

SOCIETE DE VOLCANOLOGIE GENEVE

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

SVG



GENEVE

51 Bulletin mensuel



Volcanisme de Io

SVG



GENEVE

IMPRESSUM

Bulletin de la SVG No 51,
juin 2005, 16 p, 290 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
(01.01.05-31.12.05) SVG:
50.- SFR (38.- Euro)/soutien
80.- SFR (54.- Euro) ou plus.
Suisse: CCP
12-16235-6

Paiement membres étran-
gers:
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 par Loterie Romande
www.entraide.ch

et une Fondation Privée

En plus des membres du comité de
la SVG, nous remercions Régis
Etienne & P.Y. Burgi pour leurs arti-
cles, ainsi que toutes les personnes,
qui participent à la publication du
bulletin de la SVG.

SOMMAIRE BULLETIN SVG N051, JUIN 2005

Nouvelles de la Société	p. 1
Focal	p.1
Colima	
Récit de voyage	p.1-8
Nyiragongo 2005	
Dossier du mois	p.9-16
Volcanisme de Io	

DERNIERE MINUTES -DERNIERES MINUTES



Photo D.Haldar

Volcan Barren en éruption en 1991

Confirmation de la nouvelle éruption du volcan indien Barren, dans les îles Andaman, seul volcan actif sur ce segment de l'arc insulaire orienté N-S allant de Sumatra (Indonésie) et à la Birmanie. Des coulées de lave et des explosions sont signalées par les gardes côtes indiens. De mauvaises conditions météo empêchent des observations de terrains détaillées.(VolcanoList 06.06.05)



**Volcanisme
de Io**

*Dessin artistique du survol du satellite volcanique de
Jupiter, Io par la sonde Galileo, mars 1996 (© NASA)*

RAPPEL : BULLETIN SVG SOUS FORME ÉLECTRONIQUE ET SITE WEB SVG

Les personnes intéressées par une ver-
sion électronique du bulletin mensuel
de la SVG à la place de la version pa-
pier, sont priées de laisser leur adresse
électronique, avec la mention bulletin,
à l'adresse suivante :
membresvg@bluemail.ch et... le bul-
letin du mois prochain vous parvien-
dra encore plus beau qu'avant ■



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

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 13 juin 2005 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:

SURPRISES-VOLCANS

MOIS PROCHAIN
Attention pas de
séance, ni de bulletin en
juillet et août

Pour la séance de la rentrée du lundi 12 septembre 05, nous aurons pour thème le volcan **NYIRAGONGO**, avec film et diapos.

Pour cette dernière séance, avant la pause de l'été, nous aurons un programme un peu moins chargé pour laisser de la place à vos discussions volcans (projets, etc) ou autres....Nous aurons cependant une démo. sur le web pour obtenir des images satellites de vos volcans préférés, probablement deux courts films inédits sur la dépression Danakil, quelques images brutes de l'activité du Nyiragongo et autres surprises éventuellement ■

*A la veille de l'été et d'éventuels voyages volcaniques, nous vous rappelons qu'en septembre-octobre nous préparerons le **nouveaux calendrier SVG 2006**, alors à vos appareils photos!*

FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL FOCAL



Le Colima au Mexique est depuis plusieurs semaines dans une phase explosive importante. Le 30 mai 2005 une des plus violentes explosions depuis 20 ans (panache 8 km de haut) s'est même produite, accompagnées de la mise en place de plusieurs coulées pyroclastiques. Images ci-dessus activité en mars 2005, Photos Observatoire du Colima.



RECIT VOYAGE RECIT VOYAGE RECIT VOYAGE RECIT VOYAGE RECIT

JOURNAL DE VOYAGE NYIRA- GONGO MAI 2005

Texte et photos R. Etienne
et V. Grandjean

Participants SVG : Pierre-Yves
Burgi – Marc Caillet - Régis Etienne
- Pierre Vetsch

Jour 1 mardi 17 mai

Départ de Genève à 7h15, via Bruxelles et Kigali, arrivée à 18h40. La veille, enregistrement de bagages de soute, 174 kg pour les quatre! Et environ 60 kg de bagages à main...

A l'aéroport de Kigali, nous sommes accueillis par Innocent, un des chauffeurs de l'observatoire. Il nous mène à notre hôtel, le Novotel. Rapidement installés, nous mangeons sur la terrasse près de la piscine. Mais à ce confort se superposent les souvenirs des tracas de la dernière expédition. Et dans la soirée, je retrouve par hasard Thibault : il travaille au consulat français de Kigali et nous a bien aidé l'an passé pour organiser notre retour prématuré. Il m'annonce qu'il participera à notre expédition et qu'il restera une nuit au sommet du volcan.

Jour 2 mercredi 18 mai

Innocent vient nous chercher à 9h, nous arrivons vers 12h à la frontière entre le Rwanda et le Congo (RDC). Jacques Durieux, volcanologue français et chef de mission pour l'ONU, nous y attend pour nous faciliter le passage de la douane. Dans une superbe maison à Goma où nous allons loger, nous déjeunons avec Dario Tedesco, volcanologue italien et spécialiste de l'étude des gaz et Jacques Barthélemy, guide de montagne, qui est un familier du volcan; il a déjà participé à plusieurs expéditions.

A 16h, départ pour l'Observatoire Volcanologique de Goma où Jacques Durieux nous met au courant des dernières nouvelles du volcan. Nous retrouvons Kasereka - le directeur de l'observatoire - et toute son équipe avec plaisir. Nous constatons que Jacques Barthélemy a installé des cordes derrière le bâtiment:

les collaborateurs de l'observatoire qui vont tenter la descente dans le volcan s'y entraînent ferme !

Jour 3 jeudi 19 mai

Petit déjeuner à 7h30. Beau temps à Goma, mais depuis notre arrivée, le sommet du volcan est couvert. Aujourd'hui, Dario veut faire des mesures sur les gaz aux alentours du volcan. Giorgina et Simon, volcanologues (UK & US), nous accompagnent : ils sont des spécialistes sur la composition en gaz du panache des volcans. Le temps de préparer les deux voitures, de prendre de l'essence, c'est seulement vers 11h30 que nous partons. Nous contournons l'édifice volcanique par l'ouest et nous procédons à des mesures de l'air à l'aide d'un appareil fixé sur le toit de la voiture. Nous nous arrêtons aux deux stations sismiques, Kunéné et Rusayau; nous y installons des filtres (capteurs passifs) qui vont récolter les acides et métaux lourds présents dans le panache de gaz du volcan. Suivant la direction du vent, le panache se rabat sur les environs et brûle la végétation. Les pluies, en traversant ces gaz, se chargent d'acide et polluent les eaux.

Si l'après-midi, le temps était un peu couvert et nous masquait notre volcan favori, à notre retour les sommets de la chaîne volcanique des Virunga sont complètement découverts. Le soir, depuis l'observatoire, nous apercevons la lueur du lac de lave du Nyiragongo, pourtant distant de 17 km à vol d'oiseau.

Pendant ce temps, Jacques Barthélemy s'occupe de rassembler tout le matériel nécessaire à notre expédition et de prévoir les vivres pour une vingtaine de personnes pour 10 jours. Il faudra pas moins de soixante porteurs pour en assurer l'acheminement et vingt autres pour le ravitaillement pendant notre séjour au sommet.



Goma sous l'imposant panache de gaz du Nyiragongo



Station sismique de Kibumba, flanc est du Nyiragongo



Jour 4 vendredi 20 mai

Le matin, départ pour l'observatoire. Puis toute l'équipe accompagne Dario sur deux autres endroits où sont installées des stations de surveillance, Kibumba et Kibati. Nous y posons deux autres filtres. Le reste de la journée servira à préparer le matériel, le transport de la station météo qui sera installée sur le volcan et à vérifier nos équipements, cordes, baudriers, etc. L'armature métallique prévue est assez imposante, avec les boulons d'ancrage, le ciment, les câbles de tension, l'outillage, presque une centaine de kilos qui seront montés à dos d'hommes.

