

DE KARISIMBI, EEN RECENTE VULKAAN VAN HET
VIRUNGAGEBIED (RWANDA, ZAIRE)

Mark DE MULDER

Aangesteld navorsers N.F.W.O., geologie

R.U.G., Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent

Geologie en petrologie van vulkanen in het Virungagebied,
Centraal-Afrika

SUMMARY: KARISIMBI, A RECENT VOLCANO OF THE VIRUNGA AREA
(RWANDA, ZAIRE)

This paper deals with the geological structure and the petrologic evolution of Karisimbi, the highest volcano in the Virunga region.

As this paper is intended to be understood by non-geologists, a brief review about the methods used by volcanologists, should make things clear for the reader.

The field-work data enabled us to describe the morphology, structure and the evolution of Karisimbi.

The results of the laboratory studies are summarized in the section petrography- petrochemistry, where some problems concerning nomenclature and interpretation of chemical data are discussed as well.

Petrographical and petrochemical information leads us to the origin and the evolution of magmas, which is the ultimate purpose of every petrologist. In the case of Karisimbi, it is suggested that its petrologic evolution took place by simultaneous fractional crystallization and contamination by crustal rocks.

Finally, the ages of some typical Karisimbi lavas have been determined by a radiometric dating method (K-Ar), bearing in mind that large errors on these ages are inevitable.

KEYWORDS : geology, volcanoes, petrology, Virunga, differentiation

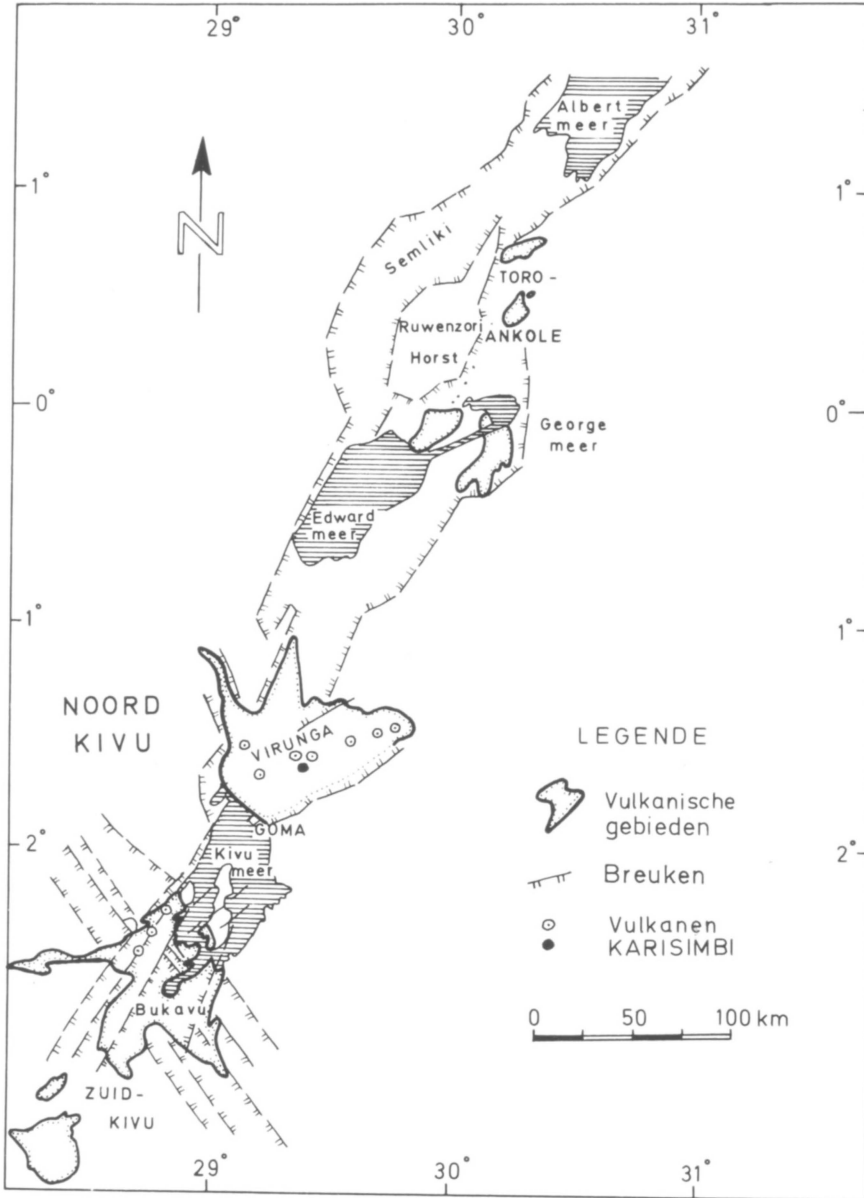


Fig. 1 - Ligging van de vulkanische gebieden in de westelijke tak van de Oostafrikaanse rift

De Virungaketen : een vulkanische dam in de Oostafrikaanse rift

De studie van het vulkanisme in en rond de Oostafrikaanse rift is steeds een gegeerd onderwerp geweest voor talrijke geologen (zie eveneens Afrika-Focus, Vol. 1, 1985, pp. 11-30). De evolutie van de westelijke tak van deze rift werd minder in detail onderzocht dan die van zijn oostelijke tegenhanger omdat de vulkanische activiteit zich in het westen beperkt tot slechts drie gebieden : Toro-Ankole (Uganda), Virunga (Zaire, Rwanda en Uganda) en Zuid-Kivu (Zaire) (fig. 1).

De Virungaketen is opgebouwd door acht grote vulkanen en honderden kleine vulkanische structuren die men adventiefkegels noemt (fig. 2).

Deze keten vormt een 80 km brede dam die dwars op de westelijke rifttak (Albertslenk) is gericht. Die afdamming greep plaats vanaf het Laat-Plioceen (vanaf 3 miljoen jaren geleden, verder afgekort als m.j.) en was verantwoordelijk voor het ontstaan van het Kivumeer.

De Virungavulkanen kunnen als recent beschouwd worden. De oudste lava's die aangetroffen werden op de Mikeno hebben een radiometrische ouderdom van 2,1 m.j. De meest westelijk gelegen vulkanen Nyiragongo en Nyamuragira zijn de enige nog werkelijk actieve vulkanen en werden bijgevolg zeer grondig bestudeerd. In 1982 ontbond de Nyamuragira opnieuw zijn duivels toen zich op zijn flank een nieuwe adventiefvulkaan ontwikkelde.

Over de Karisimbi was tot nog toe bijzonder weinig gekend, hoewel het om de hoogste (4507 m) en de meest complexe vulkaan van de Virunga gaat.

