

SOCIETE DE VOLCANOLOGIE GENEVE

C.P. 6423, CH-1211 GENEVE 6, SUISSE, (FAX 022/786 22 46, E-MAIL: SVG@WORLD.COM.CH)

SVG



GENEVE

# 58 Bulletin mensuel



# SVG



## GENEVE

### IMPRESSUM

Bulletin de la SVG No 58, 2006, 20p, 300 ex. Rédacteurs SVG: J.Metzger, P. Vetsch & B.Poyer (Uniquement destiné aux membres SVG, N° non disponible à la vente dans le commerce, sans usage commercial).

**Cotisation annuelle** (01.01.06-31.12.06) SVG: 50.- SFR (38.- Euro)/soutien 80.- SFR (54.- Euro) ou plus. Suisse: CCP 12-16235-6 Paiement membres étrangers: RIB, Banque 18106, Guichet 00034, N°compte 95315810050, Clé 96.

IBAN (autres pays que la France): FR76 1810 6000 3495 3158 1005 096 BIC AGRIFRPP881

Imprimé avec l'appui de:



et d'une Fondation Privée

En plus des membres du comité de la SVG, nous remercions **P.Y.Burgi** pour son article et **O.Grunewald (photos)**, ainsi que toutes les personnes, qui participent à la publication du bulletin de la SVG.

## SOMMAIRE BULLETIN SVG N058, MARS 2006

Nouvelles de la Société	p. 3-4
Paroles de Membres	p. 4
Volcan info.	p. 4
Point de Mire	p. 5-6
Teide (Canaries)	
Photo Mystère	p. 6
Activité volcanique	p. 7-9
Soufrière Hills	
Focal	p. 10-11
Santiaguito (Guatemala)	
Dossier du mois	p. 12-19
Mesures acoustiques Nyiragongo	

## DERNIERES MINUTES - DERNIERES MINUTES

### Explosions phréatiques au Poas (Costa-Rica)

Le vendredi 24 mars 06 vers midi, une violente éruption, provenant du lac au fond du vaste cratère du Poas, a projeté du matériel ancien sur ses rives et sur les flancs internes E et NE. Au moins un autre phase semblable, s'est produite le dimanche suivant. Les volcanologues Costa-Ricains ont mis en évidence que les produits émis (cendres, blocs, etc) étaient essentiellement du matériel de

remplissage du lac, fortement altérés par les conditions acides (pH proche de zéro) et chaudes régnant dans le cratère. De nombreux cratères d'impacts, ont été signalé dans la zone de retombée principale. Leurs tailles allaient de quelques cm à 70 cm, provoqué par des blocs pouvant atteindre 50 cm de diamètre. Cependant aucune retombée n'a été observée sur les flancs externes du volcan. Cette phase explosive a été précédée durant 3 jours par des signaux sismiques anormaux (tremor harmonique), le 27 mars les enregistrements sismique redevenait normaux. La dernière phase d'activité phréatique comparable au Poas remonte à 1994 ■ [<http://www.ovsicori.una.ac.cr/informes/poasen.html>]



Cratère du Poas, bord NE zone de retombées et crat. impacts



### Galeras (Colombie) : menace d'éruption et évacuations préventives

Mercredi 29 mars 2006, des changements significatifs dans l'activité interne du volcan, enregistrée par les volcanologues colombiens, leurs font craindre une nouvelle éruption de ce volcan, dont la ville de Pasto (300 000 habitants) n'est qu'à 6 km du sommet (alt. 4270 m) du volcan. La dernière activité remonte à seulement à l'année passée ■ [VolcanoList]

Le volcan Parícuta Chili (© M.Auber)

### RAPPEL : BULLETIN SVG SOUS FORME ÉLECTRONIQUE ET SITE

#### WEB SVG

Les personnes intéressées par une version électronique du bulletin mensuel de la SVG à la place de la version papier, sont priées de laisser leur adresse électronique, avec la mention bulletin, à l'adresse suivante : [membresvg@bluemail.ch](mailto:membresvg@bluemail.ch) et... le bulletin du mois prochain vous parviendra encore plus beau qu'avant ■



Le site web de la SVG est accessible. Son adresse est facile:

[www.volcan.ch](http://www.volcan.ch)



## **NOUVELLES DE LA SOCIETE -NOUVELLES DE LA SOCIETE -NOUVELLES**

Nous continuons nos réunions mensuelles **chaque deuxième lundi** du mois. **REUNION MENSUELLE**

La prochaine séance aura donc lieu le:

**lundi 10 avril 2006 à 20h00**

dans notre lieu habituel de rencontre situé dans la salle de:

**MAISON DE QUARTIER DE ST-JEAN**  
(8, ch François-Furet, Genève)

Elle aura pour thème:

**VOLCANS SUD-AMERICAINS**

**MOIS PROCHAIN**

*Le sujet de la séance n'est pas encore fixé,  
nous attendons vos suggestions, merci  
d'avance*

Photo Y.Bessard



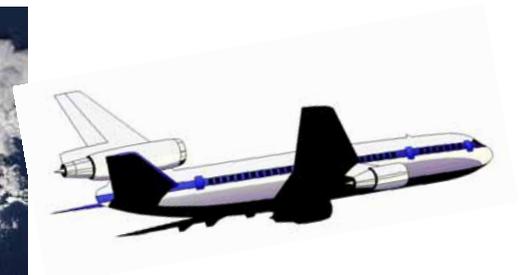
*Le volcan Miscanti (5796 m alt), nord Chili*

Départ pour le continent sud-américain pour cette séance d'avril, avec des images de M.Auber, membre SVG, des géants andins du Chili et de Bolivie. Si vous avez des images de ces vastes horizons, n'hésitez pas à venir nous présenter une sélection des meilleures ■

Dans le cadre de son excursion annuelle qui cette année aura lieu pendant les vacances scolaires d'octobre (21-29 octobre), la SVG vous emmènera tout d'abord au sommet du Stromboli (si la météo nous le permet !) puis à la découverte du volcanisme napolitain, Vésuve, Herculanium, Pompéi et les champs Phlégréens. Ce voyage, encore en cours de finalisation, sera réservé aux 15 premières personnes inscrites. Le coût ainsi que le programme détaillé vous seront communiqués dans le prochain bulletin de la SVG.