Jour 5 samedi 21 mai

Départ pour le volcan. Jacques Durieux, Jacques Barthélemy, Giorgina, Simon, Barbara, étudiante en volcanologie de Clermont-Ferrand et nous quatre quittons la maison à 7h pour l'observatoire où nous ferons les derniers préparatifs. De là, nous continuons en voiture avec ceux de l'observatoire pour le village de Kibati, d'où nous attaquerons la montée à pied !

Deux équipes de porteurs sont déjà montées la veille. Nous mettons 5 heures pour atteindre le sommet, où les 4 grandes tentes sont déjà installées. De là, nous avons une première vision magnifique du cratère et du lac de lave. Par intermittence, le lac est dissimulé par son énorme panache de gaz qui tourbillonne sans arrêt. Nous profitons pour prendre les premières images de ce spectacle fabuleux. Jacques Durieux estime que le lac mesure entre 200 et 300 mètres de diamètre et qu'il se situe à 700 mètres environ en contrebas de la lèvre du cratère.

Nous rassemblons le matériel nécessaire aux différentes mesures et expériences que l'équipe scientifique va effectuer. Une bonbonne d'azote liquide de 40 kg, montée à grand peine, arrive bien plus tard, mais un choc a brisé la paroi interne de la bouteille et il y a une fuite. Nous tentons de l'isoler et de colmater la fuite. L'azote est utilisé pour refroidir l'appareil qui va servir à Giorgina et Simon à mesurer les flux à l'intérieur du panache de gaz.

Le soir, dîner dans la bonne humeur, même si l'orage éclate et qu'il pleuvra toute la nuit. La dizaine de convives fait honneur au repas préparé par Augustin, notre cuisinier ; il fera des miracles tout au long de notre séjour, compte tenu des conditions météo et du matériel rudimentaire dont il dispose.

Jour 6 dimanche 22 mai

Brouillard et humidité. Pas la moindre visibilité. Heureusement, les porteurs nous assurent régulièrement le ravitaillement.

Malgré le temps pourri de la matinée, les deux Jacques équipent la paroi jusqu'à la première terrasse. Pierre et moi restons au sommet en contact radio. Il pleut toujours, mais Marc et Pierre-Yves profiteront d'une brève accalmie pour faire un premier portage de matériel jusqu'à la première terrasse. La paroi - peu stable - reste dans le brouillard, la pente est impressionnante. Nous devons franchir les 180 mètres sur des vires ; certains passages difficiles sont encore équipés des échelles posées en 1958 par Haroun Tazieff ; même avec la main courante, cela représente un sacré truc à descendre avec 15 kg sur le dos ! Jacques Barthélemy, le guide, m'accompagne pour cette première tentative. Pendant que certains remontent, pour ne pas risquer des accidents suite à des chutes de pierres en les suivant de trop près, les autres visitent la première terrasse, avant de les rejoindre sous une pluie battante. C'est tout sauf une promenade de santé, et dire qu'il va falloir remettre ça je ne sais pas combien de fois, si nous réussissons à établir comme prévu un camp tout en bas ! Le temps redevient détestable...

Jour 7 lundi 23 mai

Météo toujours pourrie. Nous aidons les deux Jacques et Marc qui installent la station météo, à l'est de notre camp. Ce n'est pas facile : il leur faut se suspendre dans le vide pour la fixer à l'intérieur de la paroi, pour prévenir les vols et déprédations.

Mis à part cette activité, rien sinon la pluie qui persiste, le brouillard et le froid, nous sommes quand même à 3400 mètres d'altitude ! Nous retrouvons les tentes et du thé bouillant avec soulagement ; nous avons constaté que le sol est relativement chaud - près de 25 degrés - chauffage au sol qui nous permet de sécher nos habits et de ne pas



Le camp de «base» au sommet !



Montage de la station météo au sommet du volcan



Photo P.Versch

Enfin ! Le lac de lave(Belvédère,28.05.05).



trop moisir... Les matelas fournis par l'observatoire sont confortables et nous offrent des nuits dans de bonnes conditions. Dans cet environnement assez hostile, nos gardes assurent 24 h sur 24 la surveillance des lieux : nous ne tenons pas à nous faire dévaliser une deuxième fois. Nous apprendrons, de retour à Goma, que d'autres patrouilles ont assuré la sécurité de l'accès au sommet.

Jour 8 mardi 24 mai

MTP. (Météo Toujours Pourrie). Kasereka, le directeur de l'observatoire, Dario et deux autres spécialistes italiens des gaz, Orlando et Franco, arrivent en début d'après-midi. Du ravitaillement cette fois sur pattes les suit: une chèvre et six poulets ! Nous occupons notre journée à terminer l'installation de la station. Lecture et mots fléchés pour couronner le tout.

L'inquiétude commence à nous gagner quand au succès de notre expédition : si le mauvais temps persiste, pourrions-nous descendre dans le volcan ?

Jour 9 mercredi 25 mai

MTP. Le matin, nous suivons la crête vers l'ouest pour poser deux filtres identiques à ceux que nous avons installés aux alentours du volcan avec Dario. L'équipe de l'observatoire en profite pour poser un scorimètre, sorte de gros entonnoir qui récoltera les particules émanant du volcan. Ils mesureront ainsi les retombées de l'activité volcanique. Retour dans le brouillard et les gaz. Au cours d'une brève éclaircie, l'ouverture permettra 2 minutes de film! Le moral de l'équipe tient bon, mais la question reste lancinante de savoir si nous pourrions descendre ou non sur la deuxième terrasse; Jacques Durieux n'est pas très optimiste. Néanmoins, Dario tentera de faire ses prélèvements de gaz sur la première terrasse.

L'après-midi, une petite amélioration incite Jacques Barthélemy à descendre avec Pierre, Marc et Pierre-Yves ; ils commencent à installer l'équipement nécessaire pour parvenir à la deuxième terrasse. La paroi de 90 mètres, presque verticale, se franchit à l'aide du descendeur. Je reste en haut pour filmer les gars qui s'engouffrent dans le volcan, toujours dans une atmosphère lugubre. Pierre me prévient par radio quand il attaque la remontée, je suis prêt à le filmer, mais la pluie empêche toute prise de vue.

Enfin, le soir, (cela fait 4 jours que nous piaffons d'impatience), nous bénéficions d'une ouverture d'environ deux heures. C'est la ruée sur les appareils photo et les caméras, le lac est magnifique, on voit les fontaines de lave, ça brasse fort ! Quand le brouillard revient, le moral lui est plus serein, les images enregistrées sont superbes.

Jour 10 jeudi 26 mai

Le temps est un peu plus clair. Dario va vérifier ses filtres sur la crête. Les deux Jacques descendent dans le cratère. Plus tard, Marc et Pierre-Yves les rejoignent sur la première terrasse, et ils décident de tenter la descente de la deuxième terrasse. Ils nous préviennent par radio. Pierre et moi nous nous préparons pour gagner nous aussi le fond du volcan. La descente est scabreuse, le sac est lourd... Quand nous arrivons, Marc et Pierre-Yves ont déjà atteint la deuxième terrasse. Pierre les rejoint, j'hésite, il pleut de nouveau des cordes; Jacques Barthélemy attend avec moi une accalmie, je tente quelques plans d'ensemble de la deuxième terrasse, avec les copains en bas. Finalement je me lance, la descente se passe sans problème, et j'arrive enfin sur cette fameuse deuxième terrasse, (notre Everest à nous !). Emotion puissante, c'est bouleversant de se retrouver là, magique et magnifique. Nous sommes au fond du Nyiragongo!!!

L'emplacement est vaste, nous regrettons de n'avoir pas pu camper là. Bien sûr, il n'y avait à ce moment pas de gaz, cela doit être une autre histoire quand l'haleine du volcan est un peu plus chargée ! Pierre filme un peu plus loin, et les autres observent le lac, 300 mètres plus bas. Immense et très agité, la lave bouillonne à plus de 1000 degrés, la chaleur intense qu'il dégage à son aplomb est... bienvenue pour nous réchauffer, trempés et transis après l'effort dans la descente. Nous nous séchons tout en admirant ce spectacle inouï. Un peu plus tard, Franco et Dario remontent. Je regagne alors la première terrasse, à faire en grimpe et au jumar, nettement plus difficile que



Dur, Dur, les réveils pluvieux...