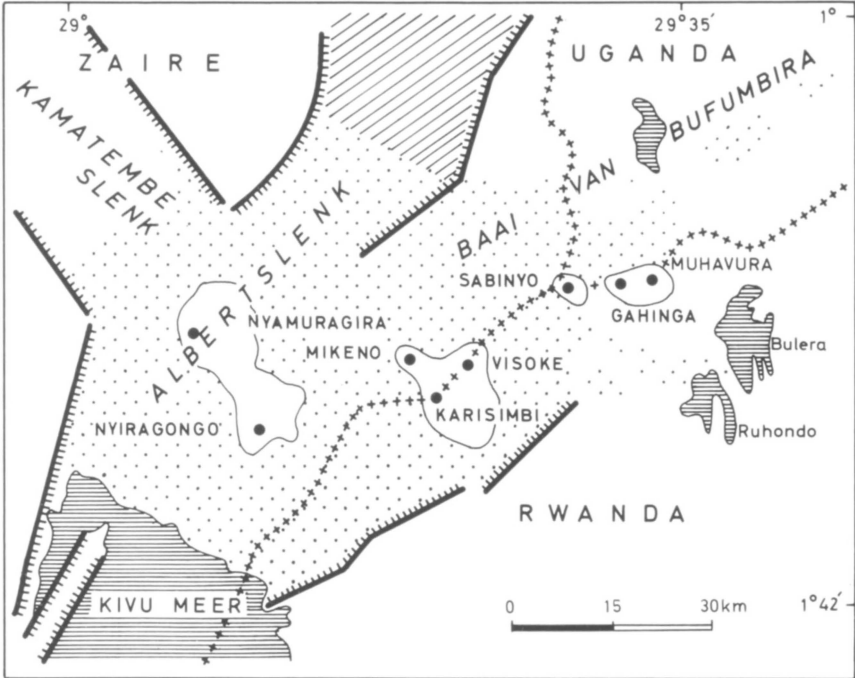


Fig. 2 - Situering van de voornaamste Virgunavulkanen

Het geologisch onderzoek van dit complex was een ware uitdaging, temeer daar dit gebied ook zoölogisch en botanisch heel wat te bieden heeft.

Hoe kan men een vulkaan bestuderen ?

Vooraleer op deze vraag in te gaan, lijkt het mij nuttig te definiëren wat precies begrepen wordt onder de term vulkaan. Het is zowel de opening waaruit gesmolten gesteente (magma) en gassen vanuit de diepte aan het aardoppervlak uitvloeien, als de reliëfvorm die opgebouwd wordt rond een dergelijke opening door de opeenstapeling van vulkanisch materiaal (lavastromen en/of uitgeworpen fragmenten, zg. pyroclastica).

In de vulkanologie kan men op drie manieren te werk gaan : beschrijvend, interpreterend of vanuit een menselijk, toegepast aspekt. Het laatste staat in verband met de voorspelling van erupties ; vermits de Karisimbi een uitgedoofde vulkaan is, komt dit aspekt niet ter sprake in deze studie.

Bij de aanvang van een vulkanologisch onderzoek wordt de klemtoon gelegd op de studie van luchtfoto's en op het terreinwerk. Hoewel het hier in de eerste plaats gaat om de waarneming en de beschrijving van verschijnselen en reliëfvormen kan men in dit stadium van het onderzoek reeds heel wat interpretaties maken omtrent de relatieve ligging van lavastromen en lagen pyroclastica, de volgorde en de aard van de erupties, de relatie met andere vulkanen e.d. Vervolgens worden de monsters die op het terrein genomen werden microscopisch onderzocht (slijpplaatjes), zodat een eerste onderscheid tussen de verschillende gesteentetypes kan gemaakt worden. Inderdaad, in het handstuk, d.i. een gesteentemonster van vrij bescheiden afmetingen, lijkt niets zo goed op een lava als een andere lava.

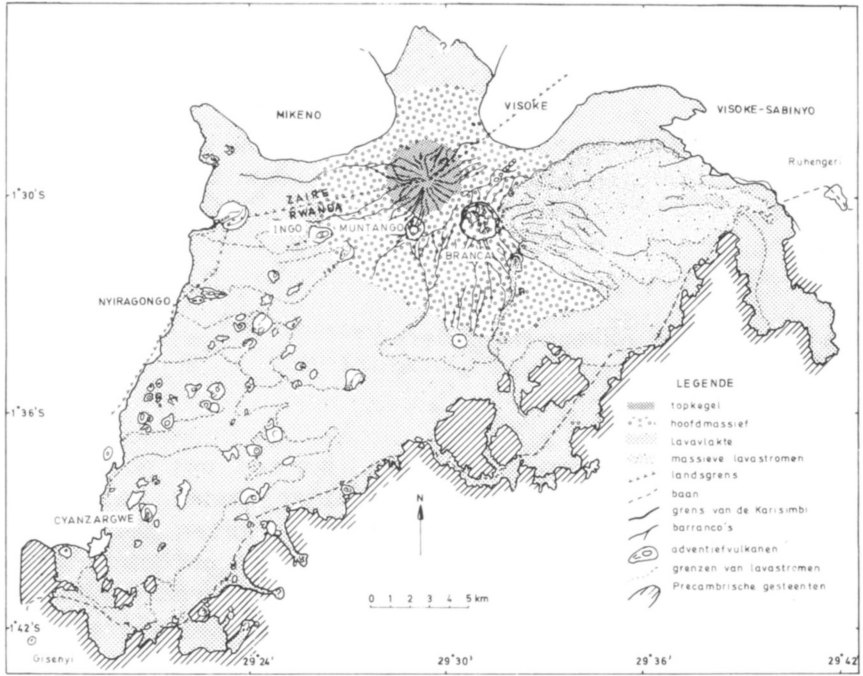


Fig. 3 - Grote morfologische eenheden van de Karisimbi

Op de meest representatieve gesteentetypes en op hun kenmerkende mineralen worden dan chemische totaalanalyses uitgevoerd. Hier komt men in de fase waarin de geoloog poogt de evolutie en de genese van de onderzochte gesteenten te verklaren (zgn. petrologie) en waarin de interpretatie vaak erg speculatief wordt. Het ultieme doel dat elke vulkanoloog-petroloog nastreeft, is het achterhalen van de evolutie en de oorsprong van het magma. Bepaalde technieken, zoals de studie van isotopenverhoudingen, kunnen hierbij een belangrijke hulp betekenen.

Morfologie, structuur en ontwikkelingsgeschiedenis van de Karisimbi

De Karisimbi is een zeer complexe vulkaan zodat men verschillende morfologische eenheden kan onderscheiden (fig.3).

Het hoofdmassief, dat begint vanaf 2600 m hoogte, omvat de steile topkegel, de "pit crater" Muntango, de caldera Branca en een eenheid van dikke, massieve lavastromen (fig. 4).

