau en plastique « Eau pure », vendues à la sauvette dans la rue et jetées par terre par les consommateurs.

En République Démocratique du Congo, malgré l'abondance des eaux de surface, la grande majorité de la population congolaise dépend des nappes phréatiques et des sources pour s'approvisionner en eau potable. On estime que les nappes phréatiques représentent presque 47 % (421 km<sup>3</sup>/an) des ressources hydriques renouvelables de la RDC [20]. Du fait que l'alimentation en eau potable est limitée à certaines zones urbaines, les habitants des régions rurales, voire urbaines, sont obligés de s'approvisionner en eau des sources ou des forages dont la qualité et la salubrité sont ignorées des usagers avec les risques des pollutions qui peuvent être fréquentes et aux conséquences sanitaires imprévisibles. Face à cette problématique de l'approvisionnement en eau de qualité, une étude a été menée entre début Février et fin Mars 2022 visant à déterminer la qualité physico-chimique, bactériologique et faciès hydro-chimiques des eaux des forages dans la commune de Lemba (cas des quartiers Kemi et Salongo).

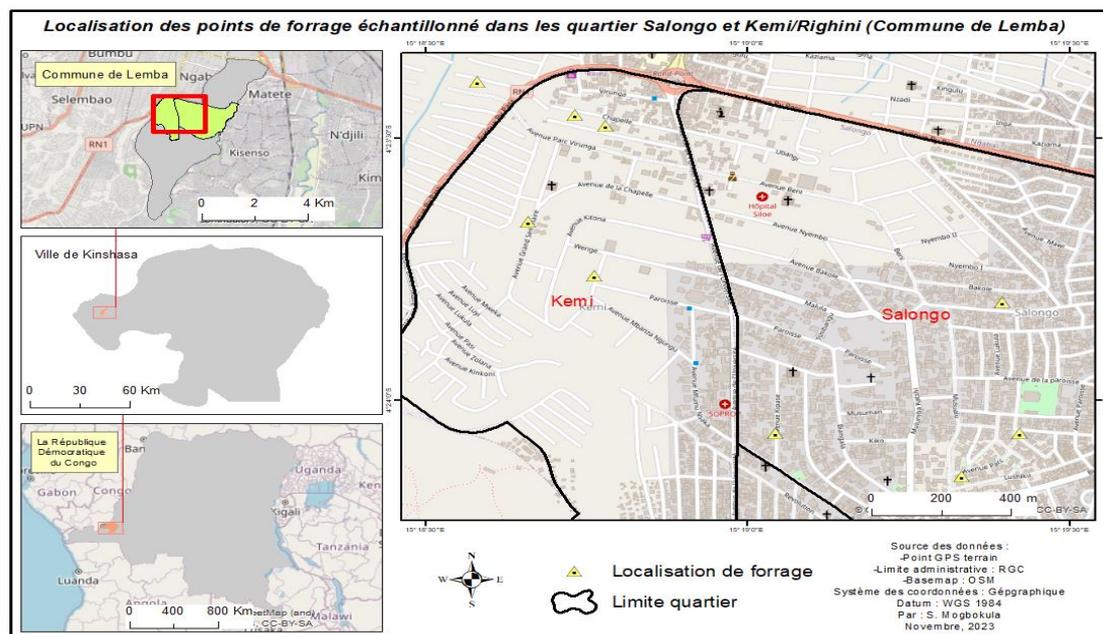
Ainsi, l'objectif de ce travail était d'évaluer la qualité des eaux des forages exploitées dans ces quartiers ; cela était essentiellement porté sur la vérification des normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé et d'expliquer les phénomènes à l'origine de la minéralisation de ces eaux.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Description du milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans la commune de Lemba, à Kinshasa, dans le quartier Kemi/Righini situé entre 4° 25' 5,99" (Latitude Sud) et 15° 18' 21" (Longitude Est), sur 340 m d'altitude et Salongo situé entre 4° 23' 50" (Latitude Sud) et 15° 19' 27" » (Longitude Est) figure 1.

Selon la classification de Koppen, le climat de Mont-Amba qui arrose les deux quartiers est du type Aw4. C'est un climat tropical humide avec une moyenne de précipitation annuelle de 1500 mm et la température moyenne journalière est de 24,5°C. Il y a deux saisons : la saison sèche et la saison pluvieuse. Selon Makoko, et al. (1996), les sols du Mont-amba présentent une texture sableuse, une structure grumeleuse très fine, une coloration brune-foncée ou ocre-jaune et une consistance meuble à l'état sec, faiblement cohésif en profondeur et une perméabilité de faible moyenne et dont les épaisseurs peuvent atteindre 30 mètres au sommet des collines. La géologie de ce site est formée des couches de sable de Kalahari posées sur un substratum formé de sables grossiers, graveleux et de grès tendres d'Inkisi. Autour de Kinshasa, la nappe se trouve au-dessus du grès du précambrien dans des formations géologiques constituées de grès du Crétacé et de sable du Quaternaire. Ce que l'on connaît de la minéralogie des grès dans cette région, permet d'indiquer que : - les grès micacés, très localisés, renferment soit de la muscovite, soit de la biotite, ou les deux à la fois ; - dans les grès tendres, système principal, on rencontre de la kaolinite. - le grès d'Inkisi, comprenant des intercalations de schistes et psammites, est essentiellement quartzite - arkosique et présente des cristaux de feldspath. Les formations sédimentaires sus jacentes d'origine détritique sont généralement constituées de quartz (SiO<sub>2</sub>), de feldspath et d'oxydes [7].



