

LES EFFETS DE L'ÉRUPTION VOLCANIQUE HASARDEUSE EN AVRIL 2010 DU VOLCAN EYJAFJALLAJÖKULL SUR LES ROUTES ET SUR LE TRANSPORT AÉRIEN

H. HARALDSSON, PhD
L'Administration Routière, Islande
hreinn.haraldsson@vegagerdin.is

RÉSUMÉ

En avril 2010 une éruption volcanique s'est déclenchée sous la calotte glacière de l'Eyjafjallajökull, dans le sud de l'Islande. Quelques heures plus tard, un torrent d'eau issu de fonte glacière a émergé sur le versant nord du glacier, en se jetant dans la rivière de glacier de Markarfljót, et en se dirigeant ainsi vers les routes et les ponts traversant l'estuaire de cette rivière plus en aval. L'administration routière ne disposait que de 2-3 heures de préavis pour arrêter la circulation et de prendre les mesures nécessaires afin de minimiser les dégâts prévisibles sur l'infrastructure routière, notamment sur la très importante route circulaire, la Route 1. L'on a pu sauver les ponts en creusant des chemins d'évacuation des eaux à travers les remblais routiers et en y acheminant une grande partie du déluge. Cependant, environ 400 mètres de route ont été entièrement anéantis.

Cette éruption volcanique, avec son corollaire de production d'immenses nuages de cendres volcaniques, a énormément perturbé tout le trafic aérien sur la partie nord et ouest de l'Europe, d'abord pendant une période initiale de six jours, en avril 2010, puis de manière discontinue et localisée jusqu'au mois de mai 2010, créant ainsi la plus grande perturbation du trafic aérien connue depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale.

Le danger immense présenté par un certain nombre de volcans recouverts d'une calotte glacière a rendu nécessaire un effort spécial de surveillance par des sismographes, un enregistrement permanent par GPS, le sondage des rivières par des jauges reliées aux émetteurs de radio, leur survol par des avions équipés de radar aérien relevant leur profil, ainsi que des survols réguliers au dessus des calottes glacières. La plupart de ces données peuvent être consultées en temps réel sur l'Internet.

1. LES DANGERS DU VOLCANISME

1.1. Introduction

Pendant les onze siècles d'habitation de l'Islande, l'activité volcanique a souvent, de manière directe ou indirecte, affecté la population, parfois avec une sévérité extrême. Les éruptions et des événements liés à l'activité géothermique se produisent régulièrement et leurs conséquences sont aussi variées que l'impact direct d'une tombée de cendres, l'éjection de colonne de pierre ponce, l'étalement d'une coulée de lave, ou l'irruption des eaux de glace fondue (jökulhlaup), ou enfin la contamination de l'air, de l'eau ou bien des fourrages. Sur la majeure partie de son territoire, la densité de population de l'Islande est très faible et aucune habitation permanente humaine ne se trouve sur le haut plateau de l'intérieur. La majeure partie de la population est essentiellement agglutinée autour de la côte, avec environ 70% des 320 mille habitants vivant dans l'agglomération de Reykjavík, ainsi que le long du littoral de la baie de Faxaflói, dans le sud-ouest de l'Islande. L'agglomération de Reykjavík est située légèrement en dehors de la zone d'activité volcanique et la possibilité d'une éruption volcanique s'y produisant est considérée comme infime, quoique ses zones les plus à l'est et au sud ne soient pas totalement à l'abri de coulées de lave futures.

Des zones de densité de population moyenne sont situées à proximité de centres de volcanisme très actifs, dans le sud, le sud-est ainsi que dans le nord-est du pays. Des éruptions majeures se produisent à quelques siècles d'intervalle et affectent alors parfois de manière permanente toute une région, telle que par exemple l'éruption de Laki en 1783-84 qui fut la cause d'une famine en Islande et d'une modification temporaire du climat dans l'hémisphère nord. À une période plus récente, des éruptions ont mis en péril les liaisons aériennes entre l'Europe, l'Amérique du Nord ainsi qu'avec l'Extrême-Orient.