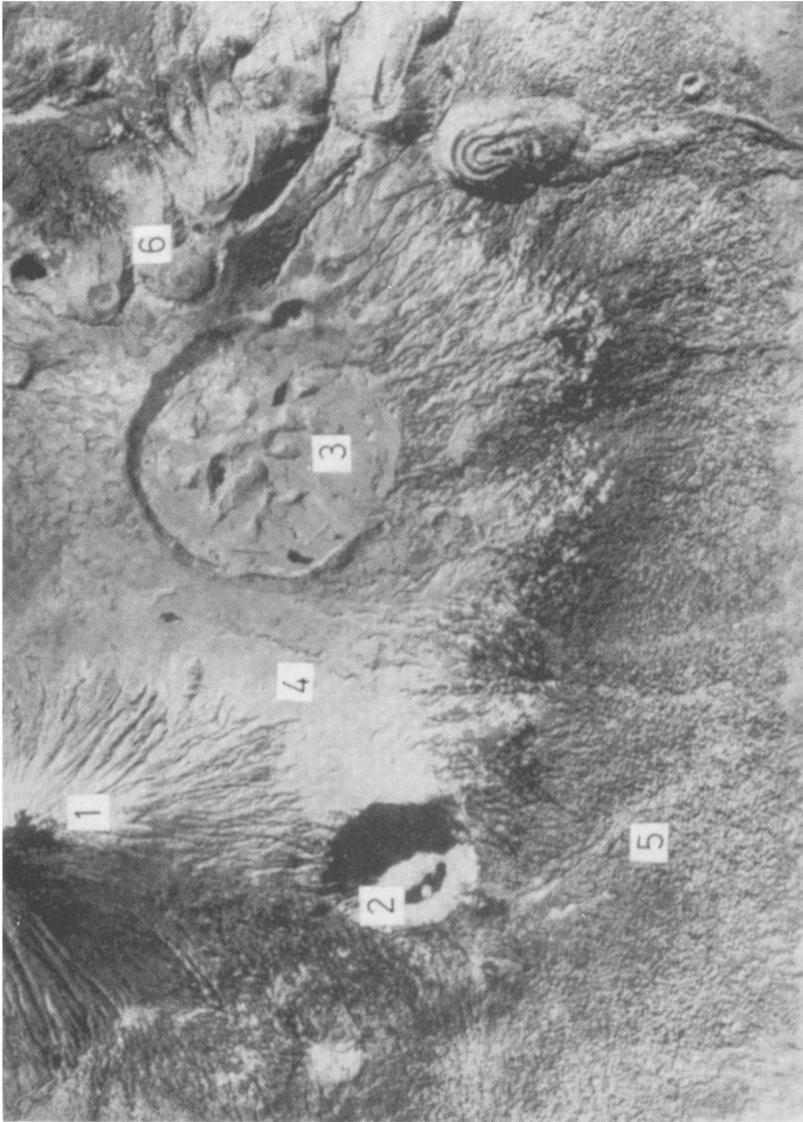


Fig. 4 - Belangrijkste morfologische eenheden van het
hoofdmassief (ongecontroleerde fotomozaïek)

1. topkegel
2. "pit crater" Mutango
3. caldera Branca (2 km diameter)
4. plateau
5. flank
6. dome-vormige adventiefvulkanen

Rond het hoofdmassief strekt zich de lavavlakte uit, waarin een honderdtal adventiefkegels verspreid liggen. De volgende figuren tonen doorsneden doorheen de Karisimbi (Ingo en Cyanzargwe zijn adventiefvulkanen).

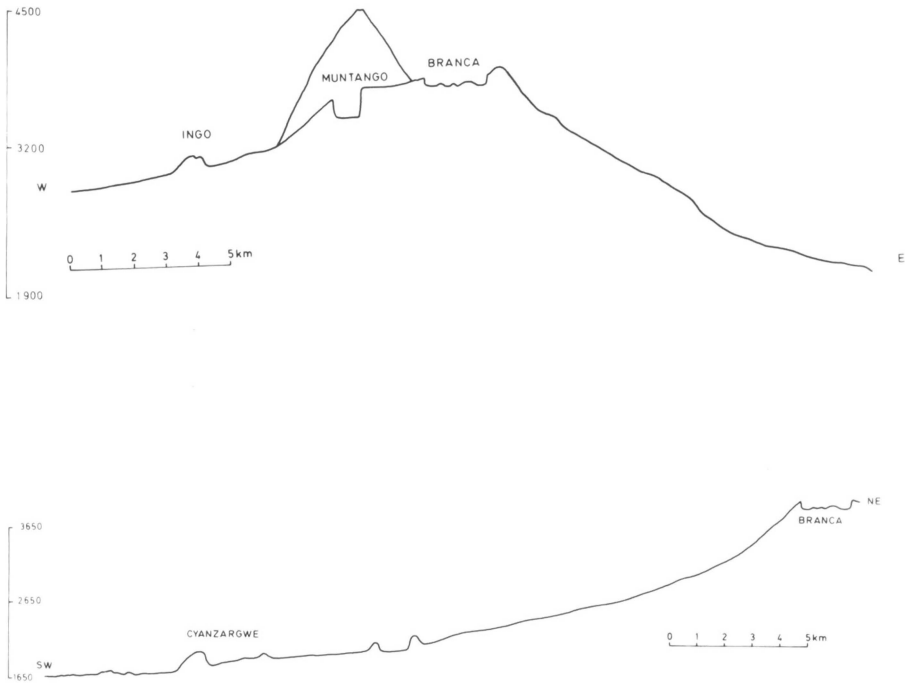


Fig. 5 - Profielen door de Karisimbi

De topkegel van de Karisimbi is een stratovulkaan, met name opgebouwd door een afwisseling van lagen lava en pyroclastica.



Fig. 6 - De topkegel

De "pit crater" is een 150 m diepe krater met nagenoeg verticale wanden en vlakke bodem, ontstaan door de instorting van een segment van het vulkaanoppervlak.



Fig. 7 - De "pit crater"

Ten zuidoosten van de topkegel situeert zich de 40 m diepe caldera, die zich van de "pit crater" onderscheidt door zijn veel grotere diameter en door de ejectie van heel wat pyroclastica.

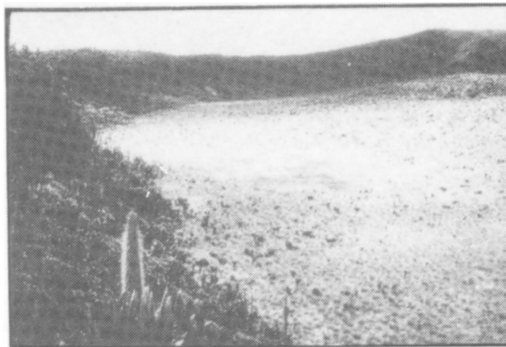


Fig. 8 - De calderawand en de vlakke calderabodem

De lavavlakte is opgebouwd door talrijke lavastromen die het resultaat zijn van de stolling van zeer dun vloeibare lava's. Het zijn dan ook typische pahoehoelava's - d.i. een Hawaiaanse term - gekenmerkt door een glad en/of gerimpeld oppervlak.

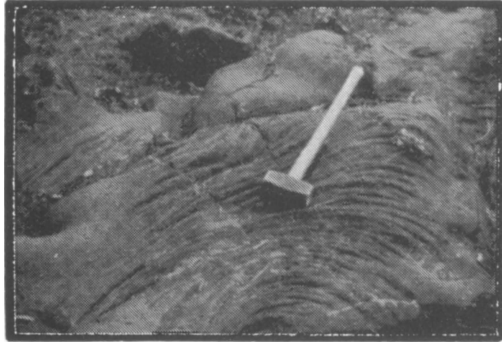


Fig. 9 - Touwlava op convexe lavaplaten, typerend voor de pahoehoelava's van de lavavlakte

De adventiefvulkanen zijn vaak gesitueerd op een eruptiespleet, ze zijn doorgaans opgebouwd door pyroclastica en in vele gevallen geassocieerd met korte lavastromen, zoals de Hehu, de grootste adventiefvulkaan van de Karisimbi. De spleet deelt de vulkaan middendoor en zet zich verder in een kraterrij.