**Figure 1.** Localisation des échantillons d'eau des forages des quartiers Righini/Kemi (Sites de prélèvement : Lukala (F1) ; Virunga (F2) ; Ikuku (F3) ; Grand séminaire (F4) ; Wenge (F5) et Salongo (Sites de prélèvement : Kipasi (F6) ; Nyembo II (F7) ; Musualu (F8) et Lushiku (F9) dans la commune de Lemba

## 2.2. Méthodologies

### 2.2.1. Diagnostic des forages et leurs alentours

**Tableau 1.** Description des caractéristiques environnementaux des eaux des forages dans les deux quartiers

Forage	Profondeur (m)	Etat de la paroi	Couverture du toit du forage	Source probable de la pollution de l'eau
F1	99	Cimenter	Dalle	L'infiltration des eaux
F2	97,5	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F3	98,19	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F4	100	Cimenter	Dalle	Un ravin proximité
F5	110	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F6	99,7	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F7	98	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F8	101	Cimenter	Dalle	Non identifiée
F9	99	Cimenter	Dalle	Non identifiée

Forages et nom des avenues : LUKALA (F1) ; VIRUNGA (F2) ; IKUKU (F3) ; GRAND SEMINAIRE (F4) ; WENGE (F5) ; KIPASA (F6) ; NYEMBO II (F7) ; MUSUALU (F8) et LUSHIKU (F9).

### 2.2.2. Prélèvement et conditionnement

Pour connaître la qualité des eaux, de prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués durant l'année 2022 au mois de Février. Cela a permis de recueillir 9 échantillons d'eau sur 28 forages inventoriés dont 15 pour le quartier Kemi et 13 pour le quartier Salongo. Avant l'usage, les bouteilles ont été soigneusement lavées, puis rincées à l'eau distillée. Après chaque prélèvement d'eau des forages dans des bouteilles en plastique appropriées de 750 ml, ces derniers ont été étiquetés et mis dans une glacière de 4°C acheminés au Laboratoire de Pédologie de la Faculté de Sciences Agronomiques accompagnés d'une fiche de renseignement nécessaire portant sur l'origine et la date du prélèvement [6].

### 2.2.3. Analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques ci-après ont été évalués : pH, Température, Conductivité, Turbidité, Titre hydrotimétrique (TH) ou dureté totale, matière en suspensions, oxydabilité au permanganate de potassium, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les sulfates, DCO, DBO5, le fer, le manganèse et le cuivre. Ces analyses ont été réalisées selon les méthodes d'analyses standards préconisées par les normes d'eau de boisson [17]. Les résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux des forages sont présentés dans le Tableau 2.

Il sied de signaler que quatre paramètres physico-chimiques (le pH, la température, la turbidité et la conductivité électrique) ont été mesurés in-situ, immédiatement après le prélèvement des échantillons. Le pH des échantillons est déterminé à l'aide d'un pH-mètre de la marque WTW pH3110, par la méthode d'électrochimie. La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre SCHOTT minu d'une sonde. La turbidité des échantillons a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre 2100Q de marque HACH. Les ions Chlorés ( $Cl^-$ ), Fer total (Fe), Nitrates ( $NO_3^-$ ), Cuivre (Cu), Calcium ( $Ca^{2+}$ ), Magnésium ( $Mg^{2+}$ ), Potassium ( $K^+$ ), Sulfates ( $SO_4^{2-}$ ), Phosphates ( $PO_4^{3-}$ ), Sodium (Na) ont été déterminés par la méthode de spectrophotométrie d'absorption moléculaire à l'aide d'un spectrophotomètre.

### 2.2.4. Analyses bactériologiques

Pour l'analyse bactériologique, les paramètres choisis pour les eaux des forages sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, indicateurs de contamination fécale. La méthode exploitée pour la recherche des bactéries dans les eaux étudiées est basée sur celle dite de la membrane filtrante (MF). Pour ce faire, on détermine et on quantifie des micro-organismes vivants dans un volume d'un échantillon donné [17], [4]. La qualité bactériologique des eaux de notre zone d'étude est récapitulée dans le Tableau 3.

### 2.2.5. Traitement des données

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus ont été traités à partir des méthodes d'analyse statistique multivariée et les méthodes hydro-chimiques.

#### 2.2.5.1. Classification hydro-chimique des eaux souterraines

La méthode hydro-chimique a nécessité l'utilisation du diagramme de Piper sous le logiciel Diagrammes pour la classification hydro-chimique des eaux. Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément et de caractériser les faciès hydro-chimiques des eaux. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter les faciès cationiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) et les faciès anioniques ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et d'un losange synthétisant le faciès global sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle [24]. Le matériel utilisé pour identifier les faciès hydro-chimiques des eaux souterraines est le logiciel de Roland SIMLIR du laboratoire d'hydrogéochimie d'Avignon (diagramme version 6,76).

### 2.2.5.2. Analyse en Composantes Principales

L'approche statistique est basée sur l'utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour l'étude des phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux et l'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) pour le regroupement des eaux et l'identification des facteurs responsables de ces regroupements [18], [19]. Les analyses statistiques ont été réalisées sous les logiciels IBM SPSS STATISTICS version 20 (pour la distribution spatiale des paramètres physico-chimiques). Les valeurs des paramètres ont été comparées aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

## 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. RESULTATS

Les résultats des analyses physico-chimiques sont consignés dans le tableau 2. La distribution spatiale des paramètres physico-chimiques est présentée par la Figure 2. Elle permet d'apprécier la grandeur de chaque paramètre physique ou chimique dans la carte factorielle. Les cercles (valeurs positives) et carrés (valeurs négatives) correspondent aux valeurs normées des différents paramètres dans le plan factoriel.

