

# Surveillance à grande distance des éruptions volcaniques

Les éruptions volcaniques génèrent des ondes infrasonores (ondes acoustiques ~ 0,01 à 20 Hz) qui se propagent sur de grandes distances dans l'atmosphère avec une faible atténuation. Ces ondes peuvent être détectées par des antennes de capteurs de pression très sensibles appelés microbarographes. Le Système de surveillance international (SSI) de l'Organisation du traité d'interdiction complète des essais nucléaires (OTICE) détecte fréquemment des éruptions volcaniques. Le volcan Sarychev, situé à Ostrov Matua, dans les îles Kouriles, est rentré dans une phase éruptive majeure en juin 2009. Aucune station sismique n'a pu enregistrer des signaux, alors que des ondes infrasonores ont été détectées à plus de 6 400 km de distance. Ces signaux sont utiles pour déduire la chronologie des explosions, mieux comprendre le processus des phases d'injection de cendres dans l'atmosphère, et améliorer la prévision de transport et la dispersion de ces cendres. Ces enregistrements sont également utiles pour valider des modèles de propagation des infrasons dans la haute atmosphère et améliorer les outils opérationnels de surveillance des explosions aériennes.

R. S. Matoza • A. Le Pichon • J. Vergoz • P. Herry • J.-M. Lalande CEA - DAM Île-de-France

H. Lee • I. Che Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea

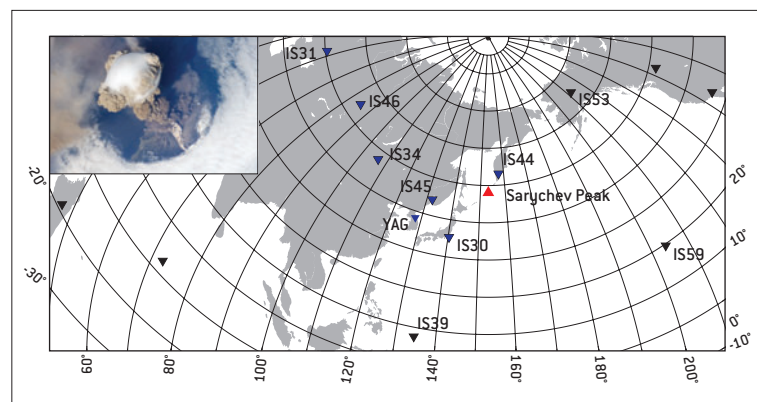
A. Rybin Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team, Institute of Marine Geology and Geophysics, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Le volcan Sarychev est un strato-volcan andésitique (altitude de 1 446 m) situé au nord-ouest de Matua Ostrov (île Matua), dans les îles Kouriles (**figure 1**). Il est rentré dans une phase éruptive majeure entre le 11 et 16 juin 2009. Ces éruptions ont été observées sur des images satellites acquises le 11 juin 2009. Elles ont montré des anomalies thermiques et des émissions de cendres [1]. Le 12 juin 2009 à 22h16 UT, des photographies spectaculaires de la colonne d'éruption ont été prises par les astronautes de la Station spatiale internationale (ISS) (**figure 1, photo en médaillon**). Ces photos ont permis de visualiser des nuées ardentes sur le flanc du volcan ainsi que les cendres dispersées en altitude provenant d'éruptions antérieures.

En raison de l'éloignement des Kouriles, des observations au sol sont rares. En particulier, les stations sismiques les plus proches (Paramushir, Iturup et de Sakhaline situées à des distances de 352 km, 512 km et 800 km, respectivement) n'ont rien détecté. Un domaine actif de recherche concerne l'étude de la propagation des infrasons dans l'atmosphère. Les volcans constituent des sources répétitives connues très utiles pour calibrer des modèles de propagation. Les éruptions rapprochées du volcan Sarychev permettent ici de mieux quantifier les effets de la variabilité temporelle de l'atmosphère sur la propagation [2]. Par ailleurs, bien que les îles Kouriles soient peu peuplées, elles sont situées dans un couloir aérien très fréquenté reliant l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie septentrionale. Une surveillance efficace du volcanisme des îles Kouriles est donc essentielle pour la sécurité aérienne [3].

