

ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE D'AQUIFERES DE LA VILLE DE BUKAVU, PROVINCE DU SUD-KIVU, R.D. CONGO

I. Chunga Chako¹ and M.D. Wafula²⁻³

¹Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Libre des Grands Lacs (ULGL/Bukavu), Bukavu, RD Congo

²Centre Recherche en Sciences Naturelles (CRSN/Lwiro), D.S. Bukavu, RD Congo

³Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2017 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: This study carried out in the cheap one of Bukavu, precisely in the southern part, on water of the sources. It was carried out under two aspects: aspects quantitative and qualitative. The first aspect consisted with the taking away of the flows on the various sources to compare them from/to each other. It was noted that the flows vary from a source to another: the Kabangere source is most significant, with an average of $29,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$, followed by Brigignon $10,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$, Hewa Bora $8,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$, Mushununu $7,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$, Swimming pool $3,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$ and, finally, Kaba T ate $3,15 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$. The five last sources have medium flows varying from 3,15 to $10,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{S}$. The second aspect which was limited on the qualitative analysis consisted in measuring the contents of chemical elements dissolved in water of the sources to compare them with their relative concentrations recommended for a drinking water by the standards of WHO (World Organization of Health) and supplemented by the measurement of the physicochemical parameters such as the pH, conductivity, the temperature. This study proved that water of our sources is all drinkable, and thus, clean and without danger to consumption.

KEYWORDS: Aquifer, Flow, Bukavu, Panzi, Potability.

RESUME: Cette étude effectuée dans la ville de Bukavu, précisément dans la partie sud, sur les eaux des sources. Elle a été réalisée sous deux aspects : aspects quantitatif et qualitatif. Le premier aspect a consisté au prélèvement des débits sur les différentes sources pour les comparer les unes des autres. Il a été constaté que les débits varient d'une source à une autre : la source Kabangere est la plus importante, avec une moyenne de $29,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, suivie de Brigignon $10,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, Hewa Bora $8,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, Mushununu $7,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, Piscine $3,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ et, enfin, Kaba Tate $3,15 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Les cinq dernières sources ont des débits moyens variant de 3,15 à $10,89 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Le second aspect qui s'est borné sur l'analyse qualitative a consisté à mesurer les teneurs en éléments chimiques dissouts dans les eaux des sources pour les comparer à leurs concentrations relatives recommandées pour une eau potable par les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et complété par la mesure des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité, la température. Cette étude a prouvé que les eaux de nos sources sont toutes potables, et donc, propres et sans danger pour la consommation.

MOTS-CLEFS: Aquifère, Débit, Bukavu, Panzi, Potabilité.

1 INTRODUCTION

La problématique de disponibilité et l'accès à l'eau est sans aucun doute une préoccupation majeure auquel actuellement fait face l'humanité durant ce siècle. Aujourd'hui, on estime en effet qu'un habitant sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois à une eau de qualité. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que la mesure

quantitative et qualitative de l'eau et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influencent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau. De ce fait, la compréhension de l'analyse physico-chimique de l'eau est la base de toute étude et la réflexion au sujet de la gestion des eaux.

La population de la ville de Bukavu en général et celle de la contrée du secteur Ruzizi-Panzi en particulier s'approvisionnent en eau à travers des sources, du fait de l'insuffisance de la quantité d'eau que la société nationale de distribution d'eau (REGIDESO) fournit dans cette ville qui contient aujourd'hui environ 800.000 d'habitants. Pendant la saison sèche, le problème d'alimentation en eau se pose avec beaucoup d'acuité, la société REGIDESO se trouve dans des difficultés plus énormes pour servir la population. La population est obligée à ce moment de recourir à des sources pour s'approvisionner en eau, sans être tout à fait satisfait. Il reste maintenant à savoir, si ces eaux de sources respectent les normes de potabilité.

2 DESCRIPTION DU MILIEU

Chef-lieu de la province du Sud-Kivu à l'Est de la République Démocratique du Congo, Bukavu est une ville qui se situe précisément à l'extrémité méridionale du lac Kivu, à 2°30' de latitude Sud et à 28°50' de longitude Est.

Elle est administrativement subdivisée en trois communes (Bagira, Ibanda et Kadutu). La ville couvre une superficie estimée à 6,288 ha dont 4,317 pour la terre ferme et 1,971 ha pour le lac (BIREMBANO, 1986). Elle est limitée :

- Au Nord : par le lac Kivu,
- Au Sud et à l'Ouest : par le Territoire de Kabare et
- Au Sud-est : par la rivière Ruzizi la séparant de la République du Rwanda.

Son altitude moyenne est de 1614m, ce qui fait d'elle la ville la plus élevée de la République Démocratique du Congo.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 MATERIELS ET METHODE

Pour réaliser ce travail, nous allons nous servir de la méthode à trois volets :

- Le volet bibliographique ou documentaire
- Le volet de travaux de terrain pour le prélèvement des échantillons à analyser au laboratoire et la mesure du débit, et
- Le volet d'analyse au laboratoire pour la détermination de la composition chimique des échantillons d'eau à collecter à des différents points pour la détermination de la qualité.