#### 3.1.1. Paramètres physico-chimiques

Ces analyses ont été réalisées selon les méthodes d'analyses standards préconisées par les normes d'eau de boisson [17].

Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques

PARAMETRES	NORME	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-Types
T °C	26,8 à 28	26,4	28	27,18	0,639
pH	6,5 à 8,5	3,15	8,2	5,2425	1,906
NTU	0 à 5	5,2	6,8	6,1444	0,469
Cond $\mu\text{S}/\text{Cm}$	125 à 400	18,9	575	139,1555	177,272
Durité mg/L	200	101,01	523,96	179,365	144,639
MES mg/L	0	2,2	4,2	3,1233	0,7704
DBO5	1	0,13	0,5	1,39222	1,3384
DCO	30	26,16738	70	29,7043	26,7680
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	30 à 500	26,1	127,94	49,10778	32,4422
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	125	4,4	49,66	12,75333	14,0397
Na mg/L)	10 -100	0,19	39,66	30,27889	11,6981
K (mg/L)	10 à 15	3,76	64,1	29,38	28,3443
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	250	131	145	138,977	5,713
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	250	21,03	21,9	34,4688	38,9340
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	50	18,6	124,72	45,38	32,736
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	<0,5	-0,01	0,078	0,027889	0,0366
Fe (mg/L)	0,3	0	0,18	0,03025	0,0584
Cu (mg/L)	2	0,001	0,008	0,00575	0,0052

#### 3.1.2. Faciès hydro-chimiques des eaux

Les données des ions majeurs, reportées sur ce diagramme (Figure 2), ont permis d'identifier deux groupes de faciès chimiques pour les eaux souterraines des quartiers Salongo et Kemi/Righini. Le premier groupe est constitué de l'eau de forage de Lukula, Musualu, Kipasi, Lushiku et Nyembo II, avec un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne. Le second groupe, comprend les eaux des forages de Virunga, Ikuku, Grrand séminaire et Wenge, avec un faciès à prédominance chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.



Tableau 5. Matrices de corrélation entre les variables

Variable	T°C	pH	NTU	TH	MSE	Cond	DBO <sub>5</sub>	DCO	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe	Cu	
T°C	1																		
pH	-0,049	1																	
NTU	0,2252	0,2621	1																
TH	0,1337	-0,1078	-0,8182	1															
MSE	0,1647	-0,1974	-0,2344	0,32	1														
Cond	<b>0,6151</b>	0,1109	-0,0966	0,1412	-0,334	1													
DBO <sub>5</sub>	-0,243	<b>0,9557</b>	0,4469	-0,2947	-0,3345	-0,020	1												
DCO	0,1724	<b>0,8756</b>	0,1274	-0,0017	-0,4750	0,4550	<b>0,8074</b>	1											
Ca <sup>2+</sup>	0,0559	<b>0,0897</b>	-0,7699	<b>0,9804</b>	0,4001	0,0332	-0,1068	0,0759	1										
Mg <sup>2+</sup>	0,2662	-0,0462	-0,7560	<b>0,9723</b>	0,2415	0,2818	-0,2608	0,0798	<b>0,9198</b>	1									
Na	-0,268	0,1748	<b>0,7888</b>	-0,9538	-0,2264	-0,3670	0,38367	-0,0108	-0,878	-0,972	1								
K	-0,176	-0,8794	0,0244	-0,2734	0,2563	-0,3091	-0,7789	-0,9073	-0,364	-0,322	0,1948	1							
Cl	0,4101	-0,0610	0,0577	0,2147	<b>0,6949</b>	-0,0106	-0,0967	-0,1473	0,2828	0,3328	-0,219	-0,0816	1						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,3072	-0,1499	-0,7546	<b>0,962</b>	0,3341	0,2489	-0,3585	-0,0379	<b>0,9095</b>	<b>0,9852</b>	-0,965	-0,2337	0,3806	1					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,5489</b>	0,1944	-0,7186	<b>0,8399</b>	0,399	0,4594	-0,4502	-0,0619	<b>0,7569</b>	<b>0,8942</b>	-0,901	-0,1274	0,4990	<b>0,9100</b>	1				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,282	0,6447	-0,2912	0,4104	0,1145	-0,0303	-0,6543	-0,5544	0,3080	0,4468	-0,527	0,5182	0,0789	0,4547	0,3974	1			
Fe	-0,255	0,3432	0,4295	-0,0326	0,0742	-0,1786	0,43474	0,0750	0,0585	-0,048	0,1702	-0,3303	0,3157	-0,0031	-0,1642	-0,2081	1		
Cu	0,4029	0,0005	-0,6649	<b>0,8403</b>	0,0857	0,3755	-0,1787	0,1403	<b>0,7903</b>	<b>0,9</b>	-0,842	-0,4232	0,2953	<b>0,9093</b>	<b>0,8243</b>	0,2061	0,177	1	

Cette matrice met en évidence une corrélation assez importante entre les éléments physico-chimiques. L'analyse de cette matrice de corrélation montre qu'il s'est établi une forte corrélation (plus de 70% ) entre : Le pH et la demande biologique en oxygène, la Demande chimique en Oxygène; la turbidité et le Sodium; la dureté et calcium, Magnésium, Sulfate, Nitrate et le Cuivre ; la demande biologique en oxygène et la Demande chimique en Oxygène ; le calcium, magnésium, sulfate, nitrate et cuivre ; le Magnésium et sulfate ; le nitrate et le Cuivre ; le sulfate, nitrate et cuivre ; les nitrates et le cuivre. La faible corrélation entre (± 60 %) entre: la température, la conductivité et le nitrate; les matières en suspension et le chlorure.

