



A la découverte des Virunga janvier 2012

Pierre Fort

A la découverte des Virunga

Remerciements...

- Ramananda Chakrabarti (Rochester U.)
- Mathieu Yalire (O.V.G.)
- Michel Detay (L.A.V.E)
- Yves Peysson (Comité Scientifique CAF)
- Les gardes du Virunga National Park
- L'équipe de Mapendano Voyages
- Les autres participants (ambiance voyage réussie!)

A la découverte des volcans du Virunga

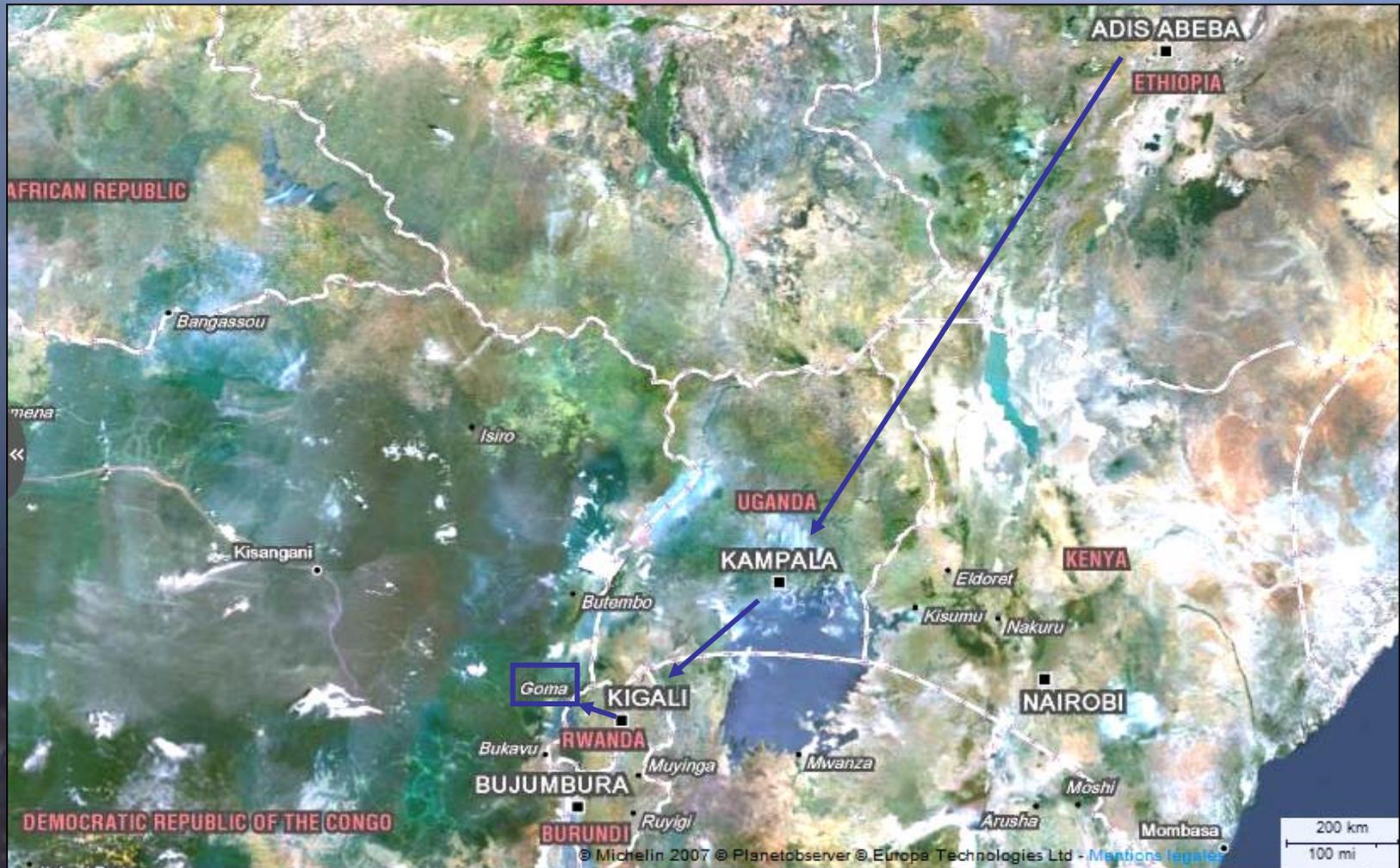
- Le voyage
- La géologie
- Le Nyiragongo
- Le Nyamulagira et son éruption
- L'Observatoire Volcanologique de Goma
- La flore, la faune et les hommes...

Le voyage - organisation

- **Organisé** par l'agence Aventure & Volcans
- **Groupe** de 7 franco-suisses
- **Accompagnement** :
 - Mapendano (agence locale)
 - OVG (observatoire volcanologique de Goma)
- **Visites** du Nyiragongo et du parc des gorilles de Bukima
- **Visite** Nyamulagira rendue possible depuis l'éruption de novembre 2011



