
Les effets géographiques des éruptions volcaniques

Franck Lavigne et Edouard De Belizal



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/12226>

DOI : [10.4000/echogeo.12226](https://doi.org/10.4000/echogeo.12226)

ISSN : 1963-1197

Éditeur

Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique (CNRS UMR 8586)

Référence électronique

Franck Lavigne et Edouard De Belizal, « Les effets géographiques des éruptions volcaniques », *EchoGéo* [En ligne], Sur le Vif, mis en ligne le 06 décembre 2010, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/12226> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/echogeo.12226>

Ce document a été généré automatiquement le 10 décembre 2020.



EchoGéo est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International

Les effets géographiques des éruptions volcaniques

Franck Lavigne et Edouard De Belizal

Introduction

- 1 Le 26 octobre 2010, le volcan Merapi, situé au centre de l'île de Java (Indonésie), émet pendant près de deux heures 8 coulées pyroclastiques ou nuées ardentes. Ces événements marquèrent le début de la plus forte éruption du volcan depuis 130 ans. Le 4 novembre, des coulées pyroclastiques font plus de 150 victimes à plus de 15 km du sommet. A la fin novembre, les premières expertises estiment à 150 millions de m³ le volume total de matériaux volcaniques éjectés. Les espaces verdoyants couvrant les flancs du volcan ont été recouverts par les tephres grisâtres, et les vallées radiales ont été comblées par plusieurs dizaines de mètres de dépôts pyroclastiques. En l'espace de quelques jours, les états de surface des flancs du Merapi ont été entièrement modifiés. Les conséquences de l'éruption ne jouent pas qu'à la seule échelle locale, mais s'inscrivent dans une géographie plus vaste : les aéroports des villes voisines du Merapi (Yogyakarta au sud, Surakarta à l'est) ont été fermés. En outre, le 8 novembre, certaines compagnies aériennes ne desservaient plus l'aéroport de Jakarta, située 400 kilomètres à l'ouest du volcan, en raison de l'important panache éruptif. Si le trafic aérien n'a été limité que de manière ponctuelle suite à l'éruption du Merapi, il l'a en revanche été beaucoup plus longtemps, et sur la quasi-totalité de l'Europe lors de l'éruption de l'Eyjafjöll (Islande) en avril 2010.
- 2 Une éruption volcanique désigne l'éjection du magma à la surface de la Terre, à l'état solide (cendres, bombes, blocs), liquide (lave) ou gazeux (SO₂, CO₂). La durée des éruptions varie de quelques heures ou jours (dynamiques explosives), mais peuvent s'étendre sur plusieurs années, telles les dynamiques effusives ou explosions quotidiennes dans le cadre d'une activité strombolienne ou vulcanienne. Ainsi le Piton de la Fournaise (île de la Réunion) est en éruption quasi-permanente, avec deux éruptions laviques d'une dizaine de jours en 2010, la première en janvier, la seconde en octobre. Des phénomènes

similaires d'activité quasi-continue (épandements de lave, éjections de tephras) s'observent au Kilauea (Hawaïi), sur l'Etna ou au Stromboli (Italie). Les éruptions volcaniques apparaissent souvent spectaculaires par les aléas qu'elles engendrent. L'arrivée rapide de magma en surface engendre des écoulements chauds, atteignant plusieurs centaines de degrés, et de vitesse variable, de quelques km ou dizaines de km par heure pour les coulées de lave et les lahars (coulées de débris volcaniques), voire plusieurs centaines de km par heure pour les déferlantes pyroclastiques.

- 3 À ces aléas s'en combinent d'autres, induits par l'éruption : avalanche de débris déclenchée par l'effondrement d'un pan du volcan, tsunami engendré par la déstabilisation du plancher océanique, feux de forêts allumés par la lave, etc. De tels événements marquent le paysage sur le plan géomorphologique : stratovolcans composés d'empilements de dépôts volcaniques, lave solidifiée qui arme les reliefs, ou dépôts pyroclastiques qui remplissent les vallées. Ils opèrent aussi une rupture plus ou moins forte et plus ou moins durable dans la vie des populations concernées.
- 4 Ainsi que le montrent les exemples cités précédemment, les éruptions volcaniques peuvent influencer l'environnement et les populations à une différentes échelles spatiales, allant du local (Baxter *et al.*, 1999) au global (Rampino and Self, 1993), en passant par une échelle régionale intermédiaire.

Les effets géographiques des éruptions à l'échelle locale : gestion de crise et résilience postéruptive

- 5 455 millions de personnes vivent à moins de 100 km d'un volcan ayant été actif depuis l'Holocène (Chester *et al.*, 2001 ; Small et Naumann, 2001). Ce chiffre est en outre en constante augmentation, en particulier en raison de la croissance urbaine dans les pays en développement (Chester *et al.*, 2001). Par conséquent, les impacts géographiques des éruptions volcaniques s'exercent en premier lieu à l'échelle locale. Une éruption a des impacts à court terme, car l'ensemble du système géographique est perturbé pendant la phase de gestion de crise ; elle peut également avoir des effets à plus ou moins long terme, posant la question de la résilience postéruptive.