Le prélèvement du débit se fait au moyen d'un chronomètre déclenché au début du puisement dans un récipient au volume bien connu, puis, grâce au chronomètre, on déterminera le temps qu'a fait le récipient pour se remplir puis on calcule le débit par la formule :

$$Q = v/t$$

Où Q : indique le débit ; v : le volume du récipient et t : le temps mis par le récipient pour se remplir. En effectuant plusieurs mesures, nous obtiendrons ainsi une moyenne qui sera alors le débit à prendre en compte.

Le matériel suivant a été utilisé:

- a) GPS : Nous sert à prendre les coordonnées géographiques ;
 - Un chronomètre : pour la mesure du temps ;
 - Un récipient de 20 litres ;
 - Une Sonde de marque PROFESSIONAL PLUS YSI : pour mesurer les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité, la température et la turbidité (Figure. 1)



Fig. 1. La Sonde PROFESSIONAL PLUS YSI

4 RESULTATS

4.1 L'ETUDE QUANTITATIVE

Lors d'une étude des eaux souterraines, une importance particulière attachée à l'étude des sources car ce sont ces dernières qui sont révélatrices à première vue de l'existence d'une nappe d'eau dans un secteur ou une région. Nous savons par ailleurs qu'une grande source est indicatrice d'un aquifère de grande étendue (Bodelle et Margat, 1980). Nous nous limiterons dans cette partie du travail à une étude sur les calculs des débits. Ainsi, sur chaque source, nous avons prélevé le temps que mettait un récipient, au volume bien connu, pour se remplir. Nous avons ainsi répété le prélèvement cinq fois afin d'avoir les données représentatives qui sont des moyennes tels que représentées dans le tableau (1) et portées sur graphique sur la figure (2).

Le prélèvement a été effectué pendant 12 mois, pour la période allant de Septembre 2014 à Aout 2015.

Tableau 1: Débits prélevés sur les différentes sources, pour la période allant de Septembre 2014 à Aout 2015. Les valeurs reprises dans le tableau sont à multiplier par un facteur ($10^{-5} m^3/s$)

Période	NOMS DES SOURCES					
	Brigignon	Piscine	Kaba Tate	Hewa Bora	Kabangere	Mushununu
Septembre	9,04	3,51	3,04	8,82	29,59	7,60
Octobre	11,29	3,90	3,12	9,09	30,08	7,76
Novembre	11,42	3,96	3,15	9,06	30,30	8,24
Décembre	11,90	4,01	3,32	9,47	30,86	7,94
Janvier	13,17	4,87	4,12	10,02	32,58	8,10
Février	11,57	3,93	3,12	8,94	29,03	7,79
Mars	11,21	3,79	3,13	8,80	28,86	7,67
Avril	10,89	3,67	3,11	8,77	29,33	7,66
Mai	11,14	3,76	3,15	8,79	29,76	7,89
Juin	9,59	2,73	2,92	7,83	28,53	6,80
Juillet	8,12	2,16	2,14	7,06	28,04	6,65
Août	6,31	1,77	1,51	6,38	26,15	5,37
Moyenne	10,89	3,83	3,15	8,93	29,87	7,75

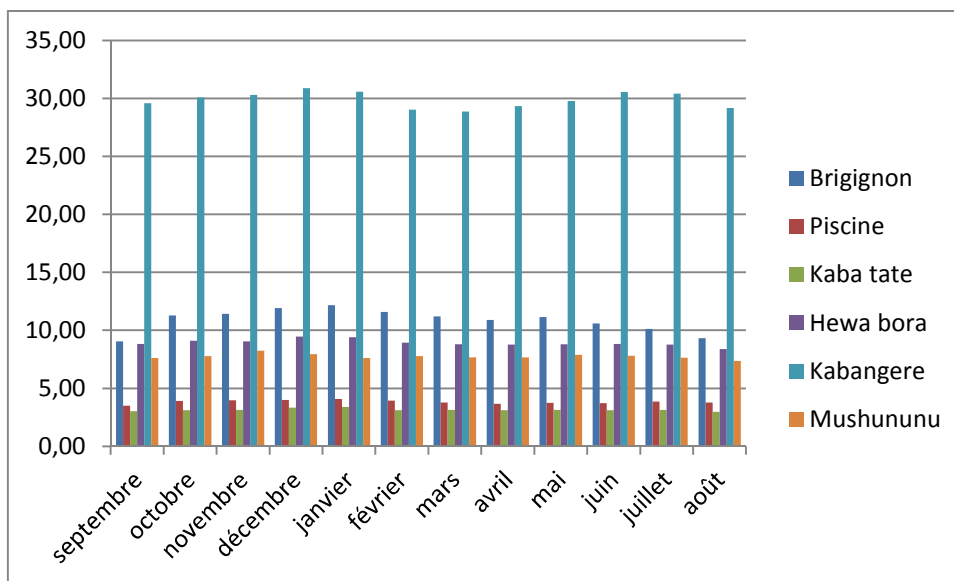


Fig. 2. Variation des débits des sources pour la période allant de Septembre 2014 à Aout 2015.

