

Caractérisation Physicochimique, Bactériologique et Faciès Hydrochimiques des Eaux des Sources Aménagées dans la Zone de Santé de Lukula, Province du Kongo-Centrale.

SHIMA NGOY Thierry*, MONSENGO N'SOLE Roger, KONGOTA ISASI Elvis, MISAMU NDANDU Socrate

Paper History

Received : January 23, 2020

Revised : August 03, 2020

Accepted : September 10, 2020

Published : November 27, 2020

Keywords

Spring waters, physico-chemical and bacteriological parameters, hydrochemical facies, Lukula, Kongo-central.

ABSTRACT

Physicochemical, Bacteriological and Hydrochemical Facies Characterization of Some Landscaped Water Sources in Lukula Health Zone, Central Kongo Province

In the Democratic Republic of Congo (DRC), the vast majority of the Congolese population depends on groundwater and spring to obtain drinking water, the composition and safety of which are unknown. Consequently, the risks of poisoning could be frequent and serious. Given the absence of data on the composition and safety of this category of water, a study was conducted between April and December 2018 to determine the physico-chemical, bacteriological and hydrochemical quality of certain sources of water managed in the health zone of Lukula, in the province of Kongo-central. The results obtained provided a first description of the composition and the state of pollution of the water at the sites studied. The analysis were carried out according to standard methods. The results obtained show that these waters are generally soft and that the physico-chemical parameters are clearly below the thresholds of the standards of the World Health Organization. Furthermore, these waters do not present significant organic and bacteriological pollution. Thus these spring waters are of good quality and suitable for consumption.

Laboratoire de Chimie et géochimie, Centre de Recherches Géologiques et Minières, B.P.898 Kinshasa Gombe, R.D. Congo.

*Corresponding author, e-mail: shimangoy@gmail.com

INTRODUCTION

La gestion de l'eau en tant que ressource naturelle est une question préoccupante pour de nombreux Etats. La pénurie en eau est aggravée par l'augmentation de la population et donc des besoins éventuels en eau potable et en eau pour l'agriculture [FAKIH et al., 2004 ; AMHARREF et BERNOUSSI, 2007]. L'eau est une composante de l'environnement la plus vulnérable aux différentes contaminations, en particulier les eaux souterraines [FERLAND et al., 2004; FAKIH et al, 2004].