Pour réserver votre place, veuillez envoyer vos coordonnées à : Marc Baussière, Vi-Longe 7A, 1213 Onex ■

**EXCURSION SVG 2006 :**  
**îles Eoliennes et région**  
**napolitaine**  
**dates : 21-29 octobre 2006**  
**inscriptions déjà possible**





## NOUS AVONS BESOIN DE VOTRE AIDE ET PARTICIPATION

**L'existence ou la formule actuelle du bulletin est sérieusement mis en jeu**



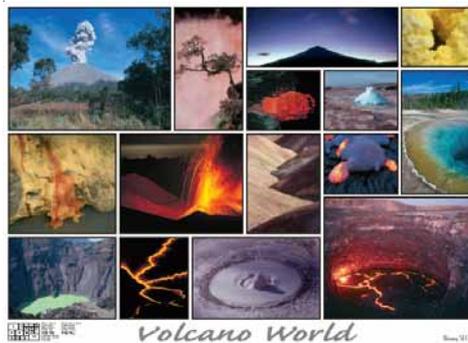
Si vous avez l'habitude de lire notre bulletin, vous savez qu'il est constitué pour une grande part d'articles écrit par les membres eux-mêmes de la SVG (récit de voyages, point de mire, etc). Avec la formule actuelle, 20 pages ou 16 pages (pour des raisons techniques c'est le minimum) par mois dix fois par année, nous avons donc un besoin gourmand d'articles et contributions. Actuellement nous n'avons aucun matériel en réserve. Si nous voulons maintenir notre rythme «mensuelle» il nous faut absolument votre aide ! Même si elle est ponctuelle. Vous avez pu le constater aussi, nous laissons un large place aux illustrations, cependant la matière de base manque trop souvent et nous permet pas de répartir correctement le travail de mise en page. Une telle situation ne peut se prolonger éternellement, donc à vos stylos ou plutôt à vos claviers. Par ailleurs, il y a parmi nos membres un certain nombre de scientifiques, géologues, etc, leurs participations à notre bulletin serait largement profitable à l'ensemble de l'association. Un grand merci d'avance ■

## PAROLES DE MEMBRES SVG PAROLES DE MEMBRES SVG

**POSTER VOLCANIQUE à commander directement à l'auteur.**

T. Sluys, membre SVG belge, dont vous avez déjà pu apprécier la qualité de ses images lors d'une de ses venues à Genève, vous propose un poster sur les volcans qu'il a visités. Format : 50 cm X 70cm, au prix de 15.- euros (+ 5.- euros frais de port). Un exemplaire de démo. est visible lors des réunions mensuels. Commander à Thierry Sluys:

**gm@royalcentre.be ■**



## VOLCANS INFOS -VOLCANS INFOS -VOLCANS INFOS -VOLCANS INFOS

**VOYAGES VOLCANIQUES: (1) à Montserrat**

Le prochain voyage à Montserrat est prévu du 28 octobre au 03 novembre. 10 participants. Départ et retour Genève. Prix +/- 1950 euros/3100chf. Programme et inscriptions : B. Poyer (SVG). tél : (33) 4 50 41 17 95. fax : (33) 4 50 42 75 15. email : [pyoyer.bernard@wanadoo.fr](mailto:pyoyer.bernard@wanadoo.fr) ■

**(2) en Amérique du Sud  
cherche co-équipiers(ières)**

Cherchons 2 personnes pour compléter notre groupe

**But (1):** Traversée de l'altiplano chilien entre Arica et San Pedro de Atacama  
:Visite des parcs nationaux, volcans, geysers, salars et déserts d'altitude

**Date : 25 novembre 2006 – 17 décembre 2006**

**But (2):** Possibilité de poursuivre le voyage (ou de le rejoindre le groupe le 11 décembre) pour le sud de l'Atacama pour l'ascension du volcan Ojos del Salado (6905m, selon les dernières mesures).

**Renseignements:**

Marc Carmona [[marc\\_carmona53@hotmail.com](mailto:marc_carmona53@hotmail.com)] [022 – 735 4010]

Yves Bessard [[yves.bessard@lonza.com](mailto:yves.bessard@lonza.com)] [027 – 456 5329] ■

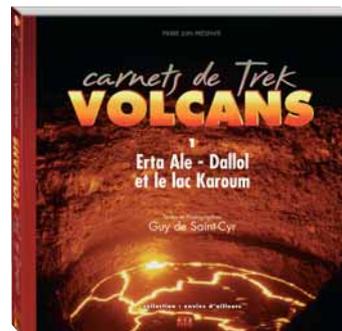
**LIVRE SUR  
LES VOLCANS**



Le 1er ouvrage d'une collection de LIVRES-GUIDES dédiée aux VOLCANS ! Conseils, itinéraires GPS, cartes, adresses, etc. ISBN : 2-9523121-1-7 prix : 20 Euros TTC 20 x 20cm - quadrichromie - 144 pages.

Auteur : G. de Saint Cyr

En vente par correspondance, contacter: [enviesdailleurs@free.fr](mailto:enviesdailleurs@free.fr) ■



*[Comme d'habitude dans cette rubrique nous n'émettons pas d'avis sur la qualité de l'ouvrage mentionné. C'est un espace destiné à vous faire connaître l'existence d'un ouvrage, sans jugement]*



# POINT DE MIRE - POINT DE MIRE - POINT DE MIRE - POINT DE MIRE -

En 2003, après plus de 30 années de calme, les îles Canaries, situées au large des côtes NW de l'Afrique, ont montré des signes d'une reprise d'activité sismo-volcanique. Au printemps 2004, il y a eu un fort accroissement du nombre de séismes sur l'île de Tenerife (mélange d'événements volcano-tectoniques et tremblements de terre régionaux avec des signaux purement volcaniques comme des tremors ou des signaux de longue période).

Cet accroissement d'activité a coïncidé avec une recrudescence du nombre de fumerolles sur le volcan Teide, à Tenerife, une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> dans la partie NW de l'île et ainsi qu'à des changements dans le champ de gravité sur le flanc nord du volcan. Après que plusieurs secousses sismiques aient été ressenties par la population, un premier niveau d'alerte a été décrété par la division de protection civile

## SURVEILLANCE DU RÉVEIL DU TEIDE (ILES CANARIES)

A.G. Ramon Ortiz et al.

[Traduit de «Monitoring the Reawakening of Canary Islands' Teide Volcano» EOS, vol. 87, No6, 07.02.2006]

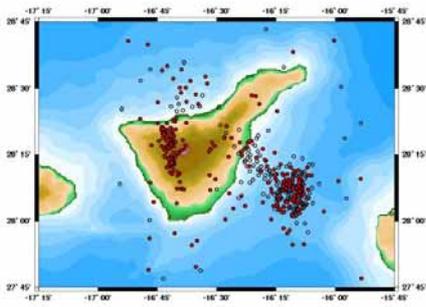
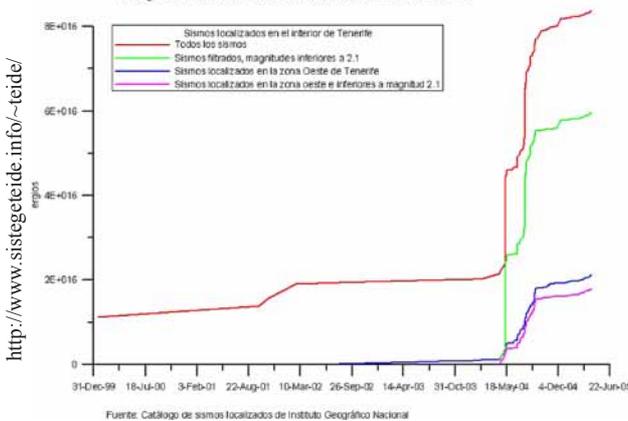


Photo Juan Manuel Contreras Tricar

Energía acumulada en el Sistema Volcánico de la Isla de Tenerife



*En rouge courbe cumulative de l'énergie sismique dégagée par les tremblements de terre à Tenerife*

du gouvernement local. Cet apparent réveil du Teide, dont la dernière éruption effusive date de 1909, fournit l'opportunité de suivre les stades initiaux de réactivation d'une zone volcanique et tous les phénomènes associés.