Photo P.Vetsch

Pose d'un capteur de gaz, dans le panache volcan, rebort ouest du cratère



Photo P.Vetsch

Lac de Lave depuis la seconde plateforme, bord ouest 27.05.05



Photo P.Vetsch

Lac de lave depuis le Belvedere, côté ouest du cratère, 28.05.05



l'aller ! Je refais des plans d'ensemble et filme Pierre qui monte après moi. Nous jubilons... Pour parvenir au sommet, nous grimpons dans la nuit, et nous en bavons un max ! Mais tout le monde est tellement heureux... De nuit, nous continuons à faire des plans depuis le sommet, pour ne rien laisser perdre de cette atmosphère rouge et noire fascinante.

Jour 11 vendredi 27 mai

Météo de nouveau pourrie. Nous allons relever les appareils installés à l'ouest, les filtres pour les gaz et les pluies acides. Le temps ne s'arrange pas sur le volcan, une partie de l'équipe songe à regagner Goma. Finalement, Jacques Durieux décide de redescendre, Dario, Orlando, Franco, Pierre-Yves et moi avec. Nous irons faire des mesures sur les «mazuku». Ces poches de gaz, qui émanent du sous-sol volcanique, se



Photo P.Yeisch

Lac de lave fortement agité



Photo P.Yeisch

Cela s'appelle être aux premières loges !
(27.05.05)

fixent dans les dépressions du terrain.

Il nous faut 2h 30 pour regagner Kibati, une voiture nous ramène à la maison à Goma, inutile de dire que la douche est très appréciée après ces 7 jours de campement original ! La « pasta » de Dario est également délicieuse...

Jour 12 samedi 28 mai

Dario, Orlando, Franco, Pierre-Yves et moi allons prélever des échantillonnages sur les diverses coulées de lave répertoriées autour du Nyiragongo. Nous passons à l'observatoire, et effectuons quelques achats en ville.

Le soir, repas « Chez Doga », lieu de rendez-vous du personnel des différentes organisations internationales installées à Goma.

Jour 13 dimanche 29 mai

Départ pour prélever des gaz sur les mazuku. Ces gaz, riches en CO₂, sont plus lourds que l'air ; ils s'accumulent sans signe apparent, ce qui représente un danger considérable pour les populations, particulièrement pour les petits enfants. Nous avons d'ailleurs



Panneau signalisation d'un mazuku et de ses dangers



retrouvé des cadavres de petits animaux pris au piège. Des chercheurs émettent l'hypothèse que ces phénomènes seraient à l'origine de la légende des cimetières d'éléphants.

Au premier endroit, Mubambiro, situé à une quinzaine de km de Goma, nous prélevons des gaz, mais nous ne pouvons pas de réaliser l'expérience prévue. Au deuxième mazuku, à Kanyabisholo, nous faisons un test avec un fumigène pour mettre en évidence l'accumulation de gaz au fond de cette cuvette. La fumée dégagée vient se poser sur la nappe de gaz, et flotte à environ 1 mètre du sol. Toute vie en dessous de cette limite est impossible, il n'y a plus d'oxygène. Je filme l'expérience, cette fois très concluante.

Nous repassons par l'observatoire, où Jacques Durieux nous informe que Kasereka, Jacques Barthélemy, Pierre et Marc, restés au sommet, ont bénéficié hier d'ouvertures météo permettant de bonnes observations. Ils ont pu retourner sur la deuxième terrasse. Le temps relativement clément a permis à Jacques Barthélemy de faire descendre l'équipe de l'observatoire sur la première terrasse, une grande première pour eux ! Tous vont quitter aujourd'hui le volcan, ils doivent arriver à Kibati vers 13h. Nous les retrouvons à la maison, comblés du spectacle fabuleux des derniers jours. Nous fêtons la réussite de l'expédition autour d'un grand méchoui.

Jour 14 lundi 30 mai

Changement de décor... et de sensation fortes! Nous partons en direction de la frontière avec l'Ouganda pour aller observer les gorilles de montagne. Trois heures de route éprouvantes sont nécessaires pour parvenir au parc ; il faudra encore une heure et demie de marche jusqu'à l'endroit où nous pourrions approcher de très près toute une famille de gorilles. Des pisteurs avaient repérés au préalable ces 11 anthropoïdes. Nous restons une heure sur place, observant et filmant entre autre un mâle impressionnant à moins de 5 mètres. Les petits gorilles se balançaient entre les bambous, sous surveillance des 3 ou 4 femelles. La forêt avoisinante, assez dense, est protégée et a pu garder son état d'origine.

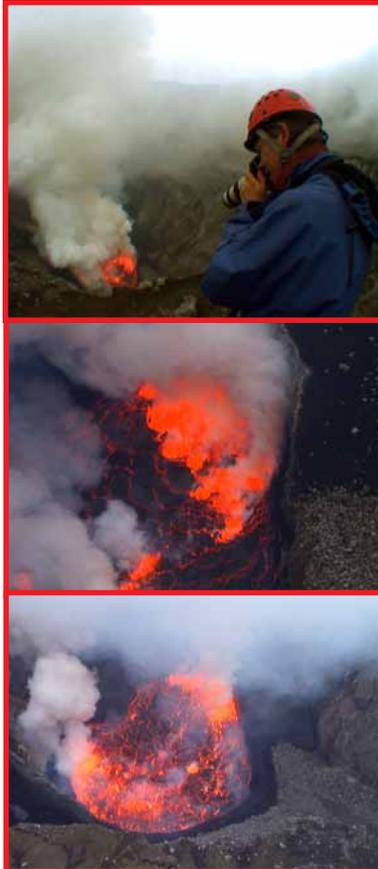
Nous marchons sous la pluie pour rentrer, puis subissons 3 heures de voiture sur des pistes encore plus défoncées. Notre chauffeur nous avouera en arrivant à Goma qu'il pas pris le même chemin qu'à l'aller, pour éviter les militaires pas toujours bien intentionnés qui pourraient nous guetter au retour.

Jour 15 mardi 1 juin

Retour en Suisse. Le matin, nous prenons congé des deux Jacques, des scientifiques italiens, des étudiants et de toute l'équipe de l'observatoire. Le transfert à Kigali est assuré par Innocent, le chauffeur de l'observatoire. Kasereka, le directeur, nous ac-

compagne pour plus de sécurité jusqu'à la frontière avec le Rwanda ; il nous reste trois bonnes heures de route jusqu'à Kigali. Halte au Novotel pour manger, et départ pour l'aéroport. Toutes les questions épineuses de surcharge pour les bagages ayant été efficacement résolues par Anna, de l'agence Géo Découverte, qui nous a organisé les vols, c'est sans encombre que nous franchissons les contrôles et décollons. Accueil chaleureux des copains à l'aéroport de Genève, et premier récit à Luigi sur une terrasse bien genevoise ■

Vertical au-dessus du lac de lave, bordure sud seconde terrasse, 27.05.05.



Photos P. Veisch

Sans commentaire !