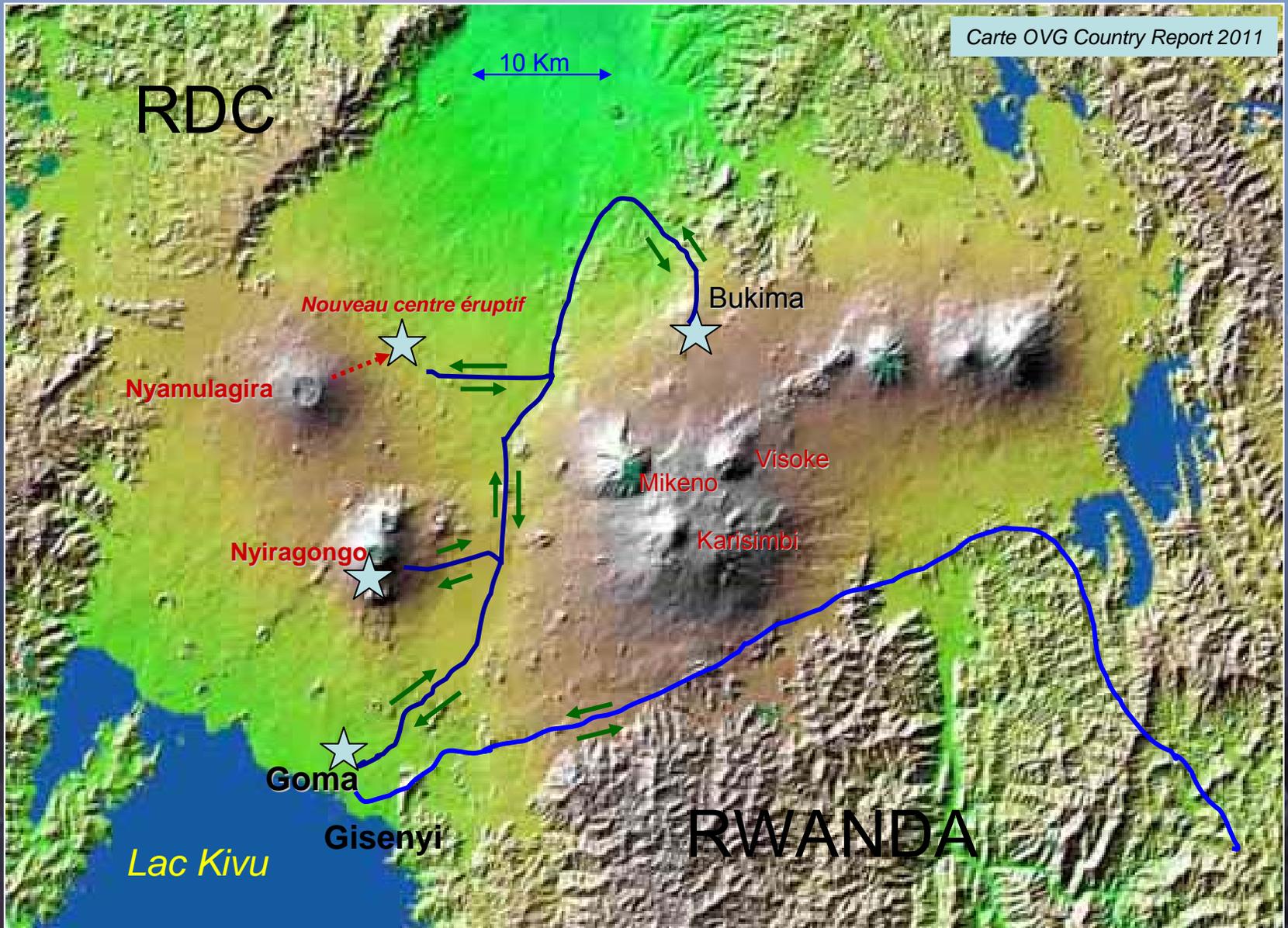
Le voyage – itinéraire d'arrivée



A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort

Les itinéraires de randonnée

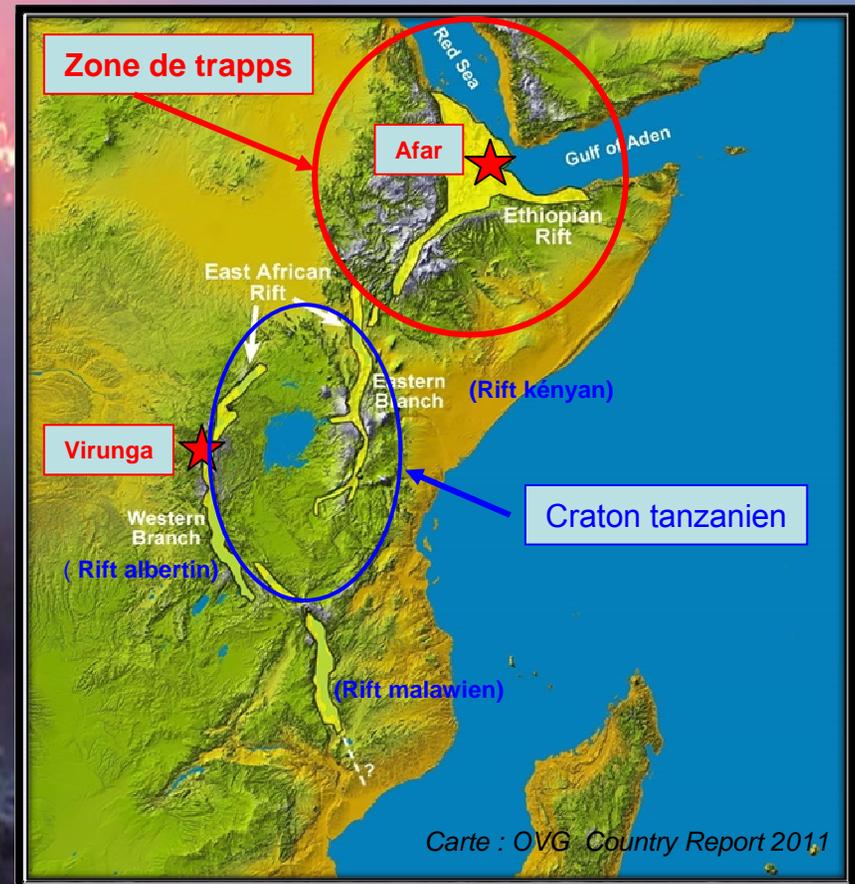
Carte OVG Country Report 2011



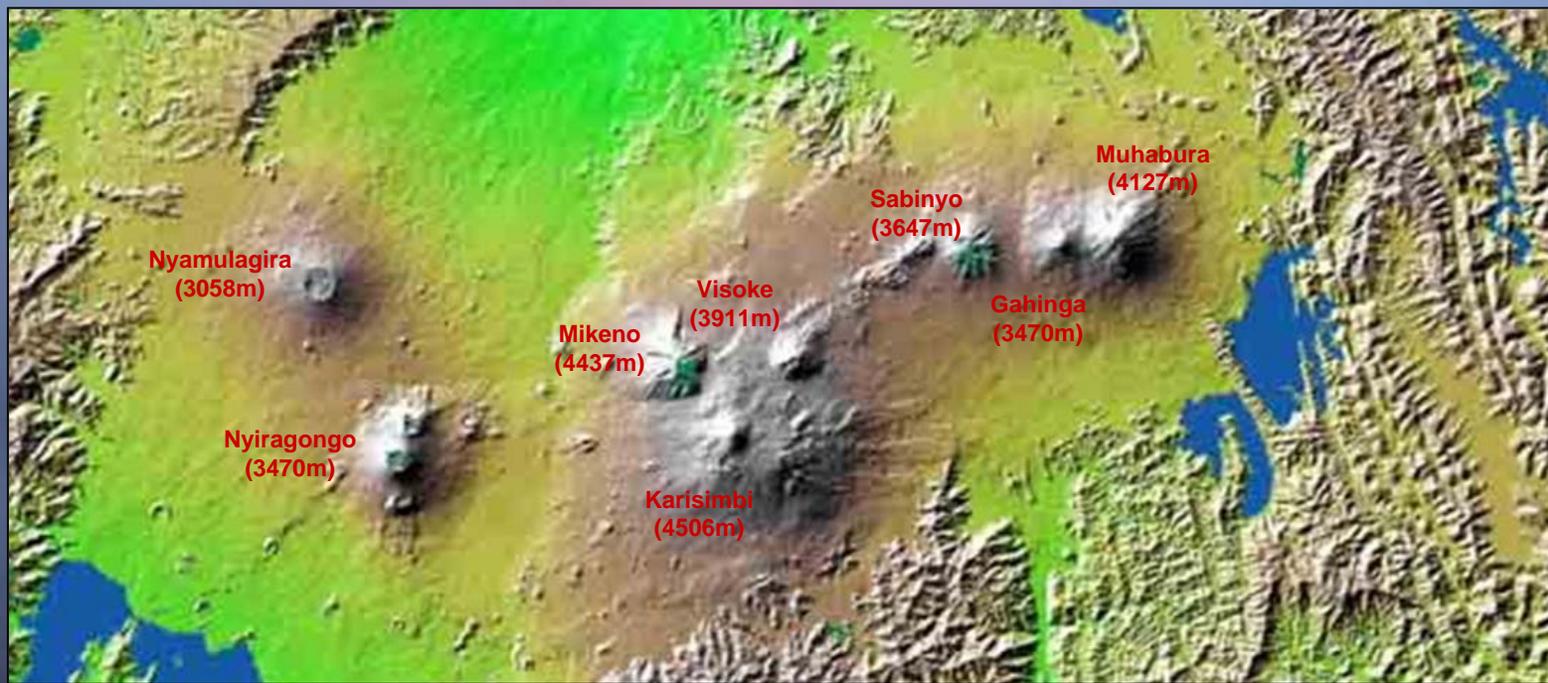
A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort

Géologie : le rift est-africain

- 45 Ma: rift EA (Est Africain)
- 30 Ma: point chaud de l'Afar
- Division du rift au sud en 2 branches (point chaud sous le craton tanzanien ?) :
 - rift occidental (albertin)
 - rift oriental (kenyan)
- 11 Ma: volcans Virunga dans rift albertin



La formation des Virunga



- Volcanisme apparu vers 11Ma
- Chaîne de 8 volcans orientés E/O le long d'une faille transformante coupant le rift albertin
- 2 en activité chronique (Nyiragongo et Nyamulagira), âge 15000 ans
- Mikeno peu actif (éruption en 1958), les autres «éteints»

La chaîne des Virunga

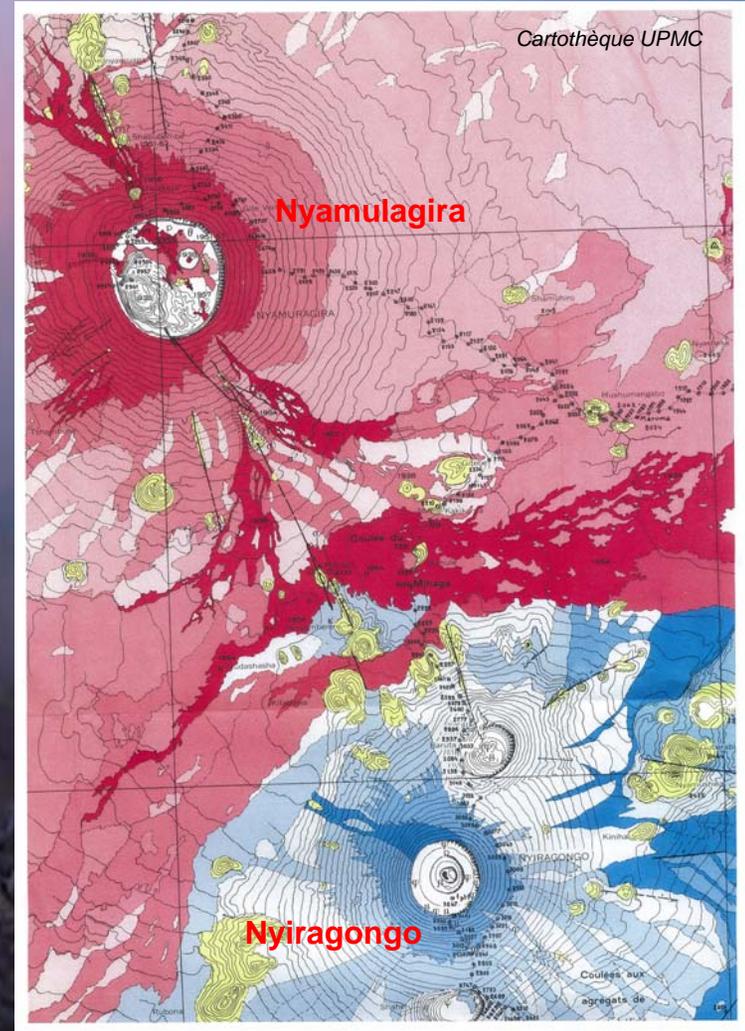


Vue sur les Virunga partie Est
depuis la mesa du Nyamulagira

Photo P Fort 2012

Les laves du Nyiragongo et du Nyamulagira

- Fusion partielle profonde, de faible degré, source mantellique à carbonates et F phlogopites
- Laves alcalines, sous-saturées, très fluides, CaO élevé
- Nyamulagira
45% SiO₂ , 3% (Na₂O + K₂O)
(valeurs moyennes)
basanites, tephrites
- Nyiragongo
37% SiO₂, 12% (Na₂O + K₂O)
(valeurs moyennes)
foïdites : leucitites, néphélinites
émissions intenses CO₂ et F₂



