

## Cartographie actualisée des fractures du flanc sud du Nyiragongo et de la ville de Goma après l'éruption du 22 Mai 2021

### [ Updated mapping of fractures of the southern-flank of Nyiragongo and the city of Goma after the eruption of May 22, 2021 ]

*Honore Ciraba Mateso, Kwetu Sambo Gloire, Bagalwa Montfort, Kavuke Jonathan, Ngangu Bonheur, Kajeje Victor, Iragi Birindwa King, Seza Bintu Diane, Maombi Nzamu Sandra, Cikuru Lushoka Joseph, Kitumaini Mukengere Flavien, Kilumba Bujiriri Victor, Mukambilwa Pierre, Bahizi Lukwanine Arsène, Chira Safari Hortense, Bisimwa Maheshe, Mugaruka Mateso Jean-Pascal, Mugisho Nkoranyi Jean-Paul, Mufungizi Marius, Muhindo A., and Kasereka M.C.*

Département de Géodésie, Observatoire Volcanologique de Goma, Goma, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2023 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:** The eruptions of the Nyiragongo volcano documented respectively on January 10, 1977, January 10, 2002 and May 21, 2021 were all fissural on its flanks characterized by the opening of the invoices followed by the effusion of very fluid lava flows.

These fractures are more important on its southern flank. They are divided into three categories including the emissive fractures of the newly formed flows, the old fractures reopened or reactivated by the new eruption which are in certain places emissive and those formed by the seismicity comes after the eruption of volcano. Emissive fractures are very wide and deep, fractures and cracks resulting from seismic activity are narrow and non-emissive.

The old fractures (formed by the eruptions before 1977) were mapped by Thonnard, those of 2002 by Jean Christophe Komorowky of IPGP France and the Deformation service currently Department of Geodesy and the map of new fractures which has been updated by the team of the Department of Geodesy of volcanological observatory of goma.

These open fractures further north on the flank of the volcano enter a volcanic cone through a single wide and deep opening exiting it on the other side through a network of parallel fractures, which emit lava and are in some places covered by lava flows that come upstream.

The post-eruptive activity of the 2021 eruption, like the other two previous ones, was accompanied by strong seismicity, the epicentres of which were located in the east of the city of Goma and the western part of the city of Gisenyi (Rwanda) then in Lake Kivu. The fractures opened during this activity are oriented North-South like most of the others open to the North on the southern flank of Nyiragongo but have many branches, especially at the epicentres of the earthquakes.

**KEYWORDS:** Fractures, Eruption, Cône, Vents, Seismicity, Nyiragongo, Lava flows.

**RESUME:** Les éruptions du volcan Nyiragongo documentées respectivement du 10 Janvier 1977, du 10 Janvier 2002 et du 21 mai 2021 ont été toutes fissurales sur ses flancs caractérisés par l'ouverture des factures suivie de l'épanchement des coulées de laves très fluides.

Ces fractures sont plus importantes sur son flanc Sud. Elles sont réparties en trois catégories dont les fractures émissives des coulées nouvellement formées, les fractures anciennes réouvertes ou réactivées par la nouvelle éruption qui sont en certains endroits émissives et celles formées par la séismicité vient après l'éruption de ce volcan. Les fractures émissives sont très larges et profondes, les fractures et fissures issues de l'activité séismiques sont étroites et non émissives.

Les anciennes fractures (formées par les éruptions d'avant 1977) ont été cartographiées par Thonnard, celles de 2002 par Jean Christophe Komorowky de l'IPGP France et le service de Déformation actuellement département de Géodésie et la carte des nouvelles fractures qui a été actualisée par l'équipe du Département de Géodésie.

Ces fractures ouvertes plus au Nord sur le flanc du volcan entrent dans un cône volcanique par une seule ouverture large et profonde y sortent de l'autre côté par un réseau de fractures parallèles, qui émettent de la lave et sont à certains endroits recouvertes par des coulées de lave qui viennent en amont.

L'activité post éruptive de l'éruption de 2021 comme les deux autres précédentes était accompagnée par une forte sismicité dont les épicentres étaient localisés dans l'Est de la ville de Goma et la partie Ouest de la ville de Gisenyi (Rwanda) puis dans le lac Kivu. Les fractures ouvertes lors de cette activité sont orientées Nord-Sud comme la plupart des autres ouvertes au Nord sur le flanc Sud du Nyiragongo mais ont beaucoup de branches surtout aux épicentres des séisme.