À court terme, la phase de gestion de crise

- 6 Les flancs des volcans actifs sont souvent très peuplés, notamment dans les archipels asiatiques et pacifiques où la pression démographique restreint l'accès aux terres plus éloignées des volcans. Ce sont ainsi près de 500 000 personnes qui vivent dans la zone d'exposition maximale du volcan Merapi, en Indonésie. En novembre 2010, plus de 300 000 villageois rejoignent les camps de refuge officiels, tandis que plusieurs dizaines de milliers d'individus trouvent asile dans de la famille en dehors des zones menacées. À court terme, l'enjeu principal des gestionnaires des risques et des crises est par conséquent de réduire les effets dommageables des aléas volcaniques sur la vie des populations exposées. Les principaux dommages corporels sont les brûlures mortelles provoquées par les coulées volcaniques, l'asphyxie par inhalation de cendres et de gaz à très hautes températures, ou l'effondrement des toits des maisons surchargées de tephras (cendres, ponces).

- 7 La procédure de gestion de crise n'est pas sans implications problématiques sur les populations locales. Dans la plupart des cas, une évacuation suppose l'abandon immédiat et généralement impromptu des villages et des activités économiques, pour une durée non connue. Cela induit une perte de revenus et un stress se matérialisant par le refus d'évacuer de la part des populations, comme en Indonésie (Lavigne *et al.*, 2008). La crainte de pertes directes et du manque à gagner freine souvent les autorités à ordonner un ordre d'évacuation, ce qui s'est parfois soldé par des catastrophes majeures (Montagne Pelée, 1902, Martinique ; Nevado del Ruiz, 1985). Enfin, quand l'évacuation est forcée, comme ce fut le cas au Kelut, Indonésie, en 2007, les populations ne restent pas dans les camps de réfugiés et retournent chez elles quotidiennement, alors même que le niveau d'alerte est maximal.
- 8 La principale solution à ces problèmes est l'éducation des communautés menacées, ce qui suppose un abondant travail en amont pour sensibiliser les personnes aux risques qu'elles encourent, et de les laisser participer aux politiques de gestion de crise qui leur sont trop souvent imposées (CBDRM ou *Community-Based Disaster Risk Management*). Dans certains cas, notamment autour des volcans où la fréquence d'occurrence des éruptions s'avère faible, on peut observer un progressif oubli des dangers, les aléas étant méconnus et sous évalués. Ainsi ces personnes de la Martinique, craignant de manière indue les coulées de lave fluides de type hawaïen sur un volcan explosif où le réel danger réside dans les coulées pyroclastiques sont-elles apparues très mal préparées à une nouvelle éruption de la Montagne Pelée (D'Ercole et Rançon, 1994). Pourtant, c'est dans la préparation continue que peuvent se résoudre les problèmes de gestion de crise lorsque survient l'éruption.

À moyen terme, y a-t-il une résilience postéruptive ?

- 9 Suite à une éruption volcanique, l'espace du volcan peut être plus ou moins profondément bouleversé, aussi bien dans sa morphologie que dans ses dynamiques socioéconomiques d'avant la crise. Dans le cas de dommages irréversibles, les populations peuvent quitter définitivement les villages et se reloger ailleurs (illustration 1). Ces abandons peuvent être encadrés par les autorités, comme la politique de transmigration indonésienne, qui voulait vider les flancs du Merapi (Java) pour peupler les fronts pionniers de Sumatra (Laksono, 1988), de Bornéo ou de Papouasie, ou comme les Aetas vivant sur les flancs du Pinatubo (Philippines). La résilience est alors absente, puisque l'espace ne retrouve pas ses fonctionnements d'avant la crise.

Illustration 1 - Le village de Kinahrejo le 27 octobre 2010, une journée après les coulées pyroclastiques



Auteur : Noer Cholik, BPPTK Yogyakarta.

- 10 Le plus souvent, cependant, une fois l'éruption terminée, les populations évacuées retournent chez elles, et reprennent progressivement leurs activités habituelles. C'est le cas de figure le plus répandu. Aux Comores (Karthala), en Indonésie, autour du Merapi, du Semeru (Java), du Batur (Bali), ou encore dans certains édifices de la péninsule de Reykjanes (Islande), les dépôts laissés par les coulées pyroclastiques sont exploités dans des carrières artisanales et spontanées d'où les sables et les blocs sont creusés puis vendus. Les bénéfices permettent de compenser les pertes éventuelles subies pendant le temps mort des évacuations. Quant aux autorités locales, elles ont en charge la réparation des routes, des lignes électriques et de l'ensemble des infrastructures ; en l'espace de quelques mois, la reprise est quasi complète. Dans certains cas, cette résilience apparaît aussi comme un moyen de sublimer le traumatisme de la crise : Saint-Pierre de la Martinique fut rebâti peu de temps après sa destruction complète en 1902 un peu plus au sud de son site originel. Une telle attitude pose néanmoins certaines questions en termes de sécurité.
- 11 Sur un temps plus long, de l'ordre de quelques années, la résilience est aussi naturelle : l'altération de la surface des dépôts laissés par l'éruption amène une pédogenèse permettant, à terme, un reverdissement des régions ensevelies. Très rapide en milieu tropical, cette résilience biologique redonne aux espaces marqués par l'éruption leur caractère d'avant crise. Les vallées du Merapi parcourues par les coulées pyroclastiques de 2006, comme la Gendol, apparaissent aujourd'hui encore très grises ; en revanche, d'autres vallées, comme la Boyong (illustration 2), qui ne sont plus touchées par les coulées volcaniques depuis le début des années 2000 sont désormais verdoyantes, les dépôts ayant été entièrement pédogénisés puis reconquis par la végétation. Autour du

