

Méthode de prélèvement des gaz et des condensats magmatiques lors de l'éruption du volcan Tolbachik (Kamtchatka) 1975-1977

I.A. MENYAILOV
L.P. NIKITINA
SHAPAR

Académie des Sciences de l'U.R.S.S., Centre Scientifique de l'Extrême Orient, Institut de Volcanologie, Piip Avenue 9, Petropavlovsk - V.N. Kamchatsky USSR

ABSTRACT

During the eruption of Mt Tolbachik volcano in 1975-1977 magmatic gases were collected by condensation and dissolution. The field system is described and discussed.

RESUME

Pendant l'éruption du volcan Tolbachik en 1975-1977 les auteurs ont utilisé un système de condensation par barbotage afin de récolter les condensats et les gaz magmatiques. La méthode de prélèvement est décrite et discutée dans le détail.

INTRODUCTION

La grande fissure donnant naissance à l'éruption du volcan Tolbachik se situe dans le massif volcanique du Klyuchevskoi au Kamtchatka central. Dans ce group sont concentrés les volcans les plus actifs de la région du Kamtchatka et des îles Kouriles. L'activité éruptive du volcan basaltique Plosky Tolbachik est de type Hawaïen avec lacs de lave et coulées de lave très fluides avec formation de «Aa flows» et «Pahoehoe» typiques. L'éruption a débuté à 18 km au sud du volcan Plosky Tolbachik (Fig. 1) et s'est poursuivie pendant un an et demi. Pendant ce temps l'activité explosive puissante de la fissure septentrionale, a édifiée trois puis quatre petits cones entourés de scories, de

cendres et d'une coulée de lave très intense. A partir de la fissure méridionale se sont formées des coulées de lave et des cones de scories. Au sommet du volcan Plosky Tolbachik s'est formé un effondrement de 1700 m de diamètre et d'une profondeur supérieure à 400 m. La zone touchée par l'éruption s'étend en ligne droite sur environ 30 km. La quantité des produits rejetés par la grande fracture de cette éruption est comparable aux rejets annuels de laves par les volcans actifs du monde entier. L'éruption de Tolbachik correspond à une des éruptions basaltiques les plus intenses des temps historiques.

Le site et le moment de l'éruption ont été prévus avec une grande exactitude.

Dès les débuts des événements éruptifs une expédition de géologues et de géophysiciens a été envoyée sur place dirigée par S.A. Fedotov, directeur de l'Institut de Volcanologie du Centre d'étude d'Extrême Orient et de l'Académie des Sciences d'U.R.S.S., membre correspondant de cette académie.

Pendant la durée de cette expédition ont été effectuées les recherches suivantes:

- description des événements éruptifs,
- prélèvement quotidien de laves et de pyroclastites,
- mesures de la température et de la vitesse des coulées de lave,
- étude des séismes volcaniques,
- enregistrement des ondes atmosphériques,

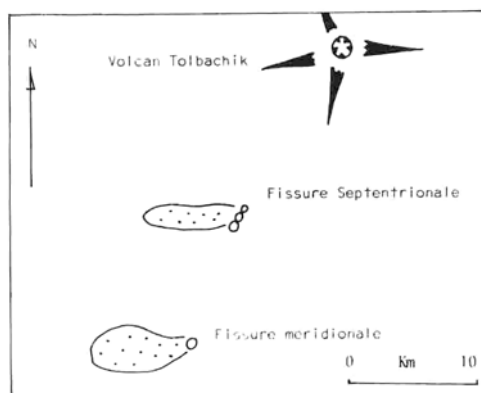


FIG. 1 — Schéma de l'éruption du Tolbachik. Emplacement des fissures.

- mesures des décharges électriques,
- observation des mouvements verticaux et horizontaux de la surface terrestre,
- contrôles sismiques etc...

Les auteurs ont rassemblé une grande quantité d'échantillons de gaz volcaniques, de condensats, de sublimés et de cendres afin d'étudier la composition géochimique pendant toutes les étapes de l'activité éruptive et post éruptive.

De Décembre 1975 à Novembre 1976 des prélèvements réguliers de gaz magmatiques ont été réalisés à des températures de 980°C à 1135°C.