**MOTS-CLEFS:** Fractures, Eruption, Cône, événements, Sismicité, Nyiragongo, Coulées.

## 1 INTRODUCTION

L'une des caractéristiques les plus impressionnantes de la branche occidentale du Rift Est Africain est le complexe volcanique situé au nord du lac Kivu. Ce complexe est constitué de huit volcans majeurs répartis dans une direction Est-Ouest perpendiculaire à l'axe du rift à savoir: Muhabura, Gahinga, Sabinyo, Visoke, Karisimbi, Mikeno, Nyamulagira et Nyiragongo.

A l'exception d'une expulsion de lave de courte durée sur le flanc Nord du Visoke, les récents épisodes éruptifs de la région des Virunga ont été restreints aux volcans Nyiragongo et Nyamulagira (Poulet, 1975; Brousse et al., 1979, Kasahara et al. 1992). Ces deux volcans sont bien connus pour leurs éruptions avec lac de lave et leurs coulées de type hawaïen. Certains auteurs pensent qu'ils sont représentatifs du volcanisme hotspot dans la plaque tectonique africaine (Hamaguchi et al. 1983).

Une éruption latérale du volcan Nyiragongo a eu lieu le 10 Janvier 1977; puis le volcan a perdu complètement son lac de lave pendant une durée de 5 ans, après que ce dernier ait persisté dans le cratère pendant plus de 50 ans. Bien que les activités éruptives de surface aient cessé en moins de 30 minutes (Tazieff, 1977), la lave liquide extrêmement rapide a recouvert plusieurs villages et s'est arrêtée à 1 Km au Nord de l'aéroport International de Goma au bureau de la Chefferie de Bukumu à Munigi, faisant au moins 500 morts et étalant de 15 à 20 millions de mètres cube de lave.

Une autre éruption latérale s'était produite sur le volcan Nyiragongo le 17 Janvier 2002 après environ 25 ans. La lave très fluide a coulé à plusieurs endroits le long d'un système de fractures qui s'était ouvert sur le flanc sud du volcan (Komorowsky et al. 2003). Deux coulées de lave sont entrées dans la ville de Goma, provoquant des dévastations majeures et laissant sans abri environ 100 000 personnes.

Une nouvelle éruption fissurale du Nyiragongo s'est produite le 22 Mai 2021 après une accalmie de près de 19 ans. Toutefois, ce volcan avait lancé des signaux forts bien avant, notamment par son éruption intracratérielle sur sa troisième plateforme le 29 février 2016. Cette éruption a connu une phase effusive, avec des coulées orientées dans trois directions suivant les fractures qui s'étaient ouvertes notamment: flanc Nord-Est (axe Kaneza), flanc Nord-Ouest (axe Rusayo) et flanc Nord-Sud (axe Munigi). Elle a causé des dégâts matériels et humains dans les zones périphériques de la ville; celle-ci ayant été beaucoup plus affectée au niveau des immeubles et différentes infrastructures. Toutefois, ces dégâts étaient moins importants par rapport à ceux de l'éruption de 2002.

L'intense activité sismique qui a suivi après l'éruption a réactivé certaines anciennes fractures et en a créé des nouvelles sur le flanc sud et celles-ci se sont prolongées jusque dans la ville de Goma. Elles étaient visibles notamment dans les quartiers Majengo, Katoyi, Mabanga, les Volcans et Bujovu. Cette intense activité sismique et tectonique dans la ville de Goma et ses environs a conduit à une campagne d'identification de ces nouvelles fractures ouvertes et celles anciennes réactivées après l'éruption du 22 mai 2021. Il convient de souligner que la réactivation des failles a maintes fois été observée aussi dans le bassin du lac Kivu après l'occurrence des événements tectoniques majeurs (Munyololo et al., 1999; Ciraba et al., 2012).

Il existe cependant une spécificité de l'éruption du Nyiragongo de 2002 et 2021 par rapport à celle de 1977. En effet, sur base des rapports de Tazieff (1977) et Ueki (1983), la longueur des fissures associées à l'éruption du Nyiragongo en 1977 ne dépassait pas 1 à 13 km. Par contre, après l'éruption du Nyiragongo de 2002, Komorowsky (2002) a effectué un levé cinématique du flanc sud du Nyiragongo au GPS et a trouvé que le système des fractures s'était prolongé au-delà de 15 km. De même, l'extension très remarquable des fissurations dans la ville après l'éruption de 2021 converge dans le même sens.

