

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/323144380>

# RISKS ASSOCIATE WITH MAZUKU IN THE GOMA AREA, DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO (EAST AFRICA RIFT)

Article · December 2017

---

CITATION

1

READS

446

9 authors, including:



**Marcellin Kasereka**

Goma Volcano Observatory, Democratic Republic of the Congo

15 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

SEE PROFILE

## LES RISQUES LIÉS AUX MAZUKU DANS LA RÉGION DE GOMA, RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO (RIFT EST-AFRICAIN)

### RISKS ASSOCIATE WITH MAZUKU IN THE GOMA AREA, DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO (EAST AFRICA RIFT)

M. M. KASEREKA<sup>1</sup>, M. M. YALIRE<sup>1</sup>, A. S. MINANI<sup>1</sup>, C. V. SAMBA<sup>1</sup>, A. K. BISUSA<sup>1</sup>, E. K. KAMATE<sup>2</sup>, N. MASHAGIRO<sup>3</sup>, M. SYAUSWA<sup>3</sup>, J. K. KAVUKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département de Géochimie et Environnement, Observatoire Volcanologique de Goma, Goma, Nord-Kivu, R.D. CONGO.

<sup>2</sup>Département de Géodésie, Observatoire Volcanologique de Goma, Goma, Nord-Kivu, R.D. CONGO.

<sup>3</sup>Département de Technique, Observatoire Volcanologique de Goma, Goma, Nord-Kivu, R.D. CONGO.

\*Corresponding author Email: [marcellinkasereka16@gmail.com](mailto:marcellinkasereka16@gmail.com)

Reçu : 4 Mai 2017, Accepté : 4 Décembre 2017, En ligne : 30 Décembre 2017

#### RESUME

Dans la région au nord du lac Kivu située dans la partie occidentale du rift africain, des fractures profondes permettent la remontée de gaz, surtout du gaz carbonique, dans des zones localement appelées mazuku; en Kiswahili des endroits où un gaz diabolique tue les gens. Généralement, les mazuku sont des dépressions et/ou des fronts des coulées de lave où le CO<sub>2</sub> s'accumule par gravité, formant des lieux où l'air est très riche en CO<sub>2</sub> et donc toxique, voire même létal. Le CO<sub>2</sub> est un gaz plus lourd que l'air, asphyxiant, irrite les yeux, le nez et la gorge, et mortel à des concentrations supérieures à 15%. Malheureusement beaucoup de mazuku sont localisés dans le périmètre de la ville de Goma et dans les environnements immédiats. La population de Goma croit que la concentration en CO<sub>2</sub> a diminué avec le temps dans les mazuku, pourtant quatre campagnes de mesures effectuées dans les mazuku de la ville de Goma montrent le contraire ; les concentrations en CO<sub>2</sub> culminent à 70% dans quelques sites. On trouve les mazuku en pleine ville de Goma, mais ils abondent surtout dans les régions de Kituku, Lac Vert, Bulengo. C'est fort malheureusement de ce côté que sont orientées les nouvelles constructions d'habitations ce qui les expose au risque de CO<sub>2</sub>. Ici

des espaces à fortes concentrations en CO<sub>2</sub> sont déjà lotis. Ce gaz volcanique a causé et continue de causer des morts d'humains et d'animaux dans les zones concernées. Nous proposons que les panneaux d'alerte soient replacés dans ces zones à haut risque et les campagnes d'information et de sensibilisation sur les risques liés aux mazuku sont également fortement recommandées.

**Mots Clés :** Mazuku, risque, Goma, dioxyde de carbone, asphyxiant.

#### SUMMARY

In the area north of Lake Kivu, in the western part of the African Rift, deep fractures allow the uptake of gas, especially carbon dioxide, into areas locally called mazuku; in Kiswahili places where a diabolical gas kills people. Generally, mazuku are depressions and / or fronts of lava flows where CO<sub>2</sub> accumulates by gravity, forming areas where the air is very rich in CO<sub>2</sub> and therefore toxic, even lethal. CO<sub>2</sub> is a gas heavier than air, asphyxiating, irritates the eyes, nose and throat, and is lethal at concentrations greater than 15%. Unfortunately many mazuku are located within the perimeter of the city of Goma and in immediate surroundings. The population of Goma believes that the CO<sub>2</sub> concentrations have decreased over time in the

mazuku, yet four surveys of measurements carried out in the mazuku of the city of Goma show the opposite and it goes up to 70% in some sites. The mazuku are found in the city of Goma, but they are most abundant in the Kituku, Green Lake and Bulengo regions. It is unfortunately on these sites that new housing constructions are oriented, which exposes them to the risk already present, spaces with high concentrations of CO<sub>2</sub> are already covered by buildings. This volcanic gas has caused and continues to cause deaths of humans and animals in the affected areas. We propose that warning signs be placed or even replaced in these high-risk zones and information and awareness campaigns on the risks associated with mazuku are also strongly recommended.