En réponse à cette crise, un système automatique nouveau de surveillance sismique (Teide Information Seismic Server TISS) a été mis au point. Son originalité repose sur le fait qu'il utilise et analyse en temps réel le bruit de fond sismique pour caractériser l'état d'activité interne du volcan. Ce système a pour but de détecter rapidement tout signe précurseur d'un épisode volcanique potentiellement dangereux. Ce système, qui est en place sur le Teide depuis novembre 2004, s'est révélé très utile pour suivre les changements dans le comportement des processus volcaniques tels que les activités fumerolliennes et sismiques. Ces manifestations volcaniques (ouverture de nouvelles fumerolles par exemple) ont été précédées par des changements dans les paramètres enregistrés par le TISS.

Depuis les derniers 500 ans toutes les éruptions qui ont eu lieu aux Canaries ont été de type effusives. Cependant le Teide est un strato-volcan complexe. C'est le troisième volcan le plus haut de la planète si on le considère depuis sa base sous-marine à -7000 m et son altitude de 3717 m (10717 m). Sa dernière phase explosive connue est datée de 1500 ans. De futures éruptions sont probables et incluront les risques de coulées



Photos M. Baussière

Tenerife et le Teide



Photos M. Baussière

*Témoins d'activité explosive du Teide:  
d'anciens dépôts pyroclastiques*

Vila, J., R. Macià, D. Kumar, R. Ortiz, and A. M. Correig (2005), Real time analysis of the unrest of active volcanoes using variations of the base level noise seismic spectrum, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press.

pyroclastiques comme celles de la montagne Pelée et du Vésuve. Les éruptions explosives du Teide résultent le plus souvent de phénomènes de mélange de magma dans lesquelles une intrusion basaltique agit comme un processus déclencheur. Déjà en 1990, le Teide a été identifié comme un volcan dont l'étude et la surveillance sont indispensables à la lumière de ses éruptions destructives passées et la proximité de zones fortement peuplées. Au niveau européen, c'est un volcan prioritaire pour des projets d'études. [...] Une éruption explosive, comme la dernière phase datée avec un indice d'explosivité (VEI) de 3, semblable à la dernière éruption de l'Unzen au Japon, affecterait jusqu'à 30000 personnes. Avec un VEI de 4 se seraient plus de 400.000 personnes touchées.

Suite à la reprise de l'activité sismique du Teide, le gouvernement espagnol a chargé de manière urgente la commission nationale espagnole sur la sismicité et les risques volcaniques d'organiser et de gérer l'ensemble des ressources scientifiques disponibles pour évaluer la possibilité d'une éruption imminente. Des ressources financières ont été allouées dans ce cadre. Le TISS a été mis en place dans cette perspective. [...] Ce système, qui s'appuie donc sur une analyse qualitative et quantitative (mathématique complexe) en continu du bruit de fond sismique sur une vaste gamme de fréquences, a pour but de détecter les signes avant-coureurs locaux d'une phase volcanique à venir.

[...] Après son déploiement sur le Teide, le TISS s'avère un moyen puissant de surveillance des processus volcaniques de ce volcan. Par exemple le 5 décembre 2004, une nouvelle fissure est apparue, avec des fumerolles sur le flanc nord-est (vallée La Orotava) du volcan. Ce fait a été précédé, durant neuf jours, par un net accroissement de l'énergie sismique dans les basses fréquences, qui a mis en alerte les scientifiques. Cette anomalie, détectée grâce au TISS, a disparu quelques heures après l'ouverture de la nouvelle fissure.

La surveillance et l'analyse des bruits de fond sismiques sur d'autres volcans actifs a démontré que cette méthode nouvelle permet de mettre en évidence des signes précurseurs d'activité plus de 40 jours avant les méthodes sismiques classiques, basées sur l'analyse des tremblements de terre bien distincts (Vila et al., 2005) ■

**PHOTO MYSTERE PHOTO MYSTERE PHOTO MYSTERE PHOTO MYSTERE**

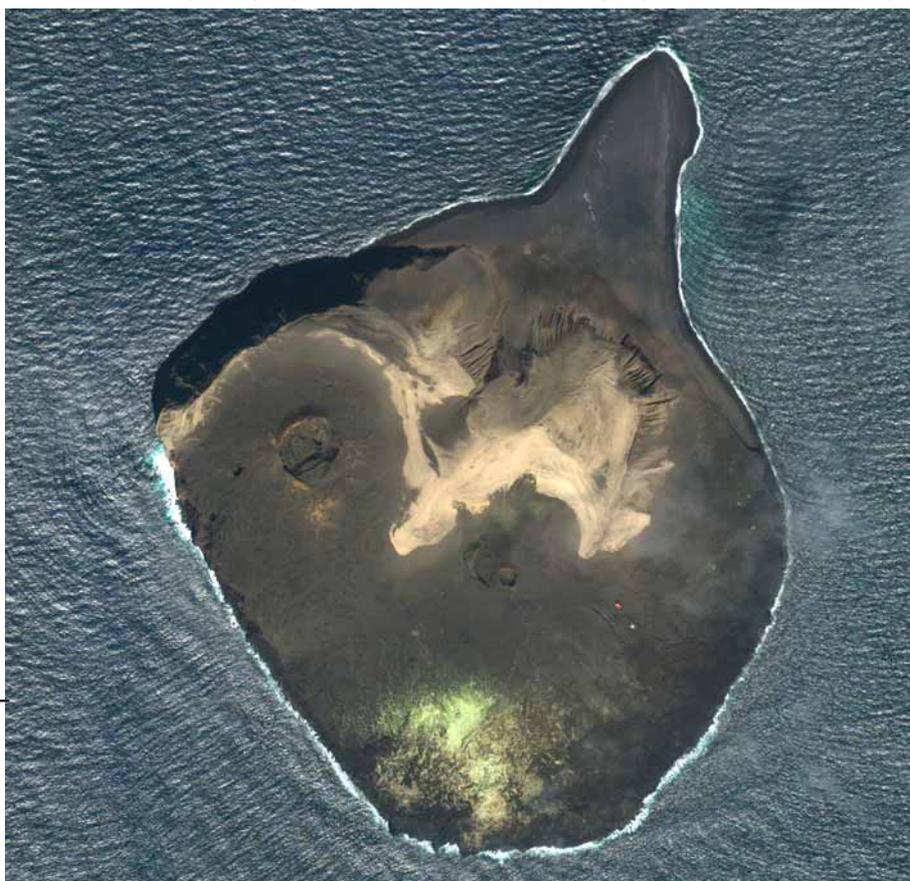


Photo satellite IKONOS, NASA

*Cette île, née il y a 43 ans, est entrée dans l'histoire de la volcanologie, en devenant une catégorie d'activité explosive. Elle lutte à présent contre les eaux glacées, qui érodent ses côtes. De quel volcan s'agit-il ? Réponse page 18*



## ACTIVITE VOLCANIQUE - ACTIVITE VOLCANIQUE - ACTIVITE VOLCANIQUE

Notre dernière relation de l'activité volcanique de Soufrière Hills, sur l'île de Montserrat, date du bulletin n°52 de septembre 2005.