Ce travail se fixe ainsi comme objectif, la mise à jour de la cartographie des fractures sur le flanc Sud du volcan Nyiragongo après cette éruption, en identifiant les anciennes fractures réactivées et les nouvelles fractures ouvertes et ce dans la perspective d'étendre le réseau des mesures géodésiques.

## **2 METHODOLOGIE UTILISEE**

Avant les travaux de terrain, nous avons d'abord consulté les cartes des fractures élaborées dans le temps notamment: celle de Thonnard de 1965 qui nous a permis de chercher sur le terrain les fractures formées avant les éruptions volcaniques de 1977 et 2002 et de planifier et diriger les travaux de terrain afin de vérifier si ces fractures qui sont pour la plupart au Nord près du cratère principal du Nyiragongo et des cratères secondaires de Baruta et Shaheru se prolongent vers le Sud c'est à dire vers le lac, celle de JC Komorowky en 2003, celle de VIDAP pour l'éruption volcanique de 22 Mai 2021, les photos et images prises par hélicoptère et drones après la dernière éruption. Elles nous ont donné une idée ainsi que les travaux de terrain effectué en 2003. De ce fait, un plan de descente sur terrain a été élaboré par l'équipe du département de géodésie sur les nouvelles fractures formées en 2021, où et comment les identifier.

### **2.1 COLLECTE DES DONNÉES**

Des GPS portables (Garmin 66 et Oregon 750) ont été utilisés pour la collecte des coordonnées géographiques des points le long de fissures et fractures nouvellement formées, recouvertes ou réactivées après les tremblements de terre qui ont accompagné l'éruption du volcan Nyiragongo du 22 Mai 2021. Deux techniques ont été utilisées pour cette fin:

- La première concerne les fractures formées par l'éruption du volcan et les anciennes qui datent de 2002 ou d'avant. Pour leur cartographie, nous suivions les fractures à partir des sites éruptifs qui se localisent au Nord (sur les flancs Sud de Shaheru, Mudjoga-Kibati- Lemera) vers le Sud (la ville de Goma et au lac).
- La seconde concerne les fractures et fissures d'origine tectonique formées lors de la séismicité qui a suivi l'éruption du 22 mai 2021. L'équipe du Département de Géodésie pour les cartographier a d'abord suivi les informations des avenues et maisons fissurées et la cartographie a commencé du Lac Kivu au Sud vers le Nord et suivant avenue par avenue pour avoir la vraie orientation des fractures.

Nous avons suivi des fissures de l'aval en amont c'est-à-dire depuis le lac en direction vers le Nord du côté du volcan.

En certains endroits, les fissurations des bâtiments nous ont servi à repérer le prolongement des fractures à des endroits où ces dernières n'étaient pas visibles.

### **2.2 PRÉPARATION DES DONNÉES**

Après récolte des données, ces dernières ont été encodées dans un fichier Excel pour chaque catégorie de fractures.

### **2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES**

La projection des points obtenus et le traçage des lignes des fractures et fissures ont été faits par les logiciels ArcGis10.3 et Qgis 3.16. Ces logiciels ont aussi servi pour la digitalisation de certaines fractures et coulées de lave que nous n'avons pas pu atteindre. Après digitalisation, nous sommes passés à l'ajout des Shapefiles des fractures, des événements, des cônes, des quartiers de la ville de Goma, des groupements du territoire de Nyiragongo et des coulées de 1977, 2002 et 2021 sur un fond BaseMap-QGIS.

## **3 RESULTATS**

Pour l'élaboration de notre carte nous avons consulté la carte de Thonnard ci-dessous (Fig.1A). Elle nous a permis de chercher sur le terrain les fractures formées avant les éruptions volcaniques de 1977 et 2002. Elle nous a également permis de planifier et diriger les travaux de terrain afin de vérifier si les fractures qui sont près du cratère principal du Nyiragongo et des cratères secondaires de Baruta et Shaheru se prolongent vers le Sud cad vers le lac.