Le but de ce papier est de présenter un aperçu des principaux types de hasards volcaniques qu'on retrouve en Islande, en mettant l'accent essentiellement sur la période s'étalant depuis la colonisation du pays, (c.à.d. les 1130 dernières années), ainsi que le système de gestion du risque mis en place pour les désastres naturels en Islande.

1.2 L'activité volcanique en Islande

L'activité volcanique en Islande est cantonnée aux zones de volcanisme actif (Figure 1). Ces zones sont généralement composées d'un centre de volcanisme et d'une foulée de fissures qui peut s'étendre sur des dizaines de kilomètres dans chaque direction, à partir du volcan central. Sur un nombre total de 30 systèmes volcaniques identifiés jusqu'à présent, 16 d'entre eux ont été actifs depuis l'an 870. La plupart des éruptions ont lieu à l'intérieur du centre de volcanisme, avec les Grímsvötn, la Hekla et la Katla qui ont la plus grande fréquence d'éruptions et, conjointement, avec leurs systèmes de fissures afférentes, qui possèdent aussi la plus importante productivité volcanique. Ces centres de volcanisme se sont souvent transformés en caldeiras abritant une grande variété de systèmes géothermiques, qui émettent une grande variété de compositions magmatiques. Dans de nombreux centres de volcanisme, les éruptions typiques sont relativement petites, quoiqu'en temps historiques, les éruptions, aussi bien de Hekla que de Katla, ont souvent été considérablement plus grandes. Les éruptions sur des systèmes de fissures produisent en règle générale de la roche basaltique. Elles sont moins fréquentes mais généralement plus grandes que les éruptions cantonnées dans un centre de volcanisme, les fissures pouvant s'étaler sur plusieurs dizaines de kilomètres. Quelques unes des plus grandes éruptions connues en Islande sont précisément de ce genre.

Depuis les 4 derniers siècles, des éruptions se sont produites en Islande environ une fois tous les 3-4 ans. Les éruptions explosives ainsi que les phases explosives d'éruptions du type mixte peuvent, en gros, être classées en deux catégories: D'une part, les éruptions magmatiques ou la fragmentation explosive des matériaux est essentiellement due à l'expansion des gaz magmatiques et d'autre part les éruptions phréato-magmatiques, quand la fragmentation est le résultat d'une interaction entre le magma et l'eau. En Islande, la quasi-totalité des événements explosifs sont du

genre éruptions phréato-magmatiques basaltiques. Celles-ci ont lieu dans les systèmes volcaniques qui sont partiellement couverts par une calotte glacière tels que les Grímsvötn et le volcan Katla, où bien dans des endroits où le niveau de la nappe phréatique est particulièrement élevé, tel que le système de fissures éruptives Veiðivötn ou bien celles qui sont situées en dessous du Plateau Continental, (tel qu'aux Îles Vestmann).

À présent, le système d'alerte d'une éruption volcanique imminente est basé sur des signes avant-coureurs de séisme à court terme. Ceux-ci sont le plus souvent des séries intenses de séismes caractéristiques qui se produisent dans les heures précédant le déclenchement de l'éruption. Ce déclenchement se distingue lui même par une diminution soudaine de la fréquence et de l'amplitude des tremblements de terre et par l'enclenchement de tremblements sismique de manière continue. Toutes les éruptions confirmées depuis 1996 ont été prévues grâce aux prédictions basées sur ce genre d'activité sismique.

