

Note d'information

Nuage de cendres du volcan Eyjafjöll sur la France : Résultats des analyses de l'IRSN

Nature et composition des émissions radioactives du volcan Islandais Eyjafjöll

Le magma éruptif du volcan Eyjafjöll est de nature basaltique (plus précisément il s'agit d'un trachyte dont la teneur en silice avoisine 60 %). Ce type de lave possède une teneur en uranium d'environ 2 ppm (interpolée d'après Kokfelt *et al.*, 2009). Selon les estimations du BRGM, environ 70 à 80 millions de m³ de tephra¹ auraient été émis durant les 3 premiers jours de l'éruption (14-16 avril), avec un taux moyen d'émission de 300 m³/s (soit 750 tonnes/s) et un maximum à 600 m³/s. Compte tenu des quantités de cendres rejetées dans l'atmosphère, on peut donc estimer que le volcan a émis en trois jours environ 400 tonnes d'uranium, et 1300 tonnes de thorium pour un rapport thorium/uranium égal à 3,3 (Vlastélic *et al.*, 2006).

L'activité spécifique de ces éléments est 12300 Bq/g pour l'uranium-238 et 4100 Bq/g pour le thorium-232. S'agissant de radionucléides naturels, ces valeurs peuvent être multipliées par 4 pour l'uranium (soit 49200 Bq/g) et par 3 pour le thorium (soit 12300 Bq/g), de façon à tenir compte des descendants émetteurs alpha précédant le radon dans la chaîne de désintégration, et supposés en équilibre séculaire. Ce sont donc 20 TBq d'uranium et 16 TBq de thorium qui ont été émis durant la période de référence.

L'essentiel de ces cendres, et donc de cette activité, s'est retrouvé sur le sol islandais qui présente peu ou prou les mêmes niveaux de concentrations d'activité.

Survol de la France par le panache

Le panache du volcan Islandais a survolé le territoire français à trois reprises :

- du 15 au 21 avril ; essentiellement au-dessus de la moitié nord et principalement à une altitude supérieure à 1000 m,
- du 8 au 11 mai ; période durant laquelle le gros du panache stagne au centre de l'Atlantique nord mais présente un filament en direction du Portugal, de l'Espagne et de la France.
- Du 17 au 19 mai ; quelques résidus possibles en altitude au-dessus de la moitié nord.

Les mesures obtenues à partir des tirs LIDAR² réalisés de proche en proche entre l'Angleterre, la France et la Suisse ont montré de façon non équivoque que le panache était globalement resté principalement cantonné au-dessus de 1000 m d'altitude à l'aplomb de la France. En-dessous de 1000 m la trace d'un panache, estimée à partir d'un signal de rétrodiffusion caractéristique de particules volcaniques, se perd. L'INERIS a néanmoins estimé qu'à l'occasion de la première intrusion au-dessus de la France, des poussières d'origine volcanique avaient pu entraîner

¹ Ensemble de matières solides et liquides, provenant du magma et des roches de la cheminée volcanique, entraînées par les gaz et éjectées avec eux lors des éruptions volcaniques.

² Mesure de la rétrodiffusion d'un signal lumineux (source laser) par les particules présentes dans la colonne d'air et permettant d'établir un profil vertical de leur concentration.

ponctuellement un excédent d'empoussièrement de l'ordre d'une dizaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et essentiellement sur une portion du territoire allant des côtes normandes à la Forêt Noire.

Conditions météorologiques d'ensemble sur la France : peu de précipitations et peu de vent (excepté dans le sud)

Durant la deuxième décennie d'avril, les précipitations sont globalement inférieures aux normales décennales sur l'ensemble du pays alors que les températures restent supérieures de 2 à 4 °C par rapport aux normales. Les pressions en altitude sont en hausse le 16 et le flux de surface reste sec sur la très grande majorité du territoire, à l'exception du Sud-Est où se produisent des averses localement orageuses. Un vaste anticyclone qui s'étire du Groenland à l'Irlande et jusqu'à l'Europe centrale protège le pays le 17. Seul l'extrême sud-est reçoit des précipitations. Le 19, une bande pluvieuse s'étale des Pyrénées au Sud Cotentin et à la Bourgogne. Les pressions repartent à la hausse le 20, à l'arrière du thalweg qui évacue le pays par l'Est. Les pluies localement orageuses du Massif central au Nord-Est baissent d'intensité.