Les laves du Nyiragongo et du Nyamulagira (éruption 2002)

Composition des laves (%)

Laves 2002	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO
Nyiragongo 2002	38.7	15.4	5.8	5.5	12.1
Nyamulagira 2002	45.2	9.8	1.5	1.6	13.0

Sources :

- Laves : R. Chakrabarti,
Earth & Planetary Science Letters 288 (2009)
- Gaz : Mesures Sawyer GM et al., 2008
Country report OVG 2011

Les laves et les gaz du Nyiragongo

	Composition des laves (%)				Débit des gaz en T / jour			mg / lt
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	F ⁻
Laves 2002								
moyenne	38.7	15.4	5.8	5.5	11700	9300	2700	8 mg/l (norme santé= 1.4 mg/l)
fourchette	36.6 39.5	14.2 19.9	5.5 6.0	5.1 5.7	2000 23000	2000 23000		

Laves plus anciennes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
moyenne	40.4	14.0	4.3	4.0
fourchette	39.2 45.2	10.6 16.3	2.1 5.7	2.4 5.4

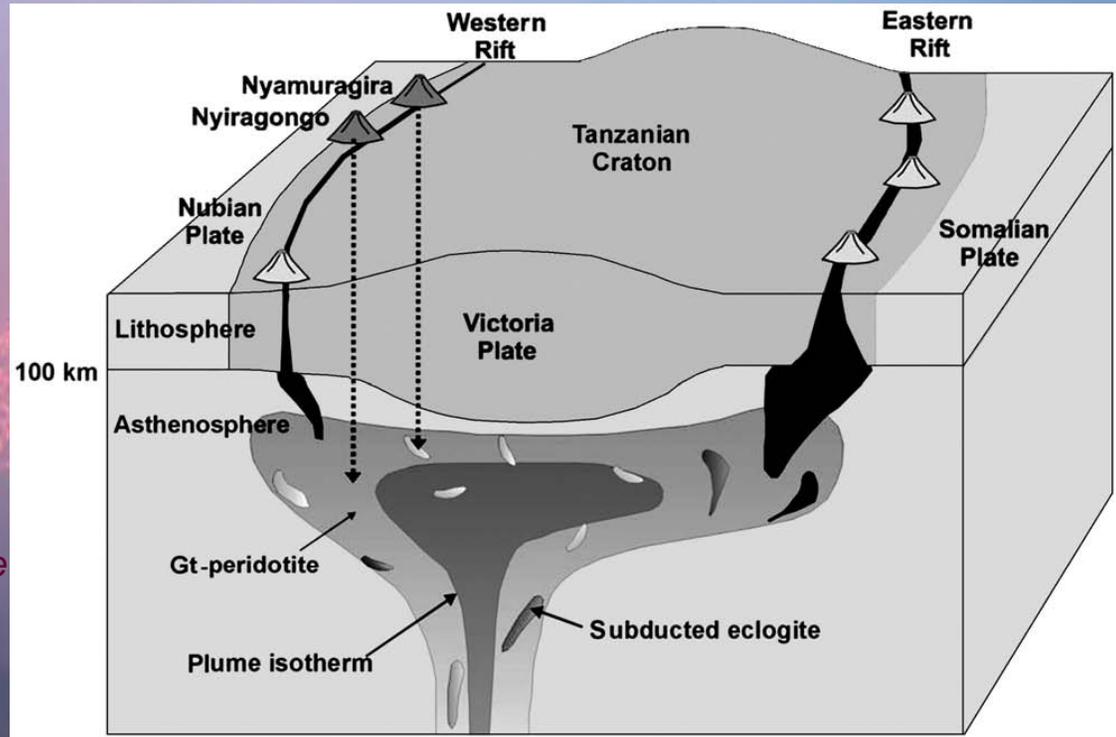
Sources :

- Laves : R. Chakrabarti, *Earth & Planetary Science Letters* 288 (2009)
- Gaz : Mesures Sawyer GM et al., 2008
Country report OVG 2011

Genèse des Virunga

modèle proposé
par R. Chakrabarti

(*Chemical Geology* 259 (2009) :
*Isotopic and geochemical evidence for a
heterogeneous mantle plume origin of the
Virunga volcanics*)

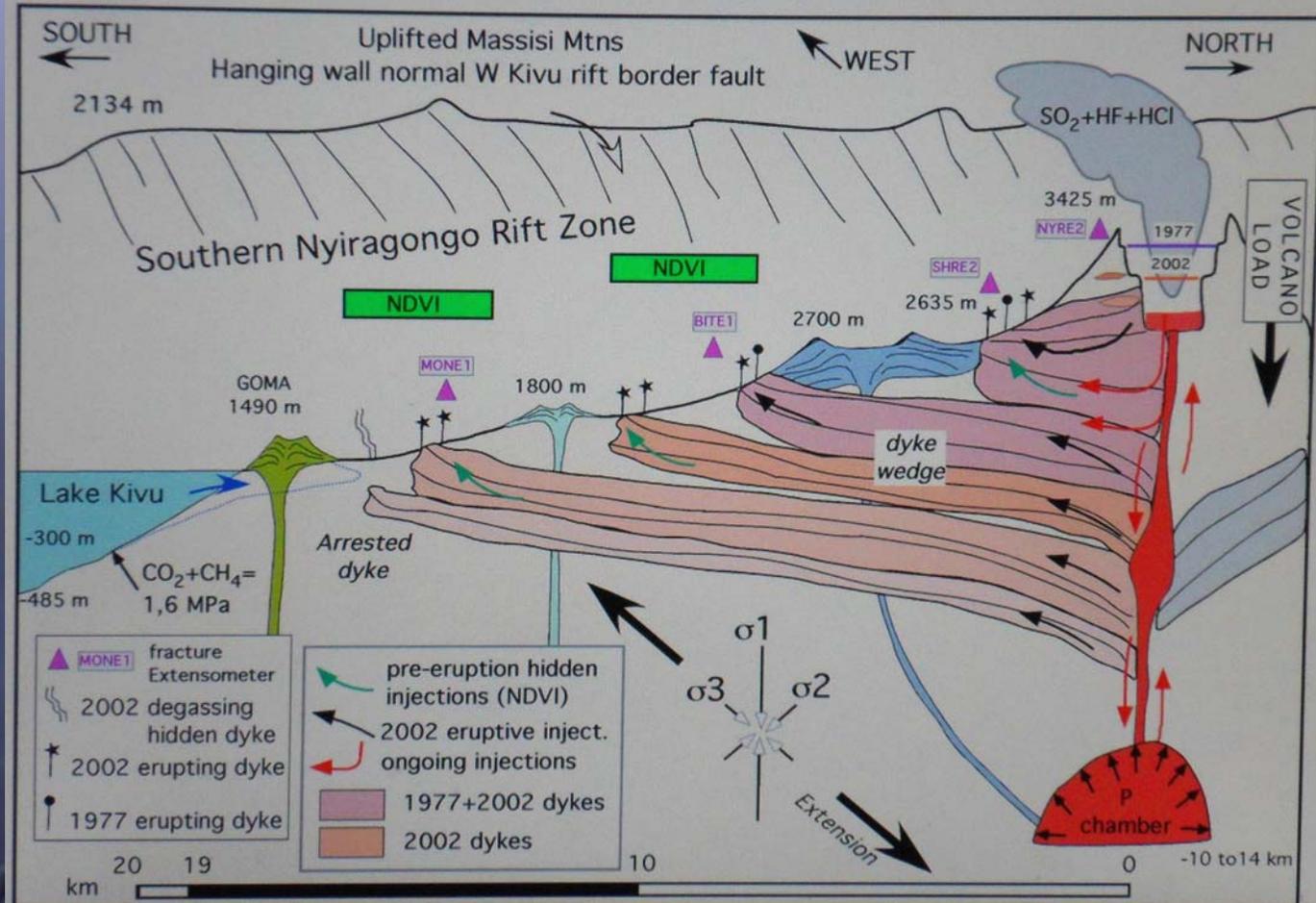


- Point chaud sous le craton tanzanien à 700 Km profondeur (base manteau supérieur)
- Degré de fusion partielle plus faible dans la branche ouest du rift, d'où le caractère alcalin prononcé des laves des Virunga
- Panache mantellique hétérogène selon la profondeur
- Alimentation, à partir de sources de profondeur distincte, du Nyiragongo et du Nyamulagira, seulement distants de 10 Km en surface
- Laves de type OIB (Ocean Island Basalts)
- Croûte océanique datant de l'Archéen subductée sous le craton tanzanien
- Caractère spécifique du Nyiragongo en raison de sa source mantellique riche en carbonates et en F Phlogopites

Une caractéristique du Nyiragongo : beaucoup de CO₂ mais pas de carbonatites

- Le Nyiragongo dégage 10 fois plus de CO₂ que les volcans de type MORB (dorsale médioocéanique)
- Teneur normative élevée en carbonates CaCO₃ (6 à 12%)
- La source mantellique aurait été affectée par un fluide métasomatique riche en carbonates, préalablement à la fusion partielle, d'origine profonde (>700 Km)
- Le caractère sous-saturé des laves et leur caractère alcalin sodique peut s'expliquer par l'environnement oxydant du CO₂
- Le flux intense continu de CO₂ expliquerait que les carbonatites n'ont pu s'exprimer, à la différence de celles du Lengai (rift kenyan)
- Indice intéressant : des minéraux stratégiques sont souvent présents dans les auréoles de métamorphisation des carbonatites. Or il y a des gisements de coltan (Niobium-Tantale) dans la région...