**Key-words:** Mazuku, risk, Goma, carbon dioxide, asphyxiant.

## 1. INTRODUCTION

Les volcans actifs de la chaîne des Virunga exposent la région de Goma à des nombreux risques naturels tels que les coulées de laves, le panache des gaz, les gaz dissous dans le Lac Kivu et à cela s'ajoute les risques liés à des maladies épidémiologiques et des conflits armés. De ces risques, les gaz volcaniques sont la menace la plus permanente pour les populations riveraines car les gaz sont émis par les volcans non seulement durant la période éruptive mais également pendant les périodes calmes (Blong, 1984 ; Williams-Jones et Rymer, 2000 ; Hansel et Oppenheimer, 2004 ; Viveiros et al., 2009). Parmi les gaz émis se trouvent des émanations directes depuis le sol des régions volcaniques vers l'atmosphère. Ainsi, la Province Volcanique des Virunga (PVV) regorge de plusieurs de ces zones d'émanation de gaz, dont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le gaz le plus abondant, ces zones sont localement connues sous le nom des « mazuku ». Le terme mazuku est un terme particulier à la région des Virunga et fait références, suivant une croyance locale, aux « vents diaboliques » qui tuent personnes et animaux à certains endroits de la région. Les mazuku sont le plus souvent des dépressions, et moins fréquemment des fronts des coulées de lave où le CO<sub>2</sub>, accompagné par de très faibles concentrations en radon (Rn), monoxyde de

carbone (CO), s'accumule par gravité rendant l'air toxique, voire même létal. Le CO<sub>2</sub> est un gaz plus lourd que l'air, toxique à une grande concentration et asphyxiant, il irrite les yeux, le nez et la gorge et est mortel dès une concentration de 15% (Hathaway et al., 1991 ; Langford, 2005 ; Beaubien et al., 2003 ; Cantrell et Young, 2009 ; Lockwood et Hazlett, 2010 ; Amaral et Rodrigues, 2011 ; Baxter, 2011). Aux vues du nombre de victimes qu'ils occasionnent, ces mazuku, représentent un risque majeur dans la ville de Goma et ses environs.

La croissance démographique rapide, induite généralement par la migration rurale-urbaine dans les pays en développement, augmente la vulnérabilité des populations et les expose aux catastrophes ; surtout si l'expansion de la ville se fait dans une zone à haut risque naturel et d'une manière non contrôlée (Baxter et al., 1999). Ceci est le cas de la ville de Goma qui subit une expansion urbaine et démographique depuis quelques années, où la population est passée de quelques 50000 en 1977 à 400000 en 2002, puis à 500000 habitants en 2006 (Vaselli et al., 2002/2003 ; Tedesco et al., 2007). Vers 2012-2013 la population de la ville de Goma était estimée à environ 1,1million (Mairie de Goma, 2013). Cet exode rural est principalement provoqué par l'insécurité dans les villages avoisinant Goma.

Goma, situé au nord du lac Kivu, est limité dans son extension par la frontière vers le Rwanda à l'est et les pentes du volcan Nyiragongo au Nord. L'expansion de la ville se fait surtout vers l'ouest, favorisé aussi par la proximité de l'eau du lac. L'extension de la ville vers sa partie ouest se fait sans tenir compte des risques auxquels est exposée la population dans les zones nouvellement loties.

Ces zones à forte concentration en CO<sub>2</sub> s'étendent de la ville de Gisenyi en République Rwandaise jusque dans la cité de Sake située à environ 27 km de la ville de Goma sur la bordure nord du lac Kivu. On rencontre les mazuku également dans les localités situées plus au nord dans les environs des volcans Nyiragongo et Nyamulagira, des zones actuellement occupées par des milices rebelles et donc impossibles d'accès pour des mesures. Si on trouve les mazuku en pleine ville de Goma, ils sont plus concentrés dans

les quartiers Kyeshero, Lac Vert, et la cité de Sake, à l'ouest de la ville. Comme indiqué, malheureusement de ce côté que sont orientées les nouvelles constructions d'habitations, ce qui expose les populations au risque liés aux mazuku. Cette étude traite des mazuku situés dans la ville de Goma, principalement dans la zone de Kituku et la localité de Bulengo, concernée par l'extension de la ville.

Les mazuku ont récemment fait l'objet d'études dans le but d'identifier l'origine des gaz (Tedesco et al., 2007), de définir la menace qu'ils représentent (Smets et al., 2010) ou de proposer des pistes pour une gestion plus efficace des risques qui y sont associés (Smets, 2007). Ce travail s'aligne de

manière générale dans le même objectif que ceux cités en mettant un accent particulier au danger qui guette les populations qui s'installent dans la partie ouest de Goma, nouvellement urbanisée. Nous comparons nos mesures à celles effectuées il y a successivement 15 ans (Vaselli et al., 2003), entre 5 et 10 ans (Smets, 2007, Smets et al., 2010) pour montrer que les concentrations en CO<sub>2</sub> des mazuku n'ont pas diminué avec le temps, contrairement à ce qui est attendu dans la population qui tend à minimiser la menace CO<sub>2</sub>. Le but est donc de montrer que le risque est toujours présent et qu'installer les populations dans des zones à forte concentration de CO<sub>2</sub> les rend vulnérables.