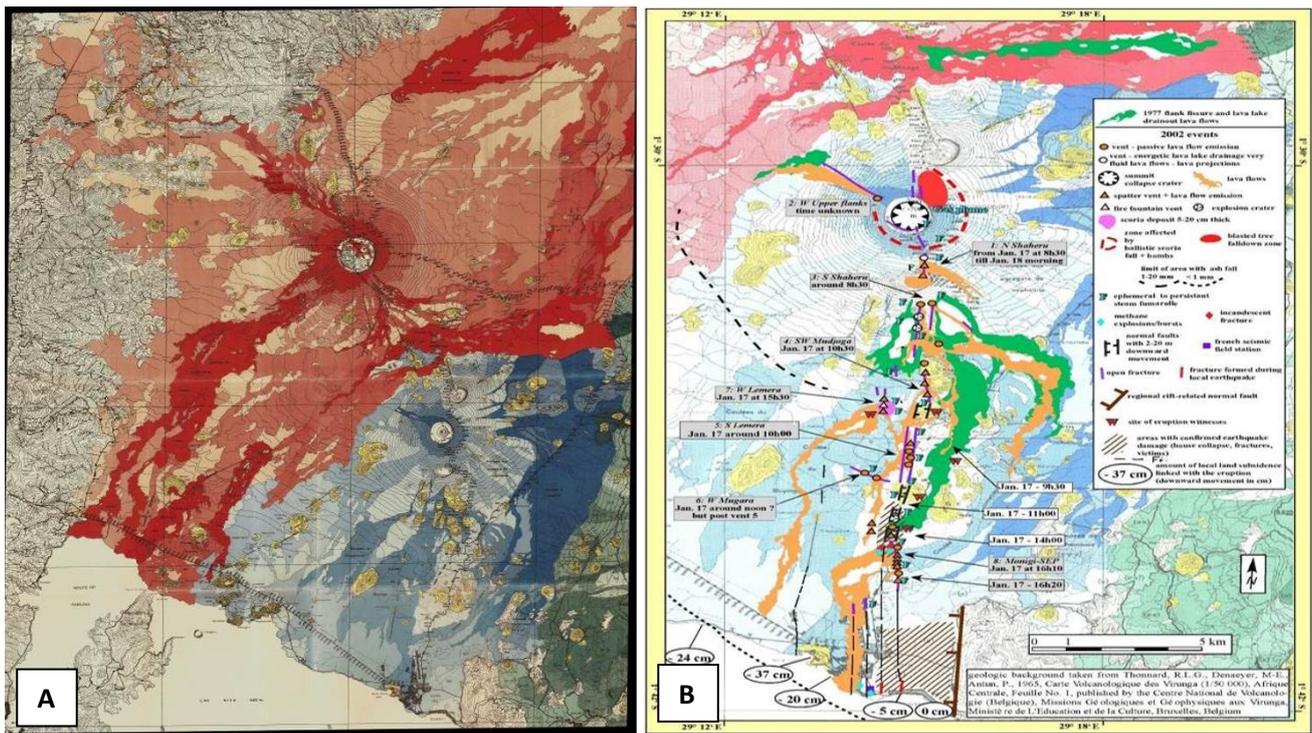


Fig. 1. (A) Carte de Thonnard 1965 (B) Komorowky and all. 2003

La figure 1 montre la carte des fractures et coulées des laves des éruptions du 17 Janvier 1977 et du 10 janvier 2002 en 2003 élaborée par Jean Christophe Komorowky et le Département de géodésie en 2003.

