

## **Points d'informations**



**REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO**

**UNIVERSITE DE GOMA**

**«UNIGOM»**



**BP : 204 GOMA**

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**DEPARTEMENT DE GEOLOGIE**

***RAPPORT SCIENTIFIQUE***

---

**CARTOGRAPHIE DES COULÉES DE LAVE ET FISSURES DE L'ÉRUPTION  
VOLCANIQUE DU NYIRAGONGO DU 22/05/2021**

**Rapport produit par le CT MUHINDO MUSUBAO Bosco<sup>\*</sup>, Doctorant  
avec la collaboration de 18 chercheurs (cfr remerciements, à la page16)**

**septembre 2022**

**Résumé**

Notre rapport scientifique a pour objectif de faire la cartographie des coulées de lave et fissures de l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 tout en les comparant à

---

<sup>\*</sup> Géologue, Chef de Travaux à l'Université de Goma (UNIGOM). Chef du département de Géologie, doctorant en Sciences naturelles (géologie) à l'Université du Burundi. Tél : +243994058913; E-mail : [bosco.musubao@unigom.ac.cd](mailto:bosco.musubao@unigom.ac.cd) , CT à la faculté des Sciences et Technologies, département de Géologie/Université de Goma.

celles antérieures. À cet objectif global s'ajoute ceux spécifiques visant à déterminer l'orientation préférentielle de nouvelles fissures, classer les quartiers de la ville de Goma en fonction de leur vulnérabilité aux prochaines éruptions grâce aux fissures et coulées déjà recensées, et présenter une série des suggestions.

Pour y arriver, nous avons fait la lecture des anciennes publications sur le volcanisme de la chaîne des Virunga, en général, et celui du Nyiragongo, en particulier. Ensuite, nous avons effectué les travaux de terrain. Ces travaux ont consisté à la cartographie des coulées de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 ainsi que de leurs points de sortie ; la localisation et le repérage géométrique des fractures conséquentes à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 et aux séismes post éruptifs ; la prise des photos des coulées de lave et des fissures et enfin au suivi journalier de l'évolution de certaines fractures. En dernier lieu, nous nous sommes consacrés aux travaux de bureau englobant le traitement des données de terrain, l'interprétation et la discussion des résultats, la rédaction et la publication de ce rapport.

Les travaux effectués nous ont permis d'élaborer la « carte des coulées de lave et fissures associées au volcan Nyiragongo », d'établir la « rosace des fréquences des directions » et déterminer ainsi les « directions préférentielles des cassures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 ».

De ces résultats, nous avons constaté que, comparativement aux anciennes coulées, l'itinéraire est presque la même sauf que l'éruption de 2021 n'a pas été aussi longue que les précédentes. L'analyse statistique portée sur les mesures des directions des fissures de 2021 a révélé différentes familles des fissures mais les fissures dont les directions sont comprises entre  $160^\circ$  et  $180^\circ$  occupent en elles seules 46% et sont donc majoritaires ; elles sont suivies par celles dont les directions sont comprises entre  $0^\circ$  et  $20^\circ$ , occupant 22%. Ces fissures sont pour la plupart des cas nouvelles et ne correspondent donc pas nécessairement à la réactivation d'anciennes fissures. Elles sont majoritairement orientées NNW-SSE à N-S et suivent donc la même direction que celles antérieures, direction pouvant se rapporter à celle de la branche occidentale du rift est africain.

Ce sont les quartiers Mabanga (nord et sud), Kasika, Majengo, Bujovu et Munigi qui sont les plus affectés par ces cassures.

Au regard de tout ce qui précède, la ville de Goma est hautement exposée aux risques volcaniques et sismiques en permanence. D'où l'approfondissement des recherches, la surveillance et le suivi exacts et permanents du volcan et de l'évolution des cassures s'avèrent plus que nécessaires.

**Mots-clés :** Tectonique, contrainte, écartement, volcan, séisme, UNIGOM, OVG, Goma, Mujoga, Kibati, Buhene

**Abstract**

Our scientific report aims to map the lava flows and fissures of the Nyiragongo volcanic eruption of 05/22/2021 while comparing them to previous ones. In addition to this overall objective, there are specific ones aimed at determining the preferential orientation of new cracks, classifying the districts of the city of Goma according to their vulnerability to the next eruptions thanks to the cracks and flows already identified, and presenting a series of suggestions.

To achieve this, we have read old publications on the volcanism of the Virunga chain, in general, and that of Nyiragongo, in particular. Then we did the field work. This work consisted of mapping the lava flows from the Nyiragongo volcanic eruption of 05/22/2021 as well as their exit points; the location and geometric identification of fractures resulting from the Nyiragongo volcanic eruption of 05/22/2021 and post-eruption earthquakes; taking photos of lava flows and cracks and finally daily monitoring of the evolution of certain fractures. Finally, we devoted ourselves to office work encompassing the processing of field data, the interpretation and discussion of results, the writing and publication of this report.

The work carried out enabled us to draw up the "map of the lava flows and cracks associated with the Nyiragongo volcano", to establish the "rosette of the frequencies of the directions" and thus determine the "preferred directions of the fractures associated with the volcanic eruption of the Nyiragongo of 22/05/2021".

These cracks are mostly new cases and therefore do not necessarily correspond to the reactivation of old cracks. They are mainly oriented NNW-SSE to N-S and therefore follow the same direction as the previous ones, a direction that may relate to that of the western branch of the East African rift. % and are therefore the majority; they are followed by those whose directions are between  $0^{\circ}$  and  $20^{\circ}$ , occupying 22%. From these results, we found that compared to the old flows, the route is almost the same except that the 2021 eruption was not as long as the previous ones. The statistical analysis carried out on the measurements of the directions of the cracks in 2021 revealed different families of cracks, but the cracks whose directions are between  $160^{\circ}$  and  $180^{\circ}$  alone occupy 46.

It is the Mabanga (north and south), Kasika, Majengo, Bujovu and Munigi neighborhoods that are the most affected by these breaks.

In view of all the above, the city of Goma is highly exposed to permanent volcanic and seismic risks. Hence the deepening of research, the monitoring and the exact and permanent monitoring of the volcano and the evolution of the breaks are more than necessary.

**Key words:** Tectonics, stress, spacing, volcano, earthquake, UNIGOM, OVG, Goma, Mujoga, Kibati, Buhene

## TABLE DES MATIERES

RESUME .....	1
ABSTRACT.....	3
TABLE DES MATIERES .....	4
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES .....	4
LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	5
INTRODUCTION : CONTEXTE .....	6
MATERIELS ET METHODES .....	11
RESULTATS.....	14
DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS.....	16
CONCLUSIONS/PERSPECTIVES .....	16
REMERCIEMENTS.....	17
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	17
ANNEXES.....	20

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Données brutes de terrain des fissures.....	26
Tableau 2: Evolution des fissures au fil des jours .....	30

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la chaîne volcanique des Virunga (Smets, 2013) .....	7
Figure 2: Coupe schématique des réservoirs interconnectés du volcan Nyiragongo (Pouclet & Kurt, 2021) .....	8

Figure 3 : Coulées de lave sur les flancs du Nyiragongo (Pouclet & Kurt, 2021 : les coulées de 1977 et 2002 sont dessinées d'après les données de Komorowski & al, 2002 ; la lave et les cônes plus anciens sont indiqués d'après la carte de Thonnard & al.196 .....	9
Figure 4: Localisation du secteur d'étude.....	13
Figure 5: Carte des coulées de lave et fissures associées au volcan Nyiragongo (Tab.1).....	14
Figure 6: Rosace des fréquences des directions des fissures associées à l'éruption du volcan Nyiragongo du 22/05/2021 (Tab.1) .....	15
Figure 7: Directions préférentielles des cassures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 (Tab.1) .....	15
Figure 8: Coulée de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo dans la nuit du 22/05/2021 .....	20
Figure 9: Coulée de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo au petit matin du 22/05/2021 .....	21
Figure 10: Roches volcaniques issues de l'éruption du Nyiragongo du 22/05/2021 .....	22
Figure 11: Aspect des roches volcaniques issues de l'éruption volcanique du 22/05/2021, vers Mujoga.....	23
Figure 12: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (route aéroport) .....	24
Figure 13: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (en face de l'hôtel KAMI).....	24
Figure 14: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (derrière SAFRICAS/Gabiro) .....	25
Figure 15: Maison effondrée, à coté du Kinyumba (Q. Katindo), suite aux séismes ayant accompagné l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 .....	25