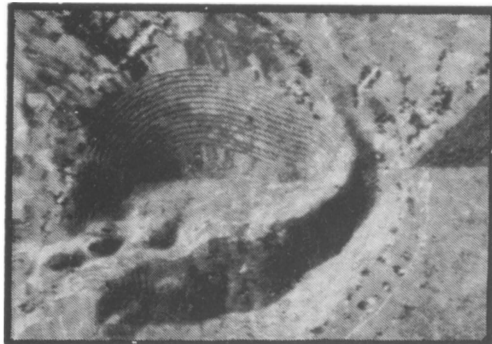


Fig. 10 - De Hehu |-----| 1km

De ontwikkelingsgeschiedenis van de Karisimbi kan als volgt samengevat worden. De primitieve vulkaan bestond hoofdzakelijk uit dunne, uitgestrekte lavastromen die thans een groot deel van de lavavlakte opbouwen. Door instorting van de top ontstond de "pit crater" Muntango (fig. 11a).

In een tweede faze ontwikkelde zich het calderamassief op de oostflank van de primitieve vulkaan en werd de caldera Branca gevormd. Dit ging gepaard met een aanzienlijke explosieve aktiviteit (fig. 11b en c).

Vervolgens ontstond de topkegel en greep de uitvloeijing van de massieve lavastromen op de oostflank plaats. Deze lavastromen zijn afkomstig van een zeer viskeus magma (fig. 11d).

De vorming van de adventiefvulkanen was een intermitterende faze.

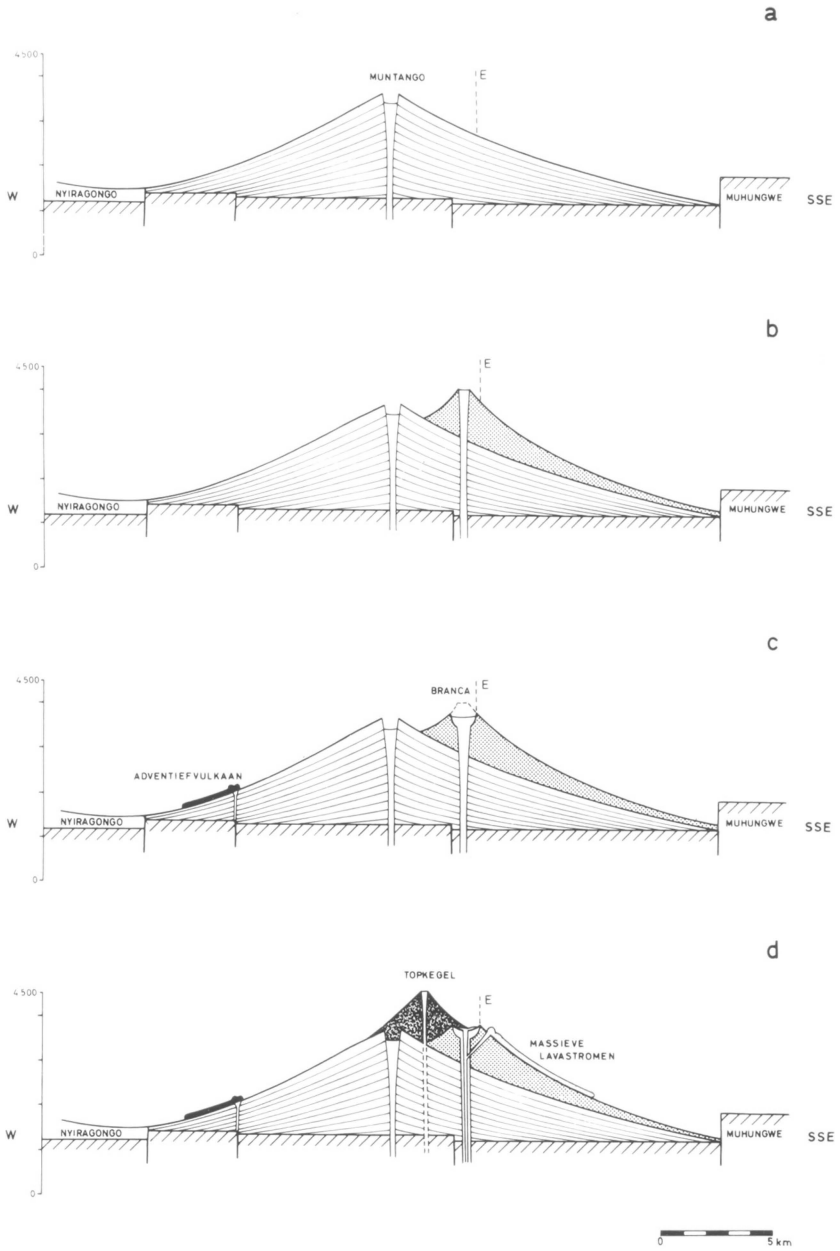


Fig. 11 - Ontwikkelingsgeschiedenis van de Karisimbi

Petrografie en -chemie

De petrografie houdt zich bezig met de beschrijving van de mineralen waaruit gesteenten zijn opgebouwd en dit aan de hand van microscopisch onderzoek van slijpplaatjes.

De volgende afbeelding toont een slijpplaatje van een Karisimbilava; grote kristallen, fenokristen genaamd, worden omringd door een fijnkorrelige grondmassa van donker glas en zeer kleine kristallen, zg. microlieten.

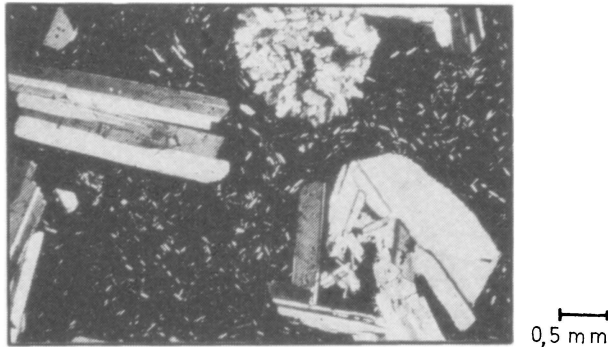


Fig. 12 - Slijpplaatje van de Karisimbilava

De petrografie van de Karisimbigesteenten is vrij eenvoudig : de meeste gesteenten bevatten de volgende essentiële mineralen : olivijn, titanomagnetiet, clinopyroxeen, plagioklaas en leuciet of alkaliveldspaat. De lava's sluiten eveneens xenolieten in ; dit zijn fragmenten van oudere gesteenten.