Prélèvements d'échantillons et suivi de la radioactivité ambiante au niveau du sol

Dans le cadre de sa mission de surveillance journalière de la radioactivité de l'atmosphère, l'IRSN a apporté une attention toute particulière au suivi du panache volcanique au-dessus du territoire. Des poussières atmosphériques (aérosols) ont été collectées au sol par les stations du réseau OPERA-Air (cf. annexe). En complément, des eaux de pluie qui par lessivage ont rabattu au sol les poussières présentes dans la colonne d'air, ont été collectées. Au total, 17 filtres aérosol et 9 échantillons d'eau de pluie, ont été analysés. Le débit de dose gamma ambiant a également été suivi grâce aux sondes de télémessure du réseau d'alerte TELERAY (cf. annexe).

Suite à l'annonce d'une seconde intrusion du panache dans l'espace aérien français, l'IRSN a confié à Météo-France un lot de filtres destinés à être embarqués à bord de l'avion (ATR 42) du groupement de recherche Safire³ à l'occasion du vol effectué le 12 mai à l'ouest de la péninsule ibérique. La durée de vol dans le panache a été extrêmement courte (environ 10 minutes) ce qui n'a malheureusement pas permis la mise en place des filtres de l'IRSN.

Analyses

Les échantillons collectés au sol ont donné lieu à différentes analyses habituelles (spectrométrie gamma, comptage alpha global), complétées par des analyses par spectrométrie alpha après radiochimie (selon la norme NF M60-808) pour la mesure du polonium-210 (descendant à vie longue du radon-222 produit par désintégration du radium-226, lui-même issu de la chaîne de désintégration de l'uranium-238). Lors d'une éruption volcanique, le polonium présent dans la chambre magmatique des volcans est libéré comme un gaz. Cette particularité fait du polonium-210 le traceur de prédilection utilisé par les volcanologues pour pister les panaches volcaniques. Les éruptions volcaniques sont responsables pour près de 50 % des concentrations en polonium-210 dans les basses couches de l'atmosphère (< 6 km), où sa teneur moyenne dans l'air est d'environ $50 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Dans le cadre du suivi du panache volcanique, toute concentration significativement supérieure peut ainsi raisonnablement être associée à la présence de particules volcaniques. Sa mesure peut être estimée à partir d'un comptage alpha global réalisé quelques jours après la fin du prélèvement de façon à éliminer la contribution des radionucléides à vie courte (Plomb-212 et Bismuth-212) puis à intervalles de temps de quelques semaines voire de quelques mois afin de distinguer le polonium-210 en équilibre avec le plomb-210 dont il est issu, de celui rejeté directement par le volcan. L'IRSN a procédé à ces deux types d'analyse. La limite de détection (environ une dizaine de mBq par échantillon) permet à partir de la filtration d'environ 250 m^3 d'air

³ Groupe de recherche aéroporté commun au CNRS/INSU, à METEO-FRANCE et au CNES.

de mesurer le niveau moyen ambiant et donc toutes valeurs supérieures. Les résultats de mesure des échantillons prélevés pendant le survol de la France par le panache ont été comparés à ceux obtenus sur des échantillons collectés à une période où les modèles de dispersion atmosphériques ne signalaient pas la présence du panache au dessus de la France.

Résultats et interprétation

- Les calculs réalisés par l'INERIS indiquent que la contribution maximale des poussières volcaniques sur l'empoussièrément au niveau du sol, relevée à Rouen dans la nuit du 18 au 19 avril, avait été d'environ 10 %⁴, soit tout au plus une dizaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air. Compte tenu des niveaux en uranium-238 et en thorium-232 dans les cendres (2 ppm), l'activité volumique portée par les cendres dans le compartiment atmosphérique au niveau du sol en France a représenté environ $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour l'uranium-238 et $0,8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour le thorium-232. Ces résultats peuvent être comparés au niveau du plomb-210 (chaîne de désintégration de l'uranium-238) présent en permanence dans l'air et à un niveau moyen annuel en France de l'ordre de $500 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. En outre, ces niveaux sont de un à dix millions de fois moins élevés que le niveau en césium-137 le plus élevé mesuré en France lors du passage du nuage de Tchernobyl en avril-mai 1986.