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

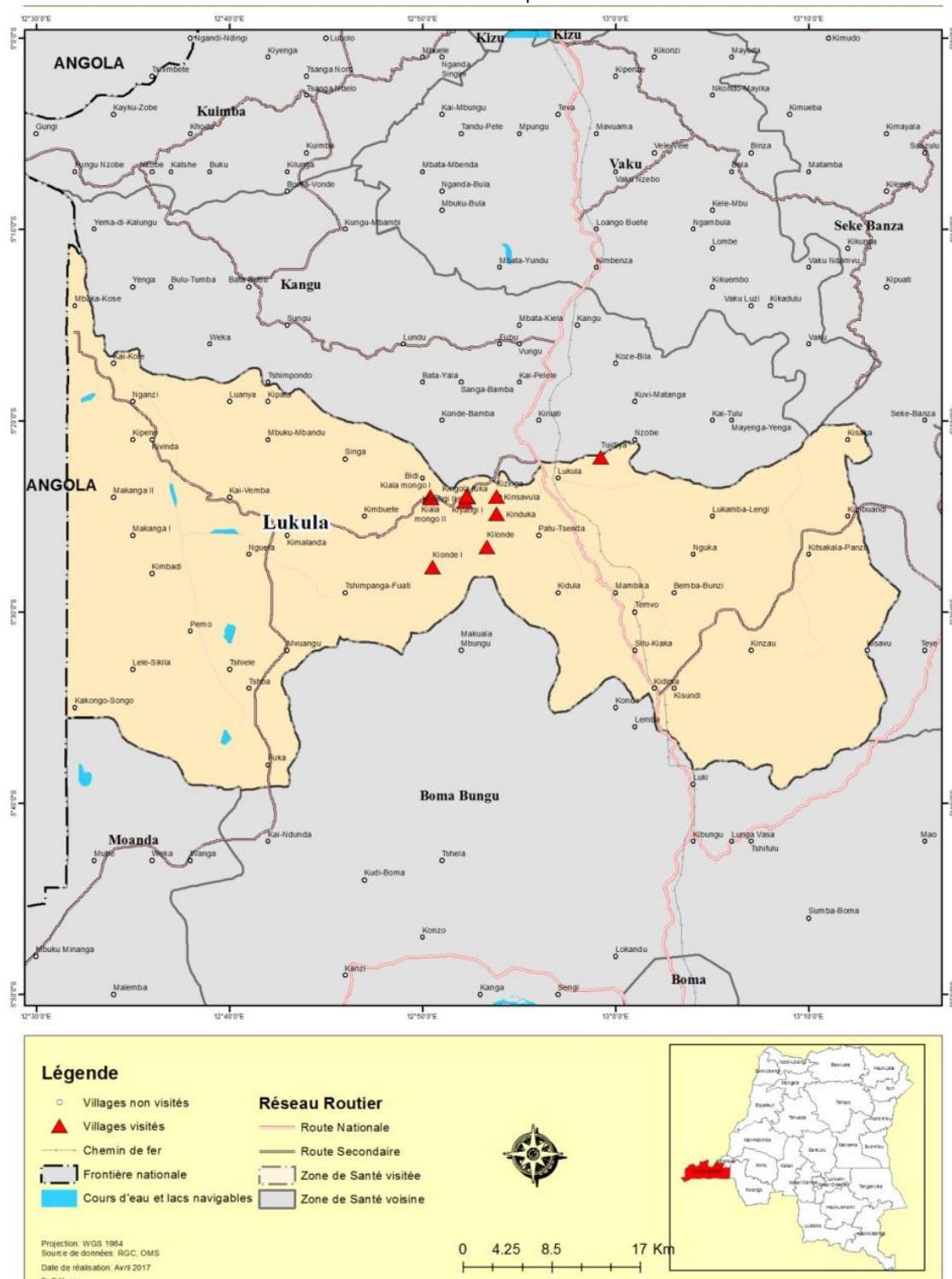
sources pour s'approvisionner en eau potable. Il n'existe pas d'inventaire des sources d'eau au niveau national et provincial. Bien souvent, ces sources sont de simples sources captées, très utilisées dans les villages isolés ainsi que dans les zones périurbaines connaissant une croissance rapide. Dans plusieurs villes telles que Mbuji-Mayi, Lubumbashi, Kisangani, Bunia, Beni, Gomena, Matadi et Lisala, la production d'eau potable à grande échelle et sa distribution en réseau reposent aussi de façon significative sur des sources d'eau [PNUE, 2011].

Du fait que l'alimentation en eau potable est limitée à certaines zones urbaines, les habitants des régions rurales ,voire urbaines, se trouvent obligés de s'approvisionner en eau soit des sources ou des puits ; ces dernières peuvent être contaminées. D'où, l'intérêt de cette étude de faire

l'évaluation et la caractérisation des paramètres physico-chimiques globaux, hydrochimiques et bactériologiques des eaux de sources aménagées, utilisées comme eau de boisson et pour les activités domestiques, par la population de certains villages dans la zone de santé de Lukula, dans la province du Kongo-central.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Localisation du Milieu d'étude



La zone d'étude est localisée dans la province du Kongo central, plus précisément dans la zone de santé de Lukula (Figure 1). Les noms des villages qui font partie de cette étude avec les coordonnées géographiques de leurs sources respectives sont repris dans le Tableau 1.

Prélèvement et conditionnement

Dix échantillons d'eau à analyser ont été prélevés dans dix sources les plus fréquentées par la population dans chaque village. Les échantillons d'eau ont été prélevés durant la période allant d'avril à décembre de l'année 2018.