Om een onderscheid te maken tussen de verschillende vulkanische gesteentetypes gebruikt men echter meestal de chemische kenmerken van de gesteenten in plaats van de mineralogie, die sterk afhangt van de afkoelingsnelheid. Zo wordt de determinatie van vulkanische gesteenten op grond van hun mineralogie sterk bemoeilijkt of zelfs verhinderd

door de aanwezigheid van glas. Nochtans stelt ook een petrochemische indeling problemen. De Karisimbivulkanieten (vulkanische gesteenten) bevatten nl. vrij hoge gehalten aan alkali's ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) in verhouding tot het gehalte aan SiO_2 : ze behoren bijgevolg tot de zg. alkalische reeks. De nomenclatuur van dergelijke gesteenten is evenwel bijzonder complex en verwarrend. Blijkbaar hebben alle auteurs die ooit alkalische gesteenten bestudeerd hebben, hun eigen benamingen gebruikt zonder zich rekenschap te geven van de chaos die daaruit ontstaan is.

Tabel 1 is een illustratie van deze verwarrende en soms "barbaars" klinkende nomenclatuur. Voor de Karisimbi werd de naamgeving van POUCKET (1980) gebruikt ; deze vereenvoudigde indeling werd namelijk specifiek voor de vulkanieten van de westelijke Afrikaanse rifttak opgesteld. Het prefix K wijst er op dat de Karisimbigesteenten rijker zijn aan K_2O dan aan Na_2O .

Tabel 1. - De matig alkalische lava's van de Virunga : vergelijking tussen de oude nomenclatuur en de indeling van POUCLÉT

POUCLÉT (1980)	K-ankaratriet	K-basaniet	K-hawaïet	K-muqeariet	K-benmoreïet	K-trachiet
FINCKH (1912)	Limburgietische leucietbasaniet					
	Limburgiet	Leuciet- basaniet	Trachy- dolerietische leucietbasaniet (Basalt) Kiviet	Trachy- doleriet	Trachy- andesiet	Trachiet
LACROIX (1933)				Leuciethoudende shoshoniet		
HOLMES & HARWOOD (1932-1937)	Ugandiet	Murambiet Kiviet B tot Ugandiet	(Trachybasalt) Kiviet M	Absarokiet Shoshoniet	Banakiet	
TURNER & VERHOOGEN (1951)			K-rijke trachybasalt			
AMTUN (1961)			Kiviet M shoshonietische absarokiet K			
	Ugandiet + Murambiet			Shoshonietische absarokiet M Banakiet	Banakiet	Trachiet
DENVEYER <i>et al.</i> (1965)	Weldspaatloze leucietbasaniet	Kivitoïet	Shoshonietische absarokiet		Trachybasalt Trachydoleriet	K-rijke trachiet

De verspreiding van de verschillende gesteentetypes van de Karisimbi wordt weergegeven in fig. 13 (zelfde symbolen als in tabel 1).

De Karisimbigesteenten vormen een nagenoeg volledige differentiatiereeks. Dit betekent dat uit een bepaald oorsprongsmateriaal een variëteit aan gesteenten ontstaat, die zich van elkaar onderscheiden door een verschillende chemische samenstelling (en meestal eveneens een verschillende mineralogische samenstelling). De primitieve, meest basische termen van de reeks, m.a.w. de gesteenten die weinig SiO₂ bevatten, zijn de K-basanieten. Het SiO₂ gehalte neemt alsmaar toe in de reeks, en bereikt een maximumwaarde in de K-trachieten, de meest geëvolueerde lava's (tabel 2).

De differentiatie-index (DI) en de solidificatie-index (SI) duiden aan in welke mate de lava's gedifferentieerd zijn, d.i. gewijzigd in samenstelling.

Tabel 2. - Gemiddelde samenstelling van de verschillende gesteentetypes

	a			b			c			d			e		
	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	
SiO ₂ (%)	46,10	1,41	47,88	1,69	51,92	1,90	56,72	0,45	60,69	0,85					
TiO ₂	2,91	0,48	3,21	0,33	2,62	0,40	1,49	0,07	0,76	0,24					
Al ₂ O ₃	13,40	0,94	14,90	1,00	16,92	1,16	18,53	0,70	17,44	0,86					
Fe ₂ O ₃	3,13	1,18	3,45	2,11	3,04	1,26	4,29	1,21	2,31	0,83					
FeO	8,17	1,17	7,75	1,43	5,55	1,47	2,10	0,75	2,36	0,72					
MnO	0,21	0,04	0,20	0,04	0,15	0,03	0,14	0,02	0,12	0,01					
MgO	8,57	2,32	5,11	1,36	2,67	0,86	1,33	0,41	0,66	0,27					
CaO	10,34	0,73	8,54	1,30	6,47	0,48	4,43	0,27	1,99	0,42					
K ₂ O	2,94	0,51	3,81	0,54	4,68	0,29	5,49	0,09	6,83	0,43					
Na ₂ O	2,54	0,39	3,11	0,33	3,54	0,24	4,25	0,09	4,87	0,38					
P ₂ O ₅	0,60	0,13	0,68	0,11	0,70	0,09	0,32	0,25	0,16	0,08					
H ₂ O ⁺	0,60	0,25	0,77	0,43	0,79	0,26	0,34	0,20	1,15	1,39					
H ₂ O ⁻	0,20	0,13	0,24	0,44	0,09	0,12	0,13	0,12	0,39	0,58					
Totaal	99,71		99,65		99,14		99,56		99,73						
DI	33	3	45	5	57	3	73	8	83	3					
SI	34	7	22	5	13	3	8	2	4	1					

a = K-basanieten (gemiddelde van 16 analyses)

b = K-hawaïeten (gemiddelde van 21 analyses)

c = K-mugearieten (gemiddelde van 11 analyses)

d = K-benmoreïeten (gemiddelde van 3 analyses)

e = K-trachieten (gemiddelde van 7 analyses)