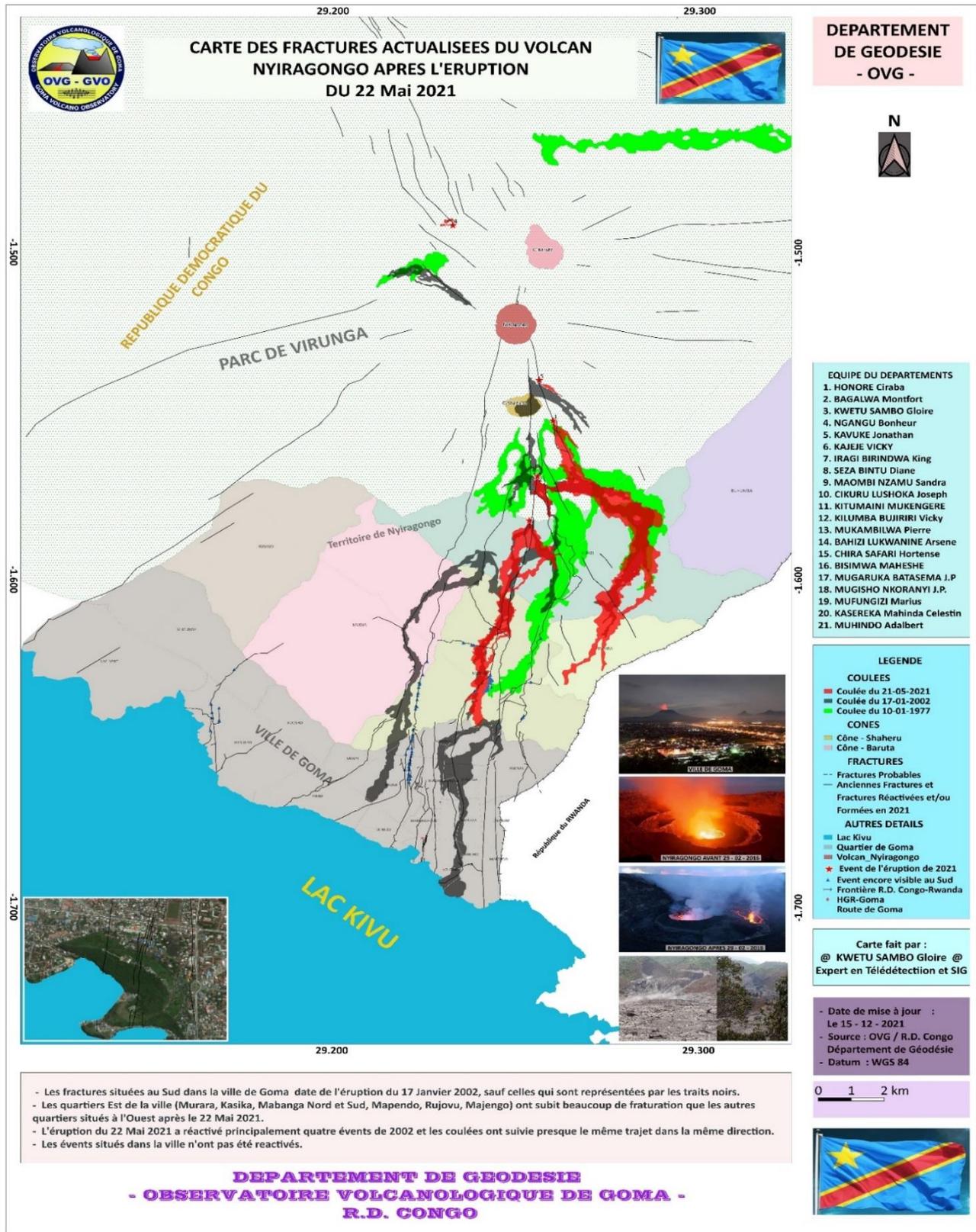


Fig. 2. La carte actualisée du Département de Géodésie après l'éruption du 22 mai 2021 et après la sismicité qui s'en est suivie

La carte des fractures tracée par le Département Géodésie avec Jean Christophe Komorowky de l'IPGP en 2002 (fig.1.B) a été actualisée après l'éruption du 22 mai 2021. Elle nous a guidés dans la cartographie des fractures ouvertes et tracées en 1977 et 2002. Les coulées de ces trois dernières éruptions du volcan Nyiragongo ont été tracées en utilisant les images satellitaires Landsat et Sentinelle 2. Ces 3 éruptions ont été fissurales et ont lieu presque aux mêmes endroits et leurs coulées se chevauchent, c'est à dire ouverture des fractures sans former des cônes volcaniques et épanchement des laves qui sont souvent très fluides. Les coulées formées lors de ces trois éruptions se sont dirigées vers la même direction Fig.2.

#### **4 DISCUSSION DES RESULTATS**

Après les travaux de terrain, d'encodage des données et d'élaboration de la nouvelle carte des fractures et coulées de lave, nous distinguons trois types des fractures:

##### **4.1 LES FRACTURES ÉMISSIVES DES COULEES DE LAVE**

Ces fractures se localisent au Nord de la ville de Goma, dans la Collectivité de Bukumu. Elles proviennent soit des sites éruptifs de l'éruption du 10 janvier 1977 et du 17 janvier 2002 soit de nouveaux sites, mais localisés non loin des anciennes, parallèles à ces dernières et se prolongent vers le Sud jusque dans le lac Kivu où l'on observe une sismicité de plus en plus grande surtout après l'éruption du 22 Mai 2021.