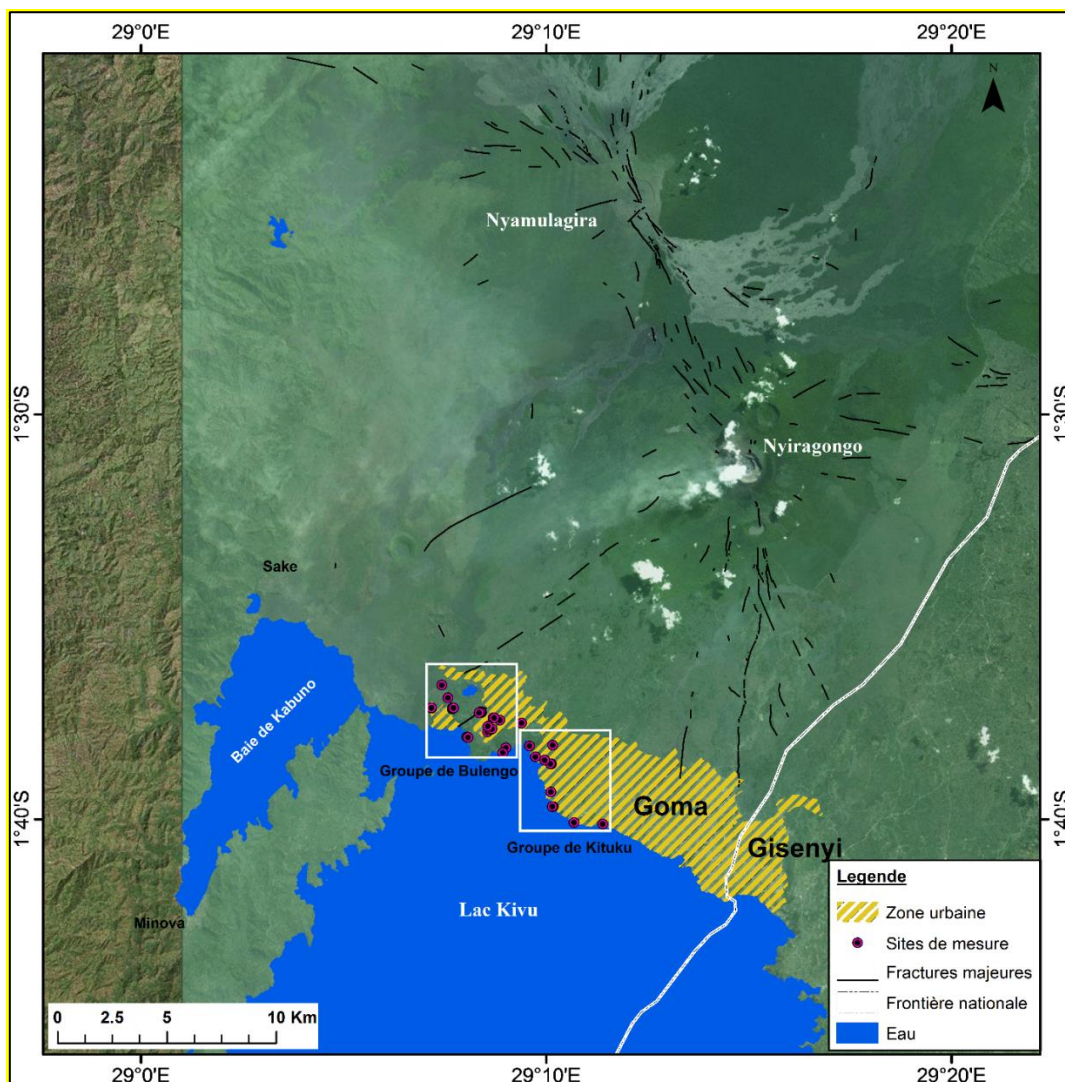
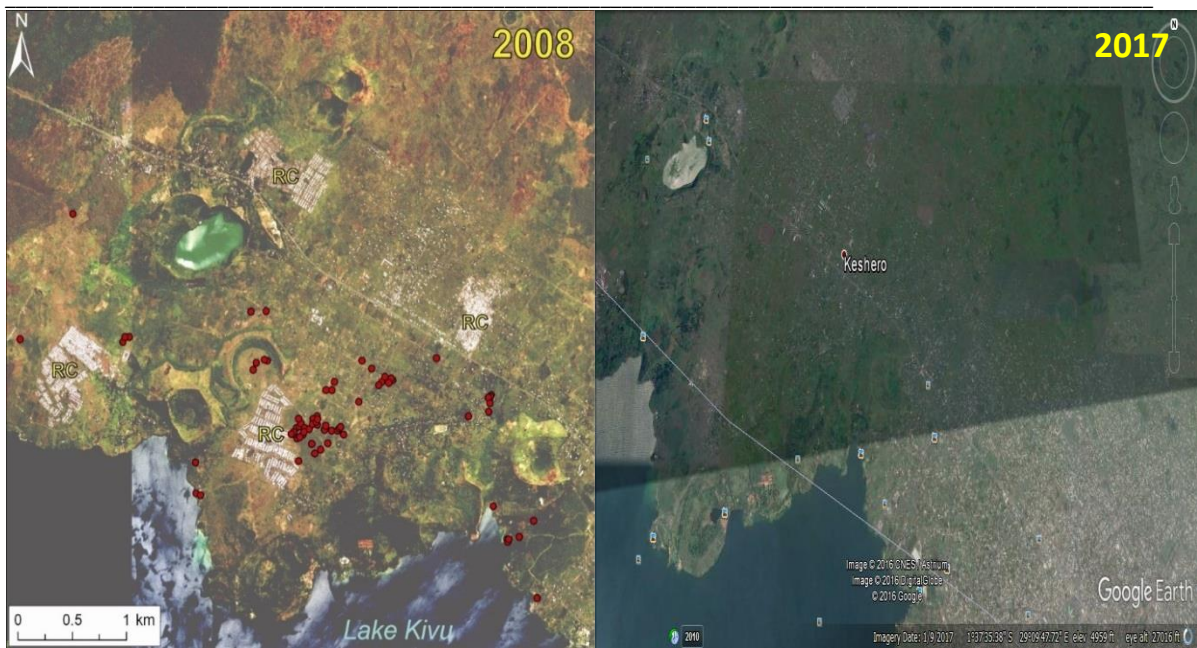