4.2 ETUDE QUALITATIVES

4.2.1 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE

Les analyses de l'eau se font sur un échantillon prélevé sur place avec de nombreuses précautions en vue de déterminer sa qualité. Dans cette étude, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des récipients propres, successivement rincés à l'eau de javel, l'eau distillée puis à l'eau à analyser et fermés hermétiquement sans laisser des bulles d'air dans le flacon.

La nature du flacon, c'est à dire du matériau constituant le récipient de prélèvement est importante car celui-ci ne doit pas interagir avec l'eau à analyser. Les récipients de prélèvement d'échantillons destinés aux analyses bactériologiques ont été, de leur part, stérilisés en avance. Une fois les prélèvements sont faits, ces récipients sont fermés hermétiquement et acheminés immédiatement au laboratoire pour analyse.

Le fait de prélevé un échantillon et de le séparer de son milieu naturel peut entrainer des modifications plus ou moins importantes pour certains paramètres à mesurer. Certains peuvent être considérés stables à l'échelle à laquelle on travaille, mais d'autres varient très rapidement tels que la température, la conductivité, le pH, etc. (Tableau 2).

Tableau 2 : les paramètres chimiques (anions et cations) et leurs concentrations selon les normes de l'OMS

Paramètres	Valeurs	Interprétation (origine et santé)
Nitrites (NO ₂ ⁻)	3mg/l (valeur provisoire)	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : matières organiques ; • Santé : méthémoglobinémie du nourrisson.
Nitrates (NO ₃ ⁻)	50mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : matières organiques, lessivage des sols, engrais, eaux résiduaires. • Santé : méthémoglobinémie de nourrisson (les nitrates réduits en nitrites dans l'intestin se fixent sur l'hémoglobine et diminuent le transfert d'oxygène).
Chlore (Cl ₂)	5mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : Produit de désinfection de l'eau • Santé : pas de problème prouvé.
Ammoniaque NH ₄ ⁺	0,3mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : matières organiques azotées (déjection, eaux usées, végétaux,...) • Santé : pas de problème. Problème de goût et d'odeur si C > VG.
Phosphate (PO ₄)	Pas de norme	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : matières organique (1 à 2g/per/jour dans les sels), lessive et engrais. • Santé : pas de problème.
Sulfure d'Hydrogène (H ₂ S)	0,05mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roche, matière organique anaérobie. • Santé : pas de problème par voie orale, mortelle par inhalation.
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	250mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roches • Santé : effet purgatif, irritation gastro-intestinale. Si C>250mg/l, problème de goût et eau agressive pour le béton.
Chlorure (Cl ⁻)	200mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : gaz reconnaissable à l'odeur d'œuf pourrie ; • Santé : pas de problème. Goût lorsque CCl->200-250mg/l
Sodium (Na ⁺)	150mg/l	
Potassium (K)	12mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roche, engrais • Santé : pas de problème
Fer (Fe)	0,3mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roche, coagulants (Sulfates d'Al) • Santé : pas de problème. Besoins nutritionnels : de 10 à 50mg/jour/personne. Problème de goût et de couleur.
Calcium (Ca ²⁺)	270mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roche • Santé : pas de problème direct.
Magnésium (Mg ²⁺)	50mg/l	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roche • Santé : pas de problème direct.
Manganèse (Mn)	0,5mg/l (Valeur provisoire)	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : roches (souvent associées au fer) • Santé : effet toxique sur le système nerveux si C (concentration) > 20mg/jour. Problème de turbidité et de dégout si C>0,3mg/l.
PARAMETRES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES		
Température	25°C	<ul style="list-style-type: none"> • Origine : gradient géothermique, énergie solaire • Santé : forte température qui favorise une dissolution élevée en éléments.
Ph	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 8,5	
Eh	Pas de valeur guide	
Conductivité	250µS/cm	
Turbidité	Pas de ligne directrice. Valeurs désirées: <5NTU	
Couleur	Pas de ligne directrice. Valeur désirée: <15Pt-c ₀	
STD	Pas de valeur guide mais un optimum en dessous de 1000mg/l	
Oxygène dissout (O ₂)	<5mg/l	

4.2.2 PARAMÈTRES PHYSIQUES

Les paramètres physiques ont été mesurés sur le terrain pour éviter les modifications susceptibles de se produire au cours de transport des échantillons. La figure 3 montre les variations des paramètres physiques dans les différentes sources.