En examinant les cartes élaborées précédemment surtout celle de Jean Christophe Komorowky 2003, de Thonnard 1965 et du Département de Géodésie de l'OVG après le 22 Mai 2021, le constat est que les trois dernières éruptions ont eu lieu sur le flanc du cône de Shaheru au Sud et une autre au flanc Nord-ouest du volcan Nyiragongo. Le site émissif de la lave au cône de Nyakabata-Kibati en 2021 est la seule différence par rapport aux points de sorties. Cependant, la coulée a traversé la route vers Kanyanja et Gisenyi (au Rwanda) empruntant le même chemin qu'en 1977 et 2002. Pour 2021, l'éruption a commencé au Nord des cônes de Butaka, Businga, Kikole (Kaneza) et s'est prolongée vers le Sud traversant le cône de Mudjoga et de Lemera. La fracture de Kaneza réactivée en 2002 n'a été sollicitée qu'au Sud-ouest de ce cône, c'est à dire au pied de Businga-Kikole (Kaneza).

Par rapport à l'éruption du 17 janvier 2002, l'ouverture des fractures qui ont émis de la lave n'a pas dépassé le niveau Bugarura comme le 10 Janvier 1977 où elles s'étaient arrêtées à Kanyaruchinya et à Mudjoga.

Les fractures émissives (fig.3) sont très larges (2 à 5 mètres) et profondes (plus de 10 mètres). Au cours de ces trois dernières éruptions, des produits pyroclastiques s'y ont été projetés tels que les scories, les bombes volcaniques ainsi que l'émission de certains gaz. Ils ont avec les coulées de lave détruit des infrastructures telles que les routes, les poteaux électriques (haute et moyenne tension), habitations et des pertes en vies humaines (environ 36 individus).



**Fig. 3. Fracture au sud du cône de Kaneza (Source Département de Géodésie OVG 2021)**

La fracture à l'entrée du cône de Mudjoga au Nord-Est activée en 2002 n'a pas été sollicitée en 2021. Par contre, sur le flanc Sud du cône de Butaka, la fracture s'est prolongée au Nord-est du cône de Kanyambuzi- Mudjoga pour ressortir au Sud-Ouest et former deux fractures en direction de Kibati-Lemera dont la fracture de 2002 et une autre parallèle à cette dernière (Fig.5 et 6). Notons que ce point éruptif correspond presque exactement à celui de 2002. L'ouverture de la fracture de 2002, s'est prolongée vers le cône de Kibati en y créant plusieurs autres petites fractures, et est ressortie vers le Sud en deux fractures parallèles.

Fractures de Kanyambuzi- Mudjoga vers Lemera kibati



Fig. 4. (A) Fractures de Mudjoga -Kanyambuzi (B) Fracture Mudjoga-Kanyambuzi



Fig. 5. (A) Fractures parallèles sur le cone de Butaka (Sud Shaheru) (B) Fractures parallèles au sud de Lemera



**Fig. 6. Fracture entre le cone de Mudjoga et de Lemera (Département de Géodésie OVG 2021)**

De Lemera, les anciennes fractures ont été réactivées et une nouvelle a été ouverte et s'est prolongée vers le sud jusqu'à Bugarura Fig.8A).

#### **4.2 DES FRACTURES OUVERTES OU RÉACTIVÉES**

Ces fractures entrent dans un cône volcanique par une seule ouverture large et profonde, sortent de l'autre côté par un réseau de fractures parallèles, qui émettent de la lave et sont à certains endroits recouvertes par des coulées de lave qui viennent en amont (Fig. 7 et 8).