## Observations

Le SSI comprend un réseau mondial de stations infrasonores conçu pour détecter et localiser les explosions atmosphériques partout sur la planète. Chaque station se compose d'une antenne d'au moins 4 capteurs avec une réponse fréquentielle plate de 0,01 à 8 Hz (échantillonné à 20 Hz). La **figure 1** présente les stations infrasons du

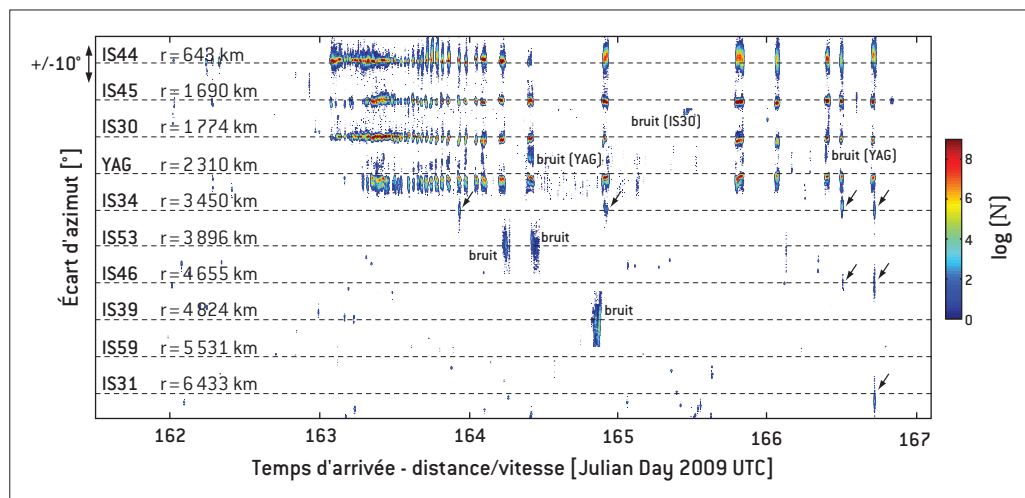


**Figure 1.** Observations des infrasons générés par l'éruption du volcan Sarychev en juin 2009.

Les explosions ont été enregistrées par 6 stations du SSI ainsi que quelques stations en Corée du Sud. Le **triangle rouge** indique la position du volcan Sarychev, les **triangles bleus** indiquent les stations infrasons ayant enregistré l'éruption, les triangles noirs indiquent les stations infrasons qui n'ont pas enregistré l'éruption. Les signaux sont observés à longue distance à l'ouest du volcan dans la direction des vents stratosphériques dominants.

En médaillon: photographie du panache de cendre prise à 22h16 UT le 12 juin 2009 à partir de la Station spatiale internationale (ISS).

Crédit : NASA Earth Observatory.



**Figure 2.** Résultats du traitement Progressive Multi-Channel Correlation (PMCC).

Les stations sont classées en fonction de leur distance par rapport au volcan. Les azimuts des détections sont affichés relativement à la direction de propagation attendue (échelle d'azimut constante pour chaque station). L'échelle de couleur correspond au  $\log_{10}(N)$  où  $N$  est le nombre de détections PMCC dans une fenêtre de taille  $0,1^\circ$  en azimut et 3,5 minutes en temps. Les détections sont alignées en corrigeant les temps d'arrivées d'une vitesse moyenne de propagation de 0,33 km/s.

SSI et une station supplémentaire (YAG) exploitée par l'Institut Coréen en Géosciences et Ressources Minérales (KIGAM), qui sont utilisées dans cette étude.