Ces différentes corrélations traduisent l'influence de chaque paramètre dans la minéralisation des eaux souterraines de ce bassin versant. L'analyse des variables de l'analyse en Composantes Principales (ACP) dans le plan factoriel F1-F2 est présentée par la Figure 3.

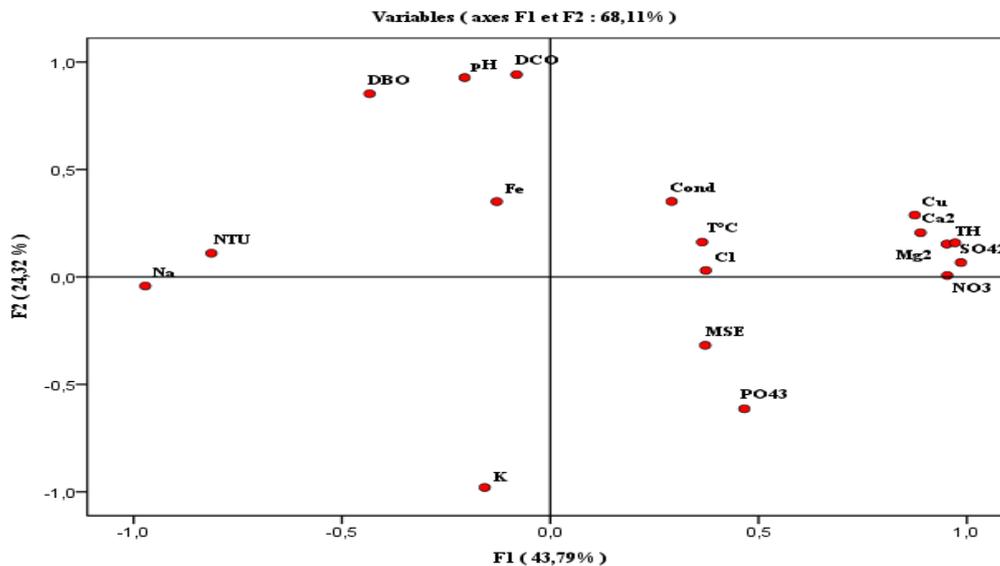


Figure 3. Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F2.

Ce graphique met en évidence quatre regroupements des variables. Le facteur 1 est déterminé dans la partie positive par les paramètres de la minéralisation totale (CE, T°C, Cl-, Cu, Ca<sup>2+</sup>, dureté, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>) et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La CE reflète une minéralisation globale de l'eau. Les nitrates ont une origine superficielle et témoignent d'une pollution anthropique. Dans la partie négative du facteur 1, sont regroupés les paramètres MSE, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Ce regroupement exprime une minéralisation liée aux activités agricoles et domestiques. Le facteur F1 est considéré comme un axe de minéralisation d'origines à la fois naturelle (contact eau-roche) et anthropique. Le facteur 2 dans la partie positive est représenté par la Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), Demande Chimique en Oxygène (DCO), Fer (Fe), Turbidité (NTU) et du potentiel d'hydrogène (pH) et la partie négative est représentative du Potassium (K) et du Sodium (Na). De plus, la proximité du calcium (Ca<sup>2+</sup>), magnésium (Mg<sup>2+</sup>) et potassium (K) est issue de l'altération des roches et de l'hydrolyse acide des minéraux silicatés. Alors cette association traduit une minéralisation des eaux liée au contact eau-roche (minéralisation temps de séjour). Le rapprochement de certains paramètres avec l'axe factoriel 2 signifie que ces éléments sont mis en solution par le même phénomène : le pluviollessivage des sols. L'origine de ces éléments dans les eaux est naturelle. Elle se justifie par la présence de la température. Les positions de ces éléments dans les pôles opposés montrent qu'ils sont mis en solution par des mécanismes différents. L'association du Fer et le sodium ou le potassium sont mis en solution par le mécanisme d'oxydoréduction et hydrolyse acide. Les parties positives du facteur F1 et positive de F2 sont donc considérées comme un axe de minéralisation qui exprime le phénomène de pluviollessivage des sols par les mécanismes d'oxydoréduction et d'hydrolyse acide. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de [28], [29] qui ont montré que la qualité de l'eau souterraine peut être prédite avec précision seulement par la mesure de la conductivité électrique.

La Figure 4 montre la prépondérance de l'influence de ces phénomènes sur la minéralisation des eaux. Il ressort de l'analyse de ce graphique que les eaux du troisième groupement de la partie négative de F2 (forage de Virunga, Ikuku, Grand séminaire, Wenge) subissent le phénomène de pluviollessivage des sols par les mécanismes d'oxydoréduction et d'hydrolyse acide des minéraux silicatés. Les eaux du deuxième groupement de la partie négative de F1 (forage de Nyembo II, Kipasi, Musualu et Lushiku) sont sous influence domestiques, tandis que celle du premier groupement de la partie positive de F1 (forage de Lukala) est sous l'influence du phénomène anthropique, du pluviollessivage des sols et de la minéralisation des terrains. Cela nous amène à étudier les liens de similarité qui pourraient exister entre ces eaux.