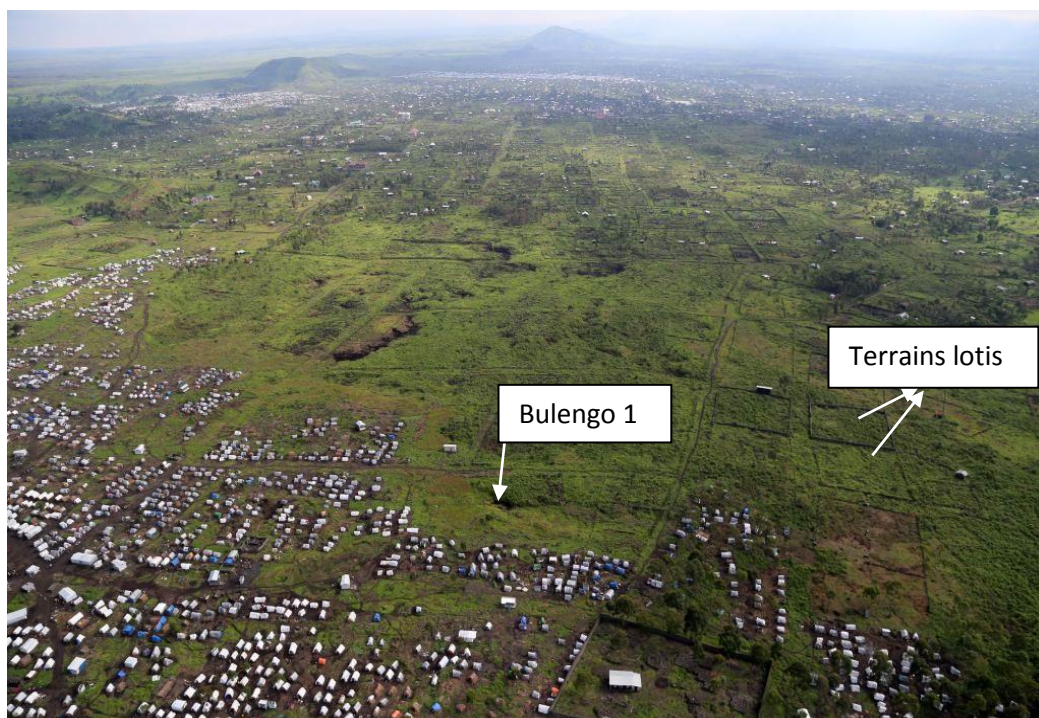
Fig. 1. Location de mazuku dans la région de Goma et ses environs.

Fig. 1. Location of mazuku in the Goma region and surroundings.



**Fig. 2. L'évolution urbaine et présence des camps de réfugiés dans la zone de Bulengo, A l'Ouest de Goma. A gauche : la zone de Bulengo après les conflits de 2008 (Images IKONOS, Juillet 2008), A droite : la zone de Bulengo en 2017 (Image Google Earth, Janvier 2017). Les points sont des mazuku et RC : Camps de refugies.**

**Fig. 2. Urban development and the presence of refugee camps in the Bulengo area, west of Goma. On the left: the Bulengo area after the 2008 conflicts (IKONOS images, July 2008), Right: the Bulengo zone in 2017 (Google Earth image, January 2017). The dots are mazuku and RC: Refugee camps.**



**Fig. 3. Vue aérienne de la zone de Bulengo où l'on remarque les terrains lotis dans les mazuku et la proximité de camps de réfugiés avec les mazuku. (Photo: Dario Tedesco 2013).**

**Fig. 3. Aerial view of the Bulengo area where there are land parcels in the mazuku and proximity to refugees camps with the mazuku. (Photo: Dario Tedesco 2013).**

## 2. DESCRIPTION DU MILIEU D'ETUDE

Goma est une ville située à l'est de la République démocratique du Congo, à la frontière avec la République du Rwanda (Fig. 1). Située à environ 1 500 mètres d'altitude en pleine vallée du Rift Est Africain dans sa partie Ouest, elle est bâtie en bordure nord du lac Kivu sur les anciennes coulées de lave du volcan Nyiragongo qui la domine de près de 2000 mètres à 20 km plus au nord. Goma est limitée à l'est par la ville de Gisenyi (Rwanda), au nord et à l'ouest par le parc national des Virunga et au sud par le Lac Kivu. Situé à la latitude de 1°41' Sud et longitude de 29° 14' Est, Goma comprend 13 quartiers regroupés en deux communes, avec une population estimée à quelques 1100 000 habitants vers 2012 (Mairie de Goma, 2013).

## 3. CARACTERISTIQUES DE MAZUKU

Bien que le dioxyde de carbone soit un gaz incolore et inodore, quelques observations de terrain permettent de manière générale de détecter les mazuku. Les caractéristiques les plus importantes sont :

- a. **Une végétation particulière** : dans la plus part des cas, les alentours des mazuku sont colonisés par une verdure éclatante de l'herbe, de mousse kaki, de papyrus et quelques fois des bambous alors que les centres des mazuku sont souvent dépourvus de végétation ou présentent une végétation réduite.