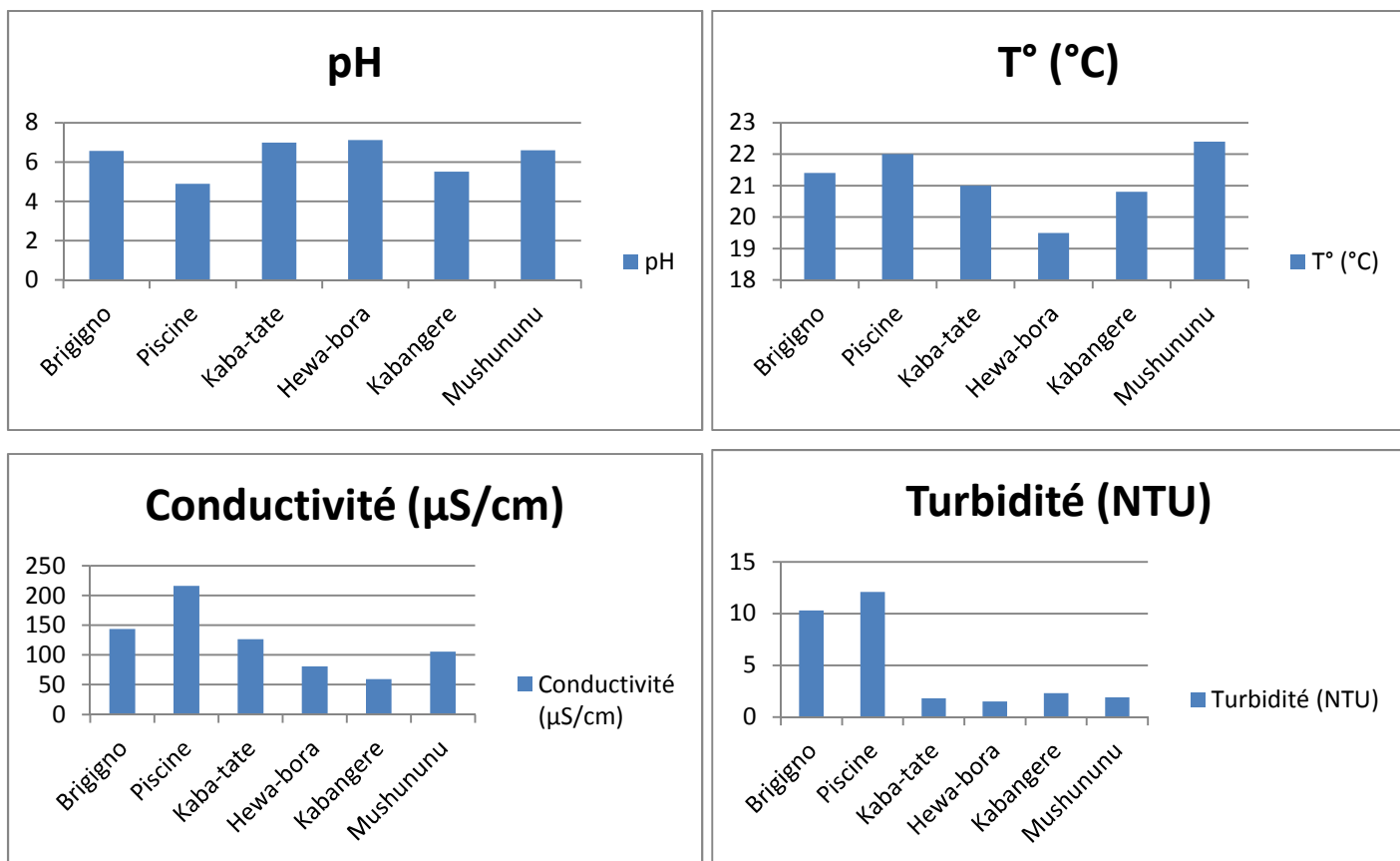


Figure 3 : les différents paramètres physiques prélevés sur les différentes sources

Ces résultats montrent les comparaisons des différents éléments qui sont en suspensions d'une source à l'autre enfin de conclure sur la potabilité de l'eau.

a) La Turbidité : la turbidité d'une eau est fonction de la présence ou non des matières en suspension (argile, limon, matières organiques) (figure 4).



Figure 4a : l'eau légèrement colorée par les argiles (pointée en rouge) suite à l'insalubrité, jouant ainsi sur son niveau de turbidité (Source piscine)



Figure 4b : l'eau incolore (pointée en vert), jouant ainsi sur son niveau bas de turbidité (Source Hewa-Bora)

De plus, elle peut être due à une eau à pH acide qui peut provoquer l'altération des canalisations et générer la turbidité. La turbidité est exprimée en NTU (Nephometric Turbidity Unity). La valeur de la turbidité peut indiquer le niveau de coloration de l'eau (Tableau 3).

Tableau 3: Turbidité et couleur de l'eau (DROUART, VOULLAMOZ jean Michel, 1999)

Turbidité NTU	Commentaire
0 à 5 NTU	Eau incolore
5-30	Eau légèrement colorée
30-50	Eau colorée
> 50	Eau de surface

Les sources sur lesquelles nous avons mené notre étude ont des valeurs de turbidité variant entre 12,1 et 1,5 NTU et le niveau de coloration de leurs eaux varient donc d'incolores à légèrement colorées. Cette légère coloration est due à l'insalubrité par la population qui vient directement s'y approvisionner en eau sans tenir compte des normes de l'hygiène (figure 4a).