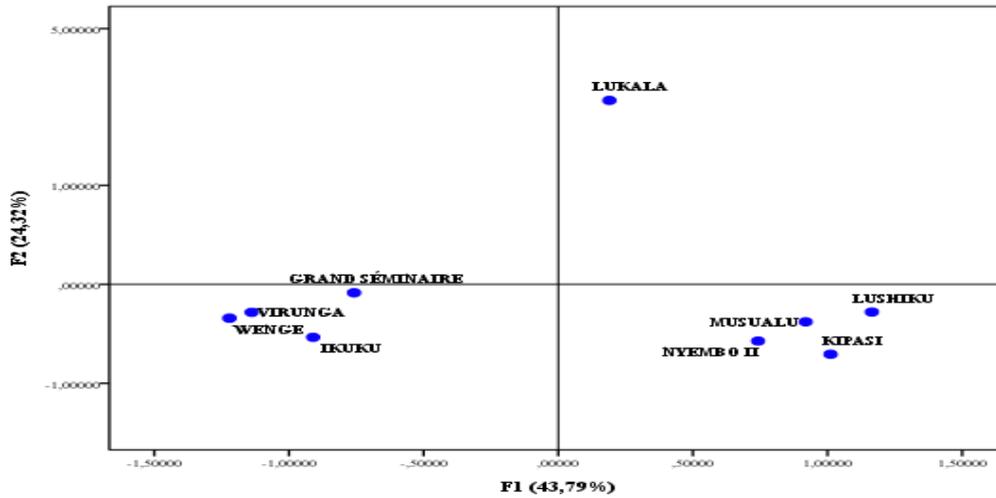


Figure 4. Représentation graphique des forages de quartiers Salongo et Kemi/Righini dans l'espace des axes (F1-F2)

3.1.5. Analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Cette classification permet de réduire le nombre de sites de prélèvements dans le cas d'un programme de suivi temporel. La Figure 5 présente les résultats de la classification des points de prélèvements en zones homogènes. Quatre classes se distinguent dans cette classification: C1, C2, C3 et C4. Dans celles-ci des associations entre les forages sont évidentes. Tel est le cas des Forage de virunga (F2), Ikuku (F3), Grand séminaire (F4) et Wenge (F5) dans la classe C2; des Forages Kipasi (F6), Nyembo II (F7) et Musualu (F8) dans la classe C3; le Forage Lushiku (F9) dans la classe C4; le Forage (1) de Lukala dans la classe 1. Dans de cet espace géographique l'ensemble de ces eaux est faiblement minéralisée. Il prend en compte tous ouvrages qui sont influencés par le phénomène du pluviollessivage des sols, de l'acquisition d'ions qui est la dissolution de la roche par hydrolyse acide des minéraux et la minéralisation qui est influencée par des activités anthropiques.

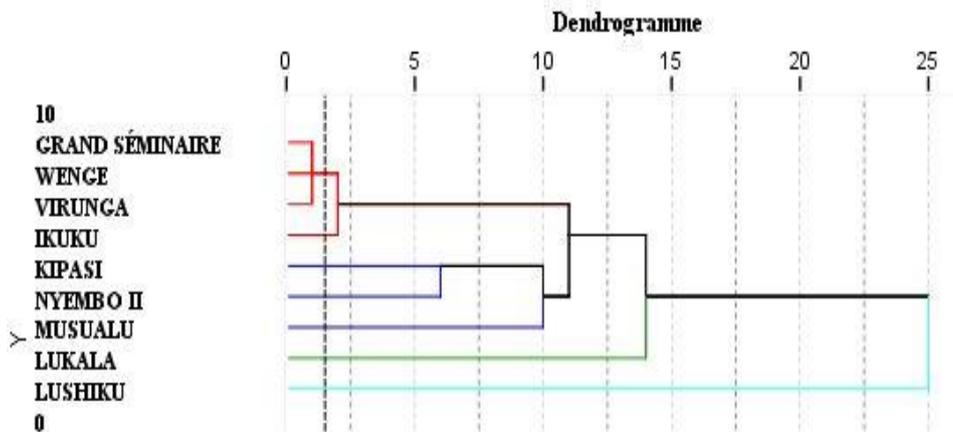


Figure 5. Dendrogramme de la classification des eaux des Forages dans les quartiers Salongo et Kemi/Righini

### 3.2. DISCUSSION

Il ressort de ces résultats ci-haut que les températures des eaux des forages varient entre un minimum de 26,4 °C et un maximum de 28 °C avec une moyenne de 27,18 °C [11]. Ces résultats sont dans l'intervalle fixée par l'OMS. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par [8] sur la qualité des eaux de puits dans la commune d'Abomey-Calavi qui avaient trouvé 27,6 °C ; par [14], par [2]. Les valeurs du pH sont comprises entre 3,15 à 8,2. Les eaux sont acides avec une moyenne de 5,325, mais ne sont pas conformes aux normes de l'OMS. Ce résultat corrobore avec celui trouvé par [14] sur l'hydrochimie des eaux souterraines du bassin versant de la loua au sud de Brazzaville-Congo, dont le pH moyen des eaux de la zone d'étude était de 5,27.

Les teneurs en matière en suspension dans les échantillons d'eaux des forages analysés varient de 2,2 mg/L à 4,2 mg/L avec une moyenne de 3,123 mg/L. Ces teneurs relativement élevées montrent qu'il y a une quantité de la matière non dissoutes, liée aux rejets ; cette quantité ne permet pas une bonne pénétration de la lumière. La turbidité est une mesure de la limpidité ou de l'opacité relative de l'eau. Cette mesure est très utilisée pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indication sur les particules en suspension qui l'occasionnent. Elle varie de 5,2 NTU à 6,8 NTU avec qu'une moyenne de 6,144 NTU. Les résultats trouvés dans ces quartiers ont une turbidité légèrement supérieure aux normes. Cette forte turbidité est due à la présence des matières en suspensions qui sont les argiles, les grains de sable et les matières organiques, probablement liée aux conditions d'infiltration des eaux et à l'activité des microorganismes. Cette forte turbidité serait aussi liée aux ruissellements et aux écoulements des parois des points d'eau qu'apportent les matières en suspension.