**Fig. 4. Un mazuku à Bulengo sur le front de coulée de lave. On remarque que la partie à forte concentration en CO<sub>2</sub> (jusqu'à 70% de CO<sub>2</sub>) n'est pas couverte de végétation mais avec des roches de couleur noirâtre. La quantité de végétation augmente (verdure éclatante) en s'éloignant de la zone à forte teneur en CO<sub>2</sub>.**

**Fig. 4. A mazuku at Bulengo on the lava flow front. It is noted that the high CO<sub>2</sub> concentration (up to 70% CO<sub>2</sub>) is not covered with vegetation but with blackish rocks. The amount of vegetation increases (bright greenery) by moving away from the high CO<sub>2</sub> zone.**

- b. **L'altération de la roche** : Dans les mazuku à forte concentration en CO<sub>2</sub> on remarque une

absence prononcée de la végétation. Au contraire on y remarque une altération

avancée des roches de couleur noirâtre ou gris foncé, au lieu et place de gris-brun qui caractérise habituellement les roches volcaniques de la région qui ne sont pas attaquées par des fortes concentrations de gaz dans la région. Le CO<sub>2</sub> est en effet un gaz possédant la propriété d'altérer les minéraux silicatés généralement rencontrés dans les roches basaltes (e.g. Smets et al., 2010).

c. **La sensation de chaleur** : Les températures dans les dépressions des mazuku sont plus élevées surtout si la concentration en CO<sub>2</sub> est élevée. La cause est l'absorption du rayonnement par les molécules du CO<sub>2</sub>. Ceci crée une sensation de la chaleur, qui est renforcée par une ventilation plus réduite

dans les dépressions combiné à la réduction de la respiration de la peau due à l'augmentation du CO<sub>2</sub> et la diminution de l'O<sub>2</sub>. (Smets, 2007 ; Vaselli et al., 2002/2003).

d. **Les animaux morts** : Les mazuku sont des pièges redoutables, les dépressions fournissent un abri pendant la journée avec des concentrations souvent faibles et des concentrations élevées voire mortelles la nuit. Ainsi les animaux morts sont un signe parfait d'indicateur d'un mazuku. On y retrouve de toutes tailles mais ceux de petite taille sont plus abondants. Par exemple (insectes, oiseaux, chèvres,...), ils sont morts par l'accumulation des gaz par gravité en absence de ventilation.



Fig. 5. Images des quelques animaux morts dans des mazuku (Verschuren, 1965 ; Smets, 2007).

Fig. 5. Images of some dead animals in mazuku (Verschuren, 1965; Smets, 2007).

#### 4. MATERIEL ET METHODES

Pour la mesure de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les mazuku nous avons utilisé un analyseur de gaz portable GA2000 (Geotechnical Instruments, UK) qui donne la concentration en pourcentage en volume (% v) avec une précision typique de  $\pm 0,5\%$ . Le CO<sub>2</sub> est mesuré avec un détecteur infrarouge à longueur d'onde (WIRD) avec un canal de référence. Le GA2000 est doté d'une pompe et d'une entrée de gaz reliée à un tuyau en plastique. L'extrémité du tuyau est placée à l'endroit précis où on veut mesurer la concentration. Les gaz pompés passent d'abord au travers d'un filtre en polysulfone de 0,45  $\mu\text{m}$  et sont par la suite conduits vers un analyseur IR. Les résultats sont affichés sur l'écran de l'instrument (Yalire et al., 2007; Balagizi et al., 2016). Un GPS Etrex Garmin était également utilisé pour les coordonnées géographiques des sites. Le dioxyde de Carbone était mesuré au niveau du sol dans les Mazuku d'une manière ponctuelle. Deux campagnes ont été réalisées, la première entre mars et décembre 2012 et en février 2017. Ces données sont par la suite comparées à celles obtenues précédemment, entre 2002 et 2003 (Vaselli et al., 2002/2003) ; puis en 2007 (Smets, 2007 ; Smets et al., 2010). Entre ces quatre études et la présente, certains mazuku ont été nommés par des noms et/ou codes différents. Nous avons pu identifier ces faits par confrontation des coordonnées géographiques des mesures. Ainsi, pour des raisons de conformité, nous avons donné un même nom, généralement celui de la localité, aux sites mesurés à la fois par les quatre études. Par contre certains sites n'ont plus été retrouvés car ayant déjà été lotis et donc impossible à mesurer.

#### 5. RESULTATS ET DISCUSSION

Les mesures de dioxyde de carbone effectuées dans les Mazuku depuis 2002 jusqu'à 2017 montrent que le CO<sub>2</sub> est toujours à des concentrations élevées dépassant largement le seuil légal de 15% (Fig. 6 et 7). La totalité des mesures effectuées dans les sites de deux groupes (Kituku et Bulengo) ont des teneurs en CO<sub>2</sub> dépassant largement le seuil mortel. Le groupe de Kituku, qui est déjà presque en plein cœur de la ville de Goma, possède des mazuku à pourcentage en CO<sub>2</sub> (18-64.9%) plus ou moins faibles par rapport au groupe de Bulengo (26.3-72.7%), mais toutes étant largement au-dessus de la limite létale. Les habitations ayant déjà envahi la zone de Kituku, les constructions avancent maintenant vers la zone de Bulengo (Fig. 2 et 3). Certains sites des quartiers Kyeshero (sites de Kituku) et Lac Vert (sites de Bulengo) qui avaient été identifiés comme contenant des fortes concentrations de CO<sub>2</sub> en 2002-2003 par Vaselli et al. (2002/2003) ou Smets, (2007) sont actuellement lotis, avec des habitations. Des tels endroits sont particulièrement un danger pour les populations qui y habitent. Des maux de tête interminable chez les habitants et de gonflement des pavements de maison ont régulièrement été signalés. On peut constater sur les figures 6 et 7 que les quelques mazuku répertoriés entre 2002-2003, puis en 2007 n'ont pas pu être visités en 2012 et 2017 parce que contenant déjà des maisons. Localement, il est admis qu'un simple remblayage d'un mazuku avec de la lave, des gravats et du sol suffit à diminuer voire faire disparaître le CO<sub>2</sub>. Ces croyances selon lesquelles construire sur un mazuku est inoffensif fait augmenter le risque lié au mazuku dans la région, et en plus rend difficile leur gestion. Les maisons construites sont souvent en bois avec une étanchéité réduite ce qui heureusement dissout le dioxyde de carbone émis, mais par temps calme et sous condition d'inversion de température, une accumulation létale du CO<sub>2</sub> est toujours possible.