## LISTES DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

CH <sub>4</sub>	: Méthane
CO <sub>2</sub>	: Oxyde de carbone (mazuku)
E	: Est
GPS	: Global Positioning System
ICCN	: Institut Congolais pour la Conservation de la Nature
MRAC	: Musée Royal pour l'Afrique Centrale
N	: Nord
OVG	: Observatoire Volcanologique de Goma
S	: Sud

SNCC : Société Nationale des Chemins de fer du Congo

W : West/Ouest

Km : Kilomètre

°C : Degré Celsius

Cm : Centimètre

## INTRODUCTION : CONTEXTE

L'histoire géologique de l'Afrique est complexe (Giresse, 1990). Elle est jalonnée par plusieurs événements et phénomènes géologiques dont la mise en place du Rift Est Africain (Macgregor, 2014). Ce rift, une succession de failles normales, commence depuis le golfe d'Aden jusqu'au Malawi sur plus de 3000 Km de long (King, 1978 ; WoldeGabriel & all, 2016). D'une largeur de 40 à 70 Km et d'un écartement annuel de 1 à 2 cm, il est subdivisé en deux grandes branches dont la branche orientale et la branche occidentale, les deux reliées par le linéament d'Assouan (Ebinger, 1989). La branche occidentale, à laquelle appartient la RDC, longue de plus de 2500 Km, a une direction Albertienne (NE-SW) et une direction Tanganyikienne (NW-SE) (Ilunga, 1991 ; Kampunzu, 1998). La mise en place de ce rift vers la fin de l'Eocène-début Miocène s'est accompagnée d'un important volcanisme (WoldeGabriel, 2016, Shackleton, 2015). Pour preuve, depuis l'année 1800, plus de 21 volcans sont entrés en éruption dans ce rift Est Africain dont certains de la chaîne des Virunga (Kampunzu, 1998 ; Wadge, 2016).

La chaîne volcanique des Virunga, s'étendant sur 3 pays (Ouganda, Rwanda et RDC), compte 8 volcans (Fig.1) dont 6 endormis (Mikeno, Sabinyo, Muhavura, Gahinga, Visoke et Karisimbi) et 2 actifs (Nyamulagira et Nyiragongo) (Poppe, 2013). Cette chaîne est caractérisée par des émissions éruptives fissurales de tholéiites continentales (premier cycle) qui sont surmontées par les laves alcalines (second cycle), émises le long des failles normales subparallèles à l'axe Nord-Sud du rift principal (Kampunzu, 1998).

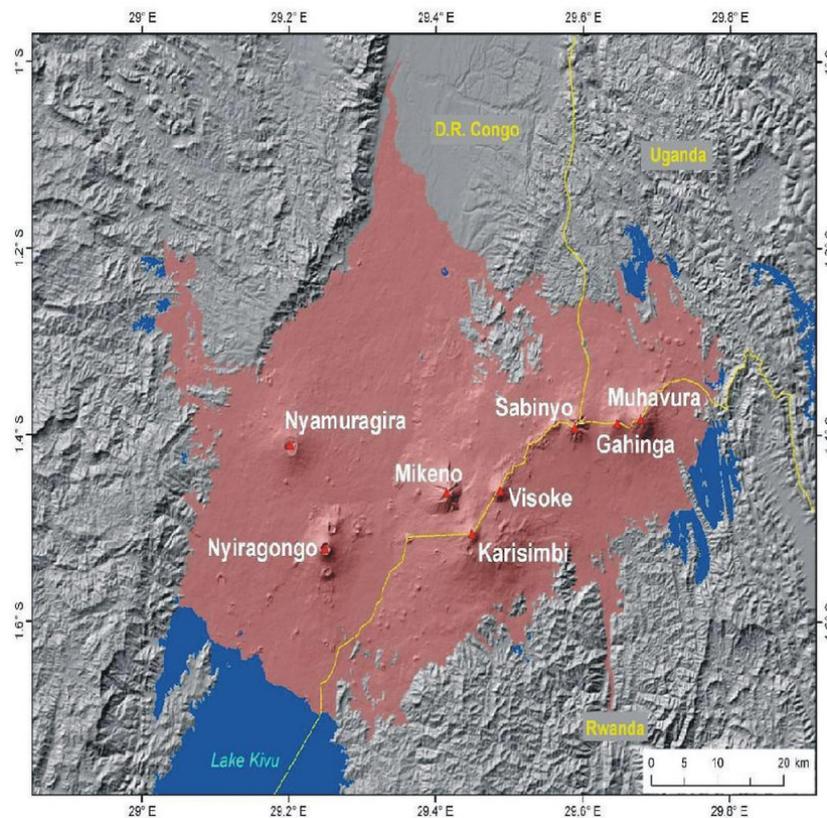


Figure 1: Localisation de la chaîne volcanique des Virunga (Smets, 2013)

Il est à noter que les volcans Nyamulagira et Nyiragongo sont parmi les plus actifs au monde. Le volcan Nyamulagira, dont la première éruption observée par les occidentaux date de 1863, est actuellement le volcan le plus actif du continent africain avec plus de 30 éruptions depuis 1900 (Poppe, 2013) ; 39 éruptions documentés depuis 1882 (Van, 1949; Richard, 1957; Pouclet, 1976 ; Smets, 2010, cités par Smets, 2013). Ce volcan connaît des éruptions fréquentes se produisant chaque après 2 à 4 ans (Smets, 2010 ; Poppe, 2013).

Découvert en 1894, le volcan Nyiragongo, un stratovolcan, est bien connu pour son activité de lac de lave persistante (permanent), la présence des magmas foïditiqes donnant naissance aux roches alcalines rares et fortement sous-saturées en silice, riches en néphéline et mélilite et pauvres en leucite, pyroxène et olivine (Sahama, 1973 ; Santo, 2003 ; Platza, Foley & André, 2004 ; Tazieff, 1977). Cette séquence est caractéristique d'une origine profonde des laves. Les auteurs s'accordent à penser que le volcan Nyiragongo possède trois réservoirs de laves (Fig.2) situés à des profondeurs différentes et périodiquement connectés (Pouclet & Kurt, 2021).

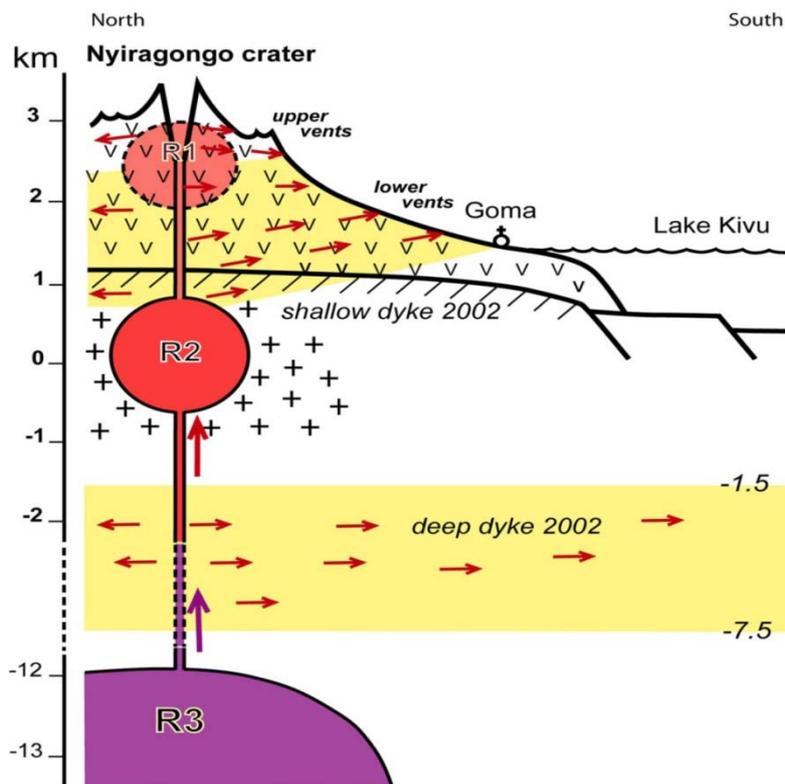


Figure 2: Coupe schématique des réservoirs interconnectés du volcan Nyiragongo (Poucllet & Kurt, 2021)