De tels prélèvements d'échantillons de gaz magmatiques avaient précédemment été effectués sur des volcans à activité de lac de lave comme le Kilauea (Hawaii) (JAGGAR, 1917), Nyiragongo (Zaire) (CHAIGNEAU *et col.*, 1960, LE GUERN, 1977), Erta Ale (Ethiopie) (LE GUERN *et col.*, 1979), Myhara (Japon) (SHIBATA, 1967).

Des gaz magmatiques ont également été prélevés pendant les éruptions de volcans comme Surtsey (Iceland) (SIGVALDASSON, 1967), Etna (Italie) (HUNTINGTON, 1973) qui présentent des activités très analogues à la fissure méridionale du volcan Tolbachik.

Simultanément avec les gaz magmatiques les condensats étaient récoltés dans lesquels quantité de métaux, minéraux et minerais ont été dosés.

METHODE DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSE DES PRODUITS DE L'ERUPTION

Le prélèvement des échantillons de gaz volcanique avait lieu à l'aide de la méthode de séparation de «leur partie acide» ($H_2O + HF, HCl, SO_2, H_2S$ etc...) et la partie neutre (« CO_2, CO, H_2, CH_4 et autres hydrocarbures, O_2, N_2 , gaz inertes») dans un système de prélèvement représenté sur la Fig. 2.

L'entrée du système de prélèvement se présentait sous la forme d'un tube en céramique, si la température des gaz à la sortie ne dépassait pas 600°C; on utilisait le quartz pour des températures supérieures. La liaison du tube avec le système de prélèvement était réalisée à l'aide d'un tube en fluoroplaste (2). La température du mélange gazeux dans le système de prélèvement était mesurée à l'aide d'un thermomètre (3) et ne dépassait pas 15°C.

Le refroidissement naturel ou artificiel était obtenu avec de la neige ou de l'eau. En l'absence de neige on utilisait l'effet de la réaction endothermique de dissolution de l'hyposulfite dans l'eau. Tout le système de prélèvement était disposé en contrebas de la fissure excluant l'accumulation et le retour en arrière des condensats. Le prélèvement et la mesure du volume gazeux avaient lieu à l'aide d'une seringue d'un volume de 100 à 200 cm^3 (7). A la suite du tube de prélèvement le mélange gazeux pénétrait dans des barboteurs (4), on disposait habituellement de 6 à 10 barboteurs contenant 30 ml d'eau qui piégeaient les métaux. Les barboteurs étaient disposés dans un récipient contenant de la neige. On y condensait de la vapeur d'eau ainsi que la partie «acide» du mélange gazeux. H_2S était absorbé dans le barboteur (5) contenant une solution d'acétate de cadmium. Le mélange gazeux passait au travers du liquide d'absorption à une vitesse permettant de compter les bulles de gaz. Après l'absorption de la «partie acide du mélange gazeux» la partie neutre était transférée dans un collecteur de gaz contenant une solution saturée sous acidifiée de chlorure de sodium (9) le refoulement se faisant à l'aide de la seringue au travers d'un

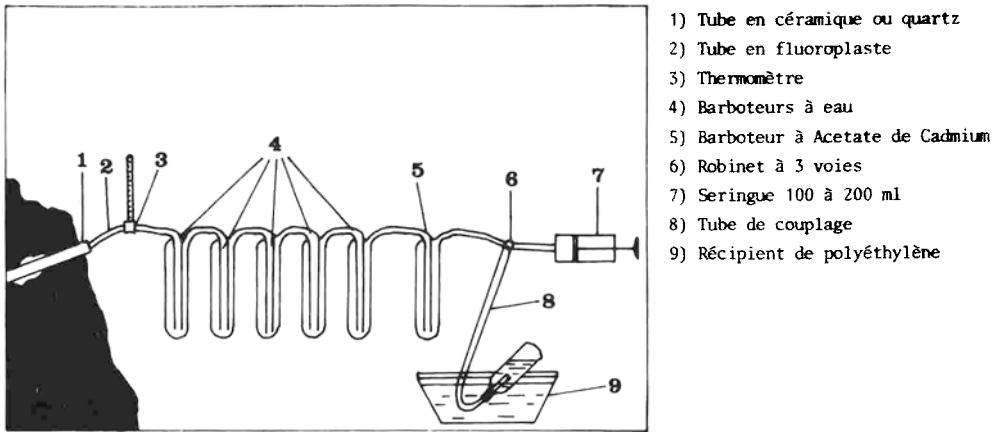


FIG. 2 — Schéma du système de prélèvement des gaz.

robinet à 3 voies (6) et d'un tube de caoutchouc (8).