*Figure 1. Localisation du milieu d'étude.**Tableau 1. Les coordonnées géographiques des points d'eau des villages de la zone de santé de Lukula.*

N°	SITES	Latitude Sud	Longitude Est
S1	KINDUKA	05°24'53,6"	012° 53' 50,1"
S2	KILONDE	05°26'37,2"	012° 53' 21,5"
S3	KIONDE 1	05°27'40,5"	012° 50' 31,4"
S4	KIALA MONGO I	05°24'02,7"	012° 50' 26,9"
S5	KIBINONGA	05°23'57,3"	012° 52' 16,9"
S6	KINGOLA FUKA	05°24'14,9"	012° 52' 12,9"
S7	KIYANGI I	05°23'59,5"	012° 52' 20,4"
S8	KIZINGA	05°23'57,9"	012° 53'50,1"
S9	TUIDI YILA	05°21'55,8"	012° 59' 13,7"
S10	KIALA MONGO II	05°23'58,1"	012° 50' 24,6"

Après chaque prélèvement d'eau de source dans des flacons en plastique appropriés de 1 litre, ces derniers ont été étiquetés et mis dans une glacière à 4 °C et acheminés au laboratoire du Centre des Recherches Géologiques et Minières (CRGM)

accompagnés d'une fiche de renseignements nécessaire portant sur l'origine et la date du prélèvement ainsi que les conditions sanitaires du point de prélèvement. Il sied de signaler que les trois paramètres physico-chimiques (le pH, la température et la conductivité électrique) ont été mesurés *in-situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon.

Méthodes d'analyses

Analyses physicochimiques

Les paramètres physicochimiques ci-après ont été évalués : pH, température, conductivité, turbidité, titre hydrotimétrique (TH) ou dureté totale, titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), matière en suspensions, oxydabilité au permanganate de potassium et solides totaux dissous. Egalement, les substances indésirables tels que : les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les chlorures, les phosphates, les sulfates, les bicarbonates, le fer ; et les métaux lourds :

Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques.

Paramètres	Echantillons									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
pH	7,67	7,46	7,13	7,12	7,14	7,24	7,62	7,60	7,50	7,42
Température	26,1	26,2	26,5	25,9	26,9	27,1	26,6	26,6	27,1	27,5
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	178	180	22	34	24	80	208	168	42	43
Solides totaux dissous (mg/l)	89	90	11	17	12	40	104	84	21	21
Turbidité(NTU)	0,157	0,142	0,214	0,025	0,605	0,17	0,136	0,047	0,016	0,036
Matière organique (mgo ₂ /l)	3,50	3,00	4,60	1,90	4,00	4,30	4,60	4,30	2,90	4,50
TA°F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TAC°F	8,20	7,80	2,60	2,50	2,40	2,60	8,60	4,20	2,50	2,40
Bicarbonate(HCO ₃) mg/l	100,0	95,0	31,0	30,52	29,21	32,00	104	39,00	30,00	29,00
Chlorure(Cl) mg /l	32,02	39,00	46,0	35,00	28,00	49,00	48,00	99,00	49,00	35,07
Sulfate (SO ₄) mg/l	2,00	2,81	2,56	2,34	3,00	2,22	3,01	2,05	2,51	2,80
Nitrate(NO ₃) mg/l	6,05	8,31	7,01	4,22	2,25	4,11	5,06	5,23	3,12	4,11
Nitrite(NO ₂) mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Phosphate(PO ₄) mg/l	0,29	0,31	0,11	0,15	0,21	0,11	0,22	0,10	0,12	0,09
Ammonium(NH ₄) mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sodium(Na) mg/l	18,01	22,04	25,6	20,0	16,0	27,21	27,42	54,43	27,33	19,74
Potassium(k) mg/l	11,25	5,01	11,01	6,21	3,70	8,01	2,96	17,42	8,01	6,30
Calcium(Ca) mg/l	23,21	23,71	7,21	7,65	7,34	8,01	26,01	9,71	7,51	7,31
Magnésium(Mg) mg/l	5,41	7,22	2,41	2,51	2,41	2,52	9,71	3,06	2,41	2,41
THT°F	7,22	8,91	2,86	2,91	2,81	3,21	8,45	3,22	2,87	2,82
Fer total(Fe)	0,08	0,12	0,30	0,08	0,15	0,25	0,35	0,25	0,07	0,10

sources et nom des villages: Kinduka (S1), Kilonde (S2), Kionde (S3), Kiala mongo (S4), Kibimonga (S5), Kingola (S6), Kiyangi (S7), kizinga (S8), Tuidi yala (S9), Kiala mongo2 (S10)

manganèse, cadmium, plomb, mercure et chrome. Ces analyses ont été réalisées selon les méthodes d'analyses standards préconisées par les normes d'eau de boisson [RODIER et al., 2009 ; OMS, 2011; CARDOT et GILLES, 2013].