Ses laves sont capables de descendre du cratère à 100 km/h (Tazieff, 1977 ; Tedesco, 2007). Sa première éruption observée est de 1977 (Hamaguchi, Nishimura & Zana, 1992 ; Sawyer, 2008). L'éruption du Nyiragongo de 1977, fissurale et dont la coulée des laves s'était arrêtée à Munigi, chez le Mwami, avait créé des fissures même dans la ville de Goma (Tazieff 1977 ; Tedesco, 2007 ; Massimiliano, 2008). Sa deuxième éruption observée, celle du 17 janvier 2002 avait, quant à elle, emprunté deux directions dont l'une vers le Rwanda (Est, au niveau de Kibati) et l'autre vers la ville de Goma (Sud) et avait même atteint le lac Kivu (Fig.3) en poussant ses eaux (Massimiliano, 2008 ; Tedesco, 2007). Cette éruption, fissurale aussi suivant un réseau de fractures de plus de 20 km du volcan jusqu'en ville de Goma, avait réactivé les anciennes fissures et en avait créé d'autres suivant la direction générale N-S (Tedesco, 2007 ; Massimiliano, 2008 ; Giuseppe, 2008 ; Wauthier, 2012).

En outre, les activités anciennes du volcan Nyiragongo avaient formé plus de 56 cônes volcaniques dont le cône principal actif du Nyiragongo, Shaheru dans le Sud et Baruta dans le Nord (Tazieff, 1997 ; Tedesco, 2002 ; Tedesco & all ; Kamate, 2018). Ces trois cônes sont constitués par des laves et des roches pyroclastiques dont la composition varie : basalte alcalin à olivine et à néphéline, néphéline leucite, néphéline méliélite, et méliélite (Sahama, 1973).

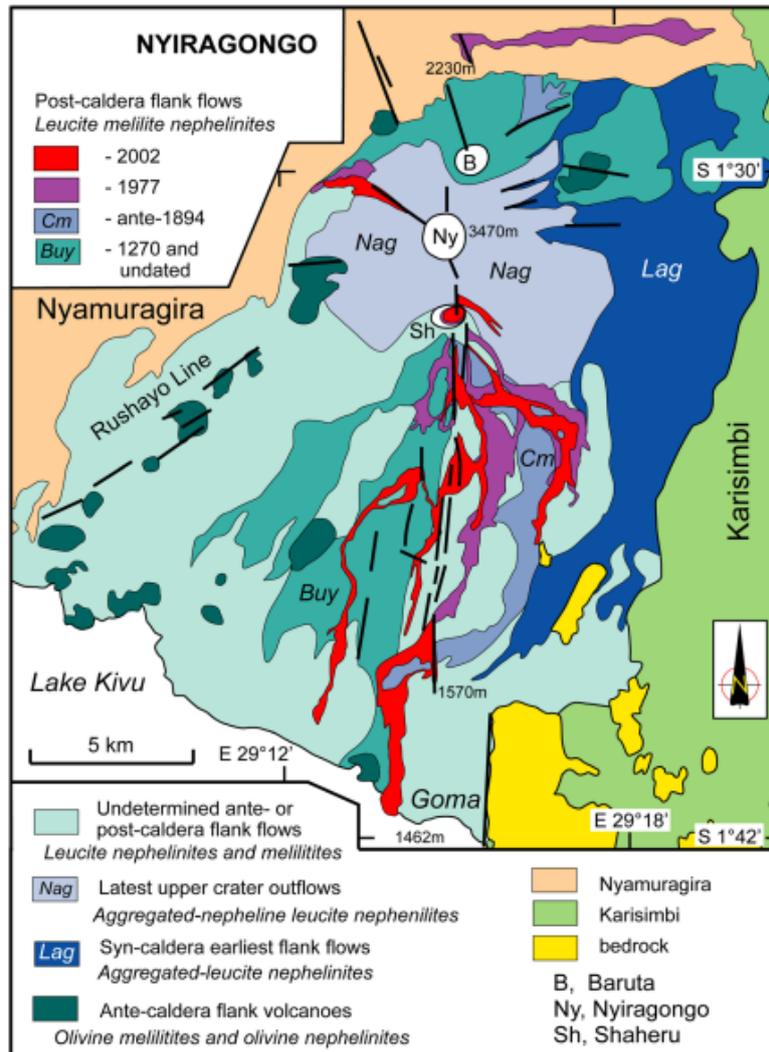


Figure 3 : Coulées de lave sur les flancs du Nyiragongo (Poucllet & Kurt, 2021 : les coulées de 1977 et 2002 sont dessinées d'après les données de Komorowski & al, 2002 ; la lave et les cônes plus anciens sont indiqués d'après la carte de Thonnard & al.196

Dans la soirée du samedi 22/05/2021, vers 18h30, se produisant la troisième éruption observée du volcan Nyiragongo. Trois points de sortie de coulées de lave sont signalés, dont deux sur le flanc Est, à coulées de lave se dirigeant vers le Rwanda en passant par Kibati ; et le 3<sup>e</sup> point de sortie sur le flanc Sud, à coulées de lave s'étant arrêté à environ 2 heures du matin de dimanche 23/05/2021, dans le faubourg de Buhene, à quelques mètres de l'aéroport international de Goma.

Cette éruption avait surpris tout le monde, car la première communication officielle n'est intervenue, par le Gouverneur militaire et la protection civile, qu'entre 21h et 22h, heures locales.

Avant le début de l'éruption, les tremblements de terre n'étaient pas ressentis par la population, ce n'est qu'à 0h02 min qu'un premier séisme fut ressenti par les habitants de Goma. Par la suite, les séismes se sont poursuivis, au fil des jours, augmentant en fréquences et en intensité, et les épicentres se déplaçaient du volcan Nyiragongo vers le lac Kivu, jusqu'à la faille de Buhoho. À la suite de ces tremblements de terre, plusieurs fissures se sont ouvertes, du lundi 24/05/2021 au jeudi 27/05/2021, dans plusieurs coins de la ville de Goma (Majengo, Mabanga Nord et Sud, Port SNCC, Bujovu, les Volcans, Mapendo,...), la ville de Gisenyi et même dans le territoire de Nyiragongo (Munigi, Buhene, Kihisi, Turunga,...), des édifices divers se sont fendillés et d'autres se sont même écroulés.

À part ces dégâts déjà signalés, on a noté une trentaine de morts calcinés ou asphyxiés ou encore par crise cardiaque et ou accidents de circulation ; des animaux domestiques (chèvres, vaches,...) et même sauvages tués ; des plantes et des maisons brûlées et englouties par la lave ; des sommes d'argent brûlées, ...

Le mardi 25/05/2021, du très tôt matin au soir, il y a eu retombée des cendres volcaniques qui ont couvert une vaste région autour du volcan Nyiragongo, en fonction de la direction du vent.