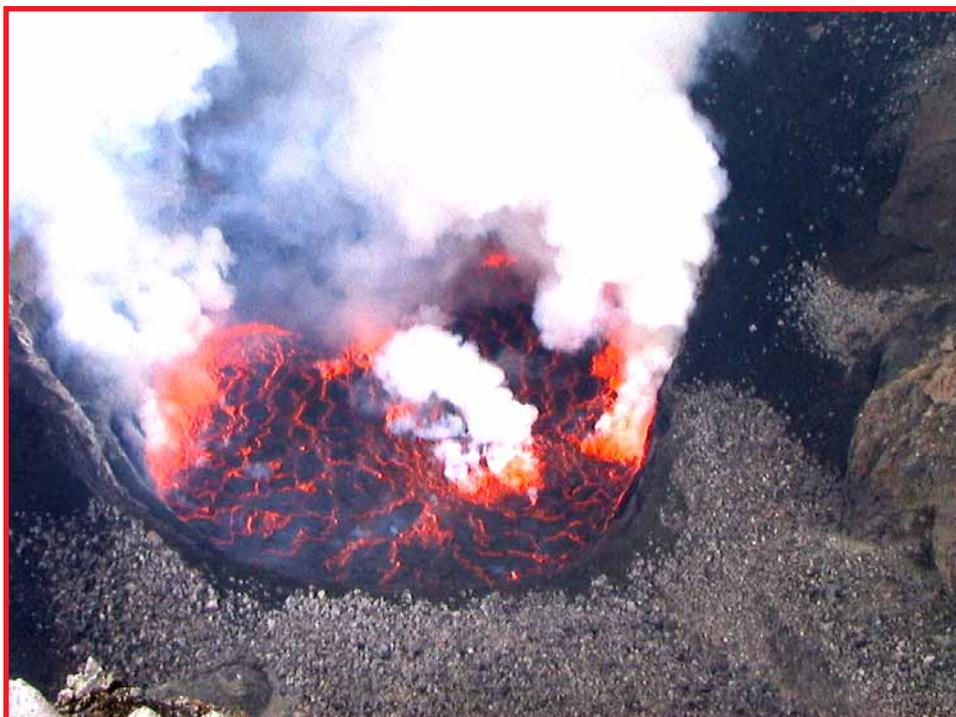


Photo P. Veisch



DOSSIER DU MOIS DOSSIER DU MOIS DOSSIER DU MOIS

Io, un volcanisme antédiluvien

Io, l'une des lunes de Jupiter, est particulièrement intéressant pour l'étude du volcanisme planétaire du fait qu'en dehors de la Terre, c'est le seul corps qui possède un volcanisme à si grande échelle et si actif. Bien que la Terre ait plus de 600 volcans actifs, l'énergie impliquée dans son volcanisme représente seulement la moitié de celle dépensée par les 152 volcans actifs d'Io qui ont été recensés. En terme de production annuelle de lave, cela représente environ 100 fois celle trouvée sur Terre (y compris les éruptions sous-marines). Pas étonnant alors que l'activité volcanique de Io passionne des scientifiques de la NASA, particulièrement depuis 1996, année durant laquelle l'engin spatial Galilée a été mis en orbite autour de Jupiter, ce qui a permis depuis de faire des observations beaucoup plus précises. Comparé au volcanisme de notre planète, ces études ont révélé de grandes différences, telles que l'origine du volcanisme et les styles d'éruption, qui n'ont pas d'équivalent terrestre !

Quelle est donc l'origine du volcanisme d'Io ? Comment se fait-il que le flux de chaleur, dépasse-t-il d'un facteur 200 ce que l'on pourrait mesurer s'il était dû au seul phénomène de radioactivité, comme c'est le cas dans le noyau de la Terre ? Et bien contrairement à cette dernière, la majeure partie du volcanisme d'Io est liée à son orbite particulière autour de la planète géante. Ce sont les *forces gravitationnelles* de Jupiter, ainsi que de celles exercées par Europa et Ganymède, deux autres lunes de Jupiter, qui produisent l'échauffement d'Io (le fait que la plupart de l'activité volcanique se concentre proche de l'équateur est consistant avec ce modèle de marées asthénosphériques). Cette énergie se dissipe sous forme de volcanisme, créé par des courants de convection, selon une distribution de points chauds. Bien que différent, il est cependant possible de comparer Io à la situation de la Terre il y a plusieurs centaines de millions d'années, lorsque la tectonique des plaques n'existait pas encore. Et précisément, sur Io il n'y a pas de tectonique des plaques ! Une des caractéristiques majeures de l'absence d'une telle tectonique est que contrairement à la Terre qui possède des zones de rift qui s'étendent sur plusieurs milliers de km de longueur (pour moins de 10 km de largeur), sur Io les rifts sont circulaires, et de taille plus réduite, correspondant à celle de ses « pateras » – voir plus bas pour la définition de ce terme. Quant au volcanisme rencontré sur Io, trois types ont été recensés : « Pillanéen », « Prométhéen », et « Lokien ».

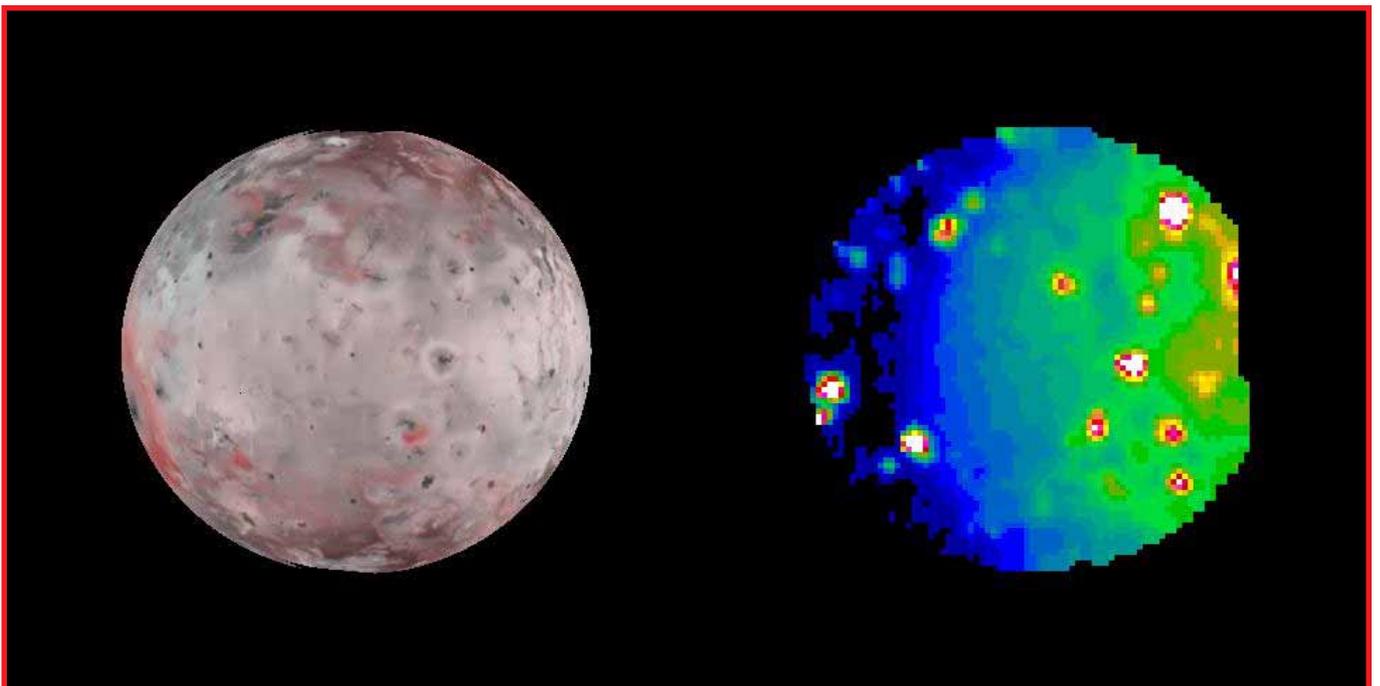
LE VOLCANISME DE IO

Texte P.Y. Burgi

Source des photos : site de la NASA
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/feature/loki>



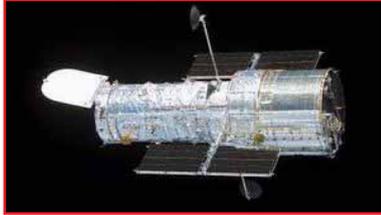
Décollage d'Atlantis, le 18.10.89, avec à son bord la sonde Galileo



Photos prises dans l'infrarouge de jour (à gauche) et de nuit (à droite). La distribution des points chauds est bien visible sur ces images.