La dureté totale d'une eau traduit la quantité des ions métalliques en présence notamment du calcium et du magnésium. Elle présente des valeurs comprises entre 101,01 et 523,69 mg/L avec une moyenne de 179,155 mg/L. Selon [23], l'eau est dure au niveau des forages (F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F9) (Tableau 1). Ces valeurs sont toutes inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par [16]. Cela peut être dû à la dissolution du Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Toutefois, deux forages (F1) et (F8) présentent une eau très dure dont la valeur de la dureté est supérieure à celle admissible par les normes de l'OMS. Elle ne présente pas d'effet majeur pour la santé humaine, cependant elle peut entraîner une consommation excessive de savon et un dépôt de tartre dans les ustensiles de cuisine. Les valeurs obtenues au cours de la présente étude sont comparables à celles mesurées par [8] qui avaient trouvé une moyenne de 108,8 mg/L sur les eaux des puits dans la commune de Pobé (Benin).

La conductivité représente la résistance qu'une eau oppose au passage d'un courant électrique. La conductivité est très faible, elle ne dépasse 125 µS/cm pour les échantillons des forages F2, F3, F4, F5, F7 et F8. La faible conductivité de ces eaux, peut être due à la présence d'éléments minéraux indésirables dans les eaux, mais à une faible quantité. Cette conductivité ne provoque aucun taux de la salinité des eaux. En dehors du Forage 9 (579 µS/cm) dépasse largement les normes de l'OMS, cette forte minéralisation est due à de forte concentration des sels dissous. La faible minéralisation de l'eau des forages obtenue est contraire aux résultats de [25]. Toutefois, les valeurs obtenues au cours de la présente étude sont comparables à celles mesurées par [8] Elles varient entre 74,8 et 538,2 µS/cm avec une moyenne de 236,62 ± 135,54 µS/cm pour l'ensemble des eaux étudiées.

La teneur moyenne en calcium est de 49,10 mg/L, cette valeur est dans l'intervalle recommandée par l'OMS. Les teneurs en Magnésium sont très faibles aux normes de l'OMS pour tous les échantillons d'eau des forages analysés ; une moyenne de 12,753 mg/L. Quant au Sodium, la teneur reste également très faibles pour les deux quartiers soit une moyenne de 30,27mg/L à la valeur guidé de l'OMS de 200 mg/L. Les données du Potassium sont supérieures (29,28 mg/L) aux normes de l'OMS.

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. Nous observons la teneur moyenne de 139,977 mg/L. Cette faible concentration en chlorures ne dépassant pas les normes de l'OMS de 250 mg/L pour tous les échantillons d'eau des forages analysés. C'est l'un des éléments majeurs du milieu qui détermine le faciès chimique de l'eau dans la région.

Les concentrations en sulfates sont faibles dans les eaux des forages analysées (une moyenne de 34,488 mg/L) à la valeur guidée par l'OMS qui est de 250 mg/L. Cette faible concentration se justifie par le fait que les sulfates proviennent de la dissolution des minéraux contenus dans les roches sédimentaires et l'oxydation de ces roches

sédimentaires tels que la pyrite libre de sulfate contenu dans l'eau. Les teneurs en phosphates se présentent sous forme de trace (0,0278 mg/L en moyenne). Nous constatons que cela répondent aux normes de l'OMS qui est de <0,5 mg/L. Par comparaison à d'autres milieux, les teneurs moyennes des eaux en phosphate obtenus dans la présente étude se rapprochent de celles signalées par [12] au niveau de l'Oued Sierni (Maroc) qui avaient trouvés une moyenne de 0.0454 mg/L ; par [9] au niveau de l'Oued Soummam (Algérie).

Les nitrates représentent les anions les plus dominants et la concentration varie de 18,6 à 124,72 mg/L ; avec une moyenne de 45,38 mg/L ne dépassent pas les normes de [17] de 50 mg/L. À l'exception des trois forages (F1, F4 et F9) qui présentent les valeurs en nitrates hors normes (Tableau 2). Cette augmentation se justifie par l'utilisation des engrais azotés par les agriculteurs en aval du bassin versant de ce quartier. Ces résultats corroborent ceux obtenus par [8] sur les eaux de Puits la commune de Pobé (Benin) qui avaient trouvé une moyenne de 45,30 mg/L. Le niveau de nitrate dans les eaux souterraines et ses risques potentiels pour la santé humaine ont été discutés par plusieurs études récentes [5], [30]. Sa forte concentration dans l'eau potable est toxique et provoque le syndrome du bébé bleu ou méthémoglobinémie chez les enfants et des carcinomes gastriques [27]. Le nitrate et ses composés sont naturellement présents dans l'environnement aquatique. Cependant, la concentration élevée de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> observée dans les eaux souterraines étudiées peut s'expliquer par plusieurs aspects, notamment l'infiltration d'eau provenant de l'agriculture urbaine utilisant des engrais, la perméabilité de la zone non saturée, la profondeur de l'aquifère, les fosses septiques non étanches et les systèmes d'assainissement non améliorés, ainsi que les excréments du bétail et les décharges non contrôlées à proximité des puits et des cours d'eau [10].

La teneur moyenne de 1,39 O<sub>5</sub>/L (qualité bonne) de la demande biologique en oxygène, au regard de ces résultats, nous pourrions dire que ces eaux respectent les normes de l'OMS en termes de DBO<sub>5</sub>. Les valeurs de DCO sont élevées pour les eaux des forages de Salongo et prouvent qu'il y a pollution avec des répercussions sur les capacités d'autoépuration c'est-à-dire le processus normal de régulation pour la nappe face à une pollution. Ces valeurs sont très élevées au forage 9, soit 70 mg/l (qualité très mauvaise) et jusqu'aux forages (F8, F7 et F6) ; la moyenne est de 29,704 mg/L (qualité bonne) pour toutes les eaux des forages analysées dans ce quartier.