Du samedi 22/05/2021 au jeudi 27/05/2021, il y a eu des pluies fréquentes et abondantes ; et c'est ce même jeudi que la décision d'évacuer les quartiers à haut risque de la ville de Goma (Majengo, Virunga, Mabanga Nord et Sud, Bujovu, Kahembe, Mikeno, les Volcans, Mapendo) fut annoncé, très tôt matin, par le Gouverneur militaire. Pendant cette évacuation vers Sake et Rutshuru, l'exiguïté des routes a causé problème d'embouteillage, les conditions d'accueils et d'ébergement à Sake n'étaient pas réunies (promiscuité, absence d'installations hygiéniques et d'assainissement, carence d'eau, de nourriture, de médicaments, tracasseries ... aux postes de sortie de Goma). Pour ce qui est de l'évacuation vers le Rwanda, là l'accueil était bon car les conditions d'accueil et d'ébergement étaient plus ou moins réunies. Certes, une autre grande partie de la population avait refusé d'évacuer ces quartiers réputés « à haut risque » par manque de moyen, d'où aller, crainte de voleur pouvant saccager leur maison à leur absence, et d'autres n'étaient pas du tout convaincu du message du Gouverneur.

Voyant la problématique de la surveillance, de la prévision et de la gestion d'éruptions volcaniques du Nyiragongo, se référant à tous les problèmes ayant accompagné les éruptions du 17/01/2002 et du 22/05/2021, nous avons jugé bon de documenter cette récente éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, car une bonne surveillance, une prévision et une gestion efficaces passent par la possession de données y relatives.

Ainsi, notre étude, par des travaux de terrain, vise-t-elle à répondre à ces deux questions :

- Quelles sont les nouvelles fissures, associées à l'éruption volcanique du 22/05/2021, leur analyse géométrique ainsi que leur répartition spatiale comparativement aux fissures antérieures?
- Quelle est la trajectoire des coulées de laves du 22/05/2021 par rapport aux anciennes coulées ?

À part l'objectif global de cartographier les fissures et les coulées de lave associées à l'éruption du volcan Nyiragongo du 22/05/2021, ces travaux poursuivent les objectifs spécifiques ci-après :

- Déterminer l'orientation préférentielle de nouvelles fissures ;
- Classer les quartiers de la ville de Goma en fonction de leur vulnérabilité aux prochaines éruptions grâce aux fissures et coulées déjà recensées ;
- Présenter une série des suggestions partant de l'expérience vécue en vue d'aboutir à une gestion efficace d'éventuelles futures éruptions.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons utilisé des matériels divers et avons suivi une méthodologie de travail y adaptée.

## **MATERIELS ET MÉTHODES**

Nous avons fait recours à :

- La lecture des anciennes publications sur le volcanisme de la chaîne des Virunga, en général, et celui du Nyiragongo, en particulier. Les données tirées de ces publications ont été comparées, confrontées puis des conclusions en ont été tirées.
- Travaux de terrain pendant 16 jours, du 23/05/2021 au 07/06/2021 : ils ont consisté à la cartographie des coulées de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 ainsi que leurs points de sortie, la localisation et le repérage géométrique des fractures conséquentes à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 et aux séismes post éruptifs, la prise des photos des coulées de lave et des fissures et enfin au suivi journalier de l'évolution de certaines fractures.
- Les travaux de bureau allant du 10/06/2021 jusqu'à la date de la publication de ce rapport. Ces travaux englobent le traitement des données de terrain, l'interprétation et la discussion des résultats, la rédaction et la publication de ce rapport.
  - ✓ Pour les coulées de lave, nous avons utilisé les shapes files des anciennes coulées sur lesquels nous avons superposé ceux de l'éruption du 22/05/2021. Tous ces shapes files ont été fournis par Benoit Smet du MRAC.
  - ✓ Pour les mesures de terrain des cassures, nous les avons d'abord groupées, dans un tableau, en classes, puis nous les avons traités dans excel pour produire la rosace des fréquences. Ensuite, ces données

brutes, récoltées sous forme des courses, ont été converties en azimuts et introduites dans le logiciel « Dips » afin de déterminer leurs directions préférentielles. En dernier lieu, ces mesures des cassures ont été superposées sur la carte des coulées de lave.

Ainsi, avons-nous utilisé le GPS, la boussole, le clinomètre, le marteau de géologue, l'appareil photo numérique, le marqueur indélébile, le décimètre, la latte graduée, le carnet de terrain, le stylo et le crayon HB pour les travaux de terrain ; l'ordinateur (les logiciels Ms-word, Ms-excel, ArcGIS et Dips) pour les travaux de bureau.

L'équipe de travail, au terrain et/ou au bureau, était constitué de 18 personnes dont 4 étudiants de L1 géologie, 7 assistants et 4 chefs de travaux de l'Université de Goma, un professeur de l'Université de Goma, un professeur de l'Université Officielle de Bukavu et un professeur de l'Université Libre de Bruxelles. L'équipe de terrain a sillonné toute la ville avec un accent particulier sur les quartiers et endroits suivants : Kibati, Mujoga, Makao, Munigi, ICCN, Kihisi, Buhene, Bujovu, Gabiro, Majengo (« Ki-30 »), Turunga, Kilijiwe, Mabanga Nord, Mabanga Sud, les Volcans et Port SNCC.

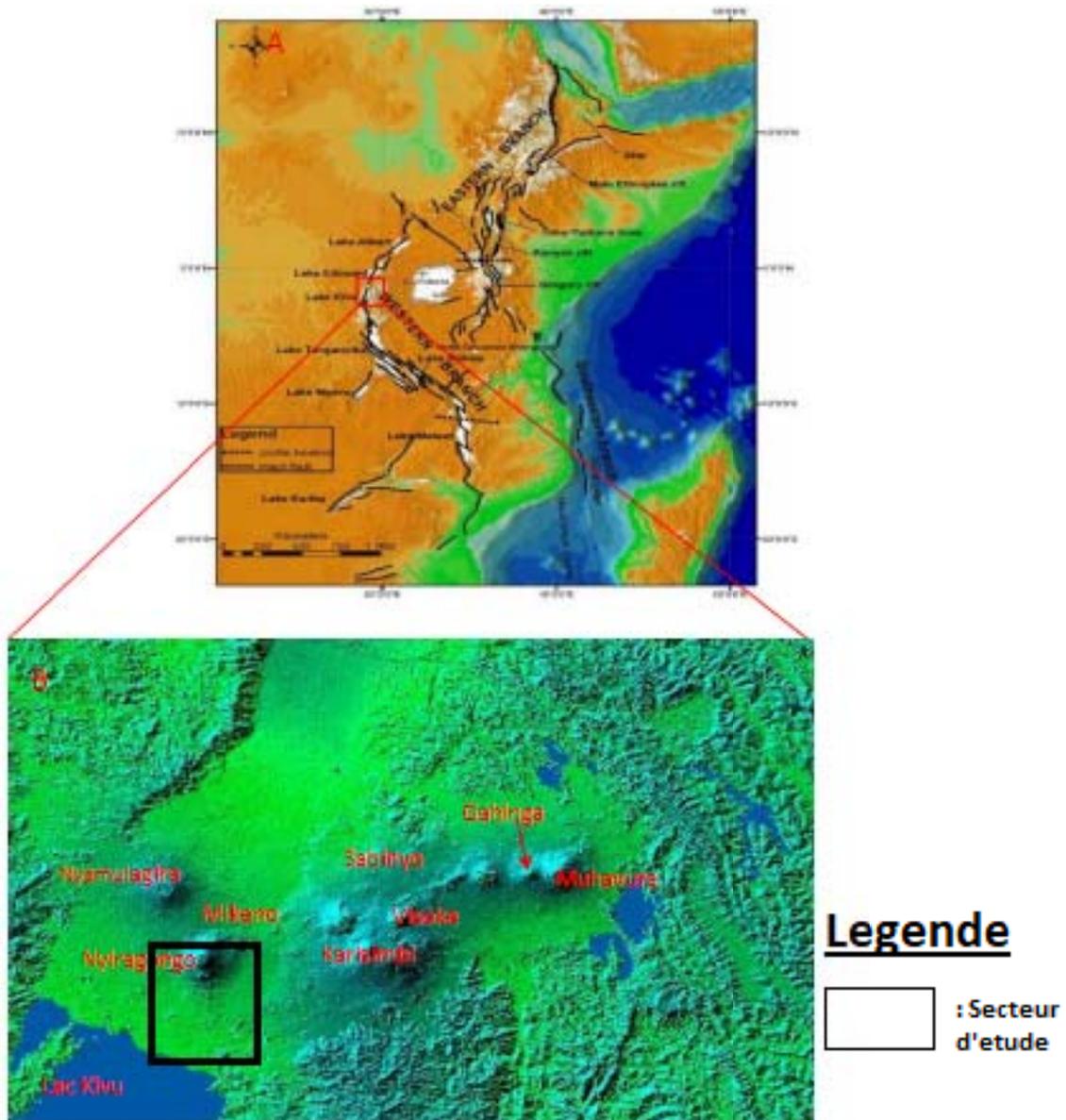


Figure 4: Localisation du secteur d'étude

De cette carte, il se dégage que notre secteur d'étude couvre une partie de la ville de Goma et une autre en territoire de Nyiragongo, province du Nord Kivu/RDC ; dans la zone comprise, du Nord au Sud, entre le volcan Nyiragongo (son cône de Bujoga) et le lac Kivu ; de l'Est à l'Ouest, entre le quartier Ndosho et le cimetière Gabiro (Fig.5).