Analyses bactériologiques

Les germes recherchés dans les eaux des sources étudiées sont : coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques fécaux, *Escherichia coli*, champignons et levures. La méthode exploitée pour la recherche des bactéries dans les eaux étudiées est basée sur celle dite de la membrane filtrante (MF) et l'incubation sur TTC [EL MOUSTAINE et al., 2013].

En bref, pour les coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux, les techniques utilisées sont la filtration de 100 mL d'eau sur membrane et incubation sur Milieu Mac Conkey Agar à 37°C ; la filtration de 100 mL d'eau sur membrane et incubation sur bouillon de laurylsulfate à 37°C et 44°C pendant 2 jours et la filtration (de 100 mL d'eau) sur membrane et

incubation sur milieu Streptococcal KF Agar [BAKOUAN et al., 2017; OMS, 2011] ; respectivement. Et pour les champignons et levures la filtration de 250 mL d'eau sur membrane et incubation sur milieu Sabouraud a été utilisée. Les résultats sont exprimés en nombre d'unités formant des colonies par unité de volume.

Faciès hydrochimique

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimique des eaux (Piper et Schoeller-Berkaloff) et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la réalisation des diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes 5.6 conçu par SIMLER [2007].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Paramètres physicochimiques

Les moyennes de résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques pour chaque paramètre de dix échantillons sont reprises dans les Tableaux 2 et 3.

Tableau 3. Résultats des analyses bactériologiques.

Paramètres	Echantillons									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Germes totaux UFC/100ml	6,00	5,00	4,00	6,00	8,00	7,00	8,00	9,00	3,00	4,00
Champignons et levures UFC/250ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes totaux UFC/100ml	4,00	2,00	0,00	3,00	5,00	5,00	6,00	5,00	0,00	2,00
Coliformes fécaux UFC/100ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Streptocoques fécaux UFC/100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Escherichia coli</i> UFC/100ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sources et nom des villages: Kinduka (S1), Kilonde (S2), Kionde(S3), Kiala mongo (S4), Kibimonga (S5), Kingola (S6), Kiyangi(S7), Kizinga(S8), Tuidi yala (S9), Kiala mongo2(S10)

De valeurs obtenues en ce qui concerne la minéralisation des eaux des sources de cette contrée, il a été observé deux groupes dont l'un à très faible minéralisation et le second peu minéralisé. Le premier groupe à très faible minéralisation Kionde auquel on enlève le site de Kizinga. Ce groupe présente une conductivité moyenne de 54,2 µS/cm. Le second groupe des eaux est faiblement minéralisé (sites Kinduka et Kizinga). Ce groupe à tendance peu minéralisé a une conductivité moyenne de 183 µS/cm. En effet, la conductivité détermine l'ensemble des sels minéraux dissous dans l'eau [RODIER et al., 2009 ; RESEK, 2002].

La dureté suit presque la même subdivision en deux groupes, l'eau très douce avec une dureté inférieure à 7°F des villages suivants : Kionde, Kiala Mongo, Kibinonga, Kingola, Kizinga, Tuidi yala et kiala Mongo 2 et le second avec la dureté entre 8° et 15°F des villages suivants : Kinduka, Kilonde et Kiyangi. Ce dernier groupe se superpose au groupe à faciès bicarbonato calcique.