L'analyse des métaux lourds des eaux des forages de quartiers Kemi/Righini et Salongo a été détecté à des concentrations variables restant largement inférieure aux normes de l'OMS pour le fer et du cuivre. Ces résultats corroborent avec ceux, obtenus par [11] qui ont trouvés aussi une absence totale du fer et du cuivre dans les eaux d'alimentation de la ville de Tjikja ; par [14] sur l'hydrochimie des eaux souterraines du bassin versant de la Loua au sud de Brazzaville-Congo.

Les eaux non bicarbonatées, c'est-à-dire l'essentiel des eaux de la nappe, à la lecture du diagramme piper (figure 2) s'étalent entre le pôle hyperchloruré sodique et le pôle hyperchloruré calcique. Cette variabilité sur des eaux implique des sources diverses et ponctuelles. On peut directement penser aux pollutions provenant de la surface et qui sont liées aux activités anthropiques. La présence des éléments comme les nitrates, les chlorures, le sodium, le potassium et les sulfates peut être la conséquence des activités anthropiques, et est liée au rejet de déchets de tout ordre dans la nature, à l'utilisation des engrais. Ces résultats corroborent ceux, obtenus par [14] sur des eaux souterraines du bassin versant de la Loua au Sud de Brazzaville, Congo ; par [13] sur les eaux des sources aménagées dans la zone de santé de Lukula, province du Kongo-Centrale.

Les résultats obtenus pour les analyses microbiologiques (Tableau 3) montrent une absence totale de coliformes totaux et d'*Echerichia colis*. Ce qui suggère l'absence totale de contamination fécale de l'eau conformément à la réglementation sur l'eau potable de l'organisation mondiale de la santé [13], [15].

#### 4. CONCLUSION

La présente étude a porté sur l'évaluation de la qualité des eaux des forages aux quartiers Salongo et Kemi/Righini dans la commune de Lemba. Cela a porté essentiellement sur la vérification des normes établies par l'OMS. Ainsi avons-nous évalué les caractéristiques physicochimiques, bactériologiques et faciès hydrochimiques des eaux des forages exploités dans les quartiers précités. Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau des forages des quartiers précités ont révélé en moyenne que : quatre paramètres analysés sont au-dessus des normes de l'OMS à savoir la turbidité, les matières en suspension, la DBO<sub>5</sub> et le Potassium. Quatre paramètres analysés

sont dans l'intervalle des normes de l'OMS, notamment; la température, le conductivité, le Calcium et le Sodium. Dix paramètres analysés sont en dessous des normes de l'OMS. Il s'agit de la dureté, le pH, la DCO, du Magnésium, du Chlorure, du Sulfate, du Nitrate, du Phosphate, du Fer et du Cuivre. Dans ces quartiers, les eaux sont chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, et chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique. Elles ne rendent pas malades avec leur composition microbiologique. Les méthodes d'analyse multivariée ont montré que la minéralisation est gouvernée par trois phénomènes dont le pluviollessivage des sols, ensuite les apports liés aux précipitations et surtout l'hydrolyse acide des minéraux de la roche. L'influence de ces phénomènes dans le mécanisme d'acquisition des ions dans l'eau a permis de distinguer quatre classes d'eaux dans ce bassin.

Aux regards de ces résultats, nous formulons les recommandations à la population consommatrice, aux propriétaires des forages; ce qui suit:

- Encourager et renforcer un assainissement autonome pour la gestion des eaux usées domestiques;
- Quant au gouvernement, il lui revient de prolonger les ouvrages de distribution de l'eau potable de la REGIDESO pour arriver à servir les quartiers Kemi/Righini et Salongo afin de pallier cette problématique.

### Remerciements

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article. Nous confirmons que les études de terrain n'ont pas impliqué d'espèces menacées et protégées. Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] B. R. Scanlon, R. C. Reedy, D. A. Stonestrom, D. D. D. E. Prudic and K. F. Dennehy, " Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US", *Global Biol.*, 11: 1577-1593, 2005
- [2] C. Dégbey, M. Makoutode, E. M. Ouendo, B. Fayomi and C. De Brouwer, La qualité de leau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Environnement, Risques et Santé*. Vol. 7, n° 4, pp 279-283, 2008
- [3] El-Naqa A., Al-Momani M., Kilani S., Hamouri N., Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in northeast Jordan. *Clean Soil, Air, Water* 35:156-166, 2007
- [4] FUNASA, Manuel pratique d'analyse de l'eau/National Health Foundation 4. ed. Brasilia 150 p, 2013
- [5] Li, Y., Zhai, Y., Lei, Y., et al. Spatiotemporal evolution of groundwater nitrate nitrogen levels and potential human health risks in the Songnen Plain, Northeast China. *Ecotox Environm Safety*, 208, 111524., 2021
- [6] J. Rodier, C. Bazin, J. P. Broutin, P. Cham bon, H. C. Psaur and L. Rodi, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p, 2005
- [7] L. NDEMBO, Apport des outils hydro-géochimiques et isotopique à la gestion de l'aquifère du Mont-amba (Kinshasa / République Démocratique du Congo) THESE en cotutelle internationale pour obtenir les grades de : Docteur de l'Université d'Avignon Docteur en Sciences Agronomiques et des Pays de Vaucluse de l'Université de Kinshasa Spécialité : Hydrogéologie Spécialité : Gestion des Ressources Naturelles, 2009
- [8] Lagnika et al. J. Appl. Biosci, Caractéristiques physico-chimiques de leau des puits dans la commune de Pobè, Benin *Journal of Applied Biosciences* 79:6887 6897 ISSN 19975902, 2014
- [9] Lotfi Mouni Djoudi Merabet Hamid Arkoub Karim Moussaceb, caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie) Article de recherche *Sécheresse*; 20(4) :3606, 2009
- [10] M. L. Kapembo, A. Laffite, M. K. Bokolo, Mbanga, A.L., Maya-Vangua, M.M., Otamonga, J.-P., Mulaji, C.K., Mpiana, P. T., Wildi, W., J. Pote, Evaluation of Water Quality from Suburban Shallow Wells under