Kelut, également en Indonésie, des champs d'ananas occupent désormais les vallées parcourues par les lahars postérieurs à l'éruption de 1990 ; suite au tarissement progressif des matériaux sédimentaires, les populations leur ont souvent rendu leur vocation agricole pré-crise. En revanche, certains types de matériaux volcaniques, très acides, auront pour conséquence de stériliser les terrains qu'ils recouvrent, surtout si s'ajoutent des conditions défavorables d'altitude et de froid (illustration 3). C'est le cas des cheires d'Auvergne, formées lorsque les coulées de lave visqueuse se sont figées en un paysage rugueux et très minéral, parfois recouverts de forêts. Dans le cas des planèzes du Cantal, seule une pelouse a pu s'y développer, parsemée ponctuellement de quelques bosquets de hêtres, de frênes et d'aulnes (Hugonie, 2003).

- 12 Les éruptions volcaniques opèrent une crise plus ou moins profonde qui amène une solution de continuité dans les processus physiques et humains des espaces exposés ; mais, à moyen terme, les dynamiques naturelles et humaines retrouvent leur fonctionnement habituel... Autour des volcans très actifs (Réunion, Comores, Hawaii, Indonésie, Philippines...), la normalité, cependant, reste ce perpétuel balancier entre périodes de tranquillité, et brutales ruptures.

Illustration 2 – La vallée de la Boyong, sud du volcan Merapi (Java, Indonésie), en avril 2010



Recouverte de dépôts de lahars après 1994 jusqu'au début des années 2000, cette vallée était, jusqu'à l'éruption d'octobre 2010, dévolue à une activité agricole (cresson, arbres fruitiers...), grâce à une rapide altération des dépôts, ayant produit des sols fertiles.

Auteur : E. de Bélizal, 2010.

Illustration 3 – Le champ de lave du Laugahraun en Islande occidentale, pris depuis les solfatares du cône du volcan Brennisteinsalda (premier plan)



L'épanchement de lave visqueuse de type *a'a*, survenu au XV^e siècle, a produit ce relief rugueux, dont l'acidité de la roche combinée au froid n'a pas permis la mise en place d'un sol fertile.

Auteur : E. de Bélizal, 2010.

Les effets géographiques des éruptions à l'échelle régionale

Perturbations de la circulation aérienne

- 13 Pendant l'éruption du volcan islandais Eyjafjöll en avril 2010, les autorités de régulation aéronautique ont convenablement joué leur rôle d'informateur par le biais des METARs (*ME*Teorological *A*irport *R*eports), en application d'une recommandation ancienne de l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) permettant d'immédiatement informer les compagnies et leurs pilotes. En revanche, cette crise a mis en évidence, d'une part, un manque de coordination des autorités européennes entre elles, et d'autre part, des carences de communication au grand public face à la diffusion d'un nuage de cendre potentiellement dangereux pour la circulation aérienne (illustration 4). La diffusion des panaches éruptifs et des aérosols qu'ils contiennent peut s'étaler sur plusieurs kilomètres de haut (illustration 5). Au total, plusieurs dizaines d'aéroports ont été fermés pendant plusieurs jours, des centaines de milliers de vols ont été annulés, touchant directement des millions de voyageurs. Les pertes financières des compagnies aériennes et d'assurances se sont montées à 200 millions d'euros par jour, ce qui a fait de cet événement une catastrophe financière sans précédent pour ce type d'aléa (même s'il y a eu un rattrapage partiel par la suite, lié au rapatriement des passagers). Cette éruption volcanique de magnitude et d'intensité pourtant modérées a perturbé temporairement

l'ensemble des flux d'hommes et de marchandises, le transport aérien représentant 40 % des flux transportés en valeur. Si l'ensemble des secteurs d'activité économique fut touché (tourisme, commerce, etc.), les effets géographiques de cet événement n'ont pas été uniquement négatifs. Ainsi, les trafics ferroviaires et routiers ont grandement augmenté, provoquant une rupture de stock des voitures de location par exemple. Les hôtels situés à proximité des aéroports affectés affichèrent complet pendant plusieurs semaines, etc.