La **figure 2** montre les résultats de l'application de l'algorithme Progressive Multi-Channel Correlation (PMCC) pour la détection [4]. Cette méthode permet de mesurer les caractéristiques du front d'onde cohérent traversant la station en tenant compte de la corrélation entre le temps des retards successifs sur les capteurs [4]. La **figure 2** présente toutes les détections PMCC avec un azimut  $\pm 15^\circ$  autour de la direction de propagation attendue entre le volcan et chaque station. Les détections sont alignées sur une même base de temps pour en faciliter l'association. Le décalage temporel appliqué correspond à la distance horizontale entre la source et chaque station divisée par une vitesse moyenne de propagation fixée à 0,33 km/s.

Entre le 11 et 16 juin 2009, on note une séquence identique de signaux générés sur les stations IS44, IS45, IS30, et YAG. Des signaux de plus grande amplitude sont observés à IS31 (Kazakhstan) à une distance de 6433 km. L'absence de signaux sur les stations les plus proches (IS53, IS39 et IS59) est expliquée par des effets combinés de niveau local de bruit et de propagation. À cette période de l'année, les vents stratosphériques (entre 40 et 50 km d'altitude) soufflent d'est en ouest favorisant la propagation des ondes à l'ouest de la source. Les détections observées sur la **figure 2** sont compatibles avec une propagation d'ondes dans un guide stratosphérique (entre 0 et 45 km d'altitude environ). Compte tenu de la direction de ces vents en altitude, la position relative des stations IS53, IS59 et IS39 par rapport au volcan explique l'absence de détection.

## Discussion et conclusions

Des éruptions volcaniques explosives peuvent rejeter des quantités importantes de cendres dans l'atmosphère en

perturbant le trafic aérien. L'éruption du volcan Sarychev en juin 2009 a engendré des panaches de cendres, annulant 65 vols et déroutant plus de 20 trajectoires. La couverture du réseau sismique ne permet pas une surveillance des volcans dans cette région. Les stations infrasons représentent un moyen d'observation efficace pour en améliorer la surveillance. La couverture du SSI est déjà suffisante pour fournir des informations utiles sur les activités volcaniques à une échelle globale [2]. Les études en cours permettent de quantifier les performances de ce réseau en terme de capacité de détection en fonction du bruit ambiant et des conditions de propagation [5]. De tels travaux aideront à la définition d'un réseau infrason optimal pour surveiller à grande distance une région volcanique donnée.

## RÉFÉRENCES

- [1] SVERT (Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team), "Widespread plumes from large 11-16 June 2009 eruption", *Bulletin of the Global Volcanism Network*, Monthly report 06/2009, 34:06, Smithsonian Global Volcanism Program (2009); <http://www.volcano.si.edu/world>.
- [2] R. S. MATOZA, A. LE PICHON, J. VERGOZ, P. HERRY, J.-M. LALANDE, H. LEE, I. CHE, A. RYBIN, "Infrasonic observations of the June 2009 Sarychev Peak eruption, Kuril Islands: Implications for infrasonic monitoring of remote explosive volcanism", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **200**, p. 35-48 [2011]; doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.11.022.
- [3] C. NEAL, O. GIRINA, S. SENYUKOV, A. RYBIN, J. OSIENSKY, P. IZBEKOV, G. FERGUSON, "Russian eruption warning systems for aviation", *Nat. Hazards*, **51**(2), p. 245-262 [2009].
- [4] Y. CANSI, "An automatic seismic event processing for detection and location - the PMCC method", *Geophys. Res. Lett.*, **22**(9), p. 1021-1024 [1995].
- [5] A. LE PICHON, J. VERGOZ, E. BLANC, J. GUILBERT, L. CERANNA, L. EVERS, N. BRACHET, "Assessing the performance of the International Monitoring System's infrasound network: Geographical coverage and temporal variabilities", *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **114**, D08112 [2009].