- Tropical Conditions according to the Seasonal Variation, Bumbu, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. Expo. Health, 8, 487496. DOI: 10.1007/ s12403-016-0213-y, 2016
- [11] MEK Ould Cheikh, K. El Kacemi, L. Idrissi, " Caractérisation physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijikja (Mauritanie)", International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol. 5 No. 5 (2011) ISSN: 1991-8631. DOI: 10.4314/ijbcs. v5i5.33, 2011
- [12] MOUNJIDJ. COHEN N. FADLAOUI S. BELHOUARIA. OUBRAIMS, "Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique du cours de l'eau Merzeg (Périurbain de Casablanca, MAROC)", Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, pp.31-51© 2013, 2014
- [13] N. T. SHIMA, N. R. MONSENGO, E. I. KONGOTA and N. S. MISAMU, "Caractérisation Physicochimique, Bactériologique et Faciès Hydrochimiques des Eaux des Sources Aménagées dans la Zone de Santé de Lukula, Province du Kongo-Centrale", Congo Sciences Journal en ligne de IACASTI et du CEDESURK ACASTI and CEDESURK, Online Journal ISSN : 2410-4299, an International Journal. VOLUME 8| NUMBER 3 | 154 -160, 2020
- [14] Ngouala Mabonzo Médard, Mbilou Urbain Gampio and Koussoubé Youssouf, " HYDROCHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN DE LA LOUA AU SUD DE BRAZZAVILLE (REPUBLIQUE DU CONGO). Am. J. innov. res.appl. sci., 11(5): 120-128, 2020
- [15] Nienie, A. B., Sivalingam, P., Laffite, A., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.-P., Matand, A., Mulaji, C. K., Biey, E.M, P.T., Mpiana and J. Pote, Microbiological Quality of Water in a City with Persistent and Recurrent Waterborne Diseases under Tropical Sub-Rural Conditions: The Case of Kikwit City, Democratic Republic of the Congo. Int. J. Hyg. Environ. Health, 220, 820828. DOI: 10.1007/s11270-009-0005-0, 2017
- [16] OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition. Publication Organisation Mondiale de la Santé. Genève, Suisse. pp.307-447, 2011
- [17] OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition. Publication Organisation mondiale de la Santé. Genève, Suisse. 307-447, 2017
- [18] P. Balloy MWANZA, J.P. KATOND and P. HANOCQ, "Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwowoshi (RD Congo)", Tropicultura, Volume 37 (2019) / Numéro 2 ISSN : 0771-3312 E-ISSN : 2295-8010 ; DOI : 10.25518/2295-8010.627, 2019
- [19] P. Servais, G. Billen, T. Garcia-Armisen, I. George, A. Goncalvez and S. Thibert, "La contamination microbienne dans le bassin de la Seine", Edition. Agence de l'Eau Seine Normandie, 50 pp. ISBN: 978-2-918251-07-1, 2009
- [20] PNUE, Problématique de l'Eau en République Démocratique du Congo : Défis et Opportunités © 2011, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2011
- [21] S. G. Eblin, A. P. Sombo, G. Soro, N. Aka, O. Kambiré and N. Soro, Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké, J. Appl. Biosci. 75: 6259-6271, 2014
- [22] S. Hawa, Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de Doctorat d'état en Pharmacie, 77 p, 2002
- [23] Sawyer C. N., Mc Carty P. L., Chemistry of Sanitary Engineers. 2nd Edn., Mc Grow Hill, New York, 518 pp, 1967
- [24] SIMLER R. Logiciel Libre du Laboratoire d'Hydrogéologie, Diagramme 5.6. Université d'Avignon, France, 2007
- [25] Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., and Djaneye B., "Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé", J. Appl. Biosci. 75: 6272-6281, 2014
- [26] Y. KERSPEN, Les réseaux d'assainissement. Mémoire, Ouagadougou (Burkina Faso), Ecole Inter Etats des techniciens supérieurs de l'hydraulique et de l'équipement rural, 1998
- [27] Gilly G., Corrao G., Favilli S., 1984. Concentrations of nitrates in drinking water and incidence of gastric carcinomas: First descriptive study of the Piemonte region Italy. Sci. Total Environ, 34: 35-37.

- [28] V. Sunitha, V. Sudarshan and B. R. Reddy, "Hydrogeochemistry of groundwater, Gooty area, Anantapur district Andhra Pradesh, India. Poll. Res., 24: 217-224, 2005
- [29] Raman S. B. K., Geetha G., 2005. Correlation analysis and prediction of characteristic parameters and water quality index of ground water. Pollut. Res., 24:197-200, 2005
- [30] N. Adimalla, H. Qiana, Groundwater chemistry, distribution and potential health risk appraisal of nitrate enriched ground water: A case study from the semi-urban region of South India. Ecotox Environm Safety 207, 111277, 2021