Les opérations étaient répétées plusieurs fois. Pour un échantillon prélevé sur la coulée de lave il était nécessaire de pomper au moins deux litres de mélange gazeux. Pour les prélèvements de gaz plus secs provenant des fumerolles sur les «hornitos» refroidis il fallait tirer jusqu'à 50 à 80 litres. L'eau présente dans le mélange gazeux était dosée par la différence des volumes des liquides absorbés dans les barboteurs (4). Cette mesure était réalisée sur place à l'aide de pipettes graduées à 0,1 ml près.

Pour des prélèvements successifs à des intervalles compris entre 1 et 3 minutes on utilisait un système de prélèvement simplifié muni de 3 barboteurs et d'un barboteur contenant une solution d'acétate de cadmium. On prélevait 200 cm³ de gaz. On préparait à l'avance 8 à 10 systèmes de prélèvement de gaz de ce type.

Le prélèvement durait environ une minute. Ensuite le système était déconnecté du tube en verre ou quartz, couplé au système suivant après avoir été purgé. On répétait alors l'opération. On prélevait ainsi 8 à 10 échantillons en une vingtaine de minutes.

Les condensats des gaz volcaniques étaient prélevés simultanément après le

prélèvement en utilisant des barboteurs vides en série. Les condensats des gaz magmatiques étaient prélevés sans avoir à pomper (par écoulement naturel). Le tube de couplage venant du dernier barboteur était immergé dans un récipient en polyéthylène où se condensaient les dernières fractions du mélange gazeux. Pendant le prélèvement on a utilisé un système de refroidissement artificiel. Les condensats ont été analysés par la suite pour étudier les transferts de métaux.

Pendant le prélèvement des gaz volcaniques et des condensats à haute température (supérieure à 600°C) sur les coulées de lave on a testé différents tubes de prélèvement en céramique, en titane, en acier inoxydable et en quartz. Les tubes en céramique étaient rapidement détruits, ils ne supportaient pas les chocs thermiques. Le tube en titane était rapidement détruit en présence de l'oxygène de l'air (combustion à 800° ou 1020°C) avec formation de TiO₂ incolore qui réagissait ensuite avec HCl et HF des gaz volcaniques en formant des chlorures et des fluorures facilement volatiles. Ces dernières réactions se déroulent en particulier à des températures plus basses que la température de la lave liquide, en présence de réducteurs comme par exemple le CO.

Si l'on prélevait le gaz à partir d'un orifice de plus grande section l'extrémité

du tube de titane brûlait plus lentement. Le condensat avait le temps de se former mais contenait de l'hydroxyde de Titane suffisamment (même à $\text{pH} < 1$) pour former un dépôt en forme de gel, ce qui avait pour effet d'accroître les difficultés de l'analyse de ces échantillons. Il ne faut pas oublier qu'à des températures élevées le titane se combine énergiquement non seulement avec les halogénures, l'oxygène et le soufre mais est également capable d'absorber de l'hydrogène. C'est pour cela que les tubes en titane ne sont plus utilisés dans la pratique des prélèvements des gaz à haute température.

Pendant le prélèvement des gaz et de leurs condensats à l'aide des tubes en acier inoxydable, les solutions aqueuses acquéraient une coloration vert-bleuâtre de différentes nuances ce qui dépendait, semble-t-il de la composition et des concentrations d'impuretés dans l'alliage d'acier. En effet comme l'a montré l'analyse à l'absorption atomique, les condensats colorés contenaient en milligrammes par litre: 50 à 150 Cu - 130-200 Zn - 1-3 Mn, en outre à des températures élevées il est possible que se produisent des réactions entre HCl H_2S volcaniques et les matériaux des tubes, produisant de l'hydrogène. Les condensats simultanément prélevés à l'aide du tube de quartz étaient incolores, transparents et contenaient en mg/litre: 1-17 Cu - 8-90 Zn - pas plus de 0,8 Mn. Lors des prélèvements de gaz et des condensats à haute température nous n'avons plus

utilisé que des tubes en quartz. On s'attendait à une contamination sensible des condensats par la silice, cependant sa teneur dans les solutions ne dépassait pas 250 mg par litre. Les solutions pendant le stockage restaient transparentes et ne formaient pas de gel d'acide silicique. On tenait compte de la présence de silice dans la solution pendant l'analyse des condensats et des liquides d'absorption.