- Les mesures du débit de dose gamma ambiant enregistrées par les 160 sondes TELERAY réparties sur le territoire, depuis le début de l'éruption du volcan, sont restées, comme attendu, dans leur plage de variation habituelle.

Les descendants du radon de périodes suffisamment longues pour pouvoir être encore présents après 2 à 3 jours de transport sont le plomb-210, le bismuth-210 et le polonium-210 (issus de la chaîne de désintégration de l'uranium-238) et, dans une moindre mesure, le plomb-212 (issu de la chaîne de désintégration du thorium-232). Ces radionucléides ont été recherchés dans les échantillons collectés et les résultats sont les suivants :

- Emetteurs gamma des familles de l'uranium et du thorium

- Les niveaux en plomb-210 mesurés dans l'air et portés par les aérosols sont dans la fourchette des valeurs habituelles ($100\text{-}1600 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).
- Les mesures en plomb-212 (élément à vie courte, $T_{1/2} = 10,6 \text{ h}$) obtenues sur des filtres prélevés à Alençon et Charleville-Mézières lors du premier passage (15 au 20 avril) puis en l'absence de panache au-dessus de la France (25 au 30 avril) ne montrent pas de différences significatives.

- Emetteurs alpha de la famille de l'uranium-238

- Les niveaux en polonium-210 portés par les aérosols sont tous inférieurs à $50 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ d'air et permettent de conclure à l'absence de poussières volcaniques au niveau du sol.
- Les niveaux de polonium-210 dans les eaux de pluie ayant lessivé l'atmosphère au cours du mois d'avril sont compris entre 7 et $62 \text{ mBq}/\text{l}$. Ces niveaux sont conformes à ceux obtenus dans l'air moyennant l'application d'un facteur de lessivage classique de 1000 (Bq/l par Bq/m^3).

- Comptage alpha global

La comparaison des mesures alpha global et des mesures en polonium-210 (émetteur alpha) montre que le polonium-210 représente entre 45 et 95 % de l'activité alpha globale et que par conséquent la mesure rapide par comptage alpha global permet une bonne appréciation des niveaux en polonium-210.

- Les résultats des mesures par Microscopie Electronique à Balayage (MEB) couplée à l'analyse chimique (EDX) réalisés par l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP, Toulouse) n'ont pas permis de démontrer la présence de particules volcaniques dans les filtres du réseau OPERA à l'aide de cette seule technique. Des analyses complémentaires par ICP-MS sont en cours à l'OMP.

⁴ Durant cette période, un épisode de pollution lié aux activités anthropique a conduit à des niveaux d'empoussièrément atteignant par endroit (essentiellement dans la moitié nord de la France) un niveau en PM10 de $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

- Des mesures par ICP-AES pour la quantification des éléments chimiques néodyme et strontium dans les eaux de pluie sont inférieurs aux limites de quantification (0,03 mg/l pour le Sr et 1 mg/l pour le Nd).

Conclusion

Les informations recueillies à ce jour montrent que le panache s'est maintenu relativement en altitude au-dessus de la France (entre 1000 et 2000 m) entre le 15 et le 21 avril sans impact au niveau du sol puisqu'aucune hausse significative de l'empoussièrement n'a été enregistrée par les capteurs du réseau de surveillance de l'IRSN qui maillent le territoire national.

Les niveaux de rayonnement gamma ambiant enregistrés au sol par les 160 sondes de débit de dose n'ont pas été modifiés lors des phases de survol du panache au-dessus du territoire français.

