



IMPACTS DE L'ACTIVITE VOLCANIQUE DE LA CHAINE DES VIRUNGA SUR LE SOL ET LES EAUX DES RIVIERES DE L'AXE MUGUNGA-SAKE, NORD-KIVU, RDCONGO

Kananu HabamunguPatient, TityKalegamire D, Martin KlausenB, SéverinMuyisaKavatsurwa

Author Details (optional)

KANANU H Patientis MSc Researcher at Stellenbosch University (South Africa) and UniveriteOfficielle de Bukavu (Democratic Republic of Congo), khpatient@hotmail.com

Co-Author

KALEGAMIRE D Tity Researcher at UniversiteOfficielle de Bukavu (Democratic Republic of Congo), tity_kalegas@yahoo.fr

Martin KlausenB senior lecture at Stellenbosch University (South Africa), klausen@sun.ac.za

SéverinMuyisaKavatsurwa lecture at UniversiteOfficielle de Bukavu (Democratic Republic of Congo), smuyisa@live.fr

KeyWords

Clarke values, Environmental geochemistry, Lead, North-kivu, Soil, Virunga, Volcanism, Water

ABSTRACT

This research focused on the impacts of Virunga chainvolcanism on river waters and soil chemistry in the Mugunga – Sake area (North Kivu, D R Congo). The chemical analysis of soil and water samples collected in the sampling sites showed high concentration of chemical constituents known to affect human health above certain level in the soil and water samples. The chemical parameters of soil were as follow: pH ranged from 6.10 to 8.91; total nitrogen (mg/g) from 0.32 to 2.06; organic carbon (mg/g) from 0.60 to 2.77; assimilable phosphorus (ppm) from 1.91 to 48.41; sulphur (mg/kg) from 1.28 to 8.06; iron (g/100g) from 16.93 to 21.11; lead (g/100g) from 0.0102 to 0.0552; and (H+Al) (meq/100g) from 0.34 to 3.39. The chemical composition of the water samples were: total phosphorus (µg/l) oscillates from 7.6136 to 14.9916; soluble phosphate (µg/l) from 13.547 to 16.182; total nitrogen (µg/l) from 19.782 to 44.1; nitrate (µg/l) from 5.096 to 9.996; ammonium (µg/l) from 16.926 to 31.8234; suspended matter (g/l) 0.041 to 0.075; pH 5.16 to 5.44; total hardness (°F) 68.91 to 89.5; calcium hardness (°F) 25.06 to 55.13; magnesium hardness (°F) 34.37 to 53.693; chloride (mg/l) 30 to 65; carbonate (mg/l) 0 to 0; alkalinity (mg/l) 14 to 26.9; sulphate (mg/l) from 453.12 to 576 and Iron (mg/l) from 44.8 to 100. The survey from people living in the investigated area showed that they were not aware about all the hazards related to the volcanism activities. From the observed values, it was established an environmental impact of the volcanism on the soil, on the waters and obviously on the health of population in the area.

RESUME

Notre travail a porté sur l'impact de l'activité volcanique de la chaîne des Virunga sur le sol et l'eau des rivières de l'axe Mugunga-Sake. Les analyses chimiques des échantillons de sol et des eaux prélevés sur terrain ont montré des concentrations élevées en certains constituants chimiques pouvant être à l'origine de certaines pathologies à l'endroit des populations de ce secteur. Les paramètres chimiques des sols de la région se présentent comme suit : le pH variait de 6,10 à 8,91 ; l'azote total (mg/g) de 0,32 à 2,06 ; le carbone organique (mg/g) de 0,60 à 2,77 ; le phosphore assimilable (ppm) de 1,91 à 48,41 ; le soufre (mg/Kg) de 1,28 à 8,06 ; le fer (g/100g) de 16,93 à 21,11 ; le plomb (g/100g) de 0,0102 à 0,0552 et le (H+Al) (méq/100g) de 0,34 à 3,39. La composition chimique des eaux a montré que les teneurs en phosphore total ($\mu\text{g/l}$) variaient de 7,6136 à 14,9916, en phosphate soluble ($\mu\text{g/l}$) de 13,547 à 16,182 ; en azote total ($\mu\text{g/l}$) de 19,782 à 44,1 ; en nitrate ($\mu\text{g/l}$) de 5,096 à 9,996 ; en ammonium ($\mu\text{g/l}$) de 16,926 à 31,8234 ; en matière en suspension (g/l) de 0,041 à 0,075 ; le pH de 5,16 à 5,44 ; la dureté totale ($^{\circ}\text{F}$) de 68,91 à 89,5 ; la dureté calcique ($^{\circ}\text{F}$) de 25,06 à 55,13 ; la dureté magnésique ($^{\circ}\text{F}$) de 34,37 à 53,693 ; le chlorure (mg/l) de 30 à 65 ; le carbonate (mg/l) de 0 à 0 ; l'alcalinité (mg/l) de 14 à 26,9 ; le sulfate (mg/l) de 453,12 à 576 et le fer (mg/l) de 44,8 à 100. Une enquête menée auprès de la population vivant dans notre zone d'étude a montré que cette population n'était pas du tout informée sur les risques sanitaires que représentait les conséquences du volcanisme. Les valeurs observées lors de cette étude démontrent un impact environnemental du volcanisme sur le sol, les eaux et probablement sur la santé de la population de cette zone.

© GSJ

MAIN PAPER STARTS HERE...

1. INTRODUCTION

Le volcanisme du Nord Kivu est constitué des volcans en activité depuis plus de cinquante dernières années. Ainsi, ces volcans présentent aussi bien un danger perceptible pour la population qu'un avantage direct à cette même population par la fertilisation des champs et des pâturages en apportant des sels minéraux par mobilisation minéralogique. Ces danger et avantage sont en très grande partie liés à la géochimie environnementale.