- b) La température : La température joue un grand rôle dans l'étude qualitative de l'eau. Elle peut intervenir dans la correction de certains paramètres tels que la conductivité. Pour une eau potable, elle ne doit pas être supérieure à 25°C (selon la norme de l'OMS). Les sources étudiées ont donc des températures variant entre 22,4 et 19,5°C.
- c) Le potentiel en hydrogène (pH) : Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac. Les eaux des sources étudiées ont des pH variant entre 4,89 et 7,12.
- d) La conductivité : la conductivité de l'eau est sa capacité à conduire de l'électricité. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Sa mesure permet de déterminer approximativement la quantité des sels minéraux dissouts dans l'eau que l'on appelle le TDS (Total Dissolve Solid) qui s'exprime en ppm (1ppm = 1mg/l). La résistivité est l'inverse de la conductivité. Elle est exprimée en Ohm. La conductivité dépend de la température au moment de mesure. La conductivité des eaux de nos sources varie entre 216 et 59,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.3 LES PARAMÈTRES CHIMIQUES

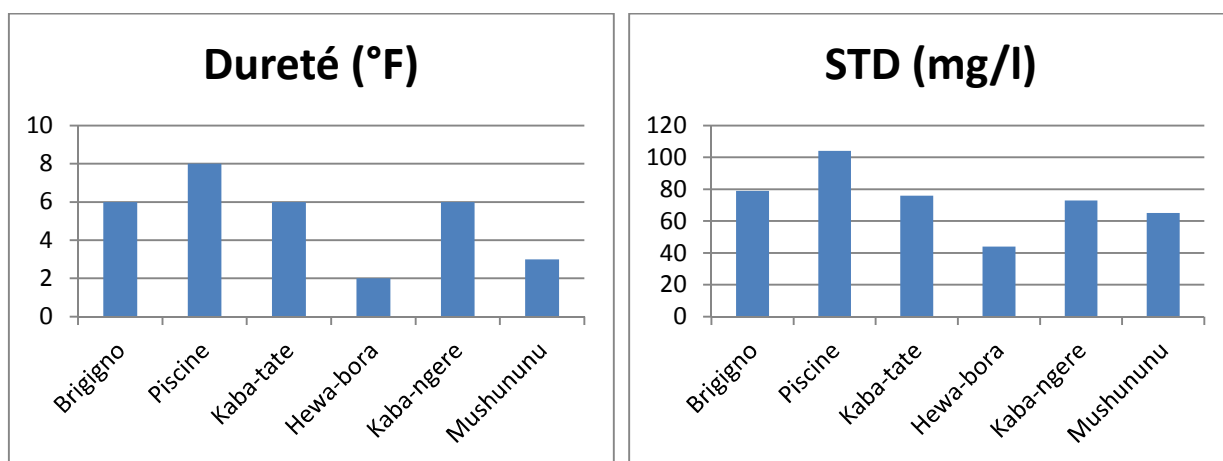


Figure 5 : Les valeurs des duretés de différentes sources.

Les valeurs des duretés (figure 5) dans les eaux permettent de conclure sur les éléments qui sont en suspension dans l'eau.

a. Les anions

Les variations de la concentration en anions dissouts dans les échantillons de différentes sources sont présentées dans la figure (5).

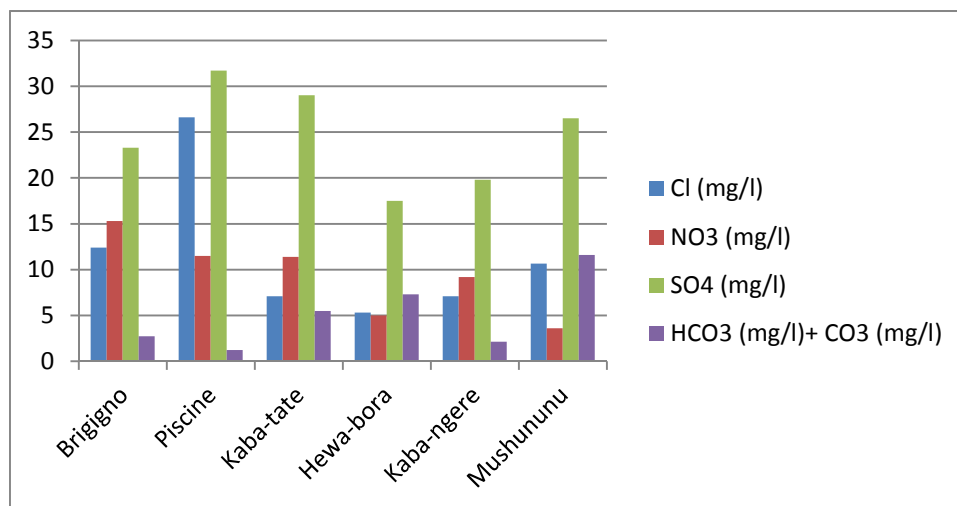


Figure 5 : Variations de la concentration en anions dissouts dans les échantillons des différentes sources.