Modèle de Dykes au volcan Nyiragongo



Modèle
magmatique
de l'OVG

(établi avec
l'assistance
de l'IPGP)

Echantillons de lave (1)



Photo P Fort 2012

Leucitite, Nyiragongo

Echantillons de lave (2)



Coulée récente, Nyamulagira



Leucitite (albanite?), Mikeno



leucite

pyroxène



Inclusion leucitite dans coulée 2002, Nyiragongo

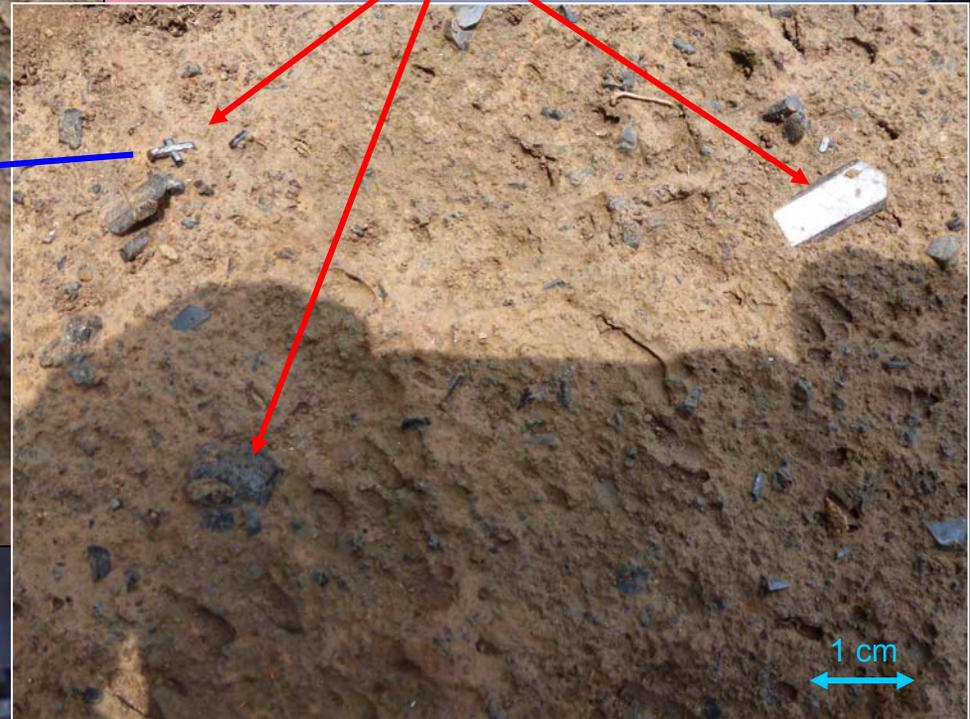
Photos P Fort 2012

Echantillons de lave (3)

Photos P Fort 2012



Pyroxène (augite?)



- lave arénisée au pied du Mikeno
- probablement, basanite à phénocristaux d'augite

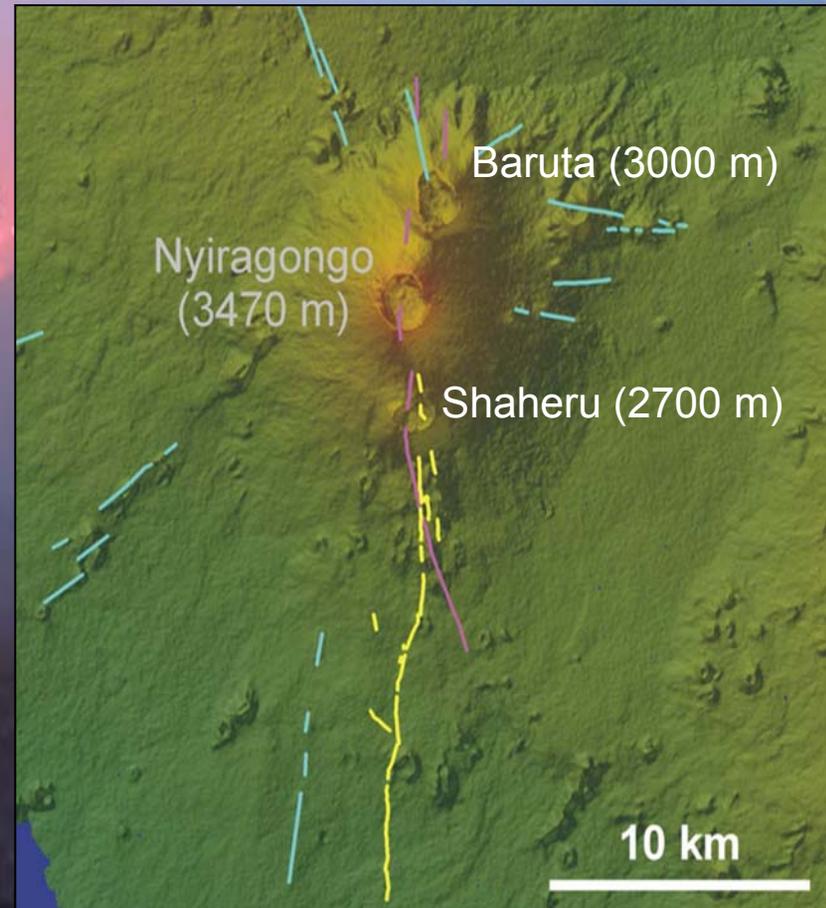
Photo P. Fort 2012

le Nyiragongo

depuis le N-E, vue du Nyiragongo et du Baruta (cône adventif nord)

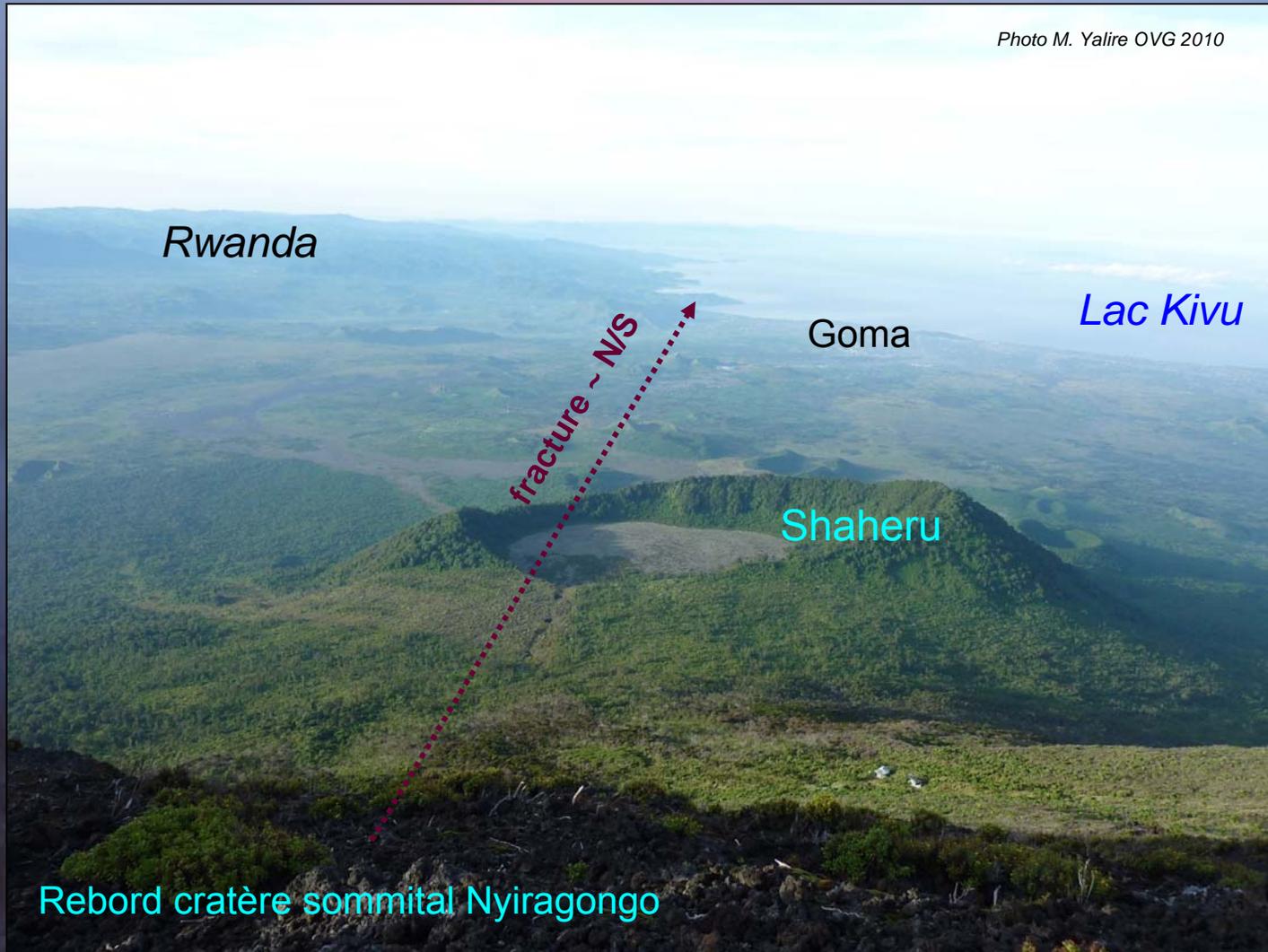
le Nyiragongo en résumé

- Découvert fin XIXe par G.A. von Götzen
- A 18 Km au NE de Goma
- Stratovolcan âge 15000 ans
- Cones adventifs nombreux (éruptions fissurales)
- Altitude 3470 m
- Cratère sommital Ø 1.3/1.5 Km
- Lac de lave “permanent” niveau ~ 3050 m, Ø 200 / 220 m