Dans notre secteur d'études (axe Mugunga-Sake), on sait facilement observer des impacts qu'on attribuerait à l'excès soit d'un élément chimique dans l'eau (fluorose des dents), soit dans l'air comme l'irritation d'yeux et des narines, soit dans le sol (sable) et les roches en place. D'autres impacts sont par contre dus au déficit des oligoéléments dans les êtres humains, les animaux ou bien les plantes qui ne sont pas seulement à proximité des volcans, mais plutôt qui y sont exposés.

Les environs de Goma dont il est question s'étendent jusqu'à 30 km à l'Ouest de ladite ville étant donné qu'à l'Est et au Sud nous avons respectivement le Rwanda et le lac Kivu. Notre secteur d'étude est situé entièrement dans la région tropicale au Sud de l'Equateur, par ce fait il bénéficie des caractéristiques d'un climat tropical humide propre à ladite région mais influencé par les montagnes. Il est couvert par un sol volcanique (andosol) avec des coulées de lave d'âges différents et épanchées des différents volcans dont le Nyiragongo et le Nyamulagira sont les seuls en activité actuellement pendant que le Sabinyo, le Visoke, le Karisimbi, le Mikeno, le Muhavura ainsi que le Gahinga ne sont pas présentement en activité.

Dans la partie Ouest du Rift Valley Africain et plus précisément dans la région des Virunga à l'Est de la République Démocratique du Congo se trouvent huit volcans dont le Nyamulagira ainsi que le Nyiragongo sont actifs jusqu'à nos jours. Ce dernier présente le plus grand danger pour la population de Goma et ses environs par son lac de lave permanent, son panache aussi permanent et par sa proximité avec la ville de Goma et le lac Kivu.

Il est donc évident que ces laves et ces dégagements gazeux influencent la composition géochimique et physicochimique des sols environnants, des eaux et de l'air.

Dans ce travail, il a été question d'une part d'établir un lien éventuel entre la dispersion de quelques éléments chimiques dans le sol et dans les eaux du secteur de manière à dégager son impact sur l'environnement, et d'autre part, d'évaluer le niveau d'information des populations riveraines qui vivent aux environs de ces volcans par rapport aux risques résultant de la composition chimique du sol et des eaux. Les analyses entreprises ici ont démontré qu'il adés impacts liés aux activités volcaniques de la chaîne des Virunga sur le sol et l'eau des rivières de l'axe Mugunga-Sake. Le dépouillement du questionnaire d'enquête montré une sous information de la population sur les danger liés à la variation des propriétés physicochimiques du sol et des eaux dans cette zone d'étude.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Secteur d'étude

L'axe Mugunga - Sake a été privilégié par ce travail pour deux raisons : la ville de Goma a tendance à s'étendre plus vers la cité de Sake dans le territoire de Masisi en passant par la cité de Mugunga ; en plus la direction préférentielle du panache du Nyiragongo va de l'Est vers l'Ouest du volcan comme l'illustre la figure 1 ci-après. Raison pour laquelle, nous avons pensé que cet axe serait le plus affecté.

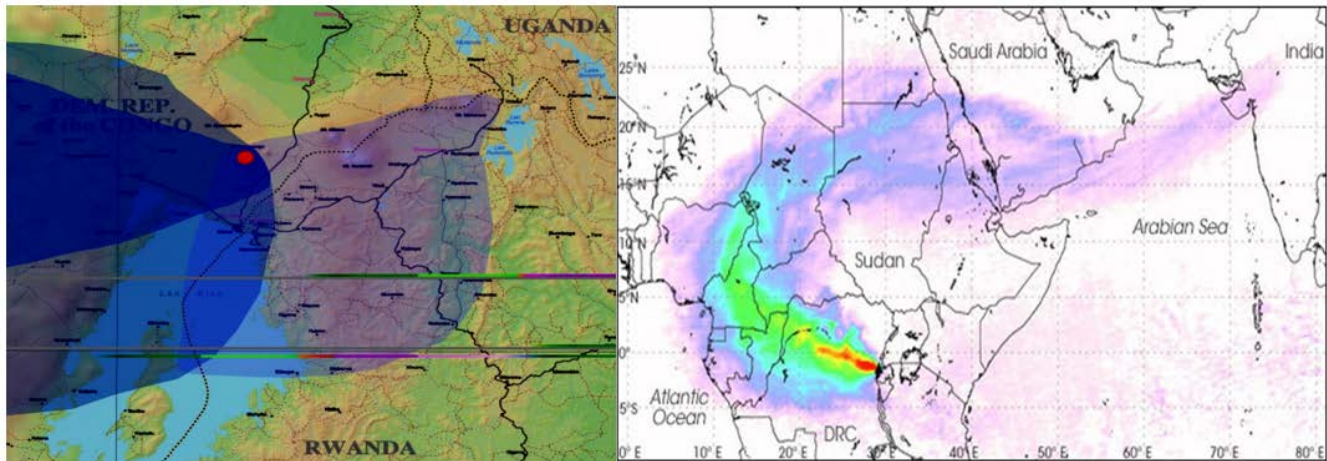


Figure 1 : Directions préférentielles du panache (gauche) et la direction du panache du Nyiragongo à l'échelle planétaire ; UGR (droit)

2.2. ENQUETES

Après avoir identifié les différents points de résurgence d'eau dans notre secteur d'études, un questionnaire a été administré de manière aléatoire et aux personnes retrouvées en train de puiser ou d'utiliser l'eau des sources, ainsi qu'aux personnes croisées dans la cité en train de vaquer à leurs occupations. Le nombre de personnes questionnées était variable d'une source à une autre selon la disponibilité des gens et la taille du village. La fiche d'enquête est présentée dans Figure 2.