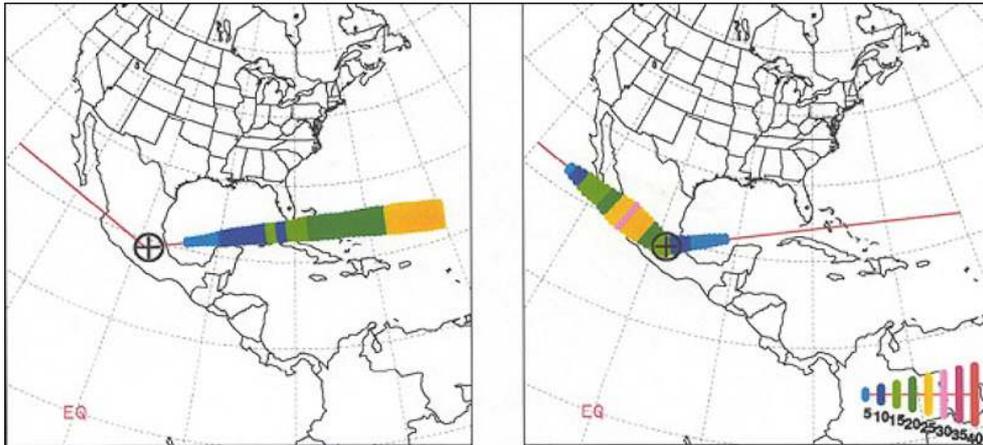
- 14 L'ampleur de la crise est en grande partie due au manque d'anticipation des acteurs de la gestion de ce type d'événement inattendu. Les volcanologues ont mis plusieurs semaines à mettre en place une cellule d'information sur le déroulement de l'éruption ; les météorologues transmettaient aux autorités des cartes de diffusion du panache volcanique, mais la coordination de l'ensemble des activités s'est mise du temps à s'effectuer, sous l'égide du VAAC (*Volcanic Ash Advisory Centre*) de Londres. Des crises similaires s'étaient pourtant produites dans un passé récent, comme la fermeture pendant trois jours de l'aéroport de Pointe-à-Pitre en Guadeloupe suite au regain d'activité du volcan Soufrière Hills de Montserrat en février 2010.

Illustration 4 - Nuage de cendres du volcan Islandais Eyjafjöll se dirigeant vers le Sud



Source : NASA, 2010.

Illustration 5 – Exemples probabilistes de l'extension estimée des cendres volcaniques suite à l'éruption du volcan Popocatépetl (Mexique) en 2005



On repèrera l'extension sur plusieurs milliers de kilomètres.
Manuel de l'OACI, 2007.

- 15 La question la plus controversée de cette crise concerne les causes de l'annulation des vols : menace réelle ou principe de précaution ? Le principal danger pour les avions est lié à l'ingestion par les réacteurs de cendres volcaniques, dont la condensation peut provoquer l'arrêt pur et simple des moteurs. Si aucun crash aérien lié à ce phénomène n'a encore jamais eu lieu, on a frôlé la catastrophe à plusieurs reprises (appendice G, base de données G-1, manuel de l'OACI, 2007), comme le suggère la liste des centaines d'éruptions avec panache de cendres ayant posé un problème pour l'aviation civile (appendice E, manuel de l'OACI, 2007). L'exemple le plus connu concerne l'arrêt des réacteurs de deux Boeing 747 ayant traversé le panache de l'éruption plinienne de 1982 du volcan Galunggung, sur l'île indonésienne de Java (Sudradjat et Tilling, 1984), incident survenu également auprès d'un appareil de Singapore Airlines. Le redémarrage des réacteurs des avions de British Airways (G-BDXH) a pu être effectué.
- 16 La principale difficulté de gestion des risques aériens en lien avec l'activité volcanique vient du fait qu'il existe encore beaucoup d'incertitudes concernant les seuils de concentration des cendres capable de bloquer un réacteur. Le modèle des réacteurs, en fonction notamment des fabricants est certainement un paramètre à intégrer, et à mettre en relation avec des considérations physiques, comme la question de l'insuffisance de l'apport en oxygène comburant (Hanstrum & Watson, 1983). La crise de l'Eyjafjöll a mis en exergue le peu d'avancées de la communauté scientifique internationale - en particulier européenne - dans ce domaine lors des trente dernières années. L'un des problèmes majeur réside dans l'acquisition de données fiables à rentrer dans les modèles de propagation des cendres. Il demeure en effet difficile de récolter des cendres volcaniques volatiles en plein vol sans en modifier leur concentration par volume. À moins de ne voler qu'à faible vitesse, l'onde de choc à l'avant des capteurs peut notamment avoir pour effet de modifier les conditions aérodynamiques naturelles en déviant les cendres de leur trajectoire. Il en résulte vraisemblablement une sous-estimation de la concentration réelle de cendres, ce qui peut expliquer l'application par les gouvernements européens du principe de précaution, tant critiqué par les usagers relayés par certains médias, et considéré comme abusif par de nombreux pilotes car les plans de vols pouvaient être facilement modifiés. Ce principe de précaution, en bloquant la circulation aérienne, pose

des questions évidentes en matière de politique commerciale, et la question du seuil à partir duquel l'interdiction est mise en place mérite d'être discutée. Dans le cas de l'Eyjafjöll en avril dernier, les plans de vols (route et altitude) pouvaient être modifiés pour contourner le nuage susceptible de perturber le fonctionnement des avions. Par ailleurs, sauf en Islande même, les aéroports européens n'ont jamais été dans la situation qui a conduit à l'extinction des réacteurs du B 747 de British Airways évoquée plus haut.

Au sol : des cendres bienfaitrices ?