Carte OVG Country report 2011

Nyiragongo- le cône adventif de Shaheru (2700 m)



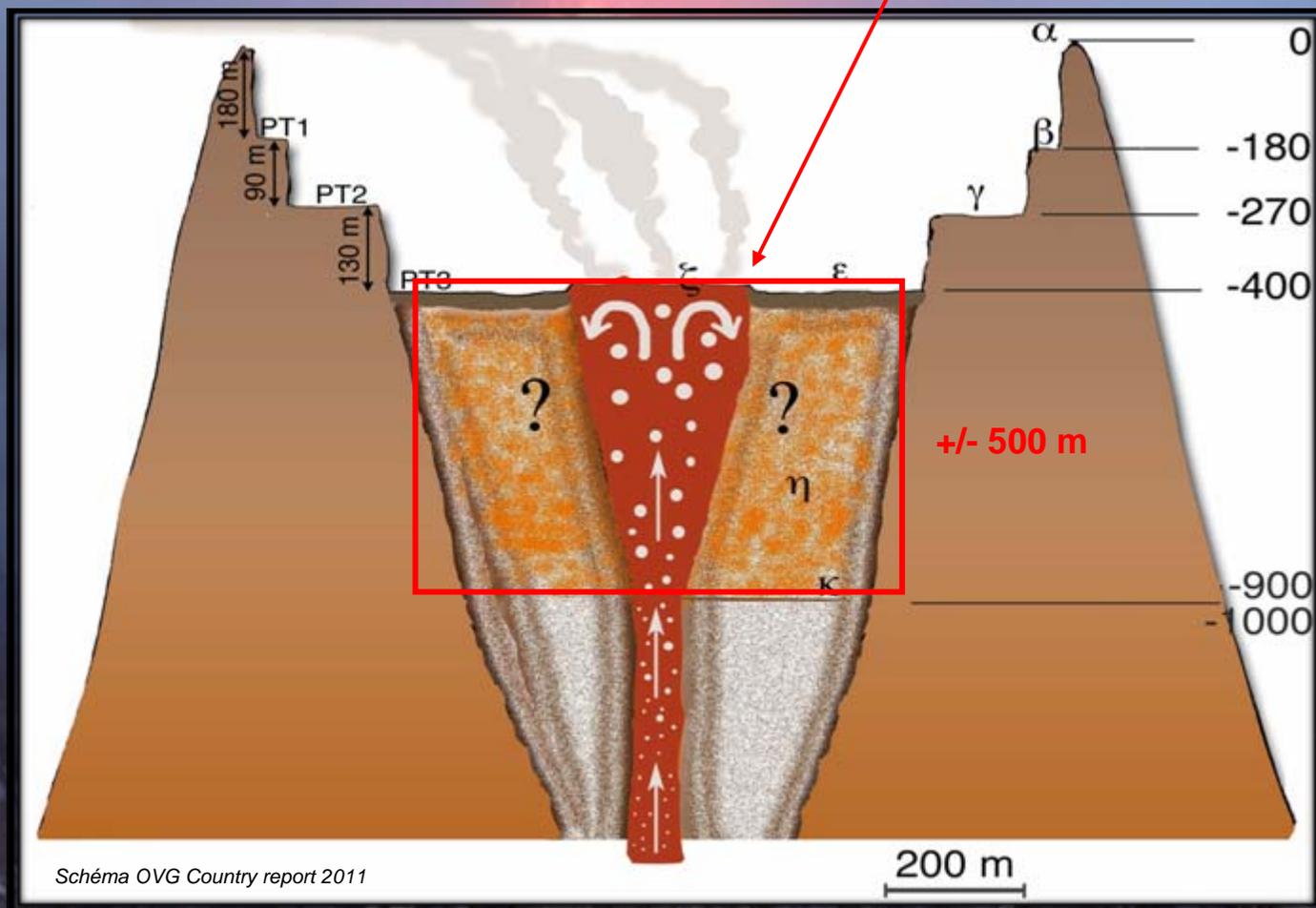
Nyiragongo - coulée de lave 2002



Empreinte fossile d'un tronc

Nyiragongo – l'intérieur du cratère

Volume de lave dans le volcan $\sim 50 \times 10^6 \text{ m}^3$

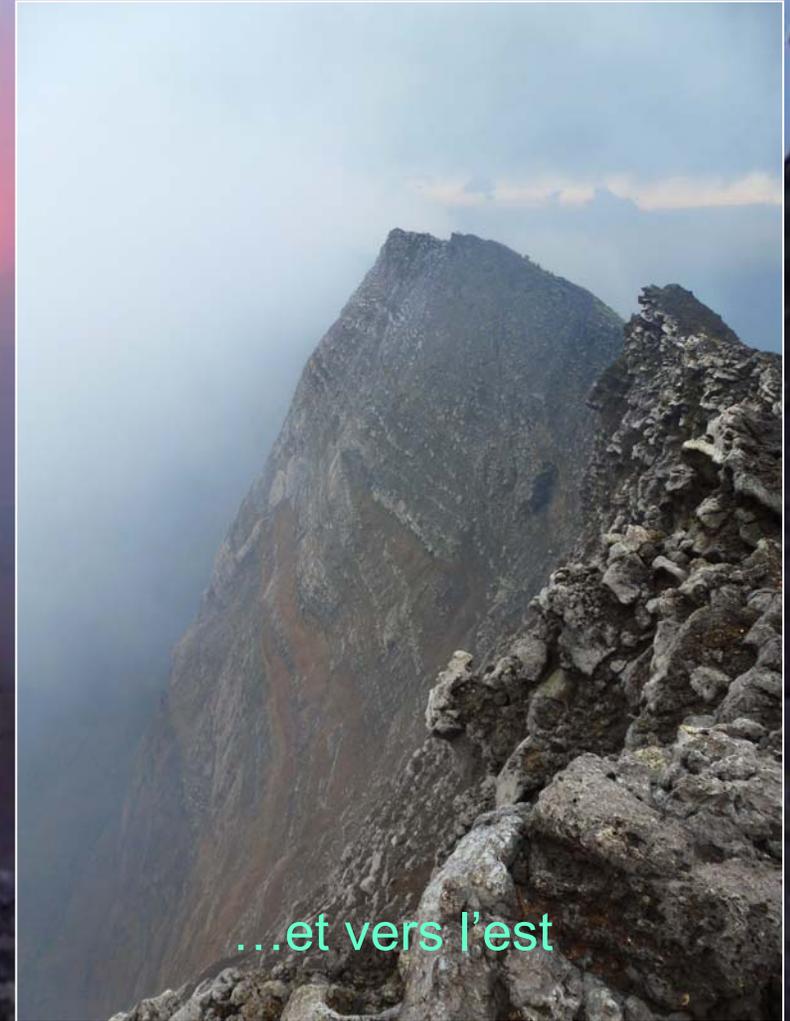


Nyiragongo – le cratère de profil ... (1)

Photos P Fort 2012



Le cratère vers l'ouest...



...et vers l'est

Nyiragongo – le cratère en profondeur



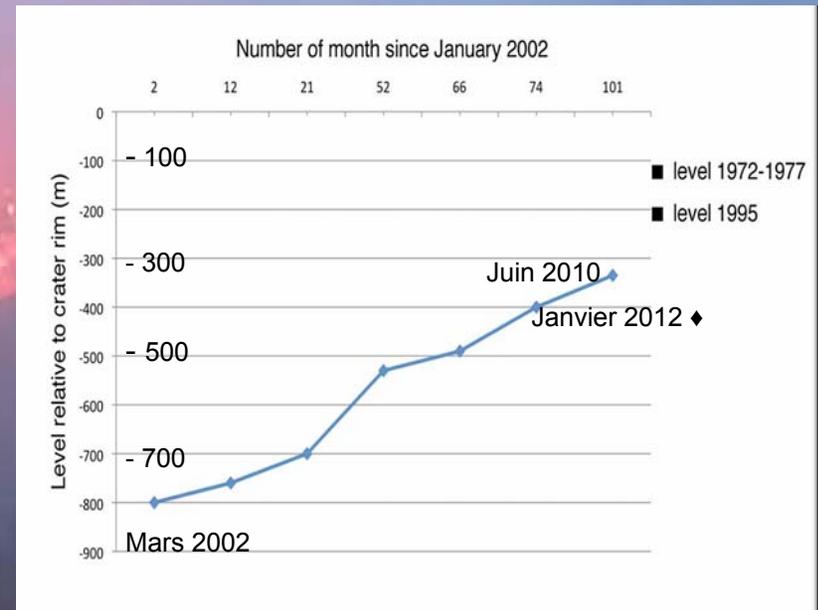
Photo P Fort 2012

Aperçu en plongée depuis le bord du cratère sur les trois terrasses et le lac (450 m plus bas)

A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort

Nyiragongo – le niveau du lac de lave

- Variations importantes en 40 ans : -800 m à -100 m
- Longue période : montées continues puis effondrements lors des éruptions majeures qui purgent le lac
- Courte période : fluctuations verticales cycliques (plusieurs dizaines de m) : montée du magma sous la poussée des gaz puis plongée du magma de surface devenu plus dense après dégazage
- Niveau janvier 2012 : - 440m



Le lac du Nyiragongo – un moteur thermique puissant



- Laves chaudes 900 à 1000 ° C, diamètre lac 200 m
- Loi de Stefan-Boltzmann : puissance rayonnée d'un corps noir
- $P \text{ (W/m}^2\text{)} = 5,67 \times 10^{-8} \times T^4$ (température en ° K)
- 4,5 à 6 GW dégagés par rayonnement = 5 tranches de centrales thermiques...