Questionnaire d'enquête

- **Identité de l'enquêté**
 - Nom :
 - Age :
 - Activité principale :
 - Position familiale :
- **Niveau d'utilisation de cette eau**
 - Comment vous procurez-vous de l'eau ? Source, Lac, Rivière, Pluie, Puits
 - Quel usage faites-vous de cette eau ? Domestique, Boisson, Irrigation champêtre
 - Cette eau subit-elle un prétraitement avant consommation ? Oui, Non
 - Quel genre de traitement ? Chloration, par Ozone, U_V, Graine de Moringa
- **Par rapport à la santé**
 - Combien de cas de fluorose il y a dans votre famille ? 0 – 5, 6 – 10, >10
- **Niveau d'information**
 - Êtes-vous informés sur une probable contamination des eaux de votre milieu suite à l'activité volcanique ? Oui, Non
 - Quel genre de contamination ? Biologique, Physico-chimique

Figure 2 : Fiche élaborée et utilisée pour l'enquête au sein de la population.

2.3. MATERIEL UTILISE

Mis à part des petits outils, mais utiles, comme un carnet de terrain, un stylo, des burettes, des béchers, les erlen Meyer, pipettes, pissettes et autres, nous avons utilisé un matériel spécifique pour les travaux de terrain et pour les différentes analyses en laboratoires.

2.3.1. Sur terrain

- Un GPS de marque GARMIN N°16Q612746 Can 310 pour la localisation des échantillons;
- Un appareil photo numérique de marque Sony pour la prise d'image des différents échantillons;
- Une glacière et un sac pour la conservation et le transport des échantillons;
- Des bouteilles de laboratoire pour l'eau;
- Une houe pour creuser et prélever les échantillons solides;
- Des poches pour conserver le sol;
- Une glacière pour la conservation des échantillons d'eau.

2.3.2. Au laboratoire

Pour le sol:

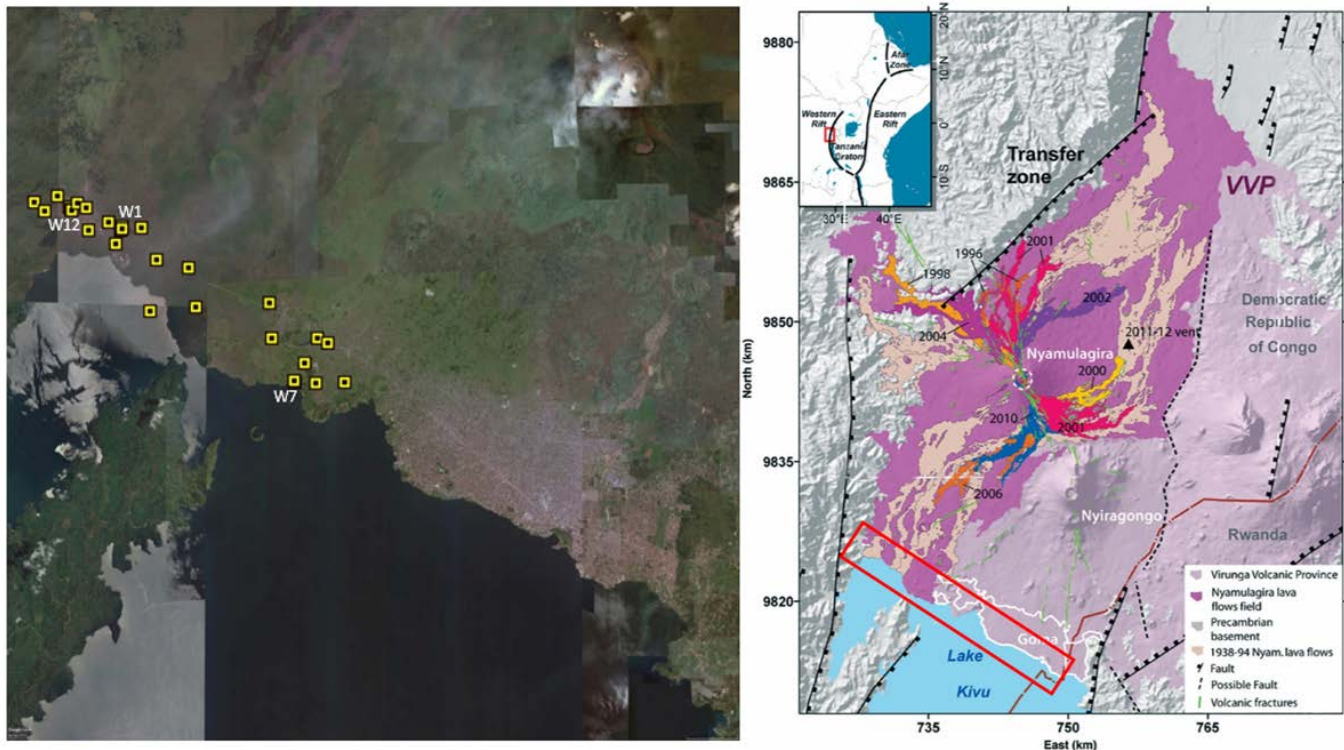
- Le spectrophotomètre à fluorescence de Rayon-X pour la détection du Fer et du Plomb;
- Le spectrophotomètre à U-V Vis pour faciliter la détermination de certains éléments;
- Du papier filtre Whatman pour permettre la détermination des matières en suspension;
- Un moulin pour broyer les échantillons;
- La balance de précision pour peser les échantillons;
- Un pH-mètre pour la détermination du pH.