- 17 Le mythe des cendres bienfaitrices, responsables de fortes densités de population de l'île de Java, par exemple, doit être revisité. Les effets géographiques des retombées de cendres volcaniques doivent être analysés à plusieurs échelles temporelles.
- 18 A court terme, les chutes de cendres lors d'une éruption revêtent indéniablement un caractère catastrophique. Elles ont tout d'abord des effets directs sur la santé des populations à l'échelle régionale, en provoquant la mort des plus faibles et du bétail par ingurgitation de dioxyde de soufre. Cependant les bouleversements démographiques majeurs sont liés aux effets indirects des projections de cendres dans l'atmosphère. En particulier, l'apparition de pluies acides et de « brouillard sec » (*dry fog*) ravage les récoltes et provoque des famines (Grattan et Pyatt, 1999). Pris ensemble, ces facteurs ont entraîné la mort de 92 000 personnes sur l'île indonésienne de Sumbawa en 1815, principalement par famine. De même, le quart de la population islandaise et les trois-quarts du cheptel disparurent à la suite de l'éruption du Laki en 1783 (Steingrimsom, 1998 ; Thordarson et Self, 2003). Mais les pertes s'étendirent à toute l'Europe occidentale (Grattan *et al.*, 2005), comme l'illustre la surmortalité de 30 % par rapport à la moyenne annuelle en Angleterre l'année de l'éruption. En septembre 2010, presque six mois après l'éruption de l'Eyjafjöll, des nuages de cendres parcouraient encore les *sandar* de l'Islande méridionale, portés par les rafales de vent.
- 19 Au bout de combien de temps les effets négatifs des éruptions volcaniques vont-ils se résorber ? Allison (2002) a démontré que les impacts géographiques de l'éruption du Vésuve en 79 après J.-C. furent limités. Au bout de quelques décennies, les populations se sont réinstallées dans la plaine campanienne. Il en fut de même sur les côtes de Java et Sumatra dévastées par le tsunami engendré par l'éruption du Krakatoa en 1883. Ce laps de temps semble correspondre à une double logique. La première est d'ordre pédologique : en climat chaud et relativement humide, les cendres ayant résisté à l'érosion hydrique vont être progressivement incorporées au sol pré-éruptif par lessivage, enrichissant ce dernier en éléments ferromagnésiens. La seconde est d'ordre psychologique : deux générations sont souvent nécessaires pour progressivement effacer la mémoire individuelle et collective d'une catastrophe naturelle (Lavigne *et al.*, 2008).

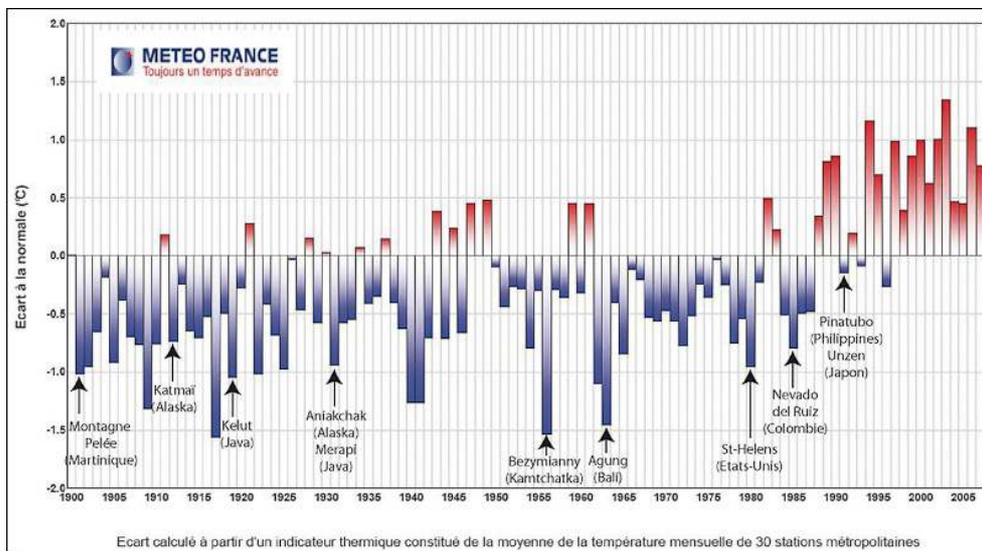
Les effets géographiques des éruptions à l'échelle mondiale

- 20 Les impacts géographiques des éruptions volcaniques peuvent être analysés à l'échelle planétaire, lorsque les éruptions cataclysmales modifient le climat par l'émission d'une grande quantité d'aérosols dans l'atmosphère.

Baisse des températures et anomalies climatiques

- 21 Les éruptions pliniennes modifient temporairement le climat en introduisant dans la stratosphère des gaz sulfureux (Robock, 2000). Ces derniers vont s'oxyder et former une couche d'aérosols qui va réduire la quantité de radiations solaires atteignant la surface terrestre. Cependant, la diminution moyenne de température à l'échelle mondiale qui en résulte est de l'ordre de 0,5 à 1°C sur une période temporelle déterminée (Stenchikov, 2009). Cependant, ce refroidissement n'est pas uniforme spatialement. Les anomalies climatiques induites par une éruption peuvent correspondre aux latitudes tempérées à des étés anormalement froids et pluvieux. L'illustration 6 montre que les années plus froides que la moyenne de température en France depuis 1900 correspondent à celles dont les étés ont été plus frais qu'en temps normal à la suite d'une éruption plinienne.