Fig. 7. (A) Entrée de la fracture dans le cône de Kibati Lemera Mugerwa (B) Entrée de la fracture dans le cône village de Mudjogakanyambuzi

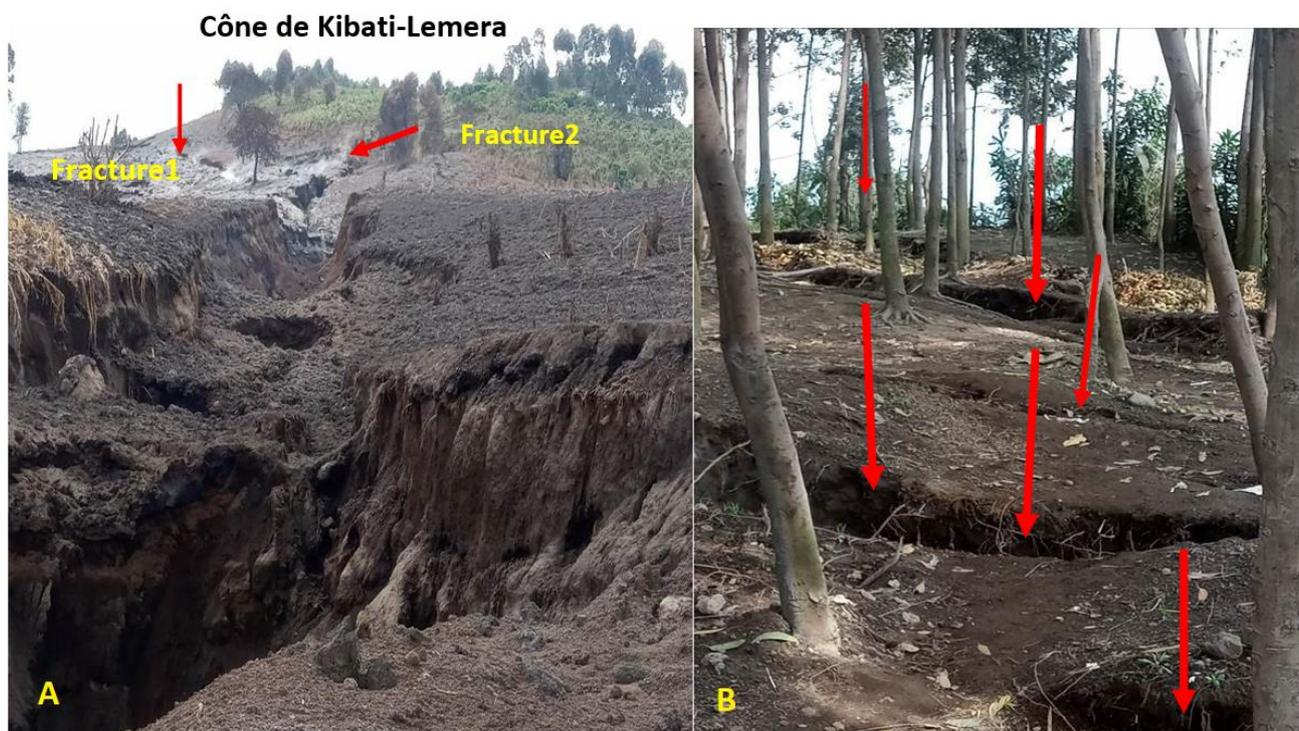


Fig. 8. (A) Fractures formant une au Sud du cone de Lemera Kibati village Mugerwa (B) Fracturation du cône de Lemera-Kibati

#### 4.3 DES FRACTURES OUVERTES PAR LA SEISMICITE APRES ÉRUPTION

Lors de l'éruption du volcan Nyiragongo du 22 Mai 2021, des nouvelles coulées de lave et de nouvelles fractures ont été formées. La sismicité qui a suivi l'éruption a réactivé les anciennes fractures et a ouvert des nouvelles ou mis à découvert les anciennes (couvertes par des coulées de lave). Ainsi, l'activité post éruptive était accompagnée par une forte sismicité dont les épicentres étaient localisés dans l'Est de la ville de Goma et la partie Ouest de la ville de Gisenyi (Rwanda) puis dans le lac Kivu.

En effet, 1382 séismes ont été enregistrés du 22 Mai au 10 Juin 2021. Plus de la moitié étaient ressentis, la magnitude la plus élevée étant de 5.6. Ce sont ces séismes de magnitude égale ou supérieure à 3 qui ont endommagé les maisons et d'autres infrastructures.

Les fractures ouvertes par la sismicité ont une épaisseur qui ne dépasse pas dix centimètres sauf au Mt Goma où elles ont plus de 1.30m. Elles sont orientées comme celles qui ont été ouvertes au Nord, sur le flanc Sud du Nyiragongo, avec beaucoup de branches surtout aux épicentres des séismes. Beaucoup sont localisées sur les murs ou les pavements des maisons, se manifestant soient par des fractures ou des fissures (Fig.9)

Certaines atteignent au Nord, les anciennes et nouvelles fractures formées lors des deux éruptions documentées (1977 et 2002). Lors de leur formation, elles ont commencé par la fissuration du sol et se sont élargies au fur et à mesure que la sismicité continuait et ont rarement émis des gaz et pas des laves.