Pour l'eau

- Le spectrophotomètre U-V pour la détermination de certains éléments;
- Du papier filtre Whatman pour la filtration et la détermination des matières en suspension;
- La balance à précision pour peser les échantillons;
- Le pH-mètre pour déterminer le pH.

2.4. PRELEVEMENT ET CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS

Ces opérations étaient faites conformément à certaines normes d'échantillonnage acceptables pour chaque type d'échantillon.



Le prélèvement des sols s'effectuait à une profondeur avoisinant 50 cm en profondeur en creusant à l'aide d'une houe appropriée pour éviter de prendre à la fois l'échantillon de sol mélangé à l'humus, l'échantillon pris était directement mis dans un sachet doublé pour éviter toute tendance de contamination entre les échantillons puisque placés dans un même sac et chaque sachet était étiqueté selon un code qui portant les coordonnées du point échantillonné et un bref commentaire sur l'échantillon. Ces échantillons étaient arrivés au laboratoire environ 21 heures après récolte.

Le prélèvement des eaux s'est réalisé au niveau des sources conformément aux conditions imposées par le laboratoire d'analyse. C'est ainsi que les échantillons prélevés étaient conservés dans des bouteilles bien appropriées à l'analyse de l'eau. Après prélèvement, ces bouteilles étaient fermées sans une seule bulle d'air à l'intérieur. Ensuite, les échantillons étaient directement codés puis placés

dans une glacière contenant des morceaux de glace. Ces échantillons étaient acheminés au laboratoire moins de 16 heures après prélèvement.

2.5. ANALYSES AU LABORATOIRE

2.5.1. Analyses des sols

Les analyses des sols ont été faites au laboratoire des sciences du sol de la Faculté d'Agronomie de l'U.C.B.

Le phosphore a été déterminé par la méthode d'Olsen consistant en l'addition d'une solution alcaline de bicarbonate de soude pH 8,5 à un échantillon de terre pour abaisser les concentrations de Ca, Al et Fe et, par conséquent, augmenter la concentration d'ions phosphates de manière à ce que les divers produits de solubilité différente demeurent constants. Cette méthode est adaptée à tous les sols et elle est la plus fiable et accessible. L'appareillage utilisé était constitué du bain-marie et du colorimètre. Pour l'azote total, nous avons utilisé la méthode Kjeldhal qui consiste à traiter l'échantillon à chaud avec un mélange d'acide sulfurique concentré et d'acide salicylique. L'acide sulfurique détruit, par son action oxydante, les matières organiques et libère ainsi l'azote sous forme d'ammonium. Ce dernier est aussitôt fixé sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$. C'est cette méthode que nous avons utilisée et elle est fiable. Pour réaliser ces analyses, nous avons fait usage d'un minéralisateur et d'un distillateur Kjeldhal. Le Soufre a été quantifié par la méthode de turbidité mesurée par un colorimètre. Pour le fer ainsi que le plomb, nous avons fait recours à la méthode spectrophotométrique à Rayon-X.

Les protons et les ions aluminiques échangeables peuvent être déplacés par un autre cation et ainsi mis en solution afin de pouvoir les doser. Le KCl 1 molaire est utilisé comme solution d'extraction et le dosage de l'acidité totale se fait par titrations avec le NaOH. Aussi avons-nous procédé pour ce qui est de l'acidité totale (H+Al).

Pour le carbone, le titrage s'est fait par la méthode de Walkley et Balck qui est basée sur l'oxydation du CO par le bichromate de potassium en milieu fortement acide.

Pour le pH, nous avons procédé par la méthode titimétrique et un pH-mètre.

2.5.2. Analyses des eaux

Les analyses quantitatives des échantillons d'eau ont été réalisées au laboratoire de malacologie de C.R.S.N./Lwiro.

Pour le phosphore total, le phosphore soluble, l'azote total, le nitrate et l'ammonium on a utilisé la méthode spectrophotométrique avec des longueurs d'onde appropriées différentes telles 630 nm pour les composés azotés et 885 nm pour les phosphatés. Pour la matière en suspension, on a recouru à la méthode de soustraction sur papier filtre de Whatman préalablement taré. Pour la dureté totale et la dureté calcique on a fait usage de la méthode de titrage à l'Ethylene Diamine Tetra Acetate (EDTA) à des pH différents, la déduction de la dureté magnésique a été faite à partir des deux premières duretés. Pour le chlorure, le carbonate, le fer, le sulfate et l'alcalinité on a procédé par la méthode de titrage respectivement à l' AgNO_3 , au HCl, au permanganate de potassium avec

l'Ethylene Diamine Tetra Acetate(EDTA) à milieu tamponné, au BaCl₂ et au HCl.

2.6. ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES

Les traitements statistiques des données ont été réalisés par Microsoft Excel 2007 et les logiciels Past, Arcview et Interdex V8,0.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. ENQUETE

3.1.1. Utilisation des eaux

Sur un échantillon de 37 personnes interrogées dans le cadre de notre travail ont affirmé qu'elles s'approvisionnent en grande partie d'eau des sources que nous avons échantillonnées et quelques fois de l'eau des pluies et du lac Kivu. Cette eau est utilisée pour tous les travaux domestiques et ménagers (eau de boisson, cuisson, etc).

La chloration est la seule méthode de prétraitement de l'eau des sources et du lac Kivu avant toute consommation. Cette chloration n'est cependant pas permanente, il y a des fois que les produits de chloration font défaut.