Nyiragongo – spectacle mythique...

Embrassement périphérique du lac...

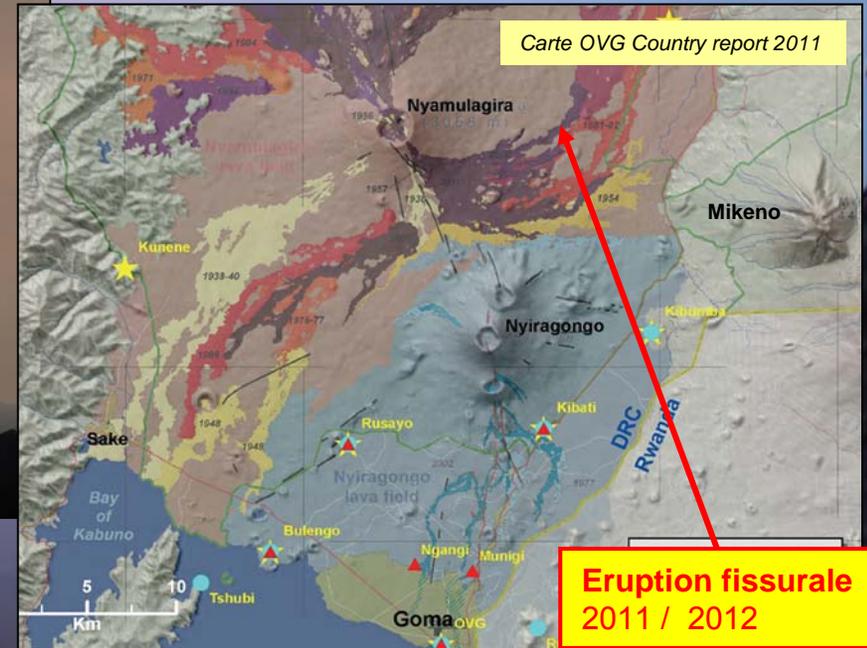


Photos P. Fort 2012

...et fontaines au centre...



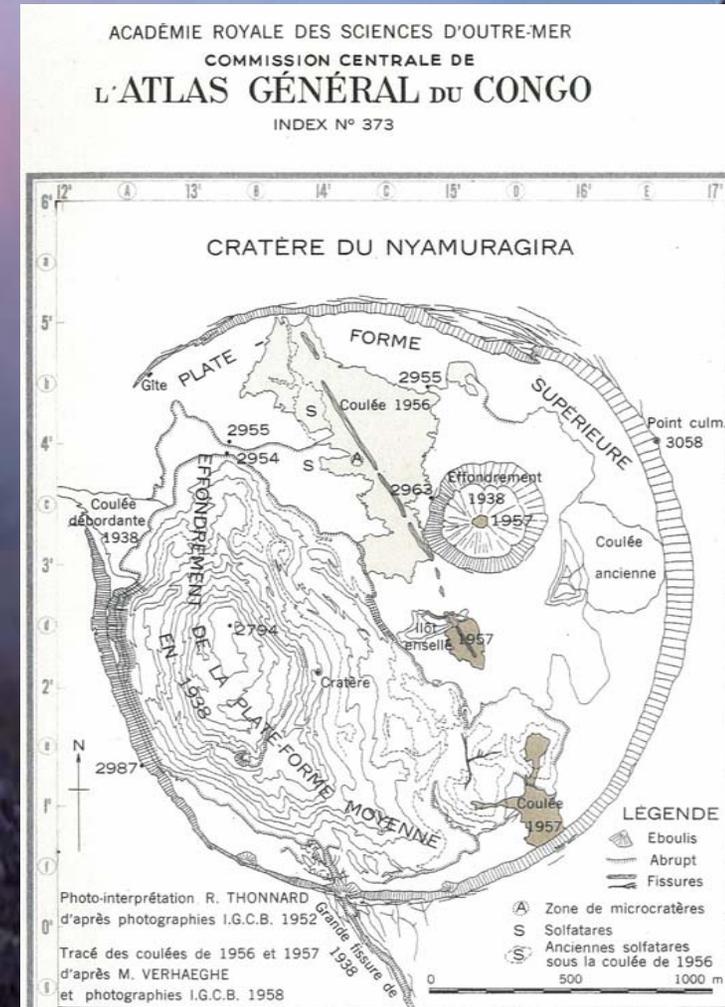
Le Nyamulagira



- Volcan bouclier, âge comparable au Nyiragongo (?)
- Pointe ouest des Virunga, à 15 Km (NW) du Nyiragongo
- Altitude 3058 m, caldera ellipsoïdale $\emptyset \sim 2.0 / 2.5$ Km

Nyamulagira –activité éruptive

- Volcan le plus actif d'Afrique
45 éruptions depuis 1885
- Indice explosivité modéré (VEI 1 à 2) mais coulées destructrices, jusqu'au lac Kivu (tsunami en 1912...)
- Alternance de lacs de lave actifs, dernier connu en 2004
- Eruptions fréquentes dans la caldeira, plus rares sur les flancs (fissurales)



Source : R. Matabosch, 28-4-2012

Les laves du Nyamulagira



Photos P. Fort 2012



Photo A. Minard 2012



...lave « bulleuse »...

Différents types de coulée

Nyamulagira- l'éruption de 2011 / 2012

- La plus importante depuis un siècle !
- Ouverture d'une fissure d'1Km le 6/11/11
- Event central puis fissure radiale
- Deux cônes éruptifs successifs
- Arrêt activité le 25/01/12
- Activité sismique intense depuis le 24/02/12
- Depuis avril 2012, cylindre creux en formation au centre de la caldeira : annonce du prochain lac ?



Photo P. Fort 2012

Bravo à l'agence pour avoir programmé le voyage dans le bon créneau !...

Nyamulagira : en route vers l'éruption

Photo P Fort 2012



- Attente confuse avant le départ
- Silhouette du Mikeno sur fond d'orage

A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort

Nyamulagira : le panache...

- Parcours de 3 heures sur terrain accidenté autour de 2300m
- A mi chemin, le panache de l'éruption transperce les masses orageuses



Photo P Fort 2012

Nyamulagira, arrivée au camp...



Photo P Fort 2012

- Nous sommes à 1,5 km du site éruptif

Nyamulagira, le site d'observation

Photo A Minard 2012



Le lieu d'observation autorisé est à 400 m du cône éruptif

Nyamulagira : les deux cônes d'éruption



Premier cône

Second cône

Premier cône éruptif apparu le 8 novembre 2011
Eteint depuis mi décembre 2011
200 m de hauteur environ
Fumerolles observables

Photos A Minard 2012

Nyamulagira : le second cône éruptif

- Emission de laves jusqu'à 400 m de hauteur
- Lambeaux fluides, pas de cendres
- Panache de gaz dépassant 1500 m
- Coulée de lave sur plus de 20 Km, direction N-E sans risque pour les populations

Cône éruptif actuel, apparu fin décembre 2011
Activité continue jusqu'au 25 janvier 2012
Edifice de 150 m de hauteur estimée

Photo P Fort 2012

L'éruption du Nyamulagira de janvier 2012



La nuit, sans commentaire...

Photo P Fort 2012

L'Observatoire Volcanologique de Goma (OVG)

- Centre de recherche étatique de la RDC
- Contrôle continu des 2 volcans actifs
- Mesures des paramètres
- Actions de formation et de sensibilisation aux risques



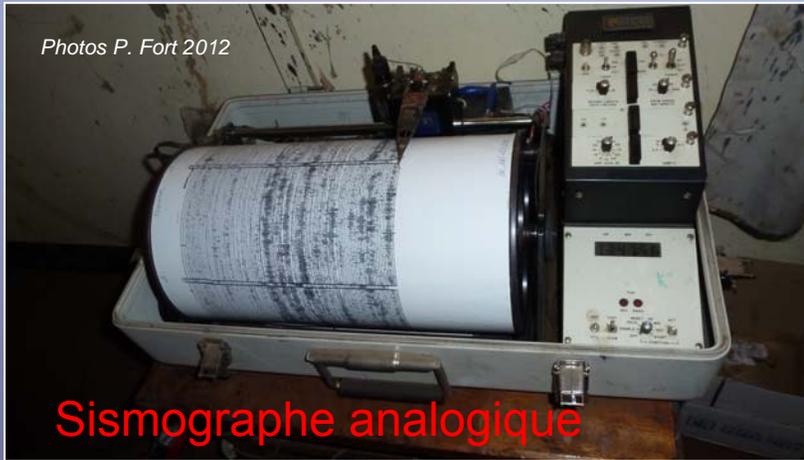
Photo A. Minard 2012

OVG – domaines d'analyse

- **Sismologie**
 - Sismographes analogiques et numériques
- **Déformation**
 - GPS, tiltmètres (inclinaison), extensomètres
 - EDM (electronic distance meter) laser
- **Géochimie**
 - Spectromètres UV absorption gaz (CH_4 , CO_2 , CO , SO_2)
 - Spectrophotomètres ions SO_4^{--} , NO_3^{--} , F^-
- **Géophysique**
 - Modélisation de dykes (assistance de l'IPGP)
 - Sondes température

Photos P. Fort 2012

OVG
Appareils,
réseaux de
mesure,
modèles...