Techniques d'observation



Hubble, le télescope spatial en orbite

Comment connaissons-nous le volcanisme de Io ? Il y a deux sources principales de ces connaissances : d'une part l'observation depuis la Terre (ou depuis le télescope Hubble), et d'autre part l'usage de sondes passant près de Jupiter ou mis en orbite autour de Jupiter. Par exemple, Voyager I en 1979 et Voyager II, 18 mois plus tard, ont permis d'observer le volcanisme de Io en utilisant des détecteurs infrarouges. Puis vient la sonde Galilée, mis en orbite autour de Jupiter en 1996, qui pendant 7 ans a permis de fournir une foule de données sur le volcanisme de Io. L'objet de cet article est de faire le point des observations récoltées par Galilée, durant les orbites I31 et I32, soit en août et octobre 2001. Ces observations, ainsi que des comparaisons avec des lacs de lave terrestres, comme le Kupaianaha du Kilauea à Hawaii ou l'Erta'Ale en Ethiopie, ont fait l'objet d'une publication par un groupe du « Jet Propulsion Laboratory » de la NASA (R.M.C. Lopes et al. 2004 : Lava lakes on Io : observations of Io's volcanic activity from Galileo NIMS during the 2001 fly-by, Icarus 169, 140-174). C'est cette publication qui représente la principale source des informations reportées ici. Ceux qui voudraient en savoir plus sur Io, et sur le sujet plus général des volcans extra-planétaires, peuvent se référer à l'ouvrage récemment publié par R.M.C. Lopez et T.K.P. Gregg : Volcanic worlds - Exploring the Solar System's volcanoes Springer - Praxis, 236 p., 2004.

Galilée

La mission principale de la sonde Galilée était d'étudier le volcanisme sur Io. Mis en orbite autour de Jupiter en 1996, il a permis de faire des observations jusqu'en automne 2003, date de sa désintégration dans l'atmosphère de Jupiter. Les observations ont consisté à utiliser un radiomètre, ainsi que des caméras sensibles au spectre visible et aux infrarouges (Near-Infrared Mapping Spectrometer – NIMS). Les observations dans l'infrarouge étaient de deux types : (1) Observations à l'échelle régionale où la résolution spatiale est comprise entre 22 et 93 km par pixel (un pixel étant le plus petit point lumineux d'une caméra). Ces observations étaient destinées à l'étude de la distribution globale des points chauds et du gaz sulfurique (SO₂) ; (2) Observations de régions clés avec une résolution plus fine, puisque dans ce cas un pixel représente entre 1.5 et 30 km. Ces observations visaient des points chauds dont le comportement laissait supposer des styles d'éruptions variés.



Largage de la sonde Galileo depuis les soutes de la navette Atlantis.

L'instrument de mesure NIMS. Le Near-Infrared Mapping Spectrometer, ou NIMS, est un spectromètre infrarouge opérant dans les longueurs d'onde 0.7 à 5.2 μm , et donc peut mesurer à la fois la réflexion des rayons du soleil, et les émissions thermiques. L'instrument a été fait pour mesurer 17 longueurs d'onde différentes, pour chaque pixel. Cependant, à cause d'un dysfonctionnement dû aux rayonnements présents dans l'espace, la sensibilité a été réduite à des longueurs d'onde comprises entre 1 et 4.7 μm , et 13 longueurs d'ondes simultanées (au lieu des 17).

Les trois types principaux d'éruption

Du fait d'une origine du volcanisme autre que tectonique, et d'une composition chimique différente des laves terrestres, la classification du volcanisme d'Io lui est propre et diffère de celle qui s'applique sur Terre. Comme le montre les photos prises dans le spectre du visible, la coloration de Io la fait ressembler à une pizza. Une telle coloration est certainement due aux coulées de lave riche en soufre, à l'image de la caldera du Yellowstone aux U.S.A (ou peut-être du volcan Dallol en Ethiopie). Ainsi, les tâches noires correspondraient à du matériel chaud, et le rouge serait des dépôts des panaches. Avec le temps le rouge virerait au jaune à cause d'une transformation chimique du soufre. Il reste à expliquer les zones vertes... Est-ce du soufre mélangé à d'autres composants chimiques ou une lave riche en olivine ?

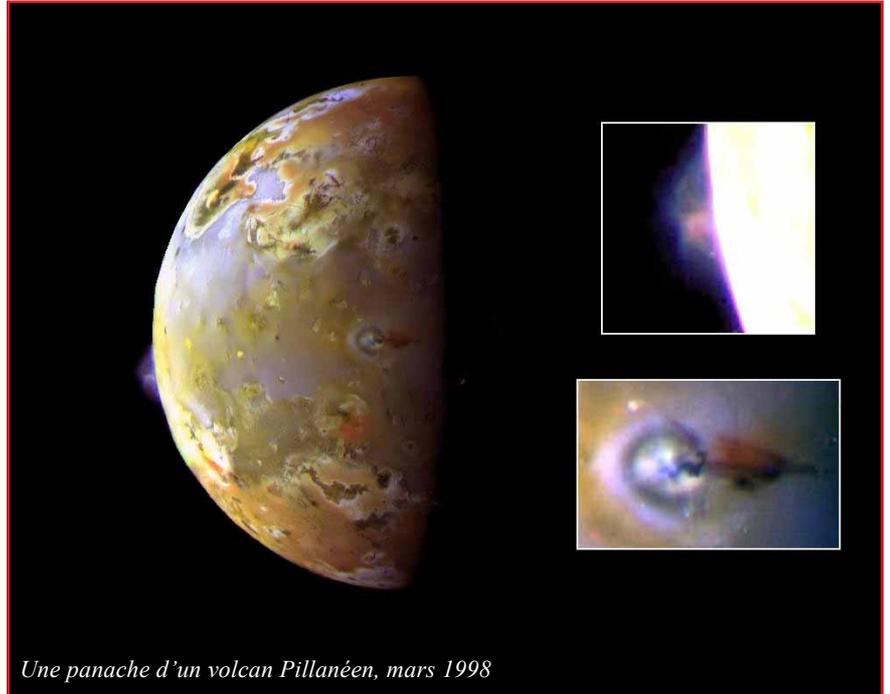


Les 3 types principaux de volcanisme sont maintenant décrits :