Sous le titre « *C'est reparti* » nous écrivions qu'un petit dôme apparaissait à la base ouest des ruines du précédent dôme (image page 5).

A l'issue du voyage annuel de la SVG, en octobre 2005, Désiré Corneloup rédigea un compte rendu dans le bulletin n° 55 de novembre, dans lequel il consacra des chapitres d'un intérêt scientifique sur la situation.

Rappelons que le dôme 1 a fait son apparition de 1995 à 1998 et que le dôme 2 a pris sa place de 1999 à 2003. Dans l'espace vacant laissé par l'écroulement de celui-ci, surgit le dôme 3 dont la structure naissante se distingua en juillet 2005. C'est à cette même date que se tint sur place (coïncidence) la conférence internationale en commémoration du 10<sup>ème</sup> anniversaire de l'éruption (18 juillet 1995).

Les deux dômes précédents marquèrent Montserrat par des événements, liés au volcanisme de subduction, aussi nombreux que variés. Les documents iconographiques et les publications sont les précieuses archives du volcan le mieux observé depuis des décennies.

Qu'en est-il depuis juillet 2005 ? Trois domaines sont surveillés : l'activité sismique, le dégazage et la croissance du dôme.

Tout au long des jours sont enregistrés, sans interruption et avec des fluctuations, des chutes de roches, des séismes hybrides, des séismes de longue période (LP) dénombrés à 176 par semaine en novembre, des séismes volcano-tectoniques (VT) et des tremors. Des variations sont, elles aussi, enregistrées sur le flux de dioxyde de soufre, allant de 80 à 1780 tonnes par jour. On attachera une attention sur la signification du LP : séisme de basse fréquence généralement associé à la progression du magma dans la partie supérieure de la cheminée (les dimensions et la forme de celle-ci ne sont pas connues), alors qu'un séisme hybride est souvent le signal du mouvement du magma dans la zone proche de la surface. Le VT est généré par la fracture de roches fragiles. Quant au tremor, qui peut durer des minutes à des heures, celui-ci est la traduction de mini séismes engendrés par le groupage de séismes d'origines diverses.

Chacun sait que, depuis plus d'une décennie, des scientifiques venus du monde entier, tentent de capter les mécanismes de cette éruption en mettant en place les technologies émergentes en matière de surveillance et de mesures. A constater l'imposante liste d'ouvrages présentée sur le site du MVO à propos de ce volcan réveillé, il est indéniable que des avancées importantes sont opérées en volcanologie.

La croissance du dôme 3 s'est poursuivie de manière constante, au taux de 2 à 3m<sup>3</sup> par seconde, avec l'apparition des premières incandescences nocturnes en octobre 2005 (observées par la caméra implantée à Perches Mountain). Le volume du dôme était de 1,5 millions de m<sup>3</sup> en août ; il est de 6,5 millions de m<sup>3</sup> en novembre. Des avalanches débutèrent également en octobre, créant des coulées pyroclastiques, confinées dans la vallée de Tar River. Les panaches associés aux événements dépassent les 2000m. A partir de novembre les incandescences et les nuées sont continues.

**SOUFRIERE HILLS  
(MONTSERRAT):  
le troisième dôme en pleine  
croissance  
B. Poyer  
images MVO**



*Image de nuit d'avalanches incandescentes sur le nouveau dôme prise par la caméra de surveillance à distance du Montserrat Volcanological Observatory (MVO), 22.02.2006*





14.02.2006



01.03.2006



23.03.2006

*Croissance, formation d'aiguilles et éboulement partiel nouveau dôme du Soufriere Hills, depuis une des caméras de surveillance du MVO (Perches Mt)*



*Observations hélicoptère du volcan par le MVO*



*Des aiguilles de lave croissent et s'éboule (photo bas, de nuit), 02.12.2005*

Au cours de mes séjours à Montserrat j'avais observé que le sommet du volcan se dégageait généralement entre 12 et 13 heures (le groupe SVG a pu s'en rendre compte). Le 17 janvier 2006, à 13 heures le MVO a pu observer pour la première fois, lors d'une éclaircie, la présence d'une aiguille. Par la suite une paire d'aiguilles, fines, au plan vertical lisses, fut apparente le 29 janvier. Leur fragilité ne leur permit pas de demeurer stables.

Maintenant la hauteur du dôme dépasse le niveau de la bordure nord de la caldera. Dans la première semaine de février débuta, dans un fort grondement, un vigoureux dégazage accompagné de cendres. Celui-ci fut précédé par une large bande de tremors, se répétant selon un cycle de 4 heures, les périodes successives devenant plus intenses. Fin février une grande aiguille de 30m de diamètre à la base et de 30m de hauteur surgit au sommet du dôme. Le 28 l'aiguille s'est fractionnée en deux, pour se désintégrer ensuite en générant une coulée pyroclastique qui a gagné le rivage au niveau du delta de Tar River.

Des mesures de distances sont couramment relevées entre Jack Boy et Hermitage. Elles indiquent une diminution de 6mm le 10 février ce qui confirme le gonflement du volcan.

Que peut-on penser de tout cela ? Il suffit de rapprocher la chronologie de cette évolution du nouveau dôme, de l'historique des dômes passés : accumulation de débris issus de la croissance au sommet, rupture quasi-totale de l'édifice par avalanche gravitaire (souvent créée par les abondantes pluies venant d'est provoquant un excédent de masse), coulées pyroclastiques, explosions phréato-magmatiques de grande ampleur. Les semaines qui viennent devraient confirmer ces étapes qui, pour spectaculaires qu'elles soient, doivent souligner encore le niveau de dangerosité de Soufrière Hills. Conclusion : rien d'encourageant pour retenir la population restante, et promouvoir le retour des Montserratiens partis à l'étranger ■



*Volcanologues du MVO profitant de bonnes conditions de visibilité pour effectuer des mesures des distances sur le Soufriere Hills et ainsi quantifier la croissance du dôme.*



*Phase déboulement depuis Perches Mountain le 19.01.2006, avant l'aube*

*Montserrat depuis le sud, les trois principaux centres volcaniques sont bien visibles: fumant Soufriere Hills (âge max 170,000 ans); au second plan Center Hills, fortement couvert de végétation (entre 0.5-1 millions d'années); puis au loin (brun et aride) Silver Hills (> 1 million d'années)*