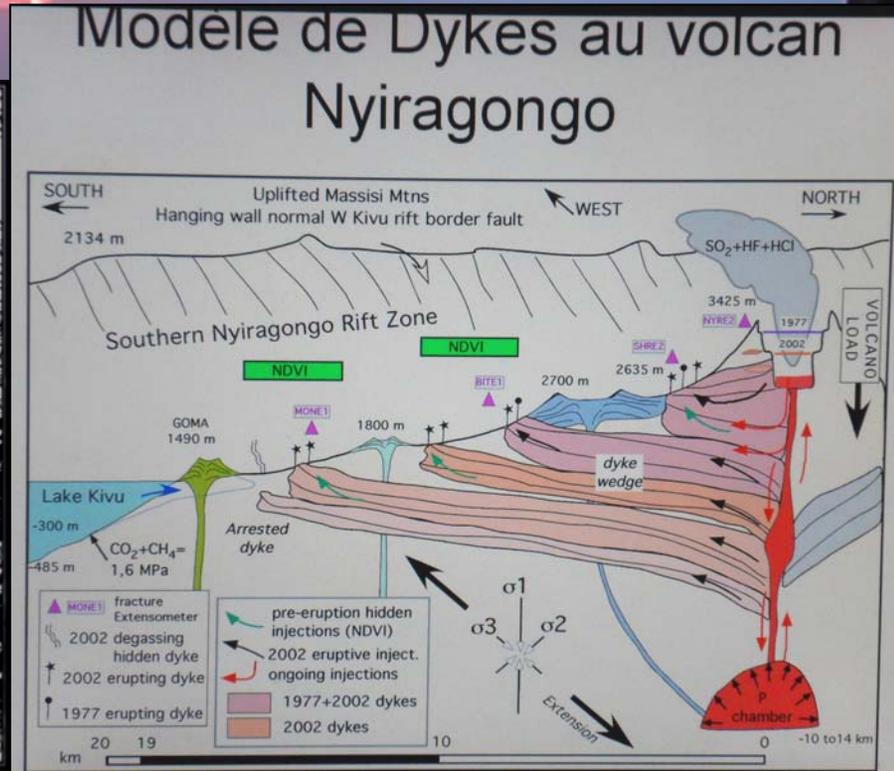
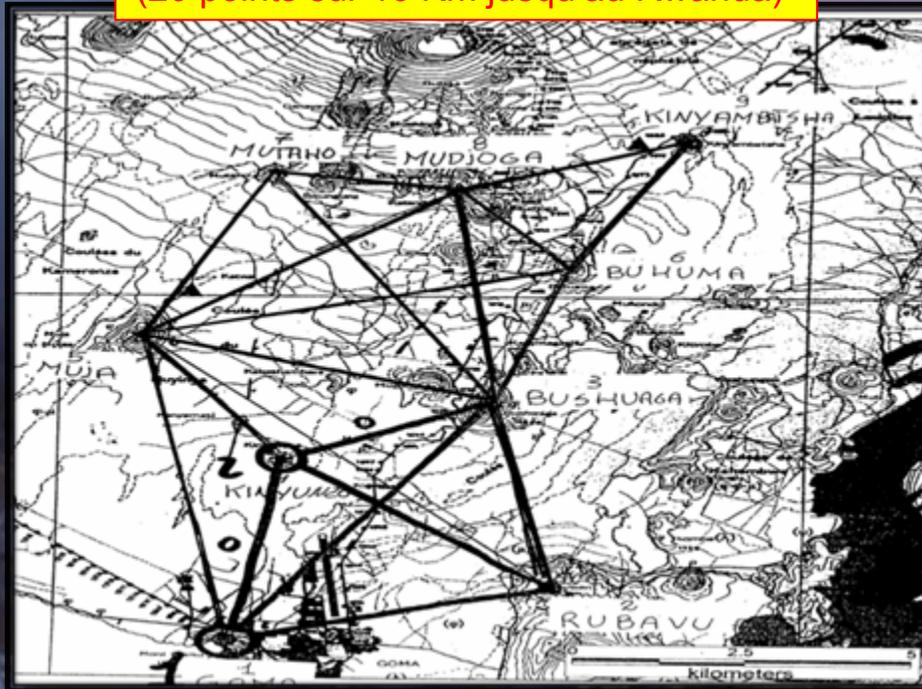


Sismographe analogique



Extensomètre à ruban

Réseau des balises EDM
(20 points sur 10 Km jusqu'au Rwanda)



OVG - prévention des risques volcaniques

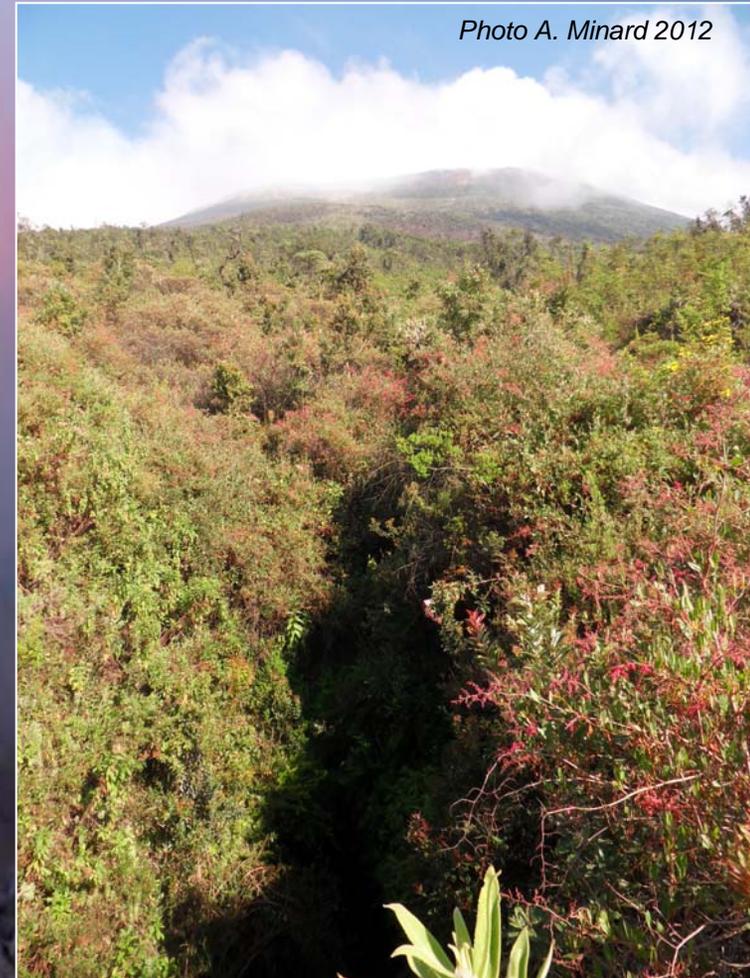
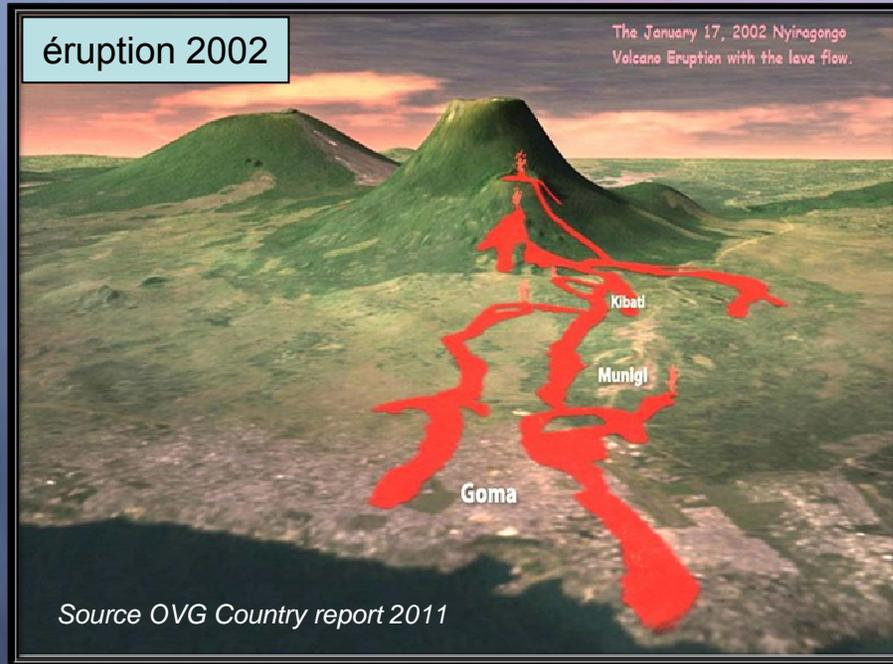
- Panneaux d'information sur l'état d'activité du Nyiragongo : jaune = OK!
- Mesures du CO₂ (concentration corrélée avec le niveau de montée du magma)
- Mesures de température le long de la fracture N/S, du cratère jusqu'à Goma

Photos P. Fort 2012



Mesure de température au départ de la fracture

Risque volcanique : coulées de lave



- Laves très fluides
vitesse 100 Km / h
- Coulées :
 - 2000 morts en 1977
 - 170 morts en 2002

OVG - prévention des risques liés aux gaz

- **Mazukus** : cavités dans les coulées, à fort taux d'émanation de CO_2 :
 - asphyxies, parfois mortelles
 - présentes dans zones habitées
 - également risques explosifs dus au CH_4
- **Ions F^-** : jusqu'à 5 fois la norme admise
 - fluorure agressif pour les dents !