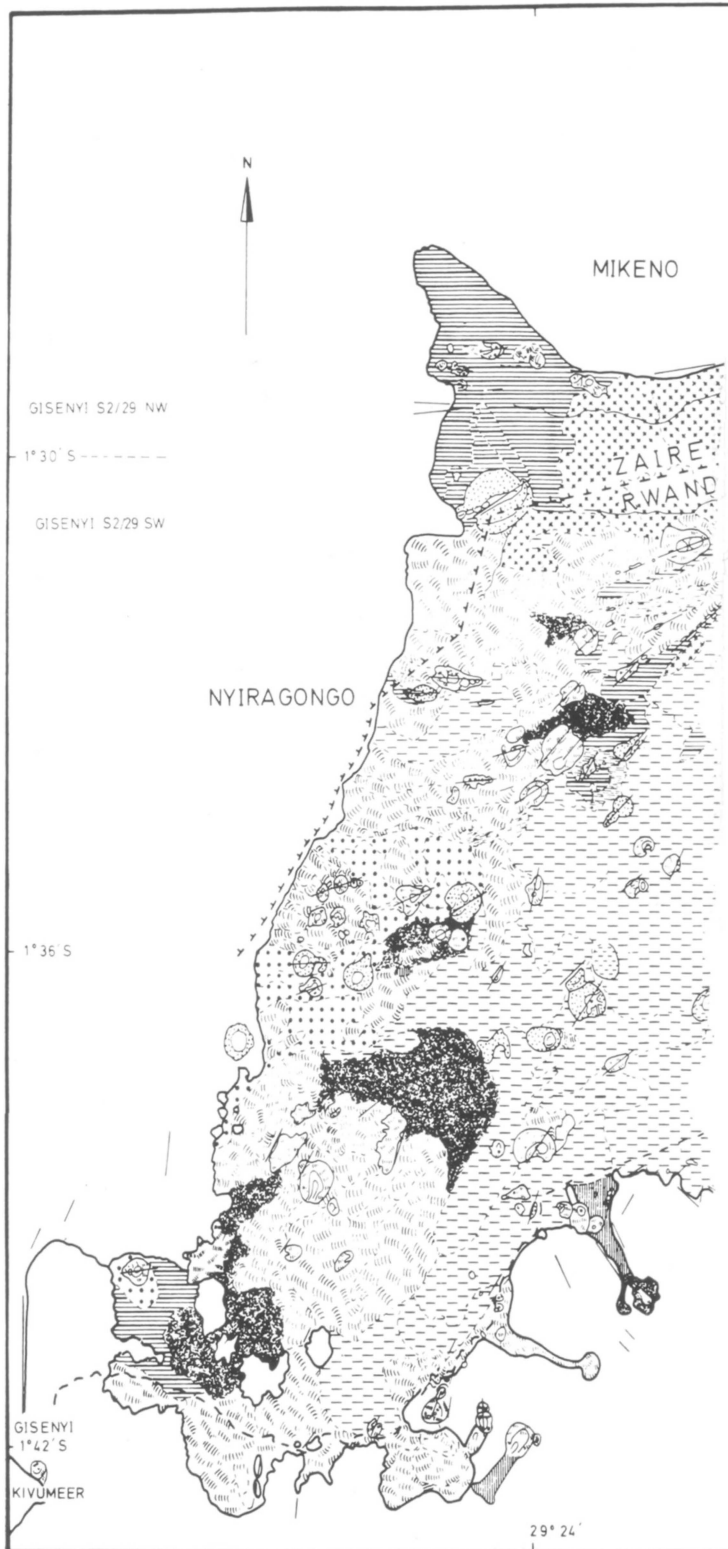
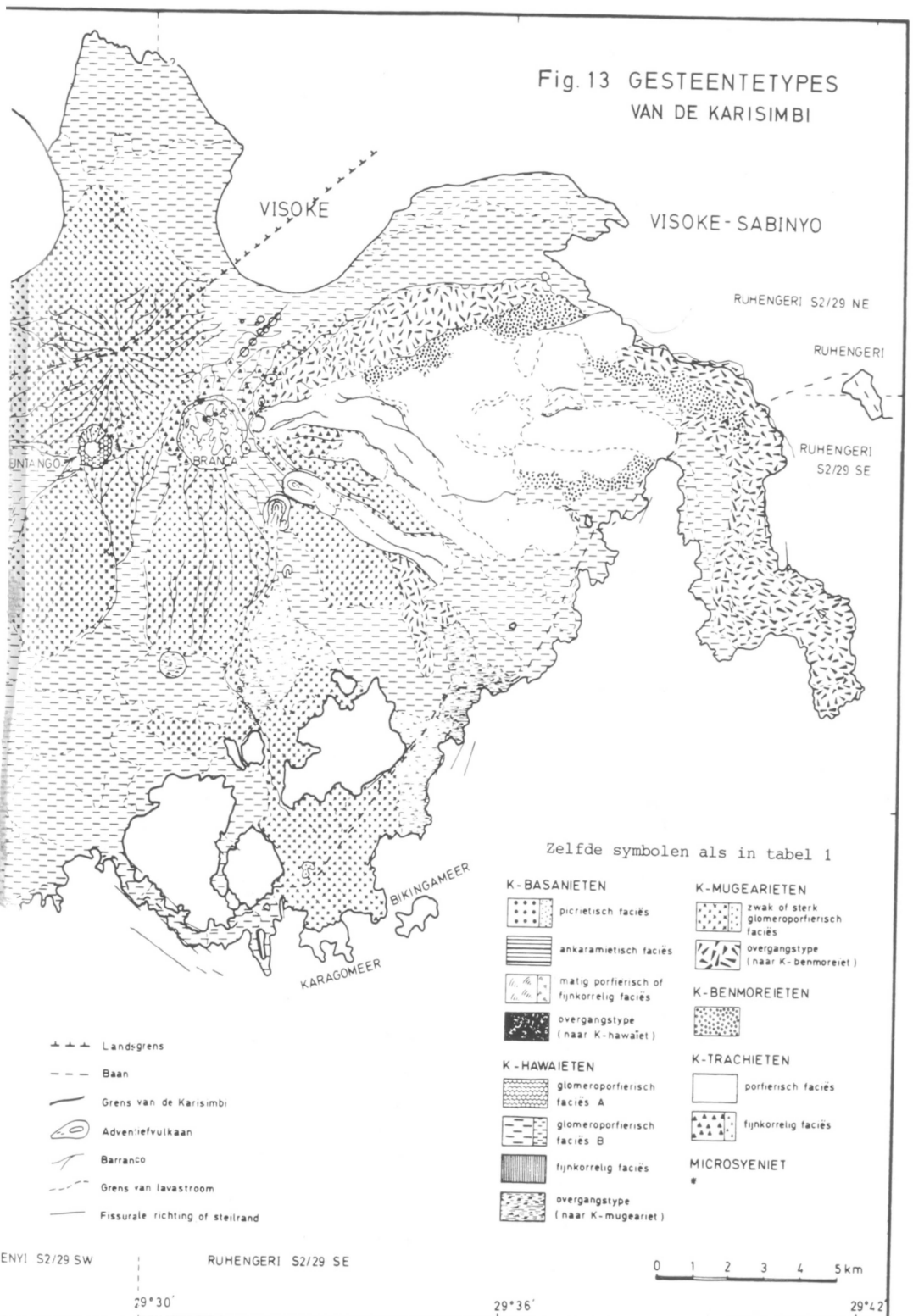


Fig. 13 GESTEENTYPES
VAN DE KARISIMBI



Oorsprong en evolutie van de magma's

Geofysische metingen tonen aan dat, met uitzondering van de buitenkern, de aarde uit vast materiaal bestaat. Bijgevolg moet elk magma afkomstig zijn van de opsmelting van een vast oorsprongsmateriaal. De opsmelting kan veroorzaakt worden door een plaatselijke temperatuuroename, door drukontlasting of door toevoeging van vluchtige bestanddelen zoals water, waardoor een smeltpuntverlaging optreedt. Het oorsprongsmateriaal zal echter zelden of nooit volledig opsmelten; men spreekt dan ook van partiële opsmelting. Indien de gevormde smelt snel naar het oppervlak kan stijgen, dan kan partiële opsmelting beschouwd worden als een differentiatieproces: de afgescheiden smelt en het residu hebben immers een andere chemische samenstelling dan het oorsprongsmateriaal.