**RESULTATS**

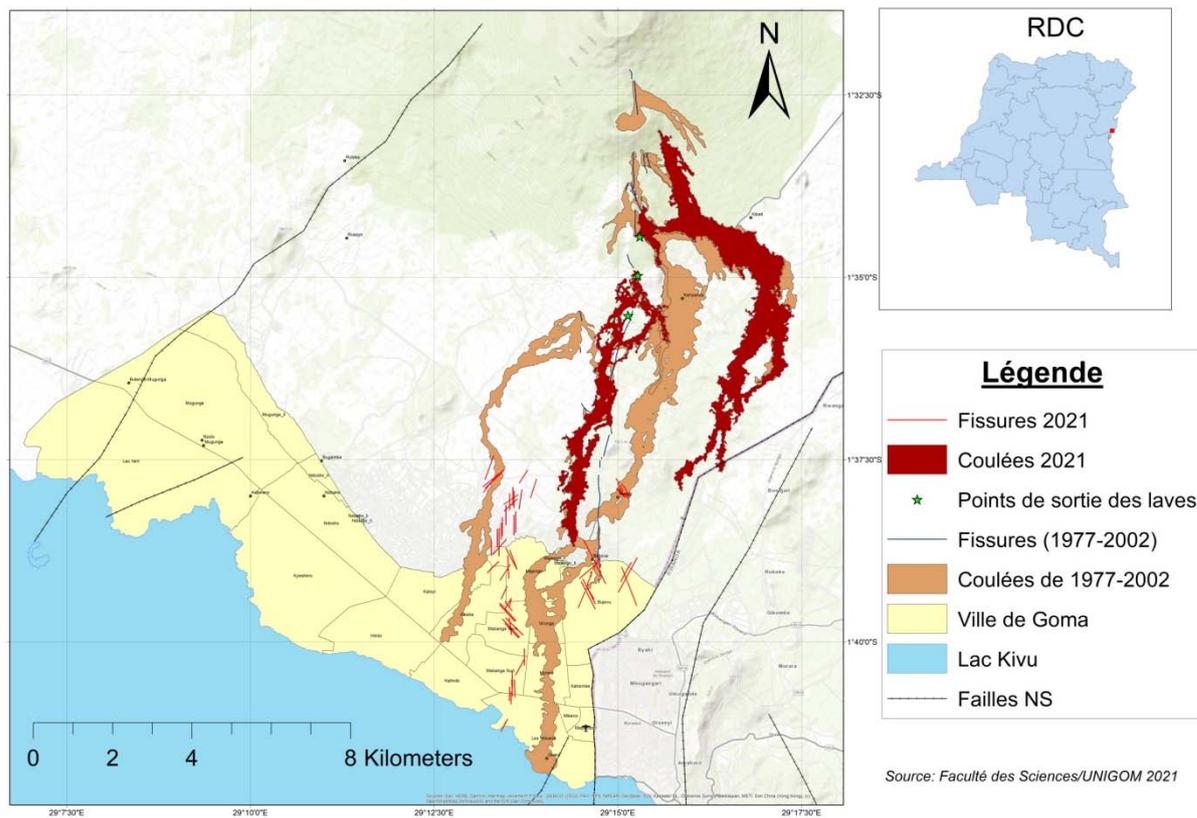


Figure 5: Carte des coulées de lave et fissures associées au volcan Nyiragongo (Tab.1)

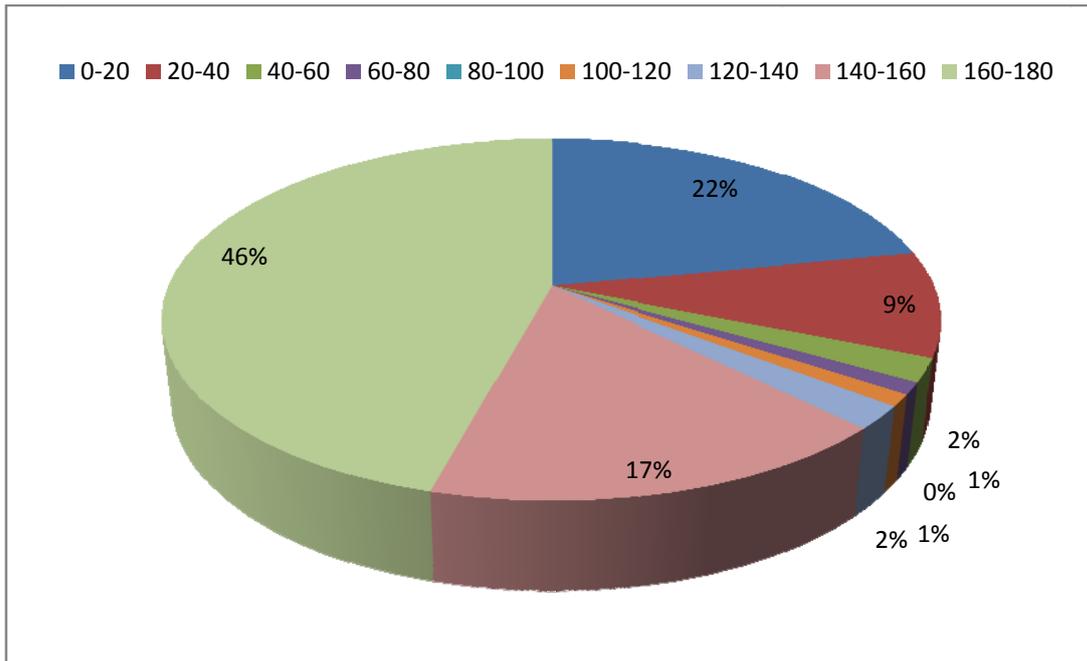


Figure 6: Rosace des fréquences des directions des fissures associées à l'éruption du volcan Nyiragongo du 22/05/2021 (Tab.1)