Les autres paramètres tels que la teneur en nitrite (<0,01), la teneur en nitrate (moyenne de 4,8 mg/L) de tous les sites, la teneur en phosphate (0,15 mg/L) ont des valeurs inférieures à celles fixées par les normes de l'OMS. La teneur en chlorure est inférieure à 50 mg/L pour la plupart des sources en dehors celle de Kizinga dont la teneur est de 99 mg/L. Cette teneur en chlorure élevée du site S8 (Kizinga) par rapport aux autres sites, quoiqu'inférieure à la norme de l'OMS devrait soulever une interrogation sur la géochimie du sol et sous-sol. Le pH mesuré est quasi constant car il varie de 7,13 à 7,67 avec une tendance centrale de 7,39. Ces pH se trouvent dans l'intervalle des eaux légèrement basiques, mais conformes aux normes de l'OMS

Ces eaux ont une très bonne clarté car leurs turbidités sont inférieures à 0,7 NTU et varient de 0,016 et 0,605. Les tests sensoriels ont montré que trois paramètres organoleptiques : turbidité, goût et odeur (dégustation et arôme) sont acceptables. L'oxydabilité au permanganate de potassium présente une valeur inférieure à 5 pour toutes ces eaux.

Enfin, la concentration des métaux lourds recherchés (manganèse, cadmium, plomb, mercure et chrome) était nulle dans tous les sites de la zone d'étude.

Paramètres bactériologiques

Les moyennes des paramètres bactériologiques pour les dix échantillons sont reprises dans le Tableau 3.

La présence des germes totaux et coliformes totaux, en absence des germes fécaux, des Escherichia coli et streptocoques fécaux confirme qu'ils proviennent de l'environnement forestier qui entoure nos sources. [CHIPPAUX et al., 2002 ; EBLIN et al., 2014].

Faciès hydrochimiques des eaux

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'est avérée un outil indispensable. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global (diagramme de piper, Figure 2). Selon ce diagramme, toutes ces eaux présentent un caractère agressif et une tendance à la corrosivité des matériaux.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Figure 3) est une représentation graphique semi Logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/L sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites.

L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. En effet, le diagramme de Schoeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/L) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques [HAISOUNE et IDHSSAINE, 2013].

L'analyse de deux diagrammes (Piper et Schoeller-Berkaloff) montrent l'existence de deux groupes de faciès : le premier groupe, Kinduka, avec un faciès en éléments majeurs à prédominance bicarbonatée calcique et magnésienne est constitué des sources des villages : Kinduka, Kilonde et Kiyangi et le second groupe, Kionde, comprend les sources des villages : Kionde, Kiala Mongo, Kibinonga, Kingola, Kizinga, Tuidi yala et Kiala Mongo 2 avec un faciès à prédominance chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.