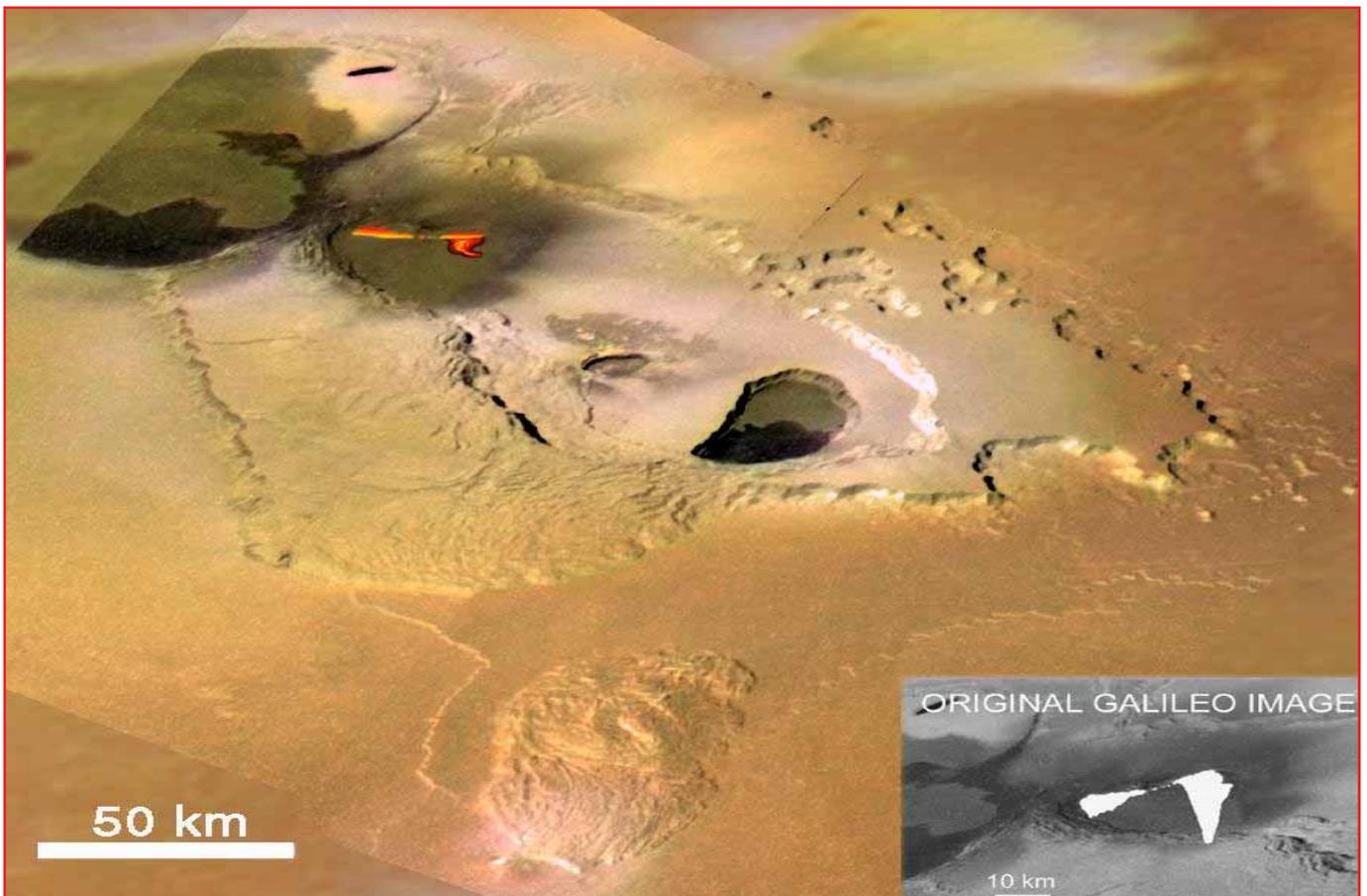
I. Type « Pillanéen »

L'activité de type « Pillanéen » trouve l'origine de son nom dans le volcan Pillan. Ce type d'activité est caractérisé par des épisodes éruptifs courts avec de hautes températures, comprises entre 1220 et 1720 degré Celsius. Ces températures impliquent une température de liquidus du magma (température au-dessus de laquelle un magma est complètement liquide) d'au moins 1400 degrés. Une explication possible à ces températures élevées est la présence de magnésium dans la composition chimique du magma. Sur Terre, de telles laves (aussi connues sous le nom « ultramafique ») n'ont pratiquement plus été émises depuis près de 1.8 milliard d'années. Par conséquent, l'observation de l'activité de Io pourrait permettre de mieux comprendre ce type de laves, mais faudrait-il encore confirmer la composition chimique du magma d'Io.

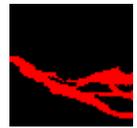
L'activité Pillanéenne implique des éruptions fissurales qui produisent des dépôts pyroclastiques étendus, ainsi que des coulées de lave rapidement visible. De plus, des panaches de plus de 200 km de hauteur peu-



Une panache d'un volcan Pillanéen, mars 1998



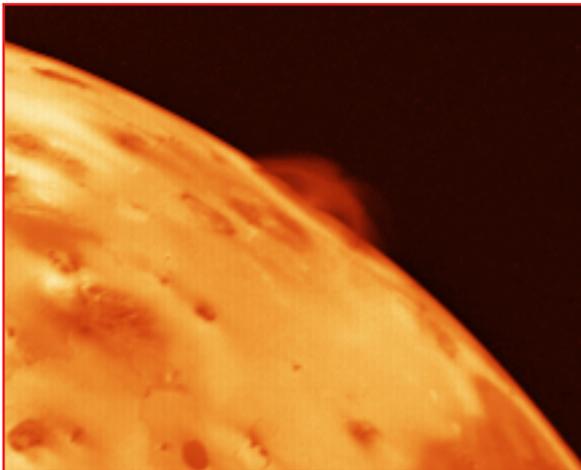
Eruption du volcan Tvashtar, mai 2000. La coulée de lave illustrée dans cette photo a été colorée artificiellement.



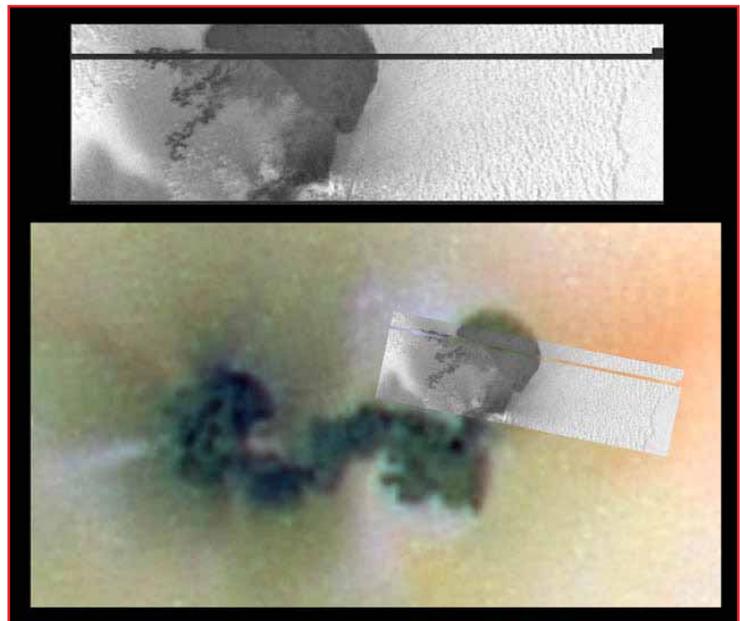
vent apparaître dans ce cas. Le mécanisme qui produit ce type d'éruption violent n'a pas encore été identifié. En dehors du volcan Pillan, ce genre d'éruptions a été observé sur d'autres volcans d'Io, par exemple, Thor et Tvashtar, deux volcans qui étaient également actifs entre mai et août 2001.

II. Type « Prométhéen »

Un autre type d'activité, défini sur la base de l'activité du volcan Prometheus, est caractérisé par des coulées de lave de longue durée qui peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres avec des fronts de lave probablement issus de l'interaction entre la lave et les champs de neige de dioxyde de soufre. L'alimentation de ces fronts de lave se ferait par des tunnels de lave isolés de l'environnement extérieur. Dans le cas du Prometheus, la coulée de lave se serait poursuivie entre 1999 et 2001.



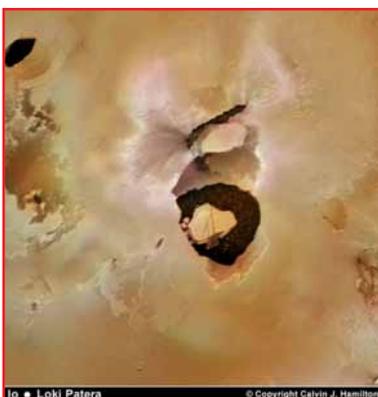
Volcan Prometheus: à gauche, un panache éruptif émit par ce volcan est visible sur l'horizon de Io; à droite une caldera occupe le sommet de ce volcan, remplie par de la lave dont une coulée en déborde.