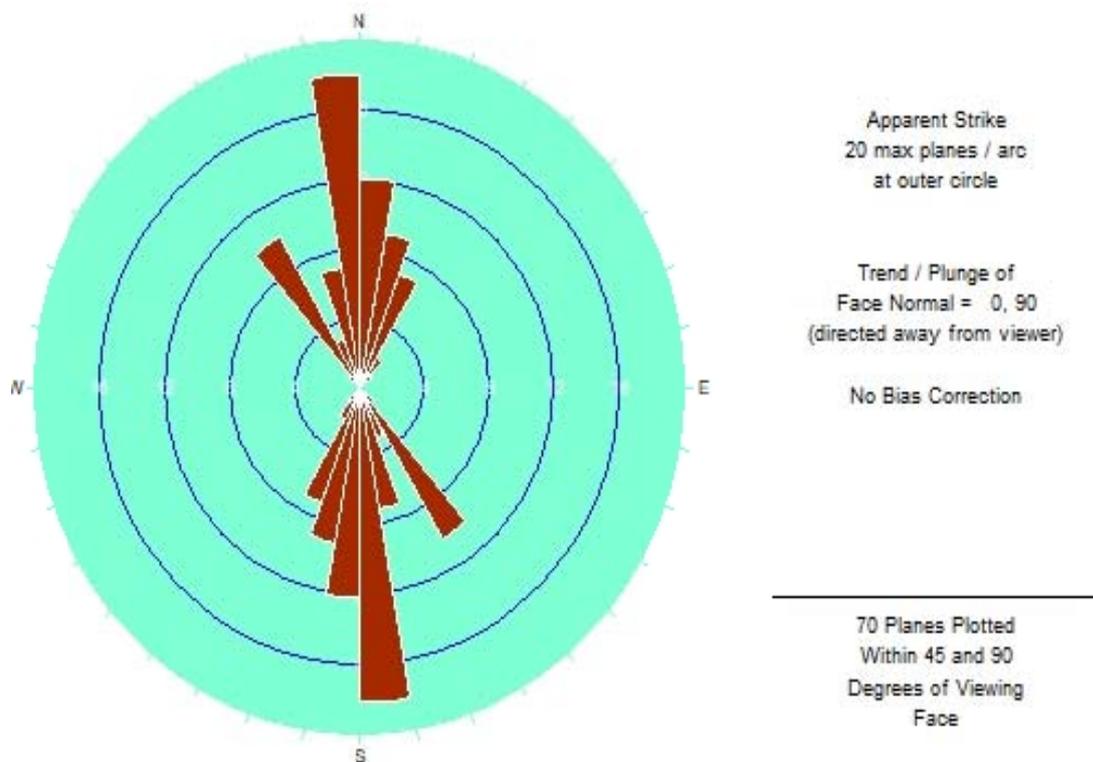


Figure 7: Directions préférentielles des cassures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021 (Tab.1)

## DISCUSSIONS ET INTERPRÉTATIONS

Comparativement aux anciennes coulées du volcan Nyiragongo (1977 et 2002), l'itinéraire de celles de 2021 est presque la même sauf que celles-ci n'ont pas été aussi longues que les précédentes. Pour preuve, sur la carte, on remarque que presque toutes les coulées du 22 mai 2021 se superposent sur celles de 2002 (Fig.5).

Les observations macroscopiques réalisées sur les échantillons issus des coulées de 2021 sont telles que ces dernières sont rarement vacuolaires laissant admettre que ces laves se seraient préalablement dégazées avant leur émission en surface, ce qui réduit leur vitesse d'écoulement (Fig.8 ; 9 ; 10 et 11). Par ailleurs, la cristallisation des minéraux pouvant être assimilables à de la Néphéline laisserait penser que ces laves seraient venues de la chambre magmatique superficielle ; des hypothèses qui restent à vérifier.

Plusieurs fissures, affectant le matériau géologique et des immeubles, sont visibles en différents coins de la ville (Fig.12 ; 13 ; 14 et 15 ; Tab.1).

L'analyse statistique portée sur les mesures de directions prélevées sur les fissures (Tab.1), groupées en classes de 20°, a révélé différentes familles de fissures mais les fissures dont les directions sont comprises entre 160° et 180° occupent en elles seules 46% et sont donc majoritaires ; elles sont suivies par celles comprises entre 0° et 20°, occupant 22% (Fig.6).

En outre, les résultats obtenus permettent d'admettre que les fissures observées dans la ville de Goma, en 2021, sont pour la plupart des cas nouvelles et ne correspondent donc pas nécessairement à la réactivation d'anciennes fissures. Elles sont majoritairement orientées NNW-SSE à N-S et suivent donc la même direction que celles antérieures, direction pouvant se rapporter à celle de la branche occidentale du rift est africain (Fig.7).

Les fissures sont les plus localisées dans les quartiers Mabanga (nord et sud), Kasika, Majengo, Munigi et Bujovu (Fig.5). Partant des observations et des mesures effectuées sur les fissures, il a été remarqué que, en rapprochant des coulées récentes, celles-ci s'amortissent quittant un écartement pouvant aller de quelques centimètres à celui millimétrique. Ceci serait justifié, non seulement, par les intensités des séismes mais aussi l'âge de la roche en place qui, plus jeune, plus résistante. Ces fissures variaient les ouvertures horizontales et les décalages verticaux et subverticaux (Tab.2).

## CONCLUSIONS/PERSPECTIVES

Le présent rapport donne des informations capitales en rapport avec la cartographie des fissures et coulées associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo, en date du 22/05/2021. Goma, une ville touristique coincée entre le lac Kivu plein des gaz (CH<sub>4</sub>,

CO<sub>2</sub>, ...) et le volcan Nyiragongo, avec plus de 2 millions d'habitants, le danger y est permanent.

Une éruption volcanique importante du Nyiragongo, qui atteindrait le lac Kivu, pourrait perturber l'équilibre des eaux du lac en entraînant une explosion des gaz qui y sont. Avec des fissures éparpillées dans plusieurs quartiers de Goma, fissures par lesquelles sortent les gaz, potentielles sorties de prochaines coulées de lave et pouvant déstabiliser des ouvrages, le risque s'amplifie. D'où une surveillance et un suivi exacts et permanents du volcan, de l'évolution des cassures et des émanations gazeuses s'avère plus que nécessaire.

La cartographie de vulnérabilité étant déjà faite, l'approfondissement des études géologiques (géochimie : nature, origine du magma, cartographie des cavités souterraines) permettrait de savoir plus sur le volcan Nyiragongo et de renforcer ainsi la protection de la population. Mais, faute de moyen financier et d'équipements de pointe, nous nous trouvons limités.

## REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude à l'Université de Goma, la faculté des sciences de l'Université de Goma. Notre reconnaissance s'en va au MRAC à travers Benoits Smets et Caroline Michellier qui nous ont encadrés sur terrain et à l'OVG nous disons merci pour la franche collaboration.

Nous nous inclinons devant la bravoure de tous les participants actifs à la réalisation de ce rapport : les Professeurs Yamoneka Wasso Juste et Wazi Nandefo Robert ; les CT Mafuko Nyandwi Blaise, Kamate Kaleghetso Ephrem, Birimweragi Namogo Didier et Muhindo Musubao Bosco; les Assistants Kambale Kavyavu Wisdom, Murhambo Ntabiruba Arsène, SadiKi Barata gloire, Rhubango Ruhembe Herden-Alain, Kakule Mastaki Héritier, Mumbere Mutima Yves et Borauzima Bahavu Léon ; les étudiants de L1 (année académique 2020-2021) Balingene Ngee Clément, Bisimwa Kazingufu Michael, Malkia Kavota Christelle et Kisembo Tinkamanyire Jacques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Chirico, G.D., Favalli, M., Papale, P. et all (2009), *Lava flow hazard at Nyiragongo Volcano, DRC*. Bull Volcanol **71**, 375–387, <https://doi.org/10.1007/s00445-008-0232-z>
2. Ebinger, CJ (1989b), *Tectonic development of the western branch of the East African Rift System*, Geol Soc Am Bull 101:885–903
3. Giresse, P. (1990), *Esquisse géologique de l'Afrique centrale occidentale*, Paris, Orstom, ISBN 2-7099-1022-5 ISSN 1142-2580, p. 15-19