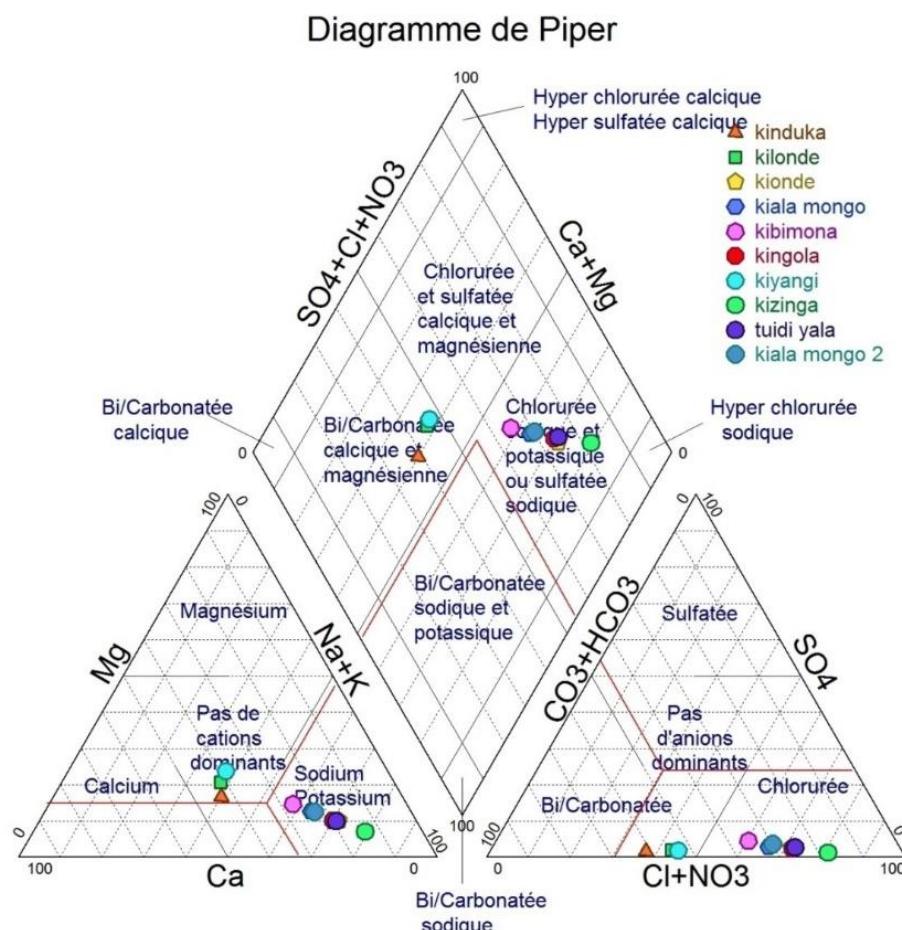


Figure 2. Diagramme de Piper des échantillons

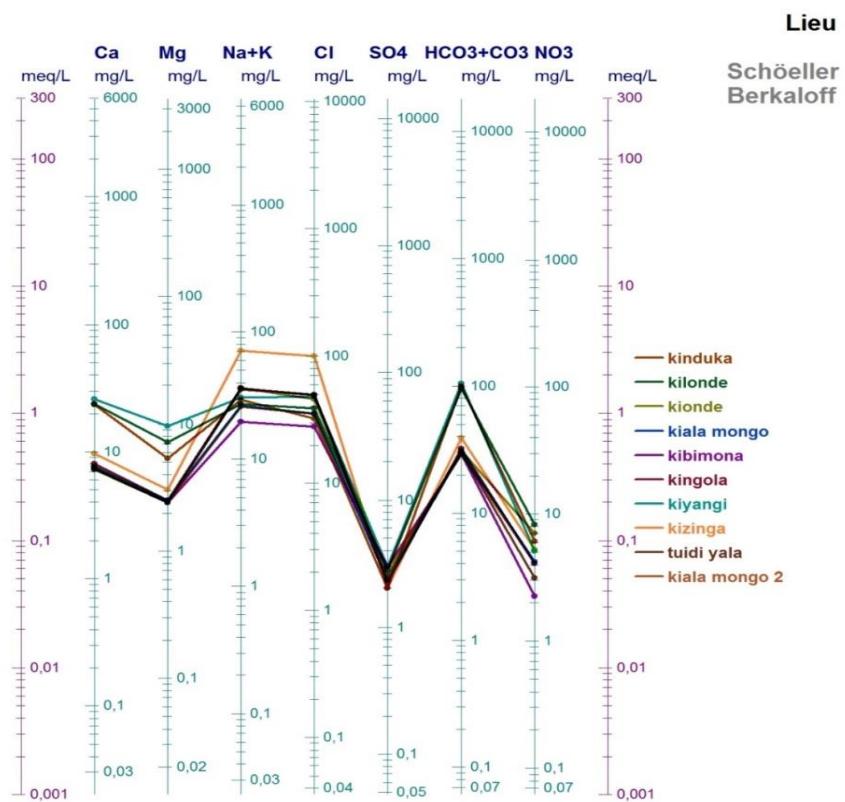


Figure 3. Diagramme Schoeller-Berkaloff

CONCLUSION

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eaux de source ont permis de dégager le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique et bactériologiques de ces eaux.