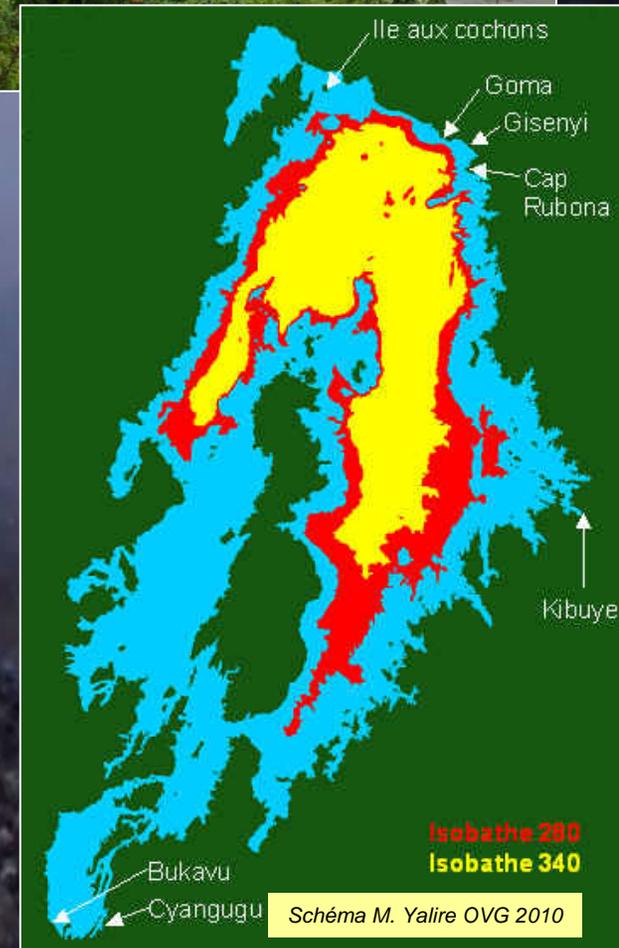
OVG - risque limnique

Le lac Kivu : un eden dangereux !

- Age 15000 ans
- 2055 Km², altitude 1462 m
- 560 Km³ d'eau, profondeur maxi 485 m
- 256 Km³ CO₂ et 54 Km³ CH₄
- origine gaz 70% volcanique 30% organique
- dissous à profondeur > 70 m
- installation dégazage CH₄ côté Rwanda
(centrale 3 MW)
- risque d'éruption de gaz massive en cas
 - de séisme profond
 - d'éruption phréatomagmatique
 - de coulées de lave abondantes
 - d'une pression partielle accumulée excessive des deux gaz

(d'après M. Yalire, Risques volcaniques à Goma & Gisenyi, 2010)

A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort



La flore, la faune et les hommes...

- Région des Grands Lacs, « bénie des dieux » :
 - Terre fertile, climat tempéré, ressources agricoles, piscicoles, minières...
- Mais surpopulation chronique, avec compétition sur les terres arables, entraînant :
 - Des conflits humains majeurs dans chaque pays, ou entre les pays (Rwanda, RDC et Uganda)
 - Une coexistence difficile entre les humains et les autres espèces : déforestation et élimination d'animaux menacés, malgré les actions remarquables des Parcs Nationaux

Deux pays contrastés : le Rwanda et la RDC

Rwanda

- Bien géré depuis le drame de 1994
- Villes propres et «sécurisées»
- Utilisation efficace des subventions pour le développement

RDC (Nord Kivu)

- Province délaissée par Kinshasa
- Afflux et reflux de réfugiés
- Activités de mouvements rebelles chroniques malgré la présence de la MONUC
- Urbanisation anarchique et insécurité

Vue aérienne sur Kigali



Photo P. Fort 2012

Photo A. Minard 2012



Centre de Goma

Agriculture, élevage et pêche

Photo G. Lemoine 2012



Pêche sur le lac Kivu

Séchage du mil à Ruhengeri (Rwanda)



Photos P. Fort 2012



Buttage sur les pentes du Mikeno (RDC)

Tourisme fascinant mais risqué...

- Grande variété de parcs : volcans, gorilles, chimpanzés, hippos, oiseaux...
- Visites obligatoires avec des gardes, toujours armés
- Protection
 - pour défendre les touristes contre les actions rebelles
 - mais aussi pour lutter contre la déforestation des parcs par les paysans
- Plusieurs tués parmi les gardes chaque année...



La vie à Goma...

- Les plus aisés organisent des mariages au bord du lac...
- ...alors que les autres circulent en «tchikudu», le vélo local



Photo P. Fort 2012



Photo P. Fort 2012

On reconstruit sur la dernière coulée de lave, en attendant la prochaine...



Photo P. Roulleau 2012

Le tchikudu

Les Grands Lacs : une flore variée...



Orchidées sur les pentes du Mikeno...



Photos G. Lemoine 2012



Photo Y. Peysson 2011

Séneçons sur les pentes du Nyiragongo...

Les Grands Lacs : le paradis des oiseaux...

Photo A. Minard 2012

**Variable
sunbird**



Photo G. Lemoine 2012

Red bishop



Photo A. Minard 2012

Guêpier (?)



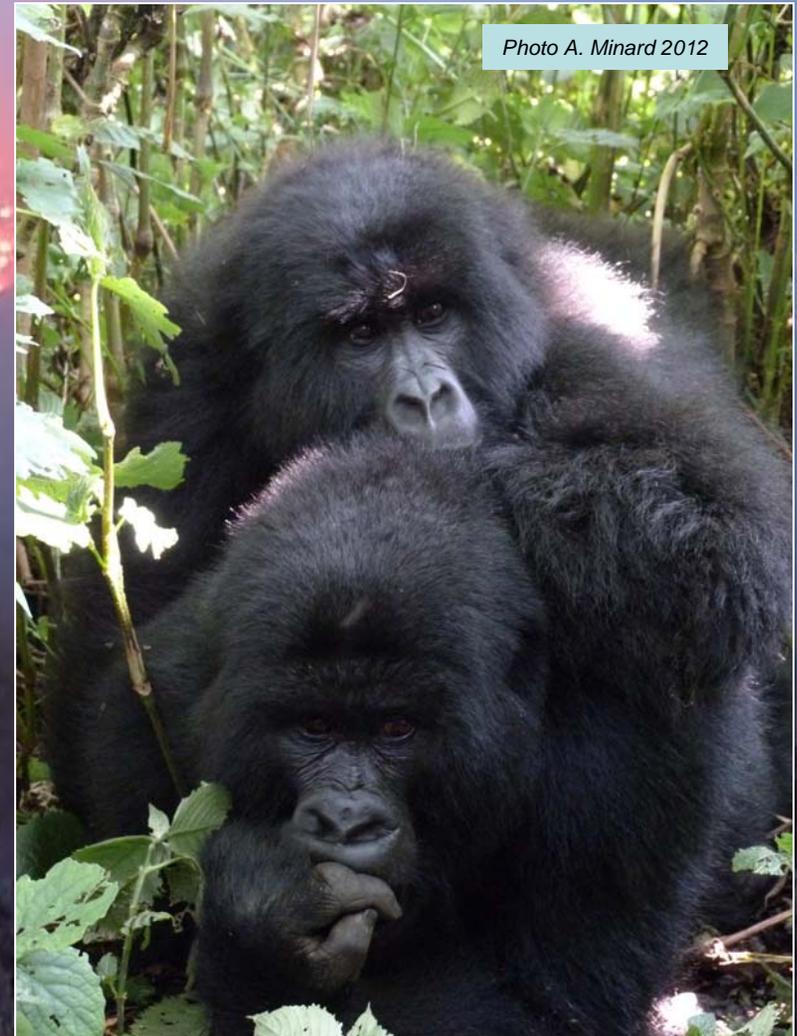
Photo P. Roulleau 2012

Martin pêcheur



...et les Virunga, refuge précaire des gorilles

- gorilles argentés, vivant sur les pentes boisées des Virunga (Rwanda, RDC et Uganda)
- décimés jusqu'à la fin du XXe (braconnage)
- repeuplement en cours, 700 individus estimés aujourd'hui
- menacés par la déforestation
- visites touristes limitées (une par jour, 5 personnes maxi par groupe)



Merci pour votre bonne attention !



A.M.I.S - 9 juin 2012 - Nyiragongo
- Pierre Fort