Illustration 6 – L'impact des éruptions volcaniques sur le climat



Les étés frais et pluvieux consécutifs aux éruptions majeures de l'hémisphère nord, comme celle du Laki en 1783, ont provoqué disettes et révoltes dans les campagnes françaises, prémices de la Grande Peur et de la Révolution. Cependant, le même mécanisme peut contre toute attente entraîner des récoltes plus abondantes que la normale : alors que la France et les Pays-Bas connaissaient des étés frais et très pluvieux en 1816 (Post, 1977 ; Sadler et Grattan, 1999), un an après l'éruption plinienne du Tambora en Indonésie, le Danemark eut un été plus chaud et plus sec qu'en temps normal, permettant une hausse des récoltes (Neumann, 1990). Il convient par conséquent d'éviter les généralisations.

Source : Météo-France.

Le cas des « supervolcans »

- 22 Un supervolcan est un volcan qui produit les éruptions les plus importantes sur Terre à l'échelle des temps géologiques, d'une magnitude supérieure de plusieurs ordres de grandeur aux plus fortes éruptions historiques (niveau 8 ou plus sur l'Indice d'explosivité volcanique) (Self, 2006). L'US Geological Survey (USGS) applique ce terme à toute éruption qui rejette plus de 1000 km³ de pierre ponce et de cendre en une seule explosion - cinquante fois le volume de l'éruption de 1883 du Krakatoa, en Indonésie. La plus récente

explosion répertoriée d'un supervolcan date d'environ 26 500 ans, celle du lac Taupo en Nouvelle-Zélande.

- 23 L'intensité de ces explosions est suffisante pour avoir des effets cataclysmiques pour le climat et la vie sur Terre. On a remarqué dès les années 1990 que ces éruptions exceptionnelles, comme celles du Toba en Indonésie il y a 74 000 ans (Rampino & Self, 1993), ou celle survenue en Campanie il y a 34 000 ans (Fedele *et al.*, 2002), avaient entraîné un changement climatique majeur, coïncidant avec le début d'un épisode glaciaire. Cependant, cette interprétation est contestée par certaines études récentes : les ré-analyses d'Oppenheimer (2002) ont par exemple largement minimisé l'impact de l'éruption du Toba, incapable selon lui de déclencher un épisode glaciaire. Williams *et al.* (2009) ont quant à eux mis en évidence un refroidissement initial rapide en Asie du Sud, suivi d'une période prolongée d'assèchement, traduite par une savanisation des paysages initialement forestiers.
- 24 Quels que soient leurs impacts climatiques, ces méga-éruptions ont engendré une crise majeure attestée par les données archéologiques (Ambrose, 1998 ; Rampino & Ambrose, 2000) et les études génétiques (le fameux « bottleneck », attestant de la quasi disparition de la race humaine : Ambrose, 2003). Une telle éruption au XXI^e siècle, comme celle du supervolcan de Yellowstone (qui fit une éruption de magnitude entre 1000 et 2500 fois plus puissante que celle du Mont St. Helens), aurait des impacts en tout point catastrophiques pour l'économie et les sociétés modernes : la chute brutale des températures anéantirait en quelques mois les récoltes de céréales, en particulier les réserves de blé des Etats-Unis qui sont aujourd'hui le grenier à blé de la planète ; la circulation aérienne serait réduite à néant, les télécommunications seraient très contrariées, la production d'électricité serait réduite dans de nombreuses régions, sans parler des ressources en eau potable qui seraient affectées par les gaz et les cendres toxiques. Selon Sparks *et al.* (2005), il est probable que la race humaine ait à endurer une telle éruption dans le futur. Si un tel scénario (déjà réalisé à plusieurs reprises dans les temps géologiques et bien plus réaliste que celui du film *2012* !) se produit véritablement, l'avenir de la planète dépendra de la capacité de résistance de nos sociétés face à un événement extrême d'ampleur mondiale...

Conclusion

- 25 L'intensité des effets des éruptions volcaniques est évidemment proportionnelle à la distance au cratère. Ainsi, si l'échelle locale est toujours perturbée par les éruptions, l'échelle régionale l'est dans le cas d'événements de plus forte magnitude. Ceux-ci ne sont pas rares : durant le premier semestre 2010, les éruptions de Soufriere Hills (Montserrat, Caraïbes) et de l'Eyjafjöll (Islande) ont paralysé momentanément les circulations aériennes régionales et transatlantique. En revanche, les conséquences des éruptions volcaniques à l'échelle planétaire ne s'observent réellement que dans le cas de dynamiques pliniennes paroxysmales, ou, plus rarement, lors de l'éruption des supervolcans, avec formation d'une caldeira de plusieurs kilomètres de diamètre.
- 26 Le rôle du géographe est notamment de s'intéresser à ces jeux d'échelles des effets des éruptions volcaniques dans le temps et l'espace. Jusqu'à la fin du XX^e siècle, la plupart des cartes dites de risques volcaniques ont proposé une simple spatialisation des aléas figée dans le temps et réduite à l'échelle locale, sur lesquelles ont parfois été plaqués les

principaux enjeux, les routes d'évacuation et les sites de refuge officiels. Depuis quelques années, les conséquences des éruptions volcaniques sont envisagées à partir de modélisations analogiques ou numériques des aléas (retombées de cendres, coulées pyroclastiques, avalanches de débris, lahars, etc.), mais aussi d'études dynamiques des vulnérabilités : analyses de fréquentation humaine des sites menacés au cours du temps, modélisation des évacuations et des secours, etc. Dans cette nouvelle ère technologique, les outils utilisés par le géographe, tels que les Systèmes d'Informations Géographiques, la télédétection ou les Systèmes Multi-Agents, constituent un atout majeur pour que la géographie reste au cœur des études sur les risques liés à des aléas naturels ou anthropiques.