*L'activité du dôme juste avant l'aube, le 19 février 2006*



***FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL***

Séquence explosive, dôme du Santiaguito (Guatemala), ©Photos O. GRUNEWALD





***FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL***





## DOSSIER DU MOIS DOSSIER DU MOIS DOSSIER DU MOIS

### MESURES ACOUSTIQUES AU LAC DE LAVE DU NYIRAGONGO, RDC

P.Y. Burgi



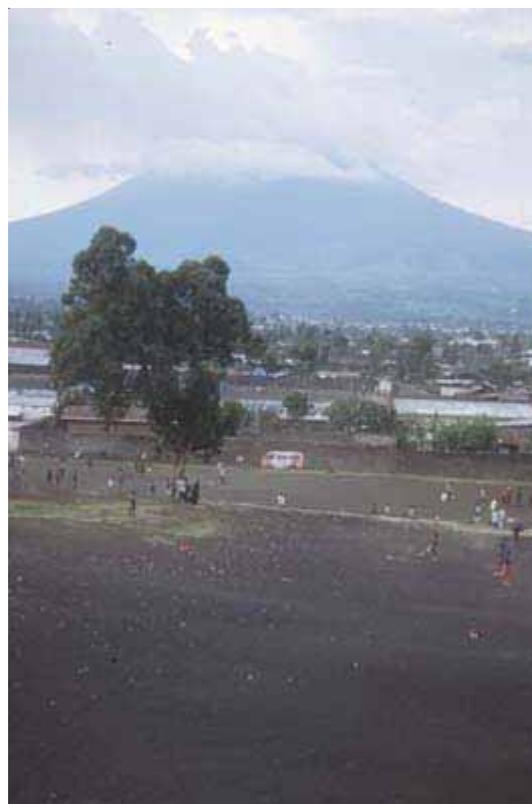
Photo M.Fulle www.stromboli.net

*Nyiragongo de nuit depuis Gomas*

#### Introduction

Les mesures acoustiques sont de plus en plus utilisées pour la surveillance des volcans. Une des raisons principales pour cela est que les ondes sonores se propagent dans l'air sans être perturbées, contrairement aux ondes sismiques qui subissent des transformations complexes lors de leurs passages dans les roches. De plus, les infrasons (fréquences inférieures à 20 Hz), présentes dans les phénomènes de dégazage du magma, peuvent se propager sur plusieurs dizaines de km. Ainsi, l'étude d'explosions de type strombolienne peut avantageusement bénéficier d'enregistrements sonores, qui après analyse, permettent de localiser les sources explosives. Pour une bonne revue sur le sujet, voir l'article de J.B. Johnson et al. : Interpretation and utility of infrasonic records from erupting volcanoes, J. Volcanology and Geothermal Res. 121 (2003) 15-63.

Dans cet article, je m'intéresse aux mesures acoustiques que j'ai réalisées en mai 2005 à proximité du lac de lave du Nyiragongo (Figure 1). Il y a deux aspects principaux qui font l'intérêt de cette étude. Premièrement, la signature sonore de lacs de lave : à quoi cela ressemble-t-il ? Deuxièmement, comment extraire le signal sonore propre à l'activité volcanique des autres sources sonores liées à l'environnement, comme par exemple le vent ?



*Fig.1 Le Nyiragongo (République Démocratique du Congo), avec son panache, vu depuis l'observatoire volcanologique de Goma.*



*Matériel utilisé pour les enregistrements sur le terrain : un baladeur MP3, et deux microphones électrets OKM II K (capsules rouge et bleu sur la photo).*

#### Matériel

La technologie aidant, comme le montre la Figure 2 le matériel s'est résumé à un simple baladeur MP3 ainsi qu'à deux microphones à pression de type électrets, le tout tenant dans une main ! L'avantage de ces microphones est leur bande passante large, annoncée par le constructeur comme couvrant les fréquences de 20 Hz à 20 kHz. En réalité, leur sensibilité descend encore bien plus bas en fréquence, en dessous du Hz, ce qui permet aisément d'enregistrer les infrasons. Le constructeur ne vante pas cette caractéristique puisque les fréquences en dessous de 20 Hz ne sont de toute façon plus audibles. Une autre caractéristique essentielle pour l'objet des mesures acoustiques effectuées dans cette étude est le fait que les deux microphones soient séparés. Ils sont en effet conçus pour se loger dans les oreilles, ce qui permet à la restitution d'obtenir une appréciation subjective correspondant à une sensation tridimensionnelle.



### Le chant du lac de lave

Lors de l'expédition au Nyiragongo de mai 2005, des mesures acoustiques ont été effectuées depuis le bord de la deuxième terrasse, soit à environ 300 m en vue directe avec le lac de lave en fusion. Ces mesures ont été enregistrées en numérique sur le baladeur MP3, avec une fréquence d'échantillonnage de 44'100 Hz (c'est-à-dire 44'100 échantillons chaque seconde pour chaque canal audio). Une séquence de ces enregistrements pour un canal audio est visible dans la Figure 3. Cette séquence a été enregistrée en l'absence de tout vent, et seule l'activité sonore du lac était présente à ce moment.

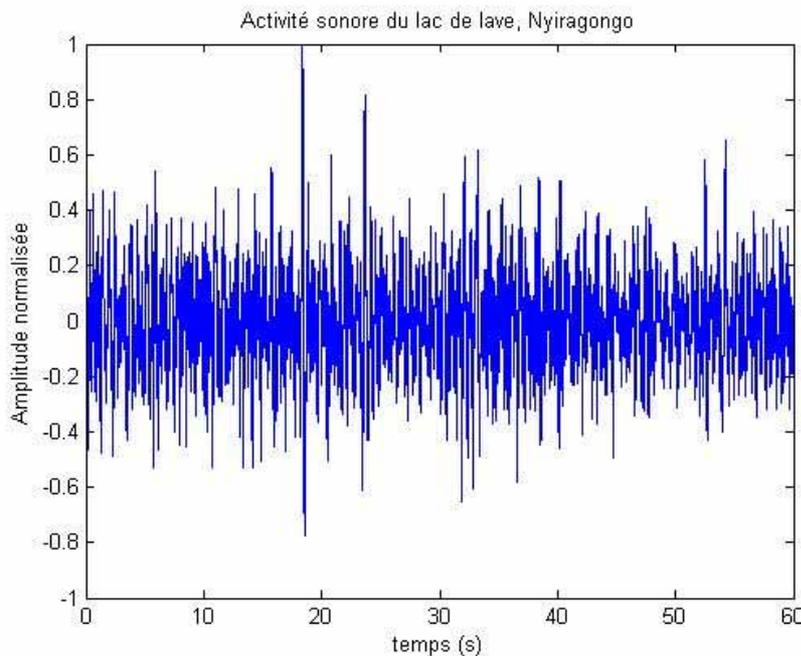


Fig.2. Enregistrement sonore de l'activité magmatique « sans vent » au Nyiragongo, 2<sup>ème</sup> terrasse, réalisé le 26 mai 2005.