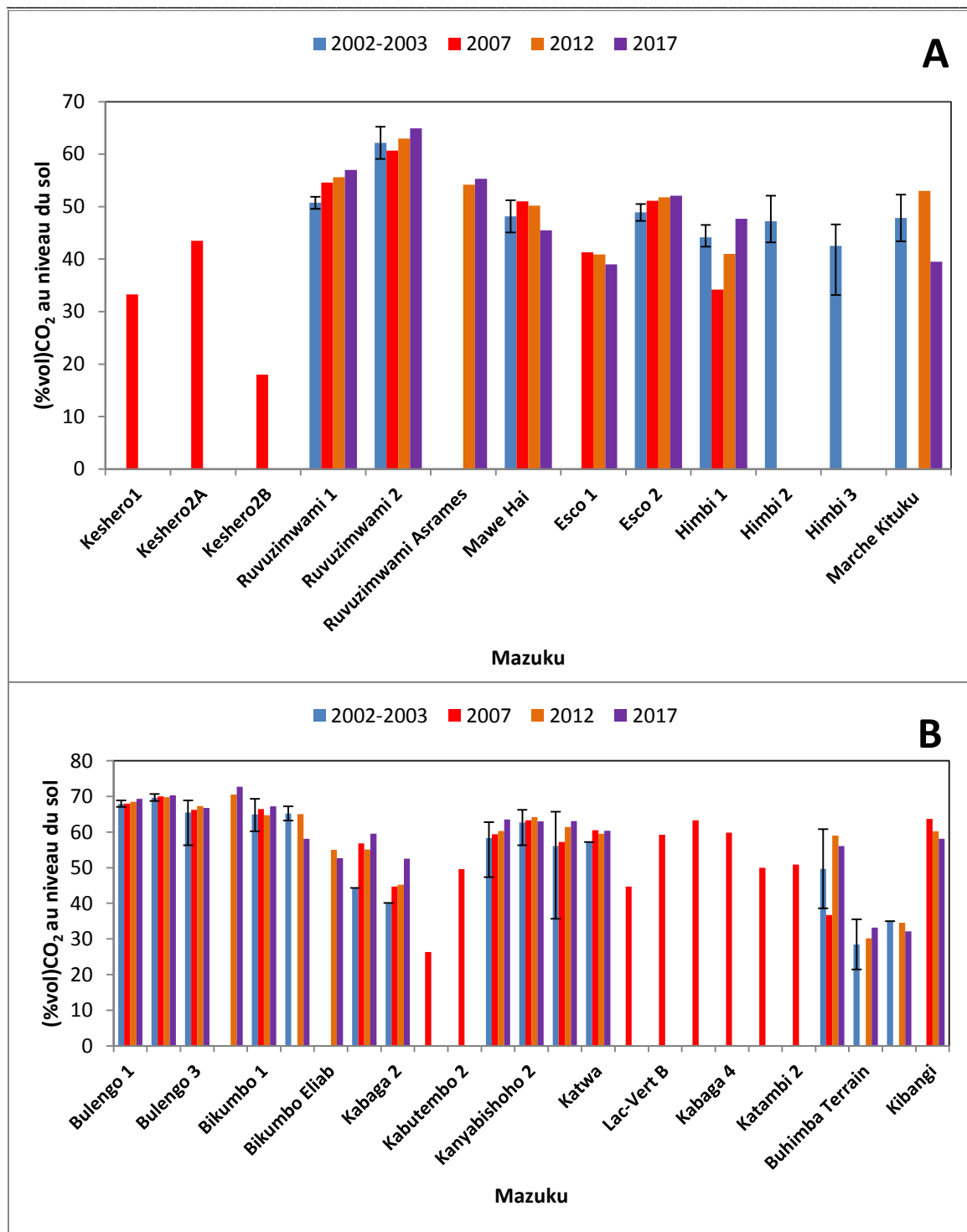


Fig. 6. Valeurs des concentrations en CO<sub>2</sub> mesurées dans les mazuku au ras de sol dans le groupe de Kituku (A) et le groupe de Bulengo (B). Les mesures de 2002 et 2003 sont de Vaselli et al., (2003) ; celles de 2007 de Smets 2007 et Smets et al. (2010). Les barres d'erreurs représentent les valeurs maximales et minimales des mesures effectuées dans un mazuku à plusieurs reprises.

Fig. 6. CO<sub>2</sub> concentrations measured on ground-level in the mazuku in the Kituku group (A) and the Bulengo group (B). The measures of 2002 and 2003 are of Vaselli et al., (2002/2003); those of 2007 of Smets 2007 and Smets et al. (2010). The error bars represent the maximum and minimum values of the measurements performed at different periods in the mazuku.