BIBLIOGRAPHIE

Allison P., 2002. Recurring Tremors: the continuing impact of the AD 79 eruption of Mt. Vesuvius. In Torrence R. and Grattan J.P., *Natural Disasters, Catastrophism and Cultural Change*. London, Routledge, p. 107-125.

Ambrose S.H., 1998. Late Pleistocene human population bottlenecks, volcanic winter and differentiation of modern humans. *Journal of Human Evolution*, 34, p. 623-651.

Ambrose S.H., 2003. Did the super-eruption of Toba cause a human population bottleneck? Reply to Gathorne-Hardy and Harcourt-Smith. *Journal of Human Evolution*, 45, 3, p. 231-237.

Baxter P.J., Baubron J.-C., Coutinho R., 1999. Health Hazards and disaster potential of ground gas emissions at Furnas volcano, Sao Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, p. 95-106

Chester D. K., Degg M., Duncan A. M., Guest J. E., 2001. The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey. *Global Environmental Change Part B : Environmental Hazards*, 2, 3, p. 89-103.

D'Ercole R., Rançon J.P., 1994. La future éruption de la Montagne Pelée : risques et représentations. *Mappemonde*, 4, p. 31-36.

Fedele F.G., Giaccio B., Isaia R., Orsi G., 2002. Ecosystem impact of the Campanian ignimbrite eruption in late Pleistocene Europe. *Quaternary Research*, 57, p. 420-424.

Grattan J.P. 2006. Volcanic eruptions and Archaeology: cultural catastrophe or stimulus? *Quaternary International*, 151, 10-18.

Grattan J.P., Pyatt F.B., 1999. Volcanic eruptions, dust veils, dry fogs and the European Palaeoenvironmental record: localised phenomena or hemispheric impacts? *Global and Planetary Change*, 21, p. 173-179.

Grattan, J.P. & Torrence, R. (eds). 2007. *Under the Shadow: the cultural impacts of volcanic eruptions*. San Diego, Left Coast Press, 30 p.

Grattan J.P., Torrence R., 2007. Beyond doom and Gloom: The long term consequences of volcanic disasters. In Grattan J.P. & Torrence R. (eds), *Under the Shadow: the cultural and environmental impacts of volcanic eruptions*. San Diego, Left Coast Press, p. 1-18.

- Grattan J., Rabartin R., Self S., Thordarson T., 2005. Volcanic air pollution and mortality in France 1783-1784. *Comptes Rendus Geoscience*, 337, p. 641-651.
- Hanstrum, B.N., Watson A.S., 1983. A case study of two eruptions of Mt. Galunggung and an investigation of volcanic eruption cloud characteristics using remote sensing techniques. *Australian Meteorological Magazine*, 31 :3, septembre 1983, p. 171-177.
- Hugonie G., 2003. *Les espaces "naturels" des Français*. Éditions du Temps, Paris, 255 p.
- Laksono P.M., 1988 – Perception of volcanic hazards: villagers versus government officials in Central-Java. In Dove, M.R. (ed), *The real and imagined role of culture in development: case studies from Indonesia*. University of Hawaii Press, Honolulu, 289 p.
- Lavigne F., De Coster B., Juvin N., Flohic F., Texier P., Morin J., Gaillard J.-C., Sartohadi J., 2008. People's behaviour in the face of volcanic hazards; view from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 3-4, p. 273-287.
- McGuire W.J., 2008. Changing sea levels and erupting volcanoes: cause and effect? *Geology Today*, 8, 4, p. 141-144.
- Neumann J., 1990. The 1810s in the Baltic region, 1816 in particular: air temperatures, grain supply and mortality. *Climatic Change*, 17, p. 97-120.
- Oppenheimer C., 2002. Limited global change due to the largest known Quaternary eruption, Toba ≈74 kyr BP? *Quaternary Science Reviews*, 21, 14-15, p. 1593-1609.
- Organisation de l'aviation civile internationale, 2007. *Manuel sur les nuages de cendres volcaniques, de matières radioactives, et de produits chimiques toxiques*. Deuxième édition.
- Post J.D., 1977. *The Last Great Subsistence Crisis of the Western World*. Baltimore, John Hopkins University Press, 240 p.
- Rampino M., Ambrose S., 2000. Volcanic winter in the Garden of Eden: the Toba super- eruption and the late Pleistocene human population crash. In McCoy F., Heiken G. (Eds.), *Volcanic Hazards and Disasters in Human Antiquity*, 345, p. 71-82.
- Rampino M.R., Self S., 1993. Climate-volcanism feedback and the Toba eruption of 74 000 years ago. *Quaternary Research*, 40, p. 269-280.
- Robock, 2000. Volcanic eruptions and climate. *Rev. Geophys.*, 38, p. 191-219.
- Sadler, J. & Grattan, J.P. 1999. Volcanoes as agents of past environmental change. *Global and Planetary Change*, 21, p. 181-196.
- Self S., 2006. The effects and consequences of very large explosive volcanic eruptions. *Phil. Trans. R. Soc., A* 2006, 364, p. 2073-2097.
- Small C., Naumann T., 2001. The global distribution of human population and recent volcanism. *Environmental Hazards*, 3, p. 93-109.
- Sparks S., Self S., Grattan J.P., Oppenheimer C., Pyle D., Rymer H., 2005. Super- eruptions: global effects and future threats. London, Report of a geological society of London working group. 24 p. <http://www.geolsoc.org.uk/template.cfm ?name =Super1>.
- Stenchikov D., 2009. The Role of Volcanic Activity in Climate and Global Change. In Letcher T.M. (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Chapter 4, Elsevier, p. 77-102.
- Sudradjat A., Tilling R.I., 1984. Volcanic hazards in Indonesia: the 1982-1983 eruption of Galunggung. *Episode*, 7, 2, p. 13-19.