Les pertes en fluor pendant l'utilisation des tubes en quartz se sont révélées être peu élevées. Ainsi la différence dans la teneur de l'ion fluorure dans les condensats des gaz de haute température, simultanément prélevés à l'aide des tubes en céramique et en quartz, n'excédait pas 1 à 3%.

La séparation et le dosage des composants des gaz neutres ont été réalisés par chromatographe d'absorption gazeuse. L'analyse étant réalisée sur des chromatographes XL4 de Shimazu = 5A et LXM-8 MD Luch modèle 3 et 5.

Les échantillons d'eau composant la partie géochimique de ce travail sont représentés par des condensats de gaz absorption, des extraits d'eau provenant des cendres et des dépôts atmosphériques.

L'analyse des solutions aqueuses se déroulait simultanément à l'aide de différentes méthodes et dans différents laboratoires.

À côté des méthodes chimiques généralement adoptées, d'analyse des compositions anioniques et cationique des eaux, on

COMPOSITION DES GAZ MAGMATIQUES DU HORNITO SUD : ERUPTION DU TOLBACHIK 1976

COMPOSITION EN MOLE %

Numero d'échantillon	H ₂ O	HF	HCl	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	NH ₃	N ₂	O ₂
32-44	97,19	0,14	0,54	0,44	0,46	0,072	0,0014	1,004	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-7}$	0,1500	0,0026
38-61	97,85	0,12	0,68	0,09	0,08	0,026	0,0002	1,090	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0635	
40-66	97,95	0,19	0,84	0,08	0,10	0,050	0,0008	0,696	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,0846	0,0086
43-76	98,21	0,18	0,48	0,12	0,10	0,027	0,0009	0,814	-	$2 \cdot 10^{-7}$	0,0649	0,0032
46-86	98,00	0,28	1,06	0,03	0,02	0,037	0,0005	0,547	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,0255	-
47-88	98,53	0,17	0,53	0,03		0,047	0,0006	0,666	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	0,0264	-

a utilisé des méthodes instrumentales comme les méthodes d'activation neutronique, d'absorption atomique, de polarographie, de photométrie de flamme, de potentiométrie, ainsi que des méthodes de absorption et complexation. Dans les tableaux concernant les compositions d'échantillons d'eau en mg par litre (et de gaz en milligrammes par mètre cube) on a introduit la moyenne des données obtenues à l'aide des différentes méthodes d'analyse. Les résultats obtenus ont été publiés et discutés dans le Bulletin volcanologique (MENYAILOV *et col.*, 1980). A titre d'exemple nous donnons ici le Tableau 1.

REFERENCES

- CHAIGNEAU, M., TAZIEFF, H., FABRE, R., 1960, *Composition des gaz volcaniques du lac de lave du Nyiragongo (Congo belge)*. C.R. Acad. Sc. Paris, 250, p. 2482-2485.
- HUNTINGDON, T., 1973, *The collection and analysis of volcanic gases from Mt Etna*. Phil. Trans. R. Soc. London, A. 274, p. 119-128.
- JAGGAR, T.A., 1917, *Volcanic investigation at Kilauea*. The Am. J. of Sc., XLIV, n. 261, p. 159-220.
- LE GUERN, F., CARBONNELLE, J., TAZIEFF, H., 1979, *Ertä Ale Lava Lake: Heat and Gas Transfer to the Atmosphere*. J. Volc. Geoth. Res., 6, p. 27-48.
- , TAZIEFF, H., VAVASSEUR, C., CARBONNELLE, J., 1977, *Heat and Gas Transfer from the Niragongo Lava Lake*. E.O.S., 9, Sept. 1977, VI, p. 920 (abstract).
- MENYAILOV, I.A., NIKITINA, L.P., 1980, *Chemistry and Metal Content of Magmatic Gases: the New Tolbachik Volcanoes Case (Kamchatka)*. Bull. Volcanol., 43-1, p. 197-205.
- SHIBATA, K., 1967, *The Oxygen Partial Pressure of Magma from Mihara Volcano, O-Sima Japan*. Bull. Chem. Soc. Jap., 40, p. 830-834.
- SIGVALDASON, G.E., ELISSON, G., 1968, *Collection and Analysis of Volcanic Gases at Surtsey Iceland*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 32, p. 797-805.

Ms. received by the IAVCEI Publication Office for the press, July 1982.