4. Giuseppe, D. & all (2008), *Lava flow hazard at Nyiragongo Volcano, DRC*, Bull Volcanol 71:375–387, DOI 10.1007/s00445-008-0232-z
5. Hamaguchi, H., Nishimura, T. and Zana, N. (1992), *Process of the 1977 Nyiragongo eruption inferred from the analysis of long-period earthquakes and volcanic tremors*. In: C.J. Ebinger, H.K. Gupta and I.O. Nyambok (Editors), *Seismology and Related Sciences in Africa. Tectonophysics*, 209: 241-254.
6. Ilunga, L. (1991), *Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu*, Bulletin de la Société géographique de Liège, 27, 209-228, 20p
7. Kamathe, E. (2018), *Pétrographie et géochimie des laves du volcan Nyiragongo (Nord Kivu, RD Congo) : influence de la viscosité sur les paramètres de propagation des coulées de laves menaçant la ville de Goma*, Mémoire de master, 2017-2018, <http://hdl.handle.net/2268.2/5534>
8. Kampunzu, H. (1998), *Geochronology of volcanic rocks and evolution of the Cenozoic Western Branch of the East African Rift System*, journal of African Earth Sciences. Vol. 26, No. 3, pp. 441-461
9. King, B. C. (1978), *Structural and volcanic evolution of the Gregory rift valley*, in Bishop, W. W., ed., *Geologic background to fossil man: Edinburgh, Scotland*, Scottish Academic Press, p. 29-54, 26p
10. Komorowski J-C & all (2002), *The January 2002 flank eruption of Nyiragongo volcano (Democratic Republic of Congo): chronology, evidence for a tectonic rift trigger, and impact of lava flows on the city of Goma*, Acta Vulcanol 14-15:27–62
11. Macgregor, D. (2014), *History of the development of the East African Rift System: A series of interpreted maps through time*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.09.016>
12. Massimiliano, F. & all, 2008, *Lava flow hazard at Nyiragongo volcano, D.R.C*, Bull Volcanol, 71:363–374, DOI 10.1007/s00445-008-0233-y
13. Platza, T. ; Foley, S. ; Andre, L. (2004), *Low-pressure fractionation of the Nyiragongo volcanic rocks, Virunga Province, D.R. Congo*, Journal of Volcanology and Geothermal Research 136, 269– 295
14. Poppe, S. & all (2013), *A new volcano-structural map of the Virunga Volcanic Province, D.R.Congo and Rwanda*, EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013 in Vienna, Austria, id. EGU2013-7131
15. Pouclet A. & Bram Kurt (2021 ), *Nyiragongo and Nyamulagira: a review of volcanic activity in the Kivu rift, western branch of the East African Rift System*, Bulletin of Volcanology volume 83, Article number: 10 (2021) Cite this article
16. Sahama, T.(1973), *Evolution of the Nyiragongo Magma*, Journal of Petrology, Vol. 14, Part 1, pp. 33-48
17. Santo, A. & all (2003), *Petrographic and geochemical features of the 2002 Nyiragongo lava flows, hic and geochemical features of the 2002 Nyiragongo lava flows*, Acta Vulcanologica, Vol. 15 (1-2), 63-66

18. Sawyer, G. M., S. A. Carn, V. I. Tsanev, C. Oppenheimer, and M. Burton (2008), *Investigation into magma degassing at Nyiragongo volcano, Democratic Republic of the Congo*, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q02017, doi:10.1029/2007GC001829.
19. Shackleton, R. (2015), *Structural development of the East African*, University of Calgary, <http://sp.lyellcollection.org/>, 10p
20. Smets B, Wauthier C, d'Oreye N (2010), *A new map of the lava flow field of Nyamulagira (D.R. Congo) from satellite imagery*, *J Afr Earth Sci* 58(5):778–786
21. Smets, B., d'Oreye, N., Kervyn, F. et al. (2013), *Detailed multidisciplinary monitoring reveals pre- and co-eruptive signals at Nyamulagira volcano (North Kivu, Democratic Republic of Congo)*, *Bull Volcanol* **76**, 787 (2013), <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0787-1>
22. Tazieff, H. (1977), *An exceptional eruption: Mt Nyiragongo, Jan 10th 1977*, *Bull. Volcanol.*, 30, 189–200
23. Tedesco D., (2002), *Volcano-tectonic eruption of Nyiragongo volcano, Democratic Republic of Congo*, *journal of geophysical research*, vol. 112, B09202, doi: 10.1029/2006JB004762, 2007
24. Tedesco, D., O. Vaselli, P. Papale, S. A. Carn, M. Voltaggio, G. M. Sawyer, J. Durieux, M. Kasereka, and F. Tassi (2007), *January 2002 volcano-tectonic eruption of Nyiragongo volcano, Democratic Republic of Congo*, *J. Geophys. Res.*, 112, B09202, doi:10.1029/2006JB004762.
25. Thonnard RLG, Denaeyer M-E, Antun P (1965), *Carte volcanologique des Virunga (Afrique Centrale)*, feuille n° 1: groupe occidental, éch. 1/50.000e, notice explicative 14 pp., Centre National de Volcanologie, Belgique, Publ. N° 32
26. Wadge, G. & all (2016), *Historical Volcanism and the State of Stress in the East African Rift System*, *Front. Earth Sci.* 4:86. doi: 10.3389/feart.2016.00086
27. Wauthier, C. & all (2013), *Nyamulagira's magma plumbing system inferred from 15 years of InSAR*, Geological Society, London, Special Publications, 380, 39-65, 18 June 2013, <https://doi.org/10.1144/SP380.9>
28. Wauthier, C., V. Cayol, F. Kervyn, and N. d'Oreye (2012), *Magma sources involved in the 2002 Nyiragongo eruption, as inferred from an InSAR analysis*, *J. Geophys. Res.*, 117, B05411, doi:10.1029/2011JB008257.
29. WoldeGabriel, G. & all (2016), *Genesis of the East African Rift System*. In: Schagerl M. (eds) *Soda Lakes of East Africa*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28622-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28622-8_2)
30. WoldeGabriel, G. (2016), *Genesis of the East African Rift System*, Springer International Publishing Switzerland, M. Schagerl (ed.), *Soda Lakes of East Africa*, DOI 10.1007/978-3-319-28622-8\_2, 35p

## ANNEXES



Figure 8: Coulée de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo dans la nuit du 22/05/2021



Figure 9: Coulée de lave de l'éruption volcanique du Nyiragongo au petit matin du 22/05/2021



Figure 10: Roches volcaniques issues de l'éruption du Nyiragongo du 22/05/2021



Figure 11: Aspect des roches volcaniques issues de l'éruption volcanique du 22/05/2021, vers Mujoga



Figure 12: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (route aéroport)



Figure 13: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (en face de l'hôtel KAMI)



Figure 14: Fissures associées à l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, vers Bujovu (derrière SAFRICAS/Gabiro)



Figure 15: Maison effondrée, à côté du Kinyumba (Q. Katindo), suite aux séismes ayant accompagné l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021

Tableau 1: Données brutes de terrain des fissures

N°	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Lieu/Observation	Pendage	Azimut	Ouverture (cm)
1	747471	9813512	1473	A 100 mètre du poste de la police lacustre, vers l'Est	90	250	5
2	747487	9813525	1467	A 27m à l'Est de la station 1, au pied du mont Goma	-	-	2
3	747521	9813523	1467	A 50m à l'Est de la station 2, au pied du mont Goma	90	260	3
4	747569	9813529	1469	Base du Mont Goma	90	260	2
5	747468	9813564	1505	A 55m à l'Est de la station 4	90	290	2
6	747536	9813572	1502	Au port Ihusi	90	250	5
7	747244	9813505	1471	En face de l'hôpital provincial général du N-K	90	270	1
8	747597	9814333	1531	A 21m à l'Est de la station 7 (HPG/N-K)	90	270	2
9	747621	9814320	1519	A 4m à l'Est de la station 8 (HPG/N-K)	90	267	2
10	747620	9814323	1522	A 5m à l'Est de la station 9 (HPG/N-K)	90	267	2
11	747593	9814323	1520	Bureau de l'ordre de médecin	90	270	7
12	747631	9814319	1515	A 5m de la station 11, à l'Est, au bureau de l'ordre des médecins : à cet endroit il ya d'autres fissures sub-parallèles qui s'observent dans le pavement de la construction de cette concession	90	270	7
13	747635	9814318	1515	Au bureau de l'inspection provinciale de la santé (cette fissure à ce niveau présente un décrochement de 8cm)	90	266	7
14	747610	9814250	1523	Q. Mabanga Sud, AV. Kinshasa	90	260	7
15	747648	9814477	1517	Q. Mabanga Sud, AV. Industrielle	90	270	6
16	747667	9814551	1522	Q. Mabanga Sud, AV. Mutakato	90	270	4
17	747716	9814685	1531	Q. Mabanga Sud, AV. Mulinga	90	270	7
18	747784	9814864	1526	Q. Mabanga Sud, AV. Salongo	90	300	3
19	747970	9815316	1527	Q. Mabanga Nord, AV. Katoyi (Notre dame d'Afrique)	90	270	2
20	747609	9815980	1539	Q. Mabanga Nord, AV.	90	250	2