La figure 7 prouve que la concentration en CO<sub>2</sub> dans les mazuku des Virunga ne diminue pas avec le temps, contrairement à ce qui est répandu parmi la population locale. Le CO<sub>2</sub> est donc présent à des concentrations mortelles, et les victimes ne cessent d'être découvertes, les cadavres d'animaux toujours présents dans les mazuku (insectes, oiseaux, chèvres,...Fig.5) jusqu'à notre dernière campagne de mesure effectuée en février 2017, les cas de perte en vie humaine sont la preuve que les mazuku sont toujours présents et dangereux.

Selon les témoignages de la population locale, les bergers meurent souvent dans le mazuku lors d'une tentative de secourir leurs bétails tombés

précédemment dans ces derniers, mais ces cas et bien d'autres ne sont pas répertoriés. Il est en effet difficile de faire des statistiques réalistes des cas de décès humains dans les mazuku. Il est à noter que les conditions atmosphériques (exemple, le vent, la pluie, l'humidité,...) sont de facteurs qui influencent la concentration en gaz dans un mazuku, c'est pourquoi un mazuku peut être moins dangereux à un certain moment et devenir plus dangereux à un autre, ce qui trompe la vigilance de la population. Les enfants et les animaux de petites tailles sont les plus souvent des victimes, le CO<sub>2</sub> étant un gaz plus lourd que l'air il s'accumule au fond des mazuku.

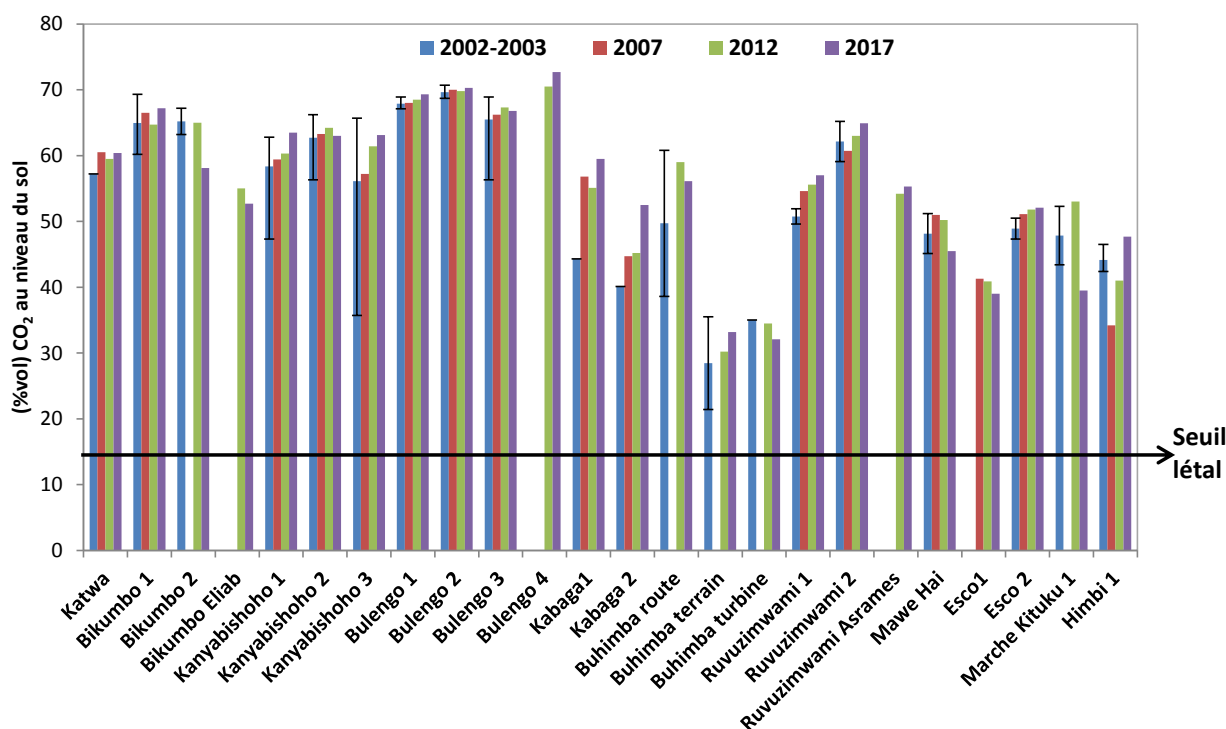


Fig. 7. Comparaison entre concentration en CO<sub>2</sub> obtenues sur chacun des sites durant les 4 campagnes, c'est-à-dire celles de 2002-2003, 2007, 2012 et 2017 dans les deux groupes de mazuku. On constate sur les histogrammes que les valeurs des concentrations de CO<sub>2</sub> issues de ces quatre campagnes sont très comparables, souvent même similaires.

Fig. 7. Comparison of the CO<sub>2</sub> concentration achieved at each site during the 4 campaigns, ie 2002-2003, 2007, 2012 and 2017 in the two mazuku groups. The histograms show that the CO<sub>2</sub> concentration values from these four campaigns are very comparable, often even similar.