Il est à supposer que les majeures sources sonores d'un lac de lave sont dues à l'activité de dégazage, très fréquente dans ce type d'environnement, et aux remous de la roche en fusion. Au premier abord, ce signal sonore du lac ressemble à du bruit. A titre de comparaison, la Figure 4 montre le signal d'un bruit « blanc ». Ce genre de signal, dénommé « blanc » car de spectre très large (par analogie avec la lumière blanche qui

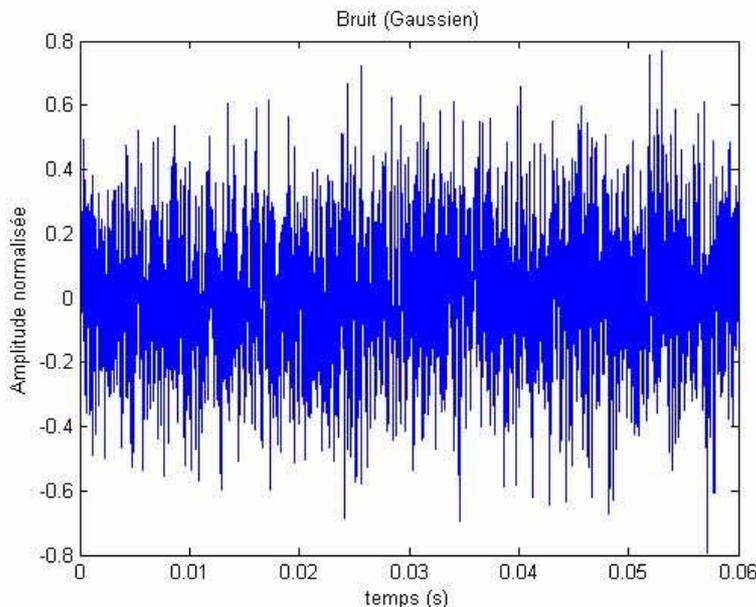


Fig.3. Bruit blanc obtenu en générant des nombres aléatoires selon une distribution normale (Gaussienne).



Photo M. Cailliet

Non seulement il fume mais maintenant... il chante



Fig.6. Lac de lave du Nyiragongo. Dégazage de petites bulles à de multiples sources.



Fig.7. Lac de lave du Nyiragongo. Phénomène de dégazage impliquant des bulles de plusieurs dizaines de mètres, créant des remous conséquents.

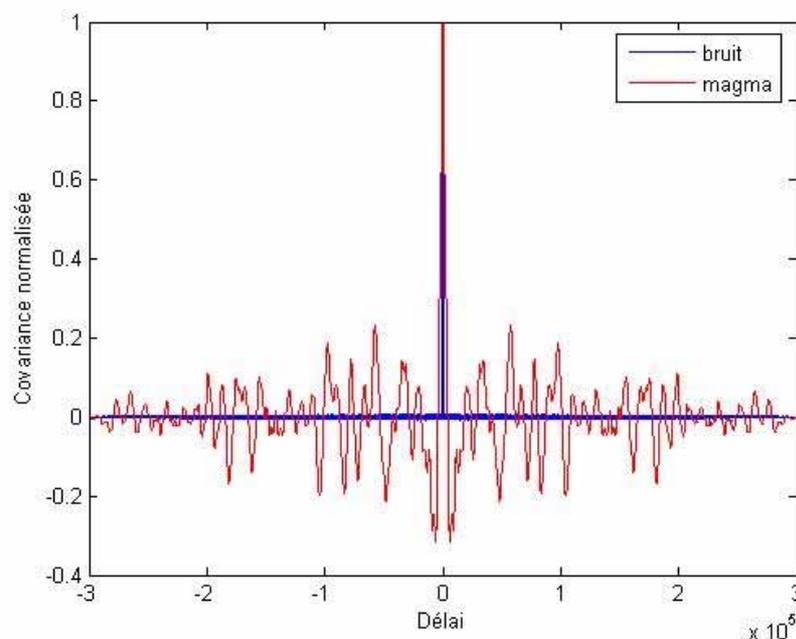


Fig.5. Autocorrélogrammes pour le bruit blanc et le lac de lave (magma). Le bruit (courbe en bleu), n'ayant aucune périodicité, ne possède qu'un pic, centré sur le délai 0, qui correspond à l'énergie du signal. Quant au signal du lac de lave (courbe en rouge), les différents pics secondaires reflètent sa périodicité (ou modulation).

est composée de radiations de toutes les longueurs d'ondes, a été généré sur la base d'une suite de nombres aléatoires ; à l'écoute, ce signal ressemble à de la friture sur une ligne téléphonique. En comparant ce bruit avec le signal sonore issu du lac, les deux semblent très similaires. Cependant, les volcanophiles qui ont eu l'occasion d'être à proximité d'un lac de lave ne qualifieraient pas de friture le son perçu. Afin de montrer qu'effectivement le lac de lave « chante » (contrairement au bruit blanc), il est nécessaire d'utiliser une autre représentation des signaux, à savoir leur autocorrélation.

L'autocorrélation permet de détecter des régularités, des profils répétés dans un signal comme un signal périodique perturbé par beaucoup de bruit. Le principe de calcul de l'autocorrélation est de décaler d'un échantillon le signal et de le multiplier par sa version non décalée (échantillon par échantillon), de sommer toutes les valeurs résultantes pour obtenir une valeur globale. L'opération est ensuite répétée pour un décalage de 2, 3, ..., n échantillons.

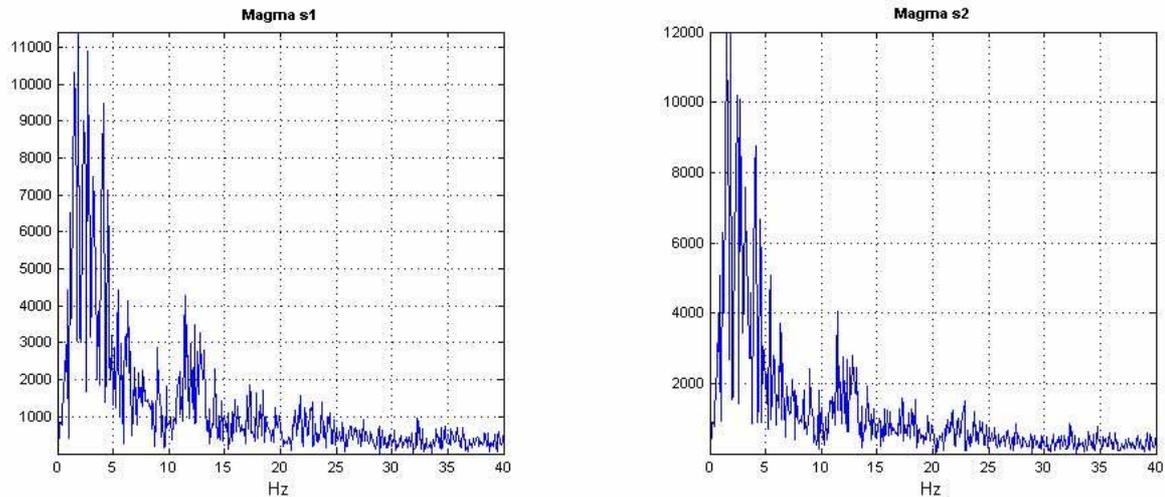
Un bruit blanc par définition est un signal qui ne se répète jamais, et n'est donc pas « corrélé » dans le temps. Par conséquent, seul un pic est obtenu pour un décalage nul (qui correspond à l'énergie du signal). Ceci est bien visible dans la Figure 5 (courbe bleue). Par contre, l'autocorrélogramme du lac de lave est bien plus riche, et possède plusieurs pics qui témoignent de périodicités du

signal sonore (Figure 5, courbe rouge). Certains pics sont obtenus pour des décalages de près de  $10^4$  échantillons, et d'autres  $200^4$  échantillons. Avec la fréquence d'échantillonnage utilisée de  $44^4$  100 Hz, cela correspond à des phénomènes périodiques à des échelles de temps très différentes, puisque compris entre 200 millisecondes et plus de 4 secondes.