3.1.2. Manifestation sanitaire

D'après les personnes enquêtées, il se manifeste chez quelques individus, 1 personne dans une famille de 9 membres (soit 11%), des problèmes de pneumonie et une coloration dentaire à 90% de membres de la famille. A ce stade d'études nous ne sommes pas à mesure d'incriminer tel ou tel autre élément présent en excès dans l'eau comme responsable de la coloration grisâtre des dents des populations environnantes. Cependant, certaines personnes pensent, par désinformation, que cela tient d'un caractère héréditaire.

3.1.3. Niveau d'information

Près de 80% de nos enquêtées n'ont pas suffisamment d'informations sur une éventuelle contamination chimique des eaux de source qui serait liée au volcanisme, mais plutôt une contamination biologique du fait que lesdites eaux ne sont pas du tout traitées au préalable par la Régie congolaise en charge du traitement des eaux de consommation.

3.2. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SOLS

Les résultats d'analyses chimiques d'échantillons de sol prélevés en des sites différents sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1: Compositions géochimiques des échantillons de sol

| Éléments | Echant. 1 | Echant. 2 | Echant. 3 | Echant. 4 | Echant. 5 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Azote total (mg/g) | 0,5100 | 1,7500 | 2,0600 | 1,6500 | 0,3200 |
| Phosphore (ppm) | 6,6900 | 29,3400 | 9,3700 | 48,4100 | 1,9100 |
| Soufre (mg/kg) | 1,2800 | 5,1500 | 8,0600 | 8,0500 | 6,0800 |
| Fer (%) | 20,2300 | 19,4700 | 18,3300 | 16,9300 | 21,1100 |
| Acidité totale H+Al (mécq/100g) | 1,8300 | 0,8100 | 0,6700 | 3,3900 | 0,3400 |
| Carbone (mg/l) | 1,5900 | 2,4200 | 0,7800 | 2,7700 | 0,6000 |
| Plomb (g/100g) | 0,0110 | 0,0128 | 0,0118 | 0,0552 | 0,0102 |
| pH | 8,9100 | 7,7700 | 6,9700 | 8,2300 | 6,1000 |

A partir du tableau 1 qui porte sur la composition géochimique des échantillons de sol, nous constatons ce qui suit : le *pH* varie de 6,10 à 8,91 ; l'*azotetotal (mg/g)* de 0,32 à 2,06 ; le *carbone organique (mg/g)* de 0,60 à 2,77 ; le *phosphore assimilable (ppm)* de 1,91 à 48,41 ; le *soufre (mg/kg)* de 1,28 à 8,06 ; le *fer (g/100g)* de 16,93 à 21,11 ; le *plomb (g/100g)* de 0,0102 à 0,0552 et le *(H+Al) (mécq/100g)* de 0,34 à 3,39.

De ces valeurs nous trouvons que les concentrations en fer de tous les sites échantillonnés sont largement supérieures à la concentration proposée par la moyenne chondritique (50 000ppm) et en se référant à ce que nous avons trouvé concernant l'effet du Fer à la santé humaine et à la physiologie végétale, nous trouvons que la population de la région est littéralement exposée à certains problèmes d'yeux, de peau ainsi qu'à la pneumonie et quelques autres problèmes de croissance chez les plantes.

Les différentes concentrations en phosphore, soufre et carbone sont très inférieures aux valeurs données par la moyenne chondritique (respectivement 1180ppm, 520ppm et 320ppm). Ainsi, ces éléments vus leurs valeurs respectives ne posent aucun problème que ce soit pour l'homme, pour les animaux et pour les plantes.

Le plomb lui a des concentrations excessives dans tous nos sites par rapport à la moyenne (16ppm) et étant donné qu'il a un effet bio-accumulateur, il a tôt fait de s'accumuler dans les plantes et représenter ainsi dans une certaine mesure un danger pour l'homme et les animaux qui les consomment. Ainsi il affecte le système le sang, nerveux, les reins et la fertilité des hommes.

Les teneurs en azote retrouvées dans tous les échantillons de nos différents sites sont très supérieures à la concentration proposée dans la moyenne chondritique (46 ppm). Cela doit avoir certains effets sur les plantes dont il facilite l'accroissement et dans lesquelles il se concentre et entre ainsi dans l'organisme de l'homme. Une forte concentration en produits azotés cause divers problèmes chez les humains tels que le cancer et le manque de vitamine A.

3.3. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau se trouvent résumés dans le tableau 2 ci-dessous:

Tableau 2: Paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau

| Eléments | Echant. 1 (KALIBA) | Echant. 2 (KARIBA) | Echant.3 (KABIRINGA) |
|--|--------------------|--------------------|----------------------|
| Phosphore total ($\mu\text{g/l}$) | 11,408 | 7,6136 | 14,9916 |
| Phosphate soluble ($\mu\text{g/l}$) | 16,182 | 13,795 | 13,547 |
| Azote total ($\mu\text{g/l}$) | 19,782 | 32,424 | 44,1 |
| Nitrate ($\mu\text{g/l}$) | 9,996 | 5,096 | 7,14 |
| Ammonium ($\mu\text{g/l}$) | 16,926 | 31,8234 | 18,97 |
| Matière en suspension (g/l) | 0,041 | 0,075 | 0,053 |
| pH | 5,38 | 5,44 | 5,16 |
| Dureté totale ($^{\circ}\text{F}$) | 89,5 | 82,87 | 68,91 |
| Dureté calcique ($^{\circ}\text{F}$) | 55,13 | 29,177 | 25,06 |
| Dureté magnésique ($^{\circ}\text{F}$) | 34,37 | 53,693 | 43,85 |
| Chlorure (mg/l) | 65 | 45 | 30 |
| Carbonate (mg/l) | 0 | 0 | 0 |
| Alcalinité (mg/l) | 26,9 | 17,5 | 14 |
| Sulfate (mg/l) | 576 | 529,92 | 453,12 |
| Fer (mg/l) | 100 | 56 | 44,8 |