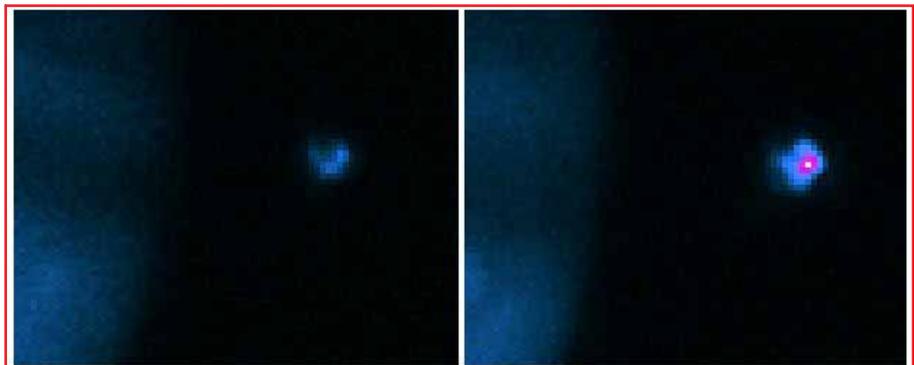
Un autre exemple, le volcan Aminari, a produit une coulée (active lors des observations) d'environ 300 km de long, la plus longue coulée active connue dans notre système solaire. La morphologie de ces coulées rappelle celle des pahoehoe, bien qu'il soit important de relever que la résolution des images ne permet pas une identification sans équivoque de la spécificité des coulées. D'ailleurs, du fait des compositions exotiques des laves, rien ne permet de prédire que les laves Hawaïennes, de type pahoehoe et a'a, peuvent se créer sur Io. Finalement, il est à noter que l'activité Prométhéenne produit des panaches moins hauts que l'activité Pillanéenne décrite ci-dessus (moins de 200 km).

III. Type « Lokien »

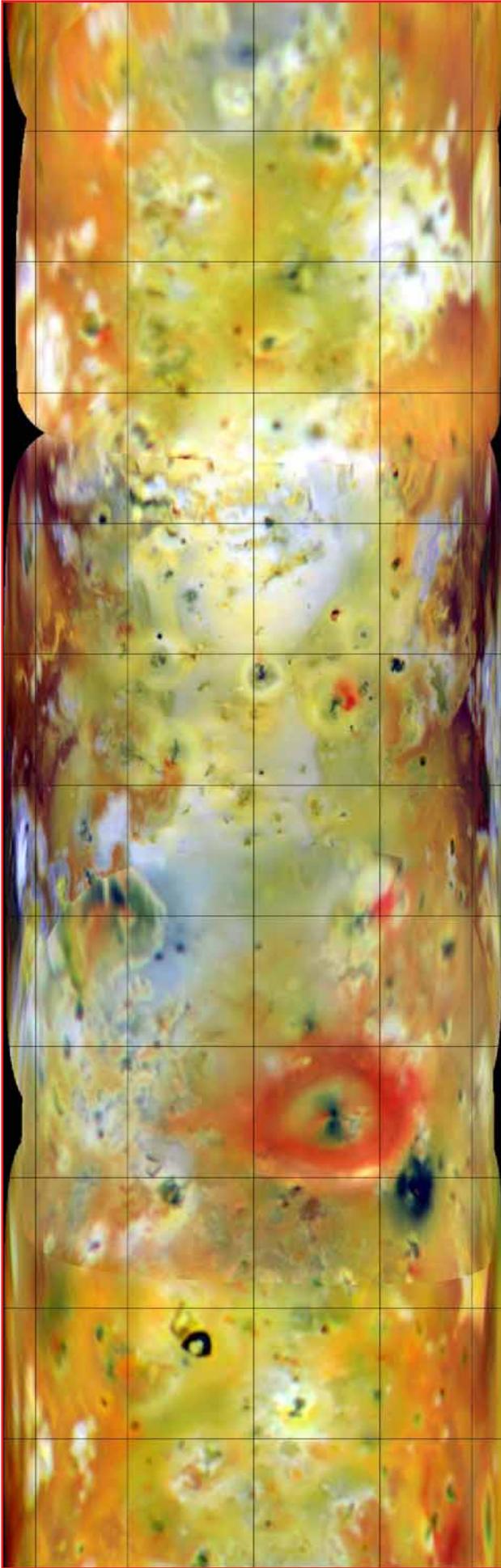
Ce type d'activité, qui prend son nom du volcan « Loki » est le plus répandu sur Io. La caractéristique de ce type d'activité, quelques fois associée à des panaches, est la présence de lacs de lave et/ou de coulées confinée dans l'édifice volcanique, dénommé « patera ». Le terme patera est utilisé pour désigner un édifice volcanique en forme de soucoupe, peu profonde, avec une caldera centrale. Les calderas peuvent mesurer sur



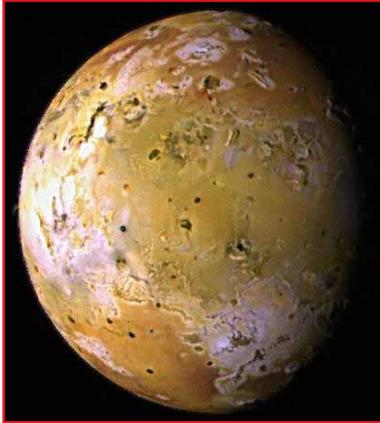
Loki Pantera dans l'hémisphère nord, cette vue rapprochée montre un lac de soufre, avec une île de soufre solide.



Eruption au volcan Loki en automne 1999, vu depuis la terre.



Mosaïque d'images en fausses couleurs infrarouges de la surface de Io, recueillies durant les deux premières orbites, en juillet et septembre 1996, de la sonde Galileo. Elle couvre une surface de 11420 km². Les dépôts de dioxyde de soufre congelés apparaissent dans les teintes blanches et grises, tandis que les jaunes et les bruns représentent d'autres types de matériaux sulfureux. Les zones de rouges brillantes et les points moins claires ou albedo (points «noires») marquent les lieux d'activité volcanique récentes et sont habituellement associés avec des hautes températures ou des changements de surfaces entre les observations.

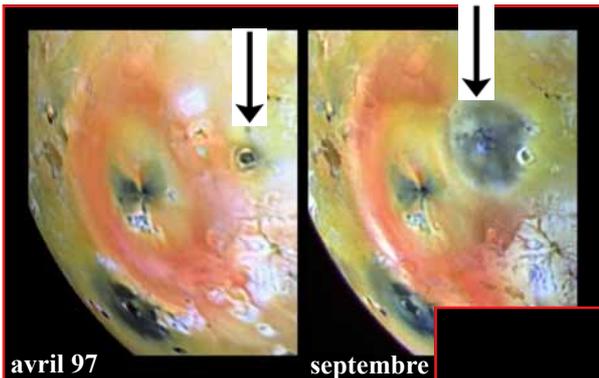


Io en lumière rasante pour accentuer sa topographie

Io entre 20 à 200 km, avec une profondeur jusqu'à 2000 m. A noter que la plus grande « patera » observée est justement celle du volcan Loki qui s'étend sur environ 200 km.

Le volcan Loki a la réputation d'être le plus puissant volcan du système solaire en terme d'énergie thermique puisque cette énergie est de l'ordre de 10^{13} à la puissance 13, soit, à titre comparatif, 100'000 fois supérieur à celle émise par l'Erta'Ale. Une autre comparaison est de dire que le Loki est plus puissant que tous les volcans de la Terre réunis. Il est probable d'ailleurs, tout comme l'Erta'Ale, que le Loki ait un lac de lave actif. Ce volcan peut être observé depuis la Terre. Du fait que depuis les observations de Voyager en 1979 son apparence n'a pas changé, l'hypothèse qu'il s'agisse d'un lac de lave géant a été proposée. Avec une activité de type « pillanéeenne », des changements majeurs auraient été observés au cours du temps, ce qui ne semble pas être le cas. Le fait qu'il démontre des variations dans sa luminosité a été interprété comme des retournements brusques du lac, ou des vagues de silices qui se propageraient.