Une hypothèse est que les événements acoustiques qui se répètent souvent dans le temps pourraient bien refléter l'activité, relativement fréquente, de dégazage de petites bulles (Figure 6), alors que ceux plus espacés dans le temps, pourraient être dus aux remous de la roche en fusion, issus de bulles géantes (Figure 7), qui sont moins fréquentes. Dans tous les cas, le lac de lave chante bien ! Quant à sa teneur en fré-



quence, elle est plutôt dans les graves, comme le montre son spectre, visible dans la Figure 8. L'énergie de ces chants est effectivement surtout contenue dans les fréquences à peine audibles, et dans les infrasons (inférieures à 20 Hz).



### Différentiation «magma-vent»

Cette fois-ci le jeu est tout autre : il ne s'agit plus de caractériser le contenu acoustique du lac de lave, mais plutôt de séparer les sons correspondant à l'activité volcanique des bruits environnant, tel que le vent, par exemple. Ceci est d'autant plus difficile que le spectre du vent recouvre complètement celui de l'activité du lac de lave.

Les données de base sont des enregistrements en stéréo du son ambiant. Nous allons voir plus loin pourquoi il est important d'avoir deux canaux. Un exemple d'un tel enregistrement, effectué en présence de vent, est visible dans la Figure 9. Les signaux S1 et S2 sont les enregistrements stéréo correspondant aux canaux gauche et droit, respectivement. Ces deux signaux sont issus du mélange de l'activité sonore du lac, et du bruit du vent, qui soufflait par petites rafales durant cette séquence d'enregistrement.

Fig.8. Spectre fréquentiel des enregistrements sonores du lac de lave. Les fréquences de plus large amplitude se situent en dessous du seuil audible (20 Hz). Les signaux S1 et S2 dénotent les 2 canaux stéréo, dont un est visible en Figure 3.

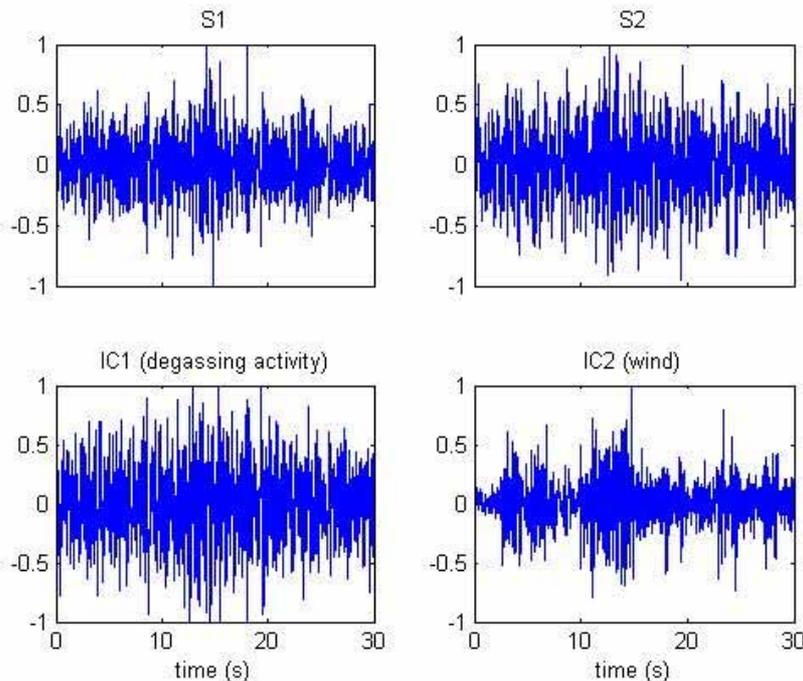
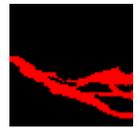


Fig.9. Les signaux S1 et S2 représentent un enregistrement sonore de 30 secondes effectué en présence de vent, sur la deuxième terrasse du Nyiragongo le 26 mai 2005. Les signaux IC1 et IC2 sont obtenus de S1 et S2 après application d'un algorithme de séparation de sources. Dans ce cas, IC1 représente principalement l'activité du lac de lave, alors que IC2 correspond aux rafales de vent présentes durant l'enregistrement.



Lac de lave depuis la 2ème terrasse



Photos Brazillier

Nyiragongo, juillet 2005

Comment est-ce possible de séparer le vent de l'activité magmatique ? Toute la magie vient du fait que les sources des deux bruits sont, par définition, indépendantes ! En effet, le phénomène qui produit le vent, et qui est lié à des mouvements de convection de l'air dans la caldera, est indépendant du mécanisme qui conduit au dégazage du magma (qui lui provient de remontées de gaz présent dans la cheminée magmatique). Ainsi, les composantes sonores du lac, sont-elles indépendantes de celles du vent. Partant de cette constatation, et étant donné que les enregistrements se font avec un minimum de deux microphones, il est possible d'appliquer une méthode qui sépare les deux sons principaux. Cette méthode, connue sous le nom d'ICA<sup>1</sup> (voir encadré p.18), du nom anglais Independent Component Analysis, a été appliquée sur les signaux S1 et S2 pour donner comme résultat les signaux IC1 et IC2, visibles dans la deuxième ligne de la Figure 9. Ainsi après traitement, le signal IC1 correspond principalement à l'activité du lac, alors que le signal IC2 à celui des rafales de vent. Le fait qu'il s'agisse effectivement de rafales de vent, à l'écoute du signal il n'y en a aucun doute (!), est visible dans le signal IC2 (Figure 9), qui est composé de périodes où le signal a de faibles amplitudes, suivies de périodes où l'amplitude du signal est bien plus large, correspondant aux rafales du vent.

Afin d'illustrer que cette méthode n'est pas spécifiquement liée au matériel utilisé, ou aux conditions particulières du volcan Nyiragongo, elle a été appliquée à des enregistrements effectués avec une petite caméra Sony en décembre 2002, au lac de lave de l'Erta'Ale, en Ethiopie. Dans ce cas, les deux microphones sont très proches, puisque encapsulés dans la caméra. Les enregistrements stéréo sont visibles dans la Figure 10 (S1 et S2). L'application de la même méthode ICA produit les signaux IC1 et IC2 (cf. Figure 10), avec les rafales de vent contenues dans le signal IC2. Il est donc bien possible de séparer les composantes sonores sans connaissance préalable de leurs caractéristiques (si ce n'est l'hypothèse de leurs indépendances).