Du tableau ci-dessus, il se dégage que le *phosphore total* ($\mu\text{g/l}$) oscille de 7,6136 à 14,9916 ; le *phosphate soluble* ($\mu\text{g/l}$) de 13,547 à 16,182 ; l'*azote total* ($\mu\text{g/l}$) de 19,782 à 44,1 ; le *nitrate* ($\mu\text{g/l}$) de 5,096 à 9,996 ; l'*ammonium* ($\mu\text{g/l}$) de 16,926 à 31,8234 ; la *matière en suspension* (g/l) de 0,041 à 0,075 ; le *pH* de 5,16 à 5,44 ; la *dureté totale* ($^{\circ}\text{F}$) de 68,91 à 89,5 ; la *dureté calcique* ($^{\circ}\text{F}$) de 25,06 à 55,13 ; *dureté magnésique* ($^{\circ}\text{F}$) de 34,37 à 53,693 ; le *chlorure* (mg/l) de 30 à 65 ; le *carbonate* (mg/l) de 0 à 0 ; l'*alcalinité* (mg/l) de 14 à 26,9 ; le *sulfate* (mg/l) de 453,12 à 576 et le *fer* (mg/l) de 44,8 à 100.

Les résultats du tableau précédent, comparés aux normes de Grenoble de l'année 2007, montrent que les concentrations en Fer sont très excessives dans toutes les eaux que nous avons échantillonnées par rapport à celle de Grenoble SARL (0,2 ppm). Bien qu'étant important dans le sang, son excès dans l'organisme expose l'homme à certains problèmes d'yeux, des peaux ainsi qu'à la pneumonie pour ce qui est des hommes et quelques autres problèmes chez les plantes.

Dans toutes les eaux des sites échantillonnés, les teneurs en sulfate sont très élevées par rapport à la norme de Grenoble SARL (250 ppm). Or, certaines informations renseignent qu'une forte concentration dans l'organisme en composés soufrés provoque des graves problèmes chez l'homme : ces composés, en excès, affectent en effet le système nerveux et cardiaque, la respiration et autres.

Les pH de nos échantillons d'eau étant acides par rapport à celui de Grenoble SARL (7,75), ces eaux sont susceptibles de causer des problèmes gastriques à cette population qui la consomme très régulièrement.

Une très forte concentration en calcium s'observe dans nos échantillons par rapport à la concentration que nous trouvons dans la norme de Grenoble SARL (97 ppm). Bien que le calcium protège contre l'ostéoporose, il peut exposer la population de notre secteur aux problèmes rénaux.

Le magnésium affiche une grande concentration dans nos différents échantillons par rapport à la norme de Grenoble SARL (50 ppm). Son excès est souvent à l'origine des problèmes d'yeux, des peaux et peut affecter le système digestif.

Par rapport aux normes de l'eau fixées par la Communauté Economique Européenne (CEE) en l'année 1979, il se dégage que les concentrations en fer sont très excessives dans toutes les eaux que nous avons échantillonnées. Dans toutes les eaux des sites échantillonnés les teneurs en sulfate sont très élevées, les pH sont plus acides, une très forte concentration en calcium s'observe dans nos échantillons. Le taux en magnésium est plus élevé dans nos différents échantillons et les concentrations en produits azotés des tous nos échantillons sont largement supérieures ; quoiqu'important dans l'agriculture, une forte concentration en azote dans l'organisme provoque le manque de vitamine A, la production de nitrosamine causant le cancer et affecte aussi l'hémoglobine du sang ainsi que la glande thyroïde.

Par rapport aux normes que fixe l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2006) sur les eaux de consommation, nous avons trouvé que les concentrations en fer sont excessives dans les eaux que nous avons échantillonnées au site 1 et au site 2 ; dans ces eaux, les teneurs en sulfate sont plus élevées ; les pH de tous nos échantillons étant acides, ils ne sont pas propres à la consommation si on s'en tient aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et une très forte concentration en Calcium s'observe dans tous nos échantillons.

3.4. CORRELATION DES DONNEES D'ANALYSES

Les résultats de nos différents sites ont été groupés en clusters en tenant compte de leur composition en Fe, P, S, C et N en utilisant la méthode cluster analysis (distance Euclidienne) avec le logiciel Past.

La Figure 3 montre que la concentration de ces éléments dans nos échantillons de sol était clairement discriminée de leur concentration dans nos échantillons d'eau. Deux groupes d'échantillons se démarquent nettement selon leur nature.

Enfin, cette figure montre aussi que la qualité des eaux échantillonnées est, par rapport aux trois normes retenues, plus proche de la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) que de celles de la Communauté Economique Européenne (CEE) et de Grenoble SARL. Soulignons que la norme de Grenoble SARL est la plus stricte; elle est suivie de celle de la Communauté Economique Européenne (CEE) et, enfin, par la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est un peu plus large, plus souple.