Fig. 9. (A) Fracturation de la route vers l'aéroport de Goma (B) Fissuration du mur d'une maison

## 5 CONCLUSION

La carte actualisée des fractures dans la zone volcanique des Virunga, précisément dans le champ du volcan Nyiragongo, élaborée par l'Equipe du Département de Géodésie de l'OVG, montre le vrai risque du volcan; car de ces fractures, des gaz toxiques peuvent surgir et asphyxier une partie de la population, particulièrement ceux qui ont construit leurs logements le

long d'elles. Ces fractures constituent des zones de faiblesse, pouvant être émissives des laves et des gaz lors d'une éruption. Ces dernières sont à trois types:

- Anciennes fractures non sollicitées par l'éruption (Bitunguru, Munigi, Rusayo-Lac vert,...);
- Des anciennes réactivées (Kaneza, Mudjoga-Lemera,...)
- Des nouvelles fractures formées (Kibati, Mt Goma-Mabanga, Budjovu, Mudjoga-lemera,...)

La sismicité qui a suivi l'éruption, a mis à découvert celles qui jadis étaient émissives et qui avaient été couvertes des couches des coulées de lave lors de différentes éruptions historiques de ce volcan et qui peuvent encore l'être.

## REFERENCES

- [1] Brousse R. J., Cocheme J., Pottier Y. J. et Vellutini P. J. (1979). Eruption et nature de la lave du Nyiragongo de 1977) au Kivu (Zaire). C.R. Acad. Sci. Paris, n° 289, pp. 808-812.
- [2] Ciraba M., Mukambilwa K., Kavuke K., Kajeje B., Kasongo M., Ndeze N., Syavulisembo M., Kasereka M., Komorowsky J.-C., Hiroyuki H. et Poland M. (2009). Les Déformations observées dans le bassin du lac Kivu de 1997 à 2008, Rift Est Africain. Numéro Spécial, CRSN-Lwiro, pp. 108-115.
- [3] Hamaguchi H. et Zana N. (1993). Introduction to volcanoes Nyiragongo and Nyamulagira. In: H. Hamaguchi (éd.), volcanoes Nyiragongo and Nyamulagira: Geophysical aspects., pp. 35-46.
- [4] Kasahara M., Tanaka S. et Zana N. (1992). A flank eruption of volcano Nyamulagirain 1991, Mikombe, Preliminary Report. In: H. Hamaguchi (éd.), Geophysical Study on the HotspotVolcanoes in the African Continent. Tohoku Univ., pp. 116-136.
- [5] Komorowski J.-K., Kasereka M., Ciraba M., Mukambilwa K., Munyololo F. et Goma Volcano Observatory Reseach Team (M. Akumbi, P. Allard, B. Bajope, P. Baxter, P. Briole, M. Coltelli, O. Etoy, M. Halbwachs, H. Hamaguchi, K. Kavotha, A. Lemarchand, J. Lockwood, N. Lukaya, T. Mavonga, C. Newhall, P. Papale, D. Tedesco, O. Vasselli, M. Yalire, M. Wafula. (2002). « Propagation of lava Emissive fractures during the January 2002 Nyiragongo eruption: implications for future activity.», p. 72. », in: Abstractvolume, Hilo, Hawaï, USA, pp.72.
- [6] Munyololo Y., Wafula M., Kasereka M., Ciraba M., Mukambilwa K. et Muhigirwa B. (1997). Recrudescence des glissements de terrain suite à la réactivation séismique du bassin du lac Kivu, région de Bukavu (République Démocratique du Congo). Mus.Roy. Afr. Centr., Dépt. de Géol. Min.
- [7] Tazieff H. (1977). An exceptional eruption: Mt Nyiragongo, Jan. 10th 1977., vol. 40, pp. 189-200.
- [8] Ueki S. (1983). Recent volcanism of Nyamulagira and Nyiragongo. In: H. Hamaguchi (éd.), volcanoes Nyiragongo and Nyamulagira: Geophysical aspects.Sendai (Japan) Tohoku Univ., pp. 7-18.