In vele gevallen evenwel kan het magma geruime tijd in de diepte verblijven, zodat de stolling plaats grijpt over een groot temperatuurinterval. Dergelijke magma's bestaan dan uit een suspensie van vloeistof (en gassen) en kristallen die zich meer en meer ontwikkelen naarmate de temperatuur verder daalt. Elk mechanisme dat deze kristallen van de vloeistof scheidt, brengt een wijziging in de chemische samenstelling van de vloeistof teweeg. Dit proces noemt men gefractioneerde kristallisatie en uit talloze studies blijkt dat het zeer veelvuldig en op efficiënte wijze optreedt in de natuur.

Partiële opsmelting en gefractioneerde kristallisatie zijn processen die gewoonlijk gedefinieerd worden in een gesloten systeem waaraan dus geen vreemd materiaal wordt toegevoegd na de vorming van het magma. In een open systeem kan een interactie optreden tussen het magma en het nevangesteente. Als er voldoende tijd beschikbaar is brengt de reactie tussen de vaste stof en de vloeistof chemische wijzigingen teweeg. Dit proces van "opslokken" en "verteren" van nevangesteente staat gekend als contaminatie.

Petrologische evolutie van de Karisimbi

De genetische verwantschap tussen de Karisimbigesteenten komt duidelijk tot uiting in variatiediagrammen (fig. 14).

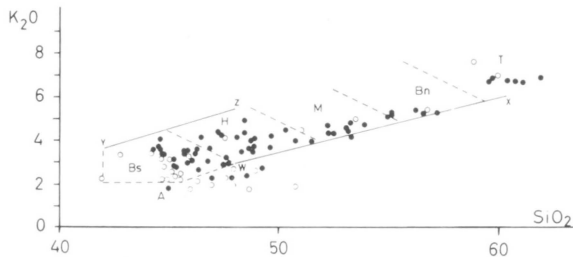


Fig. 14 - Het Harker diagram, waarin oxiden worden uitgezet ten opzichte van SiO_2 (gewicht%) is een van de oudste doch meest efficiënte wijzen om petrochemische gegevens voor te stellen, te klasseren en te interpreteren

In ideale gevallen kunnen dergelijke diagrammen de evolutie van de vloeistoffen die zich uit het oorsprongsmateriaal gevormd hebben, weergeven. Deze chemische evolutie is niet noodzakelijk rechtstreeks gebonden aan een tijdsfactor. De vroegst uitgevloede lava hoeft niet de meest primitieve lava te zijn. Het magma kan bijvoorbeeld gestockeerd worden in zogeheten magmakamers en daar verder differentiëren alvorens het oppervlak te bereiken.

Om de evolutie van een vulkanische reeks te reconstrueren maakt men niet alleen gebruik van de chemische eigenschappen, maar eveneens van de isotopische kenmerken van de gesteenten. Natuurlijke processen kunnen immers leiden tot variaties in de isotopische samenstelling van bepaalde elementen, bijvoorbeeld strontium (Sr) en

neodymium (Nd). Het belang van deze variaties bestaat erin dat ze niet gewijzigd worden door een zuiver chemische differentiatie in een gesloten systeem. Ze kunnen bijgevolg als "tracers" aangewend worden en belangrijke aanwijzingen geven in verband met de oorsprong en evolutie van magma's.

De chemische en isotopische samenstelling van de Karisimbigesteenten wijst op een oorsprongsmateriaal dat afkomstig is van de bovenmantel en gevormd werd bij een druk van gemiddeld 20 kb, wat overeenkomt met een diepte van ongeveer 70 km. In de meest eenvoudige benadering bestaat de aardbol uit de zeer dunne korst - ter hoogte van de westelijke Afrikaanse rifftak ongeveer 35 km dik - en de mantel die van de kern gescheiden wordt op 2900 km diepte. De term mantel is eigenlijk zeer ongelukkig gekozen, vermits hij zowat 83 % van het volume van de aarde uitmaakt. De bovenmantel wordt begrensd op +/- 700 km diepte ; dieper dan deze limiet werden nooit aardbevingshaarden aangetroffen.

Wanneer men enkel rekening houdt met de petrografie en -chemie kan de differentiatie van de Karisimbigesteenten grotendeels verklaard worden door gefractioneerde kristallisatie. Anderzijds wijzen variaties in de isotopische samenstelling van de Karisimbivulkanieten op contaminatie door materiaal van de korst. Vermoedelijk hebben beide processen gelijktijdig plaatsgegrepen.

Hoe oud is de Karisimbi ?

Deze vraag kunnen we enkel gedeeltelijk beantwoorden, vermits slechts radiometrische ouderdomsbepalingen werden uitgevoerd op lava's die zich aan het oppervlak van de vulkaan bevinden. De oudste lava's aan de basis van het vulkanisch complex zijn immers niet ontsloten.

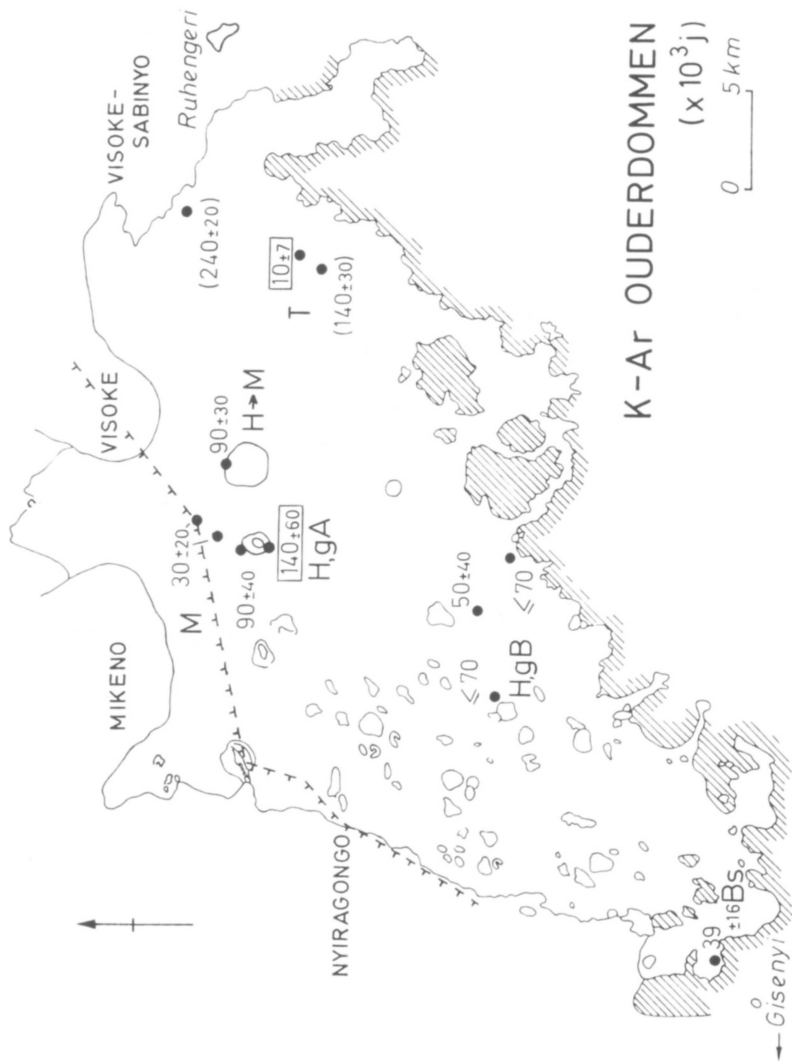


Fig. 15 - Verspreiding van de lava's waarop K-Ar dateringen uitgevoerd werden. (Zelfde symbolen als in tabel 1)