Photo F. Cruchon

Erta Ale, 2001

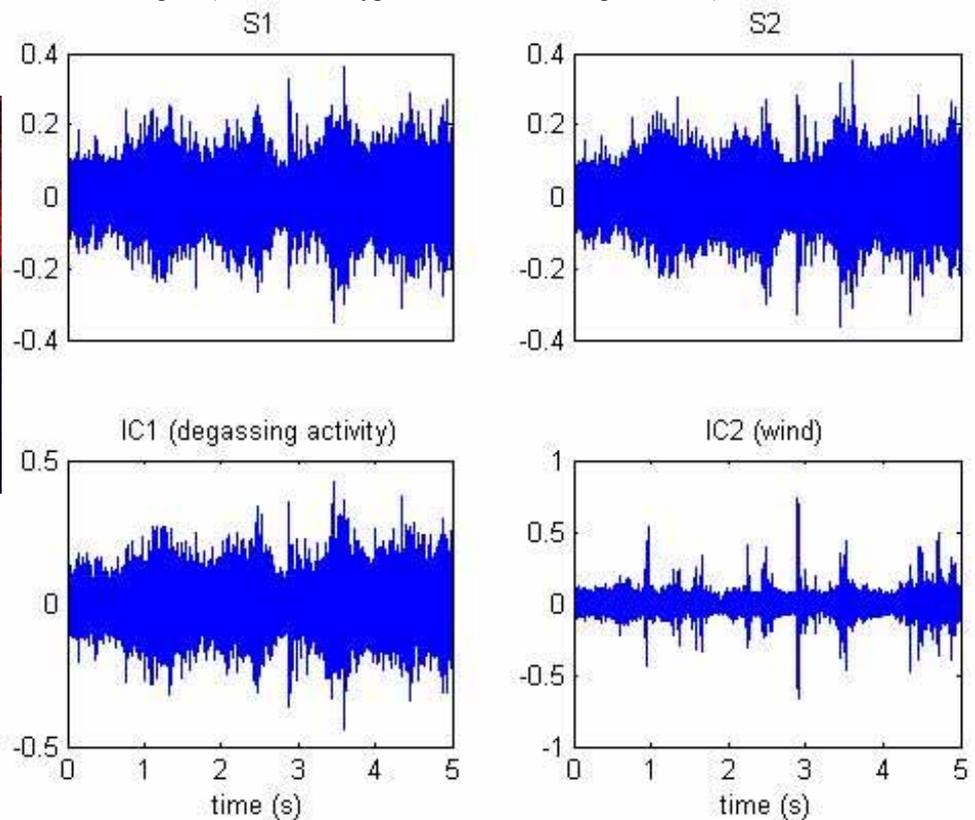


Fig.10. Signaux comme dans la Figure 9, mais correspondant à des enregistrements stéréo effectués avec une caméra Sony mini-DV au lac de lave de l'Erta'Ale, en décembre 2002 (réalisé par Marianne Marion). Les rafales de vent, beaucoup plus fortes que celles enregistrées au Nyiragongo, sont visibles dans le signal IC2.



Photo F. Cruchon

## Conclusions

Cet article démontre qu'avec des moyens modestes, il est possible de réaliser des expériences sur le terrain qui ont une valeur certaine pour le domaine de la volcanologie. En effet, l'analyse des infrasons issus de l'activité explosive des volcans est de plus en plus à la mode, particulièrement dans un but de localisation des sources<sup>2</sup>(voir encadré p.18). Néanmoins, les enregistrements sonores sont très souvent dépendant des bruits environnants, qui peuvent perturber les signaux issus du dégazage. Jusqu'à présent, dans la littérature volcanologique la séparation des signaux magmatiques des bruits environnants, particulièrement du vent, a été présentée comme un problème majeur (cf. par exemple l'article récent sur le sujet de J.B. Johnson : Volcanic eruptions, lighting, and a waterfall : differentiating the menagerie of infrasound in the Ecuadorian jungle, Geophysical Res. Letters 33, 2006, L06308). Aussi, généralement la méthode utilisée pour séparer les composantes sonores s'appuie sur des techniques de corrélation des signaux, qui impliquent de fixer des paramètres d'une manière souvent arbitraire (par exemple, seuil à atteindre pour considérer les signaux « corrélés »). La démonstration de séparations magma-vent présentée dans cet article, effectuée sur la base de deux microphones disposés à quelques centimètres l'un de l'autre, offre une alternative intéressante pour les volcanologues. En effet, il leur suffirait de doubler, voire de tripler (selon le nombre de sources sonores) le nombre de microphones à chaque site de mesure afin de permettre après traitement ICA la séparation des composantes sonores, qui pourraient ensuite être plus aisément utilisée pour localiser les sources explosives.

Ces résultats présentés ici ne sont pourtant que préliminaires. Il s'avère en effet que certaines questions plus techniques demeurent. Ces questions dépassent le cadre de cet article, qui se veut informatif. Mais je reste volontiers à disposition des lecteurs qui désireraient poursuivre la discussion sur le sujet (e-mail : [pierre-yves.burgi@adm.unige.ch](mailto:pierre-yves.burgi@adm.unige.ch)). D'autre part, il semble déjà évident que le domaine des mesures acoustiques sur les volcans est un vaste sujet qui invite à réaliser bien d'autres expériences sur le terrain. Cet objectif est compatible avec la mission du groupe d'intérêt scientifique de la SVG, créé en automne 2004.

*Lac de lave de l'Erta Ale (Ethiopie),  
janvier 2002*



*Nyiragongo, juin 2005*



L'auteur de cet article tient à remercier particulièrement l'**observatoire volcanologique de Goma (OVG)**, ainsi que les membres de l'expédition de mai 2005, qui, par leur aide au niveau de la logistique, m'ont permis de réaliser les mesures acoustiques sur la deuxième terrasse du Nyiragongo, nécessaires à cette étude. Marianne Marion est également remerciée pour m'avoir autorisé l'utilisation de ses enregistrements du lac de lave de l'Erta'Ale, réalisés en décembre 2002 ■

*Réponse Photo Mystère*

Vous l'avez sans doute facilement deviné : c'est l'île de Surtsey, dans l'archipel des Westman sur la côte sud de l'Islande.

**Remarques:**

<sup>1</sup> L'ICA ne doit pas être confondu avec la technique de PCA (Principal Component Analysis), bien plus connue dans les milieux scientifiques. A titre de rappel, l'analyse en PCA est basée sur la détermination des axes principaux qui correspondent aux variations statistiques les plus importantes (valeurs propres des matrices de covariance) contenues dans le signal. Ces axes sont par définition orthogonaux, ce qui n'est pas forcément le cas des axes résultant de l'analyse ICA. D'autre part, en PCA l'hypothèse de base est que la distribution statistique des signaux est Gaussienne. Ceci n'est pas du tout le cas avec l'ICA, au contraire, et c'est ce qui en constitue sa force majeure, puisque l'analyse peut impliquer des moments d'ordre supérieur à 2. Dans le cas des mesures acoustiques des lacs de lave considérées dans cette étude, force est de constater que l'analyse PCA fournit également une séparation assez bonne, ce qui tendrait à dire que les statistiques en jeu se rapprochent de distributions Gaussiennes. Pour en savoir plus sur l'ICA, cf. A. Hyvärinen, J. Karhunen, E. Oja : Independent Component Analysis, John Wiley & Sons, NY 2001.

<sup>2</sup> La localisation est généralement réalisée par triangulation, sur la base de la vitesse du son qui est considérée comme constante.





Cratère du Nyiragongo, juin 2005



**Avalanches incandescentes, dôme du Santiaguito, Guatemala décembre 2005 © Olivier Grunewald.**