## 6. CONCLUSION

Les mazuku sont toujours présents dans la région de Goma, principalement à Kituku, et dans les nouvelles zones récemment loties de Mugunga, Lac Vert et Bulengo. Des lotissements ne tenant pas compte de cette présence de mazuku exposent

les populations et augmentent le risque lié aux mazuku dans une région où la vulnérabilité reste très élevée. Les mesures montrent que 15 ans après l'éruption dévastatrice du volcan Nyiragongo de 2002, les mazuku qui étaient déjà présents avant cet événement, sont toujours présents. Les concentrations en CO<sub>2</sub> n'ayant pas diminuées avec

le temps, contrairement aux croyances locales, nous pensons qu'il serait judicieux que les preneurs des décisions considèrent sérieusement le risque que présentent les mazuku avant tout lotissement. Pour réduire ces risques, nous proposons que les panneaux de signalisation jadis placés près de ces sites à haut risque soient remplacés. Des campagnes d'information et de sensibilisation sur les risques liés aux mazuku sont également fortement recommandées.

#### REMERCIEMENT

Nous remercions en particulier l'opérateur Leonard MUKONGO MASHIMANGO pour nous avoir guidés sur terrain et en général tout l'Observatoire Volcanologique de Goma pour son soutien.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMARAL A. F. S., RODRIGUES A. S. (2011). Volcanogenic Contaminants: Chronic Exposure; Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of Environmental Health, 681-689.
- BALAGIZI C. M., YALIRE M. M., CIRABA H. M., KAJEJE V. B., MINANI A. S., KINJA A. B., KASEREKA M. M. (2016). Soil temperature and CO<sub>2</sub> degassing, SO<sub>2</sub> fluxes and field observations before and after the February 29, 2016 new vent inside Nyiragongo crater. Bull. of Volcanol., 78:64
- BAXTER P. J., BAUBRON J. C., COUNTINHO R. (1999). Health hazards and disaster potential of ground gas emissions at Furnas volcano, Sao Miguel, Azores. J. Volcanol. Geoth. Res. 92:95-106.
- BAXTER P. J. (2011). Volcanoes and Human Health. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopaedia of Environmental Health, 672-680.
- BEAUBIEN S. E., CIOTOLI G., LOMBARDI S. (2003). Carbon dioxide and radon gas hazard in the Alban Hills area (central Italy). J Volcanol Geotherm Res;123 (1),63-80. doi: 10.1016/S0377-0273(03)00028-3
- BLONG R. J. (1984). Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions. Academic Press. 424p.
- CANTRELL L., YOUNG M. (2009). Fatal fall into a volcanic fumarole. Wilderness Environ Med. 20 (1), 77-79, doi: 10.1580/08-WEME-CR-199.1.
- HANSELL A., OPPENHEIMER C. (2004). Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. Arch Environ Health 2004; 59 (No.12):628-39
- HATHAWAY G. L., PROCTOR N. H., HUGHES J. P., FISCHMAN M. L. (1991). Proctor and Hughes' chemical hazards of the workplace, 3rd edn, Van Nostrand Reinhold, New York.
- LOCKWOOD J. P., HAZLETT R. W. (2010). Volcanoes: global perspectives, Wiley-Blackwell.
- LANGFORD N. J. (2005). Carbon dioxide poisoning. Toxicological Reviews, 24, 229-235.
- MAIRIE DE GOMA (2013). Tableau synoptique général de la population Congolaise, étrangère non réfugiée et étrangère réfugiée de la ville de Goma pour le deuxième trimestre 2013. Bureau de population de la Mairie de Goma, Ministère de l'intérieure, Sécurité, Décentralisation et Affaires coutumières, Goma.
- SMETS B. (2007). Etude des mazuku dans la région de Goma (République Démocratique du Congo) et gestion des risques M.Sc. Thesis, Université de Liège, 83p.
- SMETS B., TEDESCO D., KERVYN F., KIES A., VASELLI O., YALIRE M. M. (2010). Dry gas vents ("mazuku") in Goma region (North-Kivu, Democratic Republic of Congo): Formation and risk assessment. J. Afr. Earth Sci. doi : 10.1016/j.jafrearsci.2010.04.008
- TEDESCO D., VASELLI O., PAPALE P., CARN S.A., VOLTAGGIO M., SAWYER G.M., DURIEUX J., KASEREKA M., TASSI F. (2007). The January 2002 volcano-tectonic eruption of Nyiragongo volcano, Democratic Republic of Congo. Journal Geophysical Research 112, B09202.
- VASELLI, O., CAPACCIONI, B., TEDESCO, D., TASSI, F., YALIRE, M. M., KASEREKA, M. C. (2002/2003). The "Evil's winds" (mazukus) at Nyiragongo volcano (Democratic Republic of Congo). Acta Vulcanologica 14-15, 123-128 (The January 2002 eruption of Nyiragongo Volcano and the socio-economical impact).
- VERSCHUREN J., 1965. Un facteur de mortalité mal connu, l'asphyxie par gaz toxiques naturels au Parc National Albert, Congo. La Terre et la Vie 3, 215-237.

- 
- VIVEIROS F., FERREIRA T., SILVA C., GASPAR J. L. (2009). Meteorological factors controlling soil gases and indoor CO<sub>2</sub> concentration: A permanent risk in degassing areas, *Sci. Total Environ.*, 407, 1362–1372.
  - WILLIAMS-JONES G., RYMER H (2000). Hazards of volcanic gases. In: Sigurdsson H, editor. *Encyclopedia of Volcanoes*. American Press; p. 997–1004.
  - YALIRE M., KASEREKA M., BALUKU B., DURIEUX J., VASSELLI O., TEDESCO D. (2007). La concentration du dioxyde de carbone dans les fissures, un facteur de surveillance de l'activité actuelle du volcan Nyiragongo, *Cahier du CERUKI*, nouvelle série, 35, 104-115.