Steingrímsson J., 1998. *Fires of the Earth: the Laki Eruption 1783-84*. Reykjavik, University of Iceland Press, 93 p.

Thordarson T., Self S., 2003. Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: a review and reassessment. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 10, p. 33-54.

Williams M.A.J., Ambrose S., van der Kaars H.S. Ruehlemann C., Chattopadhyaya U., Pal J., Chauhan P.R., 2009. Environmental impact of the 73 ka Toba super-eruption in South Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 284, 3-4, p. 295-314.

RÉSUMÉS

Les méthodes de réflexion géographique permettent d'appréhender efficacement les jeux d'échelles et les temporalités multiples des effets induits par les éruptions volcaniques. L'objectif de cette synthèse est ainsi de comprendre les espaces volcaniques en tant qu'objets géographiques, en replaçant les impacts des éruptions au cœur d'une étude spatiale et temporelle. Les impacts de tels événements imposent des recompositions spatiales à l'échelle du volcan lui-même, et, dans le cas d'éruptions de plus grande magnitude, peuvent avoir des conséquences à l'échelle régionale voire mondiale. Les divers exemples abordés ici mettent l'accent sur les risques, la vulnérabilité et la résilience des populations vivant sur ces espaces marqués par les aléas volcaniques.

The purpose of this paper aims to study the volcanic areas as geographical objects. Geographical analyses help to understand at different scales the levels of impacts induced by volcanic eruptions. Impacts of such events trigger spatial changes across the volcano itself, and can have consequences at regional or even global level in case of outbreaks of greater magnitude. The various examples discussed here focus on hazards, vulnerability and resilience of people living in those volcanic-hazard prone areas.

INDEX

Mots-clés : circulation aérienne, éruption volcanique, gestion de crise, perturbation climat, résilience, supervolcan, vulnérabilité

Keywords : aerial circulation, climate perturbation, crisis management, supervolcano, volcanic eruption, vulnerability

AUTEURS

FRANCK LAVIGNE

Franck Lavigne est géographe, Professeur de géographie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et sous-directeur du Laboratoire de Géographie Physique, UMR 8591 à Meudon. Il est spécialisé sur les risques et les catastrophes naturelles d'origine tellurique (éruptions volcaniques et tsunamis principalement). Il a publié récemment :

Lavigne F., De Coster B., Juvin N., Flohic F., Texier P., Morin J., Gaillard J.-C., Sartohadi J., 2008. People's behaviour in the face of volcanic hazards ; view from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 3-4, p. 273-287.

Lavigne F., Paris R., Grancher D., Wassmer P., Brunstein D., Vautier F., Leone F., Flohic F., De Coster B., Gunawan T., Gomez C., Setiawan A., Cahyadi R., Fachrizal, 2009. Reconstruction of

Tsunami Inland Propagation on December 26, 2004 in Banda Aceh, Indonesia, through Field Investigations. *Pure and Applied Geophysics*, vol. 13, 166, p. 259-281. franck.lavigne@univ-paris1.fr

EDOUARD DE BELIZAL

Edouard De Bélizal est doctorant allocataire moniteur en géographie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, affilié au Laboratoire de Géographie Physique, UMR 8591 à Meudon. Sa thèse porte sur les extractions de matériaux volcaniques et leurs conséquences environnementales, économiques et sociales. Il publié récemment :

Bélizal E. de, Lavigne F., Grancher D., sous presse. Le prix du danger. Impacts environnementaux et socio-économiques de l'extraction des matériaux volcaniques dans les vallées du volcan Merapi, Indonésie.

Bélizal E. de, Lavigne F., sous presse. Between danger and benefits : block and sand mining around Merapi volcano. In Lassa J., Paripurno E., Sagala S., Haynes K., *Ethnography of Volcano Risk Governance : Case of Merapi Volcano Mount in Indonesia*. VDM Verlag.
edouard.debelizal@laposte.net