En raison de la dilution des masses d'air, de l'altitude de transport des cendres et de leurs relativement faibles teneurs en uranium et en thorium à l'origine, et de l'absence de précipitations pluvieuses qui auraient pu rabattre les poussières, pendant cette période, les résultats de mesures s'inscrivent dans les plages de variations habituellement constatées en France. La recherche du polonium-210, traceur spécifique des panaches volcaniques n'a pas révélé d'anomalie qui aurait permis d'avérer la présence de poussières volcaniques en quantité mesurable au niveau du sol en France.

Références

- Kokfelt, T.F., Hoernle, K., Lundstrom, C., Hauff, F. and van den Bogaard, C., 2009. Time-scales for magmatic differentiation at the Snaefellsjökull central volcano, western Iceland: Constraints from U-Th-Pa-Ra disequilibria in post-glacial lavas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73: 1120-1144.
- Lambert, G., 1983. Volcanic emission of radon daughters. *In: Forecasting Volcanic Events*. H. Tazieff and J.C. Sabroux, Eds. Elsevier, Amsterdam, pp. 475-484.
- Mascarenhas, S. and Mattoso, L.H.C., 2010. Volcanic ash should not be presumed harmless in the long term. *Nature*, 465: 157.
- Nho, E.Y., Le Cloarec, M.F., Ardouin, B. and Tjetjep, W.S., 1996. Source strength assessment of volcanic trace elements emitted from the Indonesian arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74: 121-129.
- Vlastélic, I., Lewin, E. and Staudacher, T., 2006. Th/U and other geochemical evidence for the Réunion plume sampling a less differentiated mantle domain. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 248: 379-393.

Annexe



Sonde TELERAY (débit de dose gamma ambiant)



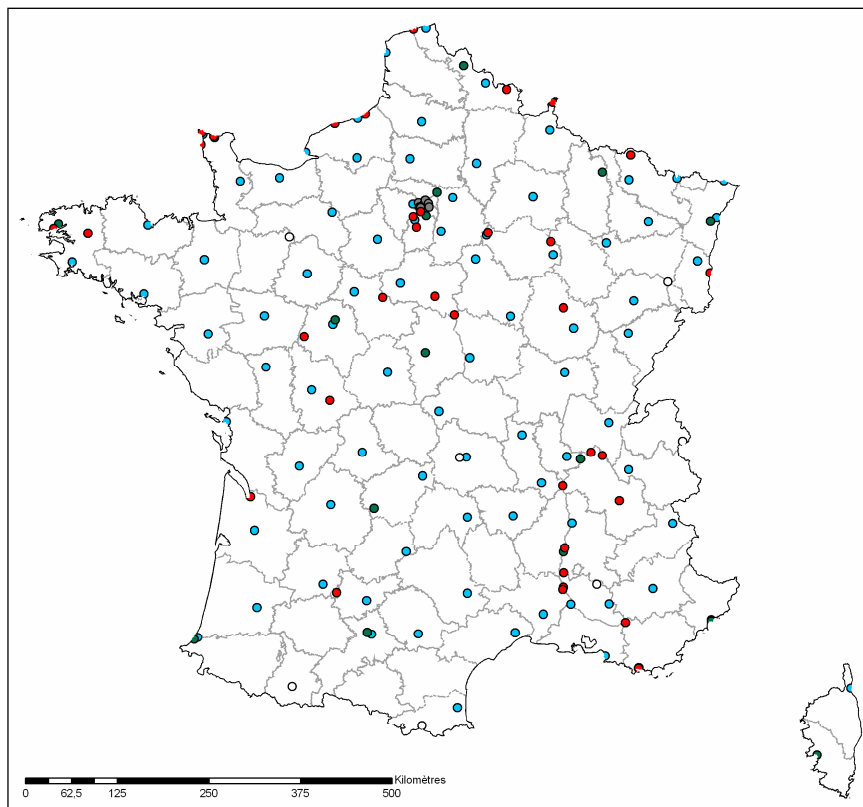
Station de collecte d'aérosol très haut débit du réseau OPERA-Air (site du Puy de Dôme)



Stations de collecte d'aérosol bas débit du réseau OPERA-Air (site du Vésinet)

Principaux dispositifs de surveillance de la radioactivité de l'atmosphère de l'IRSN





Implantation des sondes TELERAY (version 2009)