- **Le nitrate** : l'azote caractérise les protéines qui sont des éléments constitutifs de base de la matière vivante. A ce titre, il est présent tout au long de diverses étapes de la dégradation des matières organiques. L'azote, sous différentes formes organiques et minérales doit faire l'objet d'une attention particulière assimilée pour les plantes sous la forme d'ammoniaque ou de nitrate. Il n'existe qu'en faible concentration dans les eaux naturelles et peut être considérée comme facteur secondaire pour la vie des organismes dans les eaux.

Les nitrates, nitrites, et ammoniacs constituent un critère chimique de contamination organique. Lorsque leur teneur est excessivement élevée, il est demandé d'étudier si la présence de ces substances est en relation avec des infiltrations liquides d'origine animale. Des teneurs excessives en nitrates dans l'alimentation sont susceptibles de faire courir des risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons. En effet, les nitrates transformés dans l'organisme en nitrites, peuvent, par la modification des propriétés de l'hémoglobine du sang, empêcher un transport correct de l'oxygène par les globules rouges. Chez l'adulte, les nitrites sont suspectés d'être à l'origine de certains types de cancer.

- **Les sulfates** : le soufre est un élément métallique qui existe à l'état naturel dans les sols sous-forme organique (soufre protéique) et dans les roches à l'état minéral sous-forme des sulfures, des sulfates et soufre élémentaire. Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains : gypse, baryte,...

La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre les eaux souterraines et/ou de surface qui contiennent des teneurs variables des sulfates selon l'environnement géologique et biologique traversé.

- **Chlorure, carbonate, bicarbonate et alcalinité** : L'eau contient toujours du chlorure, mais à des proportions très variables. En effet, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorure, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent d'avantage, d'ailleurs, la teneur en chlorure augmente avec le degré de minéralisation d'une eau (aussi de la conductivité). En Outre, il n'y a pas de normes concernant le chlorure dans l'eau potable. Cependant, si la teneur est supérieure à 250mg/l, elle affecte alors le goût de l'eau. L'alcalinité de l'eau désigne sa concentration en ions carbonates et bicarbonates. Un bon équilibre de l'alcalinité de l'eau détermine le pouvoir « Tampon » de l'eau et joue sur la stabilité du pH. Si l'alcalinité de l'eau est trop basse, le pH peut devenir incontrôlable. Si elle est trop élevée, on risquerait d'avoir une eau troublée.

Toutes les eaux de nos sources analysées respectent les normes de l'OMS sur l'eau potable en ce qui concerne ces différents ions observés dans ce travail.

b. Les cations

Les variations de la concentration en cations dissouts dans les échantillons de différentes sources sont présentées dans la figure (6).

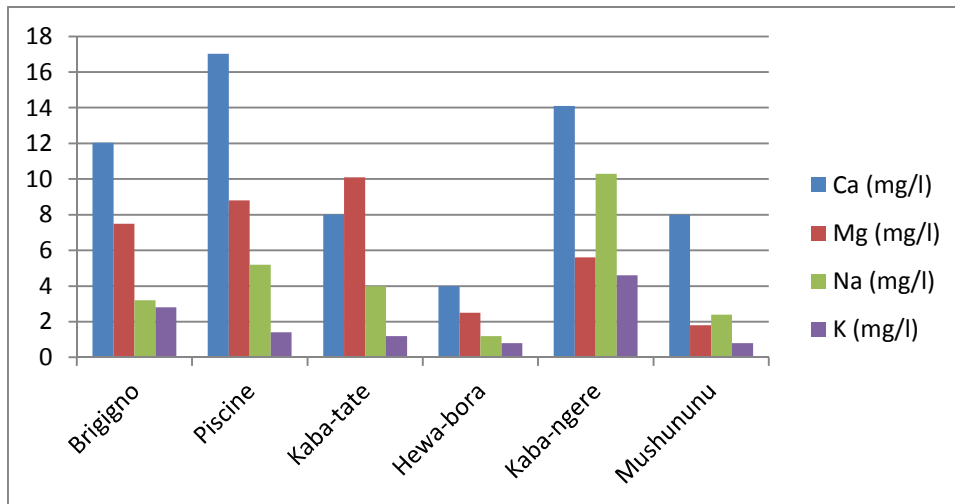


Figure 6 : les variations des concentrations en différents cations dissouts dans les échantillons de différentes sources.

Tous les éléments présentés sur cette figure sont présents dans les eaux grâce à la roche traversée. La plupart de nos sources sont situées dans un terrain argileux provenant de l'altération des roches volcaniques, notamment les basaltes et les pyroclastites de Panzi, du fait que $Ca > Mg > Na > k$. Pour avoir une idée finale sur la potabilité de l'eau, on peut utiliser le diagramme de Wilcox qui nous donne le pourcentage de la contribution en sodium et potassium sur la conductivité (Figure 7).