De gebruikte dateringsmethode steunt op het radioactief verval van het isotoop ^{40}K (kalium) tot ^{40}Ar (argon), een edelgas waarvan men momenteel zeer kleine concentraties met grote nauwkeurigheid kan meten. Sommige van de onderzochte lava's zijn zo recent, dat hun ouderdom met behulp van de K-Ar methode nog nauwelijks meetbaar is. De oudste lava's werden in de pit crater aangetroffen : 140.000 j. +/- 60.000 j. De ouderdom van de jongste lavastromen bedraagt 10.000 j. +/- 7.000 j. De verspreiding van de gedateerde monsters is aangeduid op fig. 15.

De kritische lezer zal bemerken dat de fouten op deze ouderdommen hoog tot zeer hoog zijn. Dit is onvermijdelijk bij deze geologisch zeer jonge gesteenten ; men raakt hier aan de uiterste limiet van de K-Ar methode.

BIBLIOGRAFIE

ANTUN, P. (1961) -- Niet gepubliceerde gegevens. Kon. Mus. Midden-Afrika, Tervuren, Dept.Geol. Min., Archieven.

ANTUN, P. & MAGNEE, L. (1971) -- Champ volcanique des Birunga. Institut Géographique Militaire de Belgique.

BAILEY, D.K. (1974) -- Continental rifting and Alkaline Magmatism. In : H. Sørensen, ed., The Alkaline Rocks, John Wiley & Sons, p. 148-159.

BELL, K. & POWELL, J.L. (1969) -- Strontium Isotopic Studies of Alkalic Rocks : The Potassium-rich Lavas of the Birunga and Toro-Ankole Regions, East and Central Equatorial Africa. J. Petrol., V. 10, p. 536-572.

BELLON, H. & POUCKET, A. (1980) -- Datations K-Ar de quelques laves du Rift-Ouest de l'Afrique Centrale ; implications sur l'évolution magmatique et structurale. Geol. Rundschau, 69, 1., p. 49-62.

- CARON, J.-P.H., KAMPUNZU, A.B., LUBALA, R.T., MIRUHO, K.B., MUSENGIE, M.K., VELLUTINI, P.J. & BROUSSE, R. (1982) - A propos de l'éruption adventive du Nyamulagira de janvier-février 1980 : nature de la lava du nouveau Gasenyi. *Ann. Soc. Geol. Belg.*, T. 105, p. 31-40.
- COX, K.G., BELL, J.D. & PANKHURST, R.J. (1979) - *The interpretation of igneous rocks.* George Allen & Unwin Ltd., London, 450 pp.
- DELHAYE, F. (1941) - Les volcans au Nord du Lac Kivu. *Bull. Inst. Roy. Col. Belge*, 12, 3, p. 409-425.
- DENAYER, M.-E. (1965) - Présentation de la feuille no. 1 de la carte volcanologique des Virunga au 1/50 000. *Bull. Soc. Belge Géol. Pal. Hydrol.*, 74, p. 257-265.
- DENAYER, M.-E. (1972) - Les laves du fossé tectonique de l'Afrique centrale (Kivu, Rwanda, Toro-Ankole).
I. Supplément au recueil d'analyses de 1965
II. Magmatologie
III. Magmatogenèse
Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, Ann. ser. IN-8, Sc. Geol., no 72, p. 1-134.
- DENAYER, M.-E., SCHELLINCK, F. & COPPEZ, A. (1965) - Recueil d'analyses des laves du fossé tectonique de l'Afrique Centrale. *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, Ann. ser. IN-8, Sc. Géol.*, no 49, p. 1-234.
- FAURE, G. (1977) - *Principles of isotope geology.* John Wiley & Sons, New York - Santa Barbara - London - Sidney - Toronto, 464 p.
- FINCKH, L. (1912) - Die jungvulkanischen Gesteine des Kivusee Gebietes. *Wiss. Ergebn. Deutsch Zentralafrika Exped. 1907-1908, Leipzig* 1 (1), 44 p.
- GUIBERT, P. (1978) - Contribution à l'étude du volcanisme de la chaîne des Virunga (Rep. du Zaïre). Le volcan Mikeno. *Thèse Doct. des sciences, Université de Genève*, 140 pp.

- HOLMES, A. & HARWOOD, F. (1932) - Petrology of the Volcanic Field of East and South-East Ruwenzori, Uganda. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 88, London, p. 370-442.
- HOLMES, A. & HARWOOD, F. (1937) - The petrology of the Volcanic Area of Bufumbira. *Geol. Surv. Uganda, Mem.* 3 (2), 300 pp.
- LACROIX, A. (1933) - Classification des roches éruptives. *Bull. Serv. Géol. Indochine*, 20 (3), p. 16-36 en p. 183-206.
- MACDONALD, G. (1972) - *Volcanoes*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, U.S.A., 510 pp.
- POUCLET, A. (1978) - Les communications entre les grands lacs de l'Afrique centrale - Implications sur la structure du Rift occidental. *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, Dépt. Géol. Min., Rapp. ann. 1977*, p. 145-155.
- POUCLET, A. (1980) - Contribution a la systématique des laves alcalines, les laves du rift de l'Afrique Centrale (Zaïre-Uganda). *Bull. Volc.*, T. 43, F. 3, p. 527-540.
- RITTMANN, A. (1963) - *Les volcans et leur activité*. Mason éd., Paris, 461 pp.
- SAHAMA, T.G. (1978) - The Nyiragongo main cone. *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren, Dépt. Géol. Min. Ann., sér. IN-8°, Sci. Géol.* no. 81, 87 pp.
- THONNARD, R.L.G., DENAYER, M.-E. & ANTUN, P. (1965) - Carte volcanologique des Virunga. Feuille no. 1 : Groupe occidental. Introduction générale et notice explicative. Centre National de Volcanologie (Belgique), publication no. 32, 14 pp.
- TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. (1951) - *Igneous and Metamorphic Petrology*. Mc Graw Hill Book Comp. Inc., New York - Toronto - London, 602 pp.



"Frankly, I don't take much stock in this business of the gods being angry. The way I got it doped out is that at great depths the heat caused by the enormous pressure of the earth's crust melts the stone and turns some of it into gases. See? Then you got down there a vapor tension strong enough to blow the whole works to the surface, providing, of course, a channel of weakness opens up for it."