				Katoyi (sur la route Katoyi, vers Notre Dame d'Afrique)			
21	747603	9816005	1531	A 5m à l'Ouest de la station 20 (route Katoyi, Notre dame d'Afrique)	90	244	2
22	747609	9816002	1530	A 10m de la route Katoyi vers le Nord de la paroisse notre dame d'Afrique	90	268	2
23	747618	9816019	1536	A 15m à l'Ouest de la station 22, à 10 m de la route Katoyi, vers le Nord	90	270	2
24	747599	9816018	1535	Q. Mabanga Nord, AV. Katoyi, Ecole maternelle Katoyi	90	254	0,5
25	747612	9816125	1535	A 9m Ouest de la station 24	90	260	1
26	747603	9816130	1536	A 9m à l'Ouest de la station 25	90	258	0,5
27	747592	9816138	1536	Q.Mabanga Nord; AV. Kindu	90	264	1
28	747605	9816336	1543	Q.Mabanga Nord; AV. Kindu II	90	265	3
29	747597	9816331	1540	Q.Mabanga Nord; AV. Kindu II, Kilimanjaro guest house	90	290	2
30	747580	9816517	1548	A 5m Est de la station 29 (Kilimanjaro Guest House)	90	260	2
31	747588	9816519	1548	A 6m Est de la station 30 (Kilimanjaro Guest House)	90	262	3
32	747594	9816516	1549	Q. Mabanga Nord, AV. Rwindi	90	292	3
33	747513	9816518	1555	Q. Mabanga Nord, AV. Géomètre	90	295	2
34	747445	9816862	1564	Q. Majengo, route Majengo	90	310	0,5
35	747569	9817536	1575	A 4m Ouest de la station 31 (route Majengo)	90	270	2
36	747567	9817530	1576	Q. Majengo, AV. Mulindwa	90	250	5
37	747662	9817718	1565	A 26m à l'Est de la station 36 (Ki-30)	90	261	4
38	747691	9817721	1566	En face de l'aéroport international de Goma, vers le dépôt COMAIR	90	280	1
39	749415	9816707	1562	Q. Bujovu, AV. Bulengera	90	260	4
40	749525	9816941	1581	AV. Bulengera (Fissures en échelons, à 3,5m à l'Ouest de S39)	90	280	0,5
41	749518	9816947	1578	Q. Bujovu, AV. Bulengera (SEP CONGO)	Prolongement de la station 40		1,2
42	749519	9816969	1579	Q. Bujovu, AV. Bulengera (SEP CONGO), fissures en	90	260	1,5

				échelon			
43	749529	9817000	1586	Q. Bujovu, AV. Bulengera (SEP CONGO AERO GOMA)	90	280	1,8
44	749555	9817052	1585	Q. Bujovu, AV. Byahi	90	280	2
45	749568	9817126	1587	Q. Bujovu, AV. Byahi à 10m de S44 (plusieurs fissures en échelon)	90	280	3
46	749607	9817205	1590	Q. Bujovu, AV. Bunyerero dans la route (élargissement d'épaisseur dans la zone de faiblesse qui varie à de dizaine de cm)	90	280	34
47	749617	9817237	1590	Q. Bujovu, AV. Bulengera (KAMI HSS HOUSE)	90	280	9
48	749644	9817320	1587	Q. Bujovu, AV. Bulengera	90	270	7
49	749651	9817335	1592	Q. Bujovu, AV. Bulengera (variation d'épaisseur jusqu'à la dizaine de cm)	90	280	14
50	749651	9817355	1586	Q. Bujovu, AV. Jolie Bois (cassure en échelon)	90	280	6
51	749674	9817400	1584	Q. Bujovu, AV. Murambi (Kanyamuhanga)	90	290	5
52	750553	9817303	1600	Q. Bujovu, AV. Jolie Bois (à 100m à l'Est de SAFRICAS)	90	290	20
53	750541	9817394	1600	GABIRO (un réseau de fissures sub parallèles, 4 fissures d'équidistance moyenne de 10m)	90	260	5,3
54	750623	9817023	1596	Q. Bujovu, AV. Jolie Bois (En parallèle avec EP BYAHI)	90	290	5
55	749693	9817452	1587	Q. Bujovu, AV. Bulengera à l'EP BYAHI	90	300	3
56	749636	9817472	1583	Kihisi	90	260	1
57	749614	9817982	1590	Bukumu/Buhombo (un réseau de fissures de diamètre d'ouverture allant de millimètre à centimètre)	90	240	0,5
58	750401	9819414	1664	A 8m de la S57 Nord	90	235	6
59	750406	9819422	1661	A 6m au Nord de la station 58	90	235	1
60	750412	9819424	1660	A 2m au Nord de S59	90	235	1
61	750416	9819426	1658	A 12m au Nord de la station 60; variation d'épaisseur	90	236	2
62	750422	9819431	1663	Buhombo/AV.Buvira (variation d'épaisseur) avec plusieurs fissures en échelon et d'autres liées	90	222	4,5

63	750556	9819360	1665	Buhombo/AV.Buvira, fissures en échelon	90	230	8,5 à 11
64	750549	9819335	1663	A 32m au Nord de S63	90	235	1
65	750546	9819450	1663	Munigi/Buhombo	90	235	5,5
66	750379	9819510	1660	A quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la station 65, réseau des fissures continues	90	235	5
67	750369	9819527	1663	A quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la station 66, réseau des fissures continues	90	260	4,5
68	750418	9819539	1662	A quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la station 70, réseau des fissures en échelon	90	231	
69	750482	9819574	1670	Au Sud de Mugara	90	258	29
70	750302	9819746	1680	A quelques dizaines de mètres à l'Ouest de la S69	90	270	10
71	750263	9819763	1677	A 6m à l'Ouest de la station 70	90	235	6
72	750258	9819764	1680	A quelques dizaines de mètres de S71	90	241	5,5
73	750198	9819795	1678	Vers l'enclos de la société Virunga SARL,	90	250	5
74	749588	9820240	1679	Limite des coulées de lave			

Tableau 2: Evolution des fissures au fil des jours

LONGITUDE	LATITUDE	ALTITUDE (m)	DIRECTION	COMMENTAIRES	DATE	Ouvertures horizontales (cm)	Décalages subverticaux (cm)	Décalages verticaux (cm)
747610	9814250	1522	N20°E	A ce point, à l'inspection provinciale de la santé du Nord Kivu, il y a des fissures presque parallèles. L'une d'entre elles est un décrochement dextre ayant un déplacement horizontal de 5 cm ; une ouverture horizontale, un décalage vertical et un décalage subvertical variants	01/06/2021	2,9; 2,9 et 3,6	8,5; 8,5 et 8,5	6,5; 6,1 et 7
					02/06/2021	2,9; 2,9 et 3,6	8,5; 8,5 et 8,5	6,5; 6,1 et 7
					04/06/2021	2,9; 2,9 et 3,6	8,9; 9 et 9	7,1; 6,7 et 7,6
					07/06/2021	3,4; 3,7 et 4,1	9; 9,5 et 9,5	7,3;7,2 et 7,2
				Dans le bureau de l'ordre des médecins, il y a une cassure de diamètre moyen d'ouverture de 0,5 cm, le décalage vertical variant	01/06/2021	0,5	Il n'y a pas	0,7
					02/06/2021	0,5	Il n'y a pas	0,75
					07/06/2021	0,5	Il n'y a pas	0,75
747667	9814551	1522	N180°E	Dans le quartier Mabanga Sud, Av. Industrielle N°83, il y a une cassure traversant des parcelles et des maisons	02/06/2021	5,5 et 5,4	Il n'y a pas	Il n'y a pas
					04/06/2021	5,4 et 5,3	Il n'y a pas	Il n'y a pas
					07/06/2021	5,5 et 5,5	Il n'y a pas	Il n'y a pas