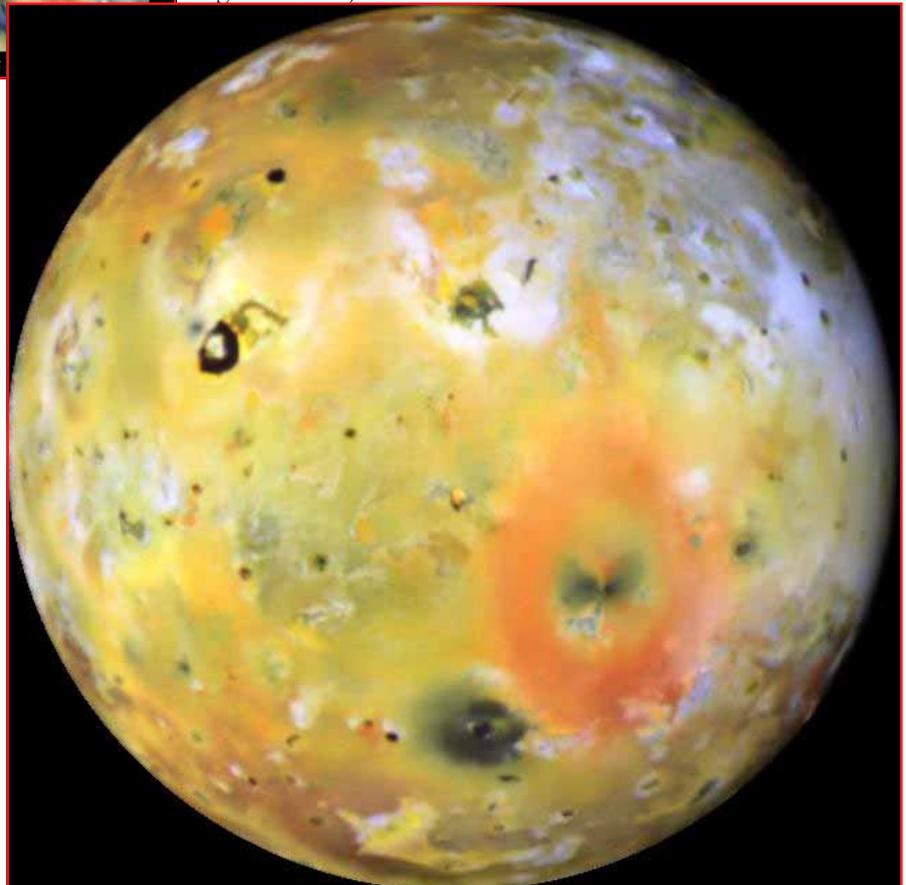
Cependant, il n'est pas tout à fait clair s'il s'agit d'un lac de lave ou d'un « patera » qui serait inondé par des coulées de lave. Des éléments de réponse en faveur d'un lac de lave ont été proposés. Ces éléments se basent sur le fait que des températures les plus chaudes se trouvent dans la région des murs du patera, ce qui serait consistant avec un lac de lave puisque dans ces zones la croûte habituellement se casse, avec pour effet d'exposer le magma. D'autres évidences pour la présence d'un lac ont été collectées sur le volcan Pelé dont les variations thermiques rapides (échelle de l'ordre de la minute) – mesurées par Cassini en décembre 1999, sont consistantes avec celles observées sur des lacs de lave terrestres. A noter que des températures de l'ordre de 1500 degrés Celsius ont été mesurées, ce qui laisse supposer que ces laves sont de composition ultramafic (le magma le plus chaud mesuré à l'Erta'Ale par la SVG était de 1187 degrés Celsius).



avril 97

septembre

Vaste éruption entre deux orbites de Galileo, avec développement d'une large zone foncée de 400 km de diamètre (env. 5 mois entre les deux images) sur un volcan voisin de Pelé



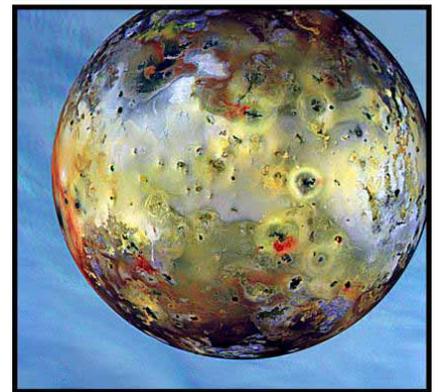
Le volcan Pelé est aussi de type « Lokien ». Il est visible dans cette photo comme une caldera entourée d'un anneau orange. Il est probable qu'il s'agisse aussi d'un lac de lave actif.



Un autre volcan de type « Lokien » est l'Emakong. Ce volcan, dont la patera est d'environ 66 km, présente des caractéristiques particulières, puisque les températures mesurées sont basses, de l'ordre de 70 degrés Celsius. Il pourrait ainsi s'agir de silice refroidie, ou de coulées de soufre. A nouveau, les plus hautes températures ont été observées à proximité des murs du patera, ce qui suggère un lac de lave de soufre. Ceci serait consistant avec les couleurs observées : une patera de couleur noire (couleur du soufre en fusion) entourée de coulées blanches et jaunes (couleurs du soufre cristallisé). Un doute néanmoins subsiste puisqu'en principe le point de fusion du soufre est compris entre 112 et 120 degrés Celsius, soit plus élevées que celles mesurées. La présence d'impuretés dans le soufre pourrait conduire à un point de fusion plus bas, compatible avec les observations. Une autre hypothèse est qu'il s'agit d'un lac de lave de silice dont la faible activité aurait créé une croûte plus froide.

Des questions, encore des questions...

Que faut-il conclure de ces dernières observations effectuées par la sonde Galilée ? Tout d'abord, qu'il y a encore bien des énigmes à résoudre. Pour l'instant, la composition du magma n'est qu'hypothétique. L'existence des lacs de lave reste à confirmer. La coloration due à l'activité volcanique n'est pas bien comprise. La morphologie des laves reste inconnue. Toutes ces imprécisions proviennent bien sûr de l'éloignement de Io de la Terre. La distance de 500 km séparant la surface de Io de la sonde Galilée n'a pas permis d'obtenir une résolution spatiale des observations de moins de 1.5 km par pixel, ce qui explique ces lacunes, particulièrement dans la connaissance de la morphologie des laves. Il est néanmoins remarquable que les lacs de lave terrestres servent comme modèle afin d'inférer ceux éventuellement présents dans les « pateras » d'Io. Une explication néanmoins intéressante pour la présence de lacs de lave dans ces « pateras » : ce serait dû au fait que la croûte de Io a une densité plus faible que celle du magma. Les raisons évoquées pour une si faible densité sont, entre autres, une croûte composée de cendres pyroclastiques, ou faites de soufre. Face à ces incertitudes, place au rêve : dans un (lointain) futur, envoyer une sonde pour collecter des échantillons de lave ... et les ramener sur Terre ! ■

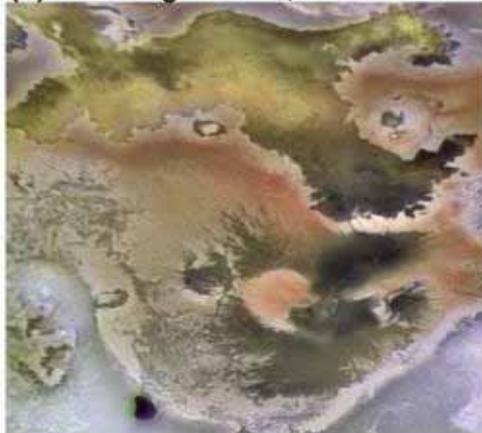


Io en vrais (haut) couleurs et en fausses (bas)

(a) Amaterasu, Loki



(b) Lei-Kung Fluctus, Isum Patera



(c) Prometheus, Culann



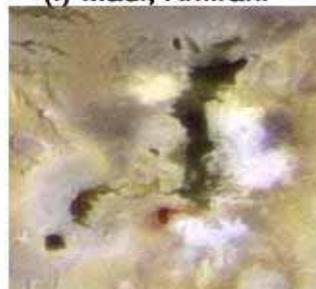
(d) Marduk



(e) Volund, Zamama



(f) Maui, Amirani



(g) Zal Patera



Les volcans principaux de Io, janvier 1999. Loki est visible dans le bas de la photo (a).



Panache volcanique du volcan Loki sur la courbure de Io (satellite de Jupiter)