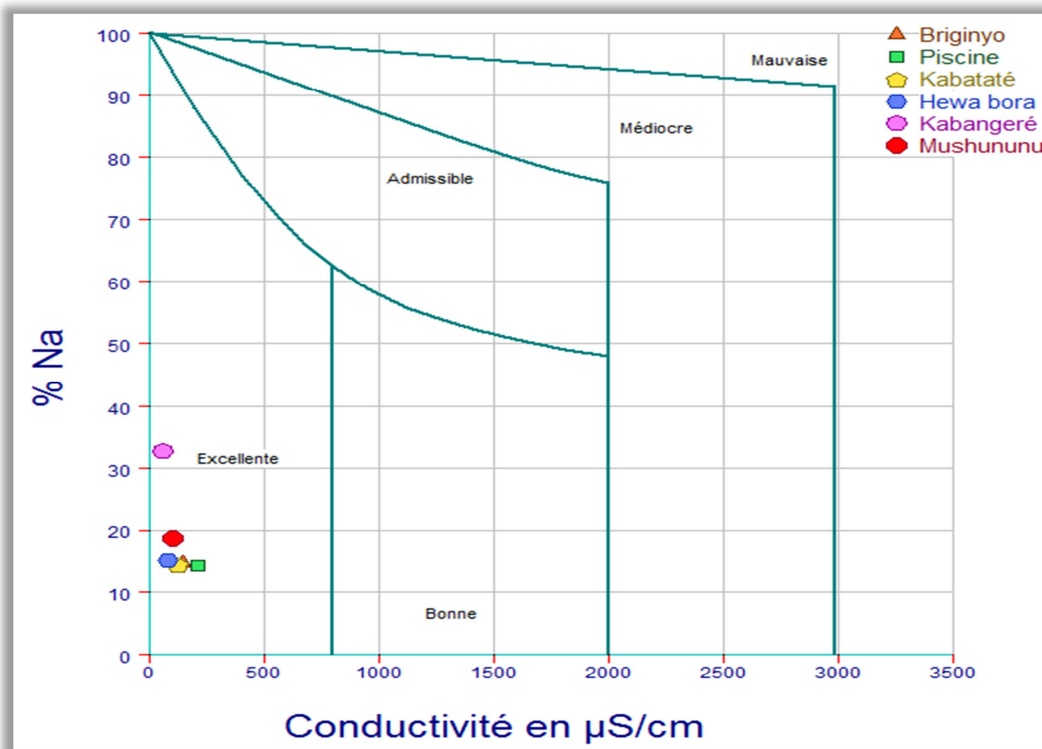


Figure 7 : les échantillons des sources plotés dans le diagramme de Wilcox.

Les données plotées dans le diagramme de Wilcox (Figure 7) montrent que tous les échantillons des eaux sont d'une qualité excellente par rapport à la conductivité et à la concentration en ion Na^+ .

4.2.4 DETERMINATION DES FACIES HYDRO-CHIMIQUES

Toutes les analyses physico-chimiques de différentes sources ont montré des concentrations variées en éléments majeurs et en élément mineurs ainsi que des légères oscillations des paramètres physiques. Ces résultats sont reportés dans le logiciel appelé diagramme LHA (Laboratoire Hydrogéologique d'Avignon) conçu par Simler (Année si possible) afin de représenter les faciès hydro-chimiques de différents échantillons au moyen du diagramme de Piper. Ce diagramme comprend deux triangles et un losange au milieu (Figure 8). Le triangle à gauche représente les faciès à cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) et celui à droite permet de représenter les faciès à anions majeurs dissouts dans les eaux thermales (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} , CO_3^{2-}). Le losange, lui, montre les faciès global représentatif de toutes les sources analysées.