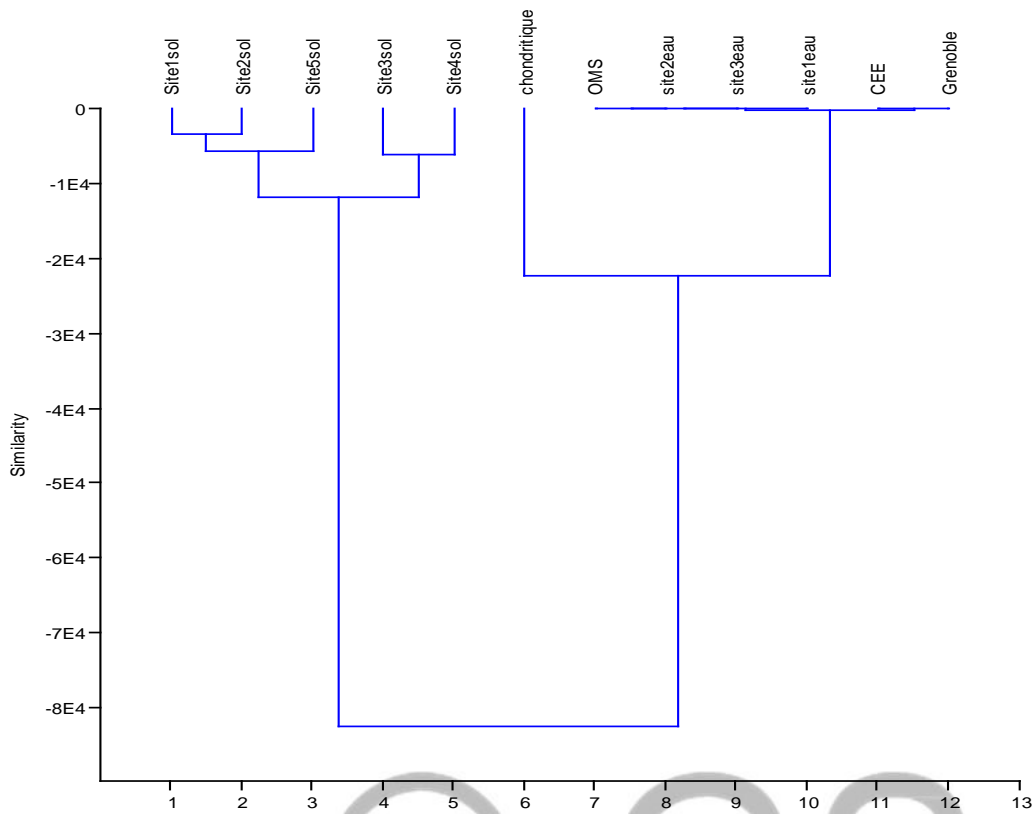


Figure 3 : Corrélation entre toutes les analyses et les normes

La Figure 4 nous permet d'affirmer que les concentrations dans le sol des sites 3 et 4 sont similaires, les échantillons étant proches dans le diagramme de distribution. Aussi, y relève-t-on, selon la même argumentation, que les concentrations dans le sol des sites 1, 2 et 5 sont aussi proches.

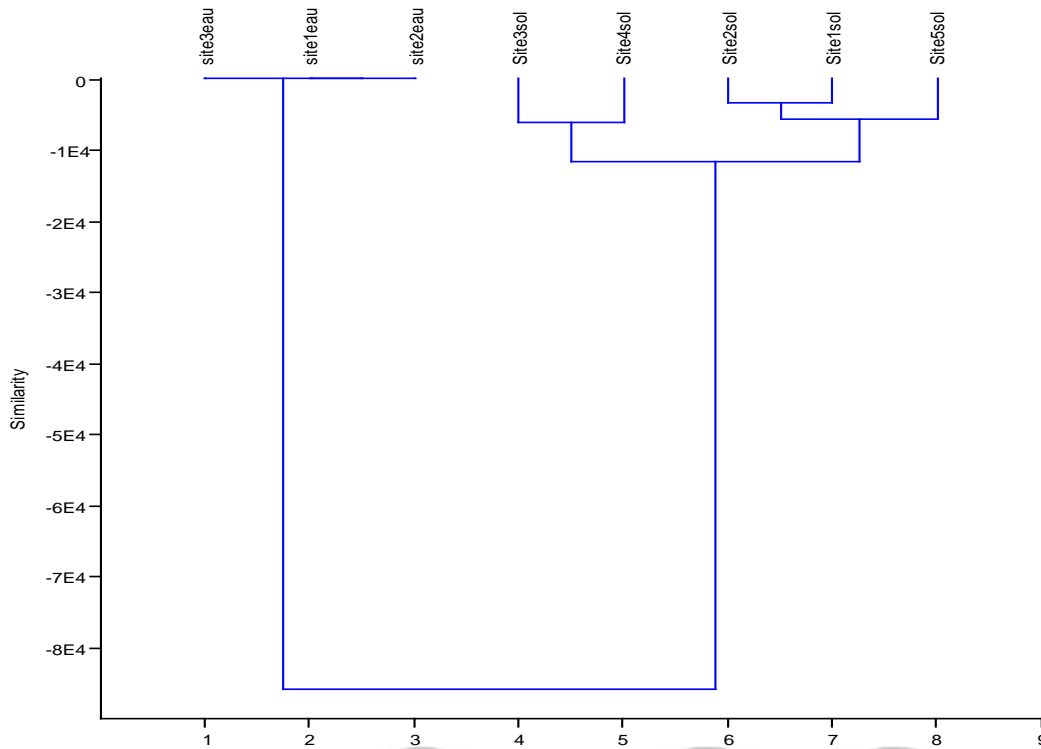


Figure 4: Corrélations entre les différentes analyses

Quant à l'eau, les normes chondritiques se différencient sur la figure 3 très clairement des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), de la Communauté Economique Européenne (CEE) et de Grenoble. Ces trois dernières appartiennent à un même groupement même si la qualité des eaux est plus proche des normes Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

En nous référant au Tableau 2, on relève que :

- Pour le fer, le site de Kaliba se démarque des deux autres sites avec des teneurs quasi doublées;
- Par rapport au calcium, les trois sites présentent des teneurs nulles;
- En ce qui concerne l'azote, les sites de Kariba et Kabiringa ont des teneurs proches et se démarquent de celui de Kaliba;
- Pour le phosphore (déduit du phosphate soluble en milieu aqueux), les trois sites échantillonnés sont similaires;

En ce qui concerne le soufre (déduit des sulfates), Kaliba et Kariba sont proches et se démarquent quelque peu de Kabiringa de par leurs teneurs plus élevées.