La caractérisation physico-chimique et bactériologique a révélé que les eaux de sources aménagées dans la zone de santé de Lukula ne présentent pas une pollution majeure et la majorité des paramètres mesurés sont conformes aux normes exigées. Ces eaux sont déclarées potables parce que :

- Elles sont faiblement minéralisées et sans goût particulier ; c'est-à-dire répondant aux normes ;
- Elles sont peu turbides, c'est-à-dire limpides avec une turbidité inférieure à 0,605 UNT ;
- Elles sont douces avec une dureté inférieure à 15°f ;
- Elles ne rendent pas malades avec leur composition microbiologique ;

L'approche hydrochimique a montré l'existence de deux faciès importants : faciès bicarbonaté calcique et magnésien et faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

RESUME

En République Démocratique Congo (RDC), la grande majorité de la population congolaise dépend des nappes phréatiques et des sources pour s'approvisionner en eau potable

dont la composition et la salubrité sont ignorées. En conséquence, les risques d'intoxications peuvent être très fréquents et graves. Devant l'absence des données sur la composition et la salubrité de cette catégorie d'eau, une étude a été menée entre avril et décembre 2018 visant à déterminer la qualité physico-chimique, bactériologique et les faciès hydrochimiques de certaines sources d'eaux aménagées dans la zone de santé de Lukula, dans la province du Kongo-central. Les résultats obtenus ont fourni une première description sur la composition et l'état de pollution des eaux des sites étudiés. Les analyses ont été effectuées selon les méthodes standards. Les résultats obtenus montrent que ces eaux sont généralement douces et que les paramètres physico-chimiques sont nettement inférieurs aux seuils des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé. Par ailleurs, ces eaux ne présentent pas une pollution organique et bactériologique significative. Ainsi ces eaux de sources sont de bonne qualité et propre à la consommation.

Mots clés

Eaux des sources, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, facies hydrochimiques, Lukula, Kongo-central.

REFERENCES

- AMHARREF M., BERNOUSSI A. [2007]. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines. Acte des JSIRAU, Hanoi, 6-9 novembre.
- BAKOUAN C., GUEL B., HANTSON A-L. [2017]. Caractérisation physico-chimique des eaux des forages des de Tanlili et Ligomdé dans la région Nord du Burkina Faso, corrélation entre les paramètres physico-chimiques. Afrique science 13 ,6, 325-337.

- CARDOT C., GILLES A. [2013]. Analyse des eaux : Réglementation, Analyses Volumétriques et Spectrophotométriques, Statistiques", Ellipses Edition marketing S.A, Paris, p296.
- CHIPPAUX J.P., HOUSSIER S., GROSS P., BOUVIER C., BRISSAUD F. [2002]. Etude de la Pollution de l'eau souterraine de Niamey, Niger. Bull soc pathol exot., 94, 2, 119-123.
- EBLIN S.G., SORO G.M., SOMBO A.P., AKA N., KAMBIRE O., SORO N. [2014]. Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Adiaké (sud-est côtière de la côte d'Ivoire). Larhyss journal, 17, 193.
- EL MOUSTAINE R., CHAHLAOUI A., ROUR E., BENGOUUMI D., BELGHITI M.L. [2013]. Étude de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de certains puits et sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP) : Une étude de cas de la région de Meknès (MAROC). *Les Technologies de Laboratoire*, 8, 33.
- FAKIH A., BRIGUI J., EL CADY A., KHADDOR M., SOLMOUNE F. [2004]. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger. Faculté de Sciences et Techniques de Tanger Université Abdelmalek Essaâdi Tanger-Tetouan. Master Environ. Sci-5, 2230-2235.
- FERLAND J., LACOULINE R., LAMONTAGNE CH., OUELLET M. [2013]. Guide technique de captage d'eau souterraine pour des résidences isolées. CNRS, Paris, France.
- HAISSEOUNE A., IDHSSAINE A. [2013]. Caractérisation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du bassin de N'FIS, mémoire de master, Université de Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences de la Terre.
- OMS. [2011]. Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4ème édition. Publication organisation mondiale de la santé. Genève, suisse. p.307.
- PNUD. [2011]. Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo : défis et opportunités ; rapport technique. P4.
- REJSEK F. [2002]. L'analyse de l'eau. Dunod, 9è édition, Paris, 1526 P.
- RODIER J., LEGUBE N., MERLET N., BRUNET N., COLL. [2009]. L'analyse de l'eau. Dunod, 9è édition, Paris, 1526 P.
- SIMLER R. [2007]. Logiciel Libre du Laboratoire d'Hydrogéologie, Diagramme 5.6. Université d'Avignon, France.



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>