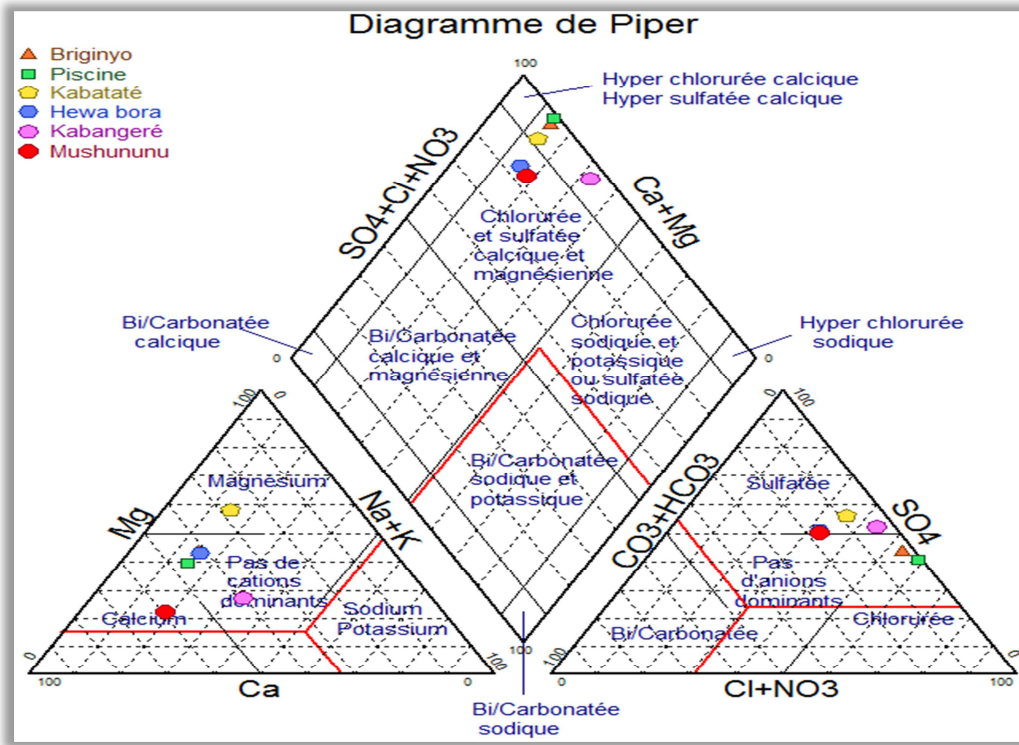


Figure 8 : les échantillons des sources plotés dans le diagramme de PIPER

De ce diagramme de Piper, on voit que tous les échantillons des eaux analysées sont sulfatées calciques et magnésiennes.

5 CONCLUSION

Du point de vue quantitatif, les prélèvements du débit sur les différentes sources de Panzi ont pu montrer qu'en comparant les débits des sources entre eux, la source Kabangere est la plus important, avec une moyenne de $29,87 \cdot 10^{-5} m^3/s$, suivie de Brigignon $10,89 \cdot 10^{-5} m^3/s$, Hewa Bora $8,93 \cdot 10^{-5} m^3/s$, Mushununu $7,75 \cdot 10^{-5} m^3/s$, Piscine $3,83 \cdot 10^{-5} m^3/s$ et, enfin, Kaba Tate $3,15 \cdot 10^{-5} m^3/s$. Sur toutes les sources, on remarque que les mois ayant les débits les plus élevés sont ceux de Décembre, Janvier, Février et Mars. Cela serait dû au fait que les plus grandes pluviosités sont observées pendant les mois précédant le mois de Décembre, les eaux s'infiltrent, font remonter le niveau des nappes et ressortent pour augmenter les débits des sources.

De l'étude qualitative des eaux en se basant sur les paramètres physiques, on a pu constater ce qui suit : la mesure de la turbidité sur les sources prouve que la qualité de ces eaux varie de l'incolores à légèrement colorées, tandis que le pH varie entre 4,89 et 7,12, ce qui prouve que les ces eaux ne présentent aucun danger du point de vue acidité.

Et en se basant sur les paramètres chimiques, les analyses des eaux de nos sources respectent les normes de l'OMS sur la potabilité par rapport à la concentration en différents ions analysés. En combinant la conductivité et la concentration en ion sodium, le diagramme de Wilcox a montré que tous les échantillons des eaux sont d'une qualité excellente.

REFERENCES

- [1] Birembano R, 1987. *Contribution à l'étude des lits argileux rouges de la ville de Bukavu*, inédit (Mémoire de licence en enseignement géographique 1986-1987), p 68
- [2] Bubaka R, 2003. *Contribution à l'évaluation qualitative et quantitative d'aquifères de la ville de Bukavu*, inédit (Mémoire de licence à l'Université Officielle de Bukavu 2002-2003), p 46
- [3] Chamaa M.S, Bidou J.E et Boureau, P.-Y , 1981. *Atlas de Bukavu*, Ceruki, Bukavu.
- [4] Ilunga L., 1991. *Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu*. Bulletin de la Société Géographique de Liège, vol.27.
- [5] Moeyersons J, Tréfois P, Lavreau J, Alimasi D, Badriyo I, Mitima B, Mundala M, Munganga D, Nahimana L, 2003. *A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of the Congo*, Engineering Geology.
- [6] Kampunzu, 1981. *Le magmatisme du massif de Kahuzi-Biega (Kivu-Zaire), structure, pétrologie, signification et implication géodynamique*. Thèse sciences, Univ. Lubumbashi, p 378.
- [7] Krzysztof G, 1984. *Traits essentiels de la géologie et géomorphologie de la région de Bukavu*, Ann. Mus. Roy. Afr. Cent. Turvuren, Sci. Géol. Min., Rapp. Ann. 1965, p 69 – 74.
- [8] Muhigwa J, 1999. *Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud-Kivu durant les 50 dernières années*. Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann. 1997 & 1998, P 9.
- [9] Sadiki N, Vandecasteele I , Moeyersons J, Ozer A , Ozer P , Kalegamire D, Bahati C, *Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, R.D. Congo*. 2010, Annales Sci. _ Sci. Appl. U.O.B. Vol. 2.
- [10] Vandenplas A, 1943. *La pluie au Congo belge*. Bull. Agr. Du Congo belge. p 275-396.