A partir de la Figure 4, la corrélation mise en évidence nous pousse à dire que les sols des sites 3 et 4 ont partiellement une même origine. Comme on est en milieu volcanique, ils tireraient origine, vu la distribution géographique, d'un même volcan. Néanmoins, avec la multiplicité des épanchements de lave, leur âge peut être différent. La datation par des méthodes isotopiques des échantillons sains

prélevés sur un profil transversal s'avère donc nécessaire pour élucider ce fait. Cette argumentation vaut également pour les sols des sites 1,2 et 5 qui sont regroupés à part sur le diagramme.

La Figure 4 nous permet aussi d'affirmer que les différentes laves du volcanisme de la chaîne des Virunga bien que d'âges très différents aient une même origine c'est-à-dire d'une même chambre magmatique. Ceci certifie en partie la précision des résultats des analyses des laboratoires.

| Pearson's r \ p(uncorr) | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| | Fe | P | S | C | N |
| Fe | | 0.235593 | 7.85993E-6 | 0.0507142 | 0.0662009 |
| P | 0.473827 | | 0.155753 | 0.00141061 | 0.042406 |
| S | -0.985296 | -0.552303 | | 0.0315113 | 0.0373962 |
| C | 0.70522 | 0.915577 | -0.751662 | | 0.0394715 |
| N | 0.675109 | 0.723708 | -0.73594 | 0.730759 | |

Figure 5: Corrélation entre les éléments

A la Figure 5, le triangle de Pascal déterminée par Pearson's montre que les teneurs en Soufre de tous les échantillons des sites analysés augmentent inversement par rapport aux teneurs en Fer. Cela signifie qu'il y a incompatibilité entre ces deux éléments. Le caractère oxydant du site de prélèvement aurait transformé les sulfures de fer (pyrite, pyrrhotine) en oxy-hydroxydes de fer (hématite, goethite). Ici aussi des études minéralogiques par diffraction des rayons X s'avèrent intéressantes.

On relève sur la Figure 5 une bonne corrélation entre les composés organiques N, P et C et souvent refoulés dans les cendres volcaniques. Leur origine commune explique cette liaison positive.

Remerciement

L'Observatoire Vulcanologique de Goma (OVG) et l'Unité de Gestion de Risque volcanique (UGR) pour nous avoir donné un cadre de recherche favorable avec des orientations adéquates; le Centre de Recherche en Science Naturelle de Lwiro (CRSN/Lwiro) et l'Université Catholique de Bukavu (UCB) pour avoir facilité l'analyse des échantillons respectivement les eaux et les sols.

References

- [1] Bagalwa J-J. (2004): *Quelques paramètres physico-chimiques ayant une incidence sur l'environnement*, CRSN/Lwiro
- [2] Bisimwa R. et Kananu H. (2008) : Rapport de stage de perfectionnement à l'OVG ; inédit, 2008
- [3] Bubaka R. (2002): *Contribution à l'évaluation qualitative et quantitative des gisements aquifères de Bukavu, (secteur Ibanda-Kadutu)*. Mémoire UOB 2002
- [4] Kanika M. (1987): *Contribution à la connaissance du volcanisme associé aux rifts intracontinentaux : exemple des provinces volcaniques tertiaires-quaternaires de Mwenga-Kamituga et de Bukavu dans le rift de l'Afrique Centrale (Sud Kivu, Zaïre)*. Thèse
- [5] KASAHARA, M. et ZANA, N (Mai 1989)., *Les recherches géophysiques des volcans Nyiragongo et Nyamulagira : L'activité Eruptive Récente des volcans Nyiragongo et Nyamulagira*, CRSN-Lwiro

- [6] Lorke A., Tietze K., Halbwarchs M., and Wüst A (2004).; *Response of Lake Kivu stratification to lava climate Warning*. Limnology and oceanography.
- [7] Midende, G. (2009-2010), *Prospection géochimique*, L₂ Géologie U.O.B., Inédit
- [8] Nzolang, C. (2008-2009), *Volcanologie*, L₁ Géologie U.O.B., Inédit
- [9] Ueki, S. (1983), *Recent volcanism of Nyamulagira and Nyiragongo, in volcanoes Nyiragongo and Nyamulagira: Geophysical Aspects (éd. By H. Hamagushi)*, Sendai, Japan
- [10] PAUWELS J. M., VAN RANST E., VERLOO M.et MVONDO ZE A. (1992): *Manuel de laboratoire de pédologie: méthodes d'Analyses de Sols et de Plantes, Equipement, Gestion de Stocks de Verrerie et de Produits chimiques*. Publications Agricole-28
- [11] Rwabuhungu Rwatangabo (1994); *Géochimie et pétrogenèse des laves du Virunga initial (Nord-Kivu, Zaïre)*; Mémoire Unilu
- [12] Vaselli O., Capaccioni B., Tassi F., Tedesco D., Yalire M., and Kasereke M.C. (2003); *The « evil's winds » (mazuku) at Nyiragongo volcano (Democratic Republic of Congo): acta volcanologica*. Pisa, Rome
- [13] Verhoogen J. (1948), *Les éruptions du 1938-1940 du volcan Nyamulagira. Inst. Parcs. Nat. Congo- Belge*. Exploi. Parc. Nat. Albert, fasc.
- [14] Yalire M.M. (2006), *Les gaz volcaniques du Nyiragongo : un risque pour l'environnement à Goma et ses environs*. CERG