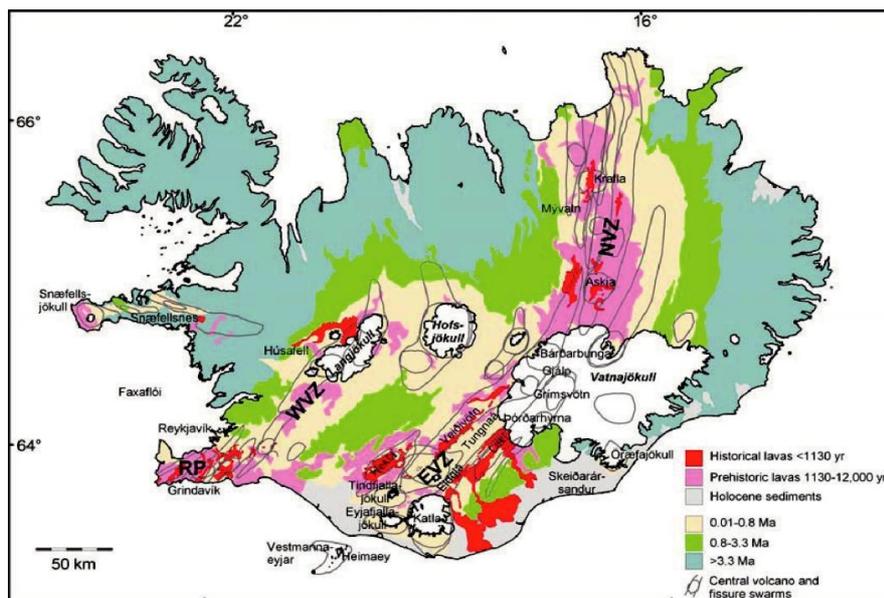


Figure 1 – Carte géologique simplifiée de l'Islande



Figure 2 – L'éruption volcanique de l'Eyjafjallajökull en avril 2010

1.3 Les principaux types de hasards volcaniques

1.3.1 Retombées de téphras (cendres) volcaniques

Les éruptions pliniennes sont caractérisées par des panaches de gaz et de cendres volcaniques qui pénètrent haut dans l'atmosphère. Les principales caractéristiques sont l'émission d'une grande quantité de pierre ponce et des souffles engendrés par de puissantes explosions éruptives en série.

Les principaux facteurs qui déterminent la dispersion du téphra (des particules volcaniques en l'air) peuvent grosso modo être divisés, d'une part, entre ceux qui sont déterminés par le type, l'intensité et l'ampleur de l'éruption, y compris la hauteur atteinte par le panache éruptif, ainsi que par la durée de l'éruption et, d'autre part, ceux qui sont déterminés par des facteurs externes, tels que l'intensité du vent, et sa direction et la variation de ces facteurs pendant l'éruption. L'endroit où se trouve le volcan par rapport aux zones habitées est aussi d'une grande importance en prévision des dangers potentiels posés par des retombées de téphras. Les retombées de téphra émanant d'un panache éruptif, de durée allant d'une jusqu'à plusieurs heures, se limitent généralement à des bandes de terre relativement étroites; néanmoins, l'épaisseur de téphra à l'intérieur de ces zones peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres dans les zones limitrophes du volcan. (figure 3).

Le volcan Hekla, le plus célèbre de l'Islande, est caractérisée par des éruptions ayant une phase initiale du type plinienne. La plus grande des 18 éruptions de Hekla pendant le dernier millénaire, celle de l'an 1104, a déposé une couche de téphra de 20 cm d'épaisseur jusqu'à une distance de 30 kms du volcan et des fermes se trouvant à une distance de 70 kms du volcan ont été détruites par cette éruption de Hekla.

La plus grande éruption plinienne du dernier millénaire, produisant environ 10 km^3 de téphra non-condensé, eut lieu en 1362 dans le volcan Óræfajökull, recouvert d'une calotte glacière et situé au centre de la région de Óræfi, dans le sud-est de l'Islande. La zone habitée au pied du volcan et s'étalant vers l'est le long de la côte jusqu'à Hornafjörður fut dévastée par des retombées de téphra. Celles-ci atteignirent l'épaisseur de 1 m à quelques 15 kms de distance de la source. De même, l'éruption plinienne du volcan Askja en 1875, qui produisit quelques 2 km^3 en gros de volume, provoqua l'abandon de fermes situées sur le haut-plateau, à une distance d'environ 60–70 kms du volcan.

Les éruptions explosives de taille moyenne qui se sont produites pendant les dernières décennies ont engendré un panache volcanique atteignant 8-15 kms de hauteur. Par conséquent, ces panaches volcaniques ont souvent perturbé le trafic aérien, aussi bien en Islande que sur certaines parties de l'Atlantique Nord. La dernière en date de ce genre est celle de l'Eyjafjallajökull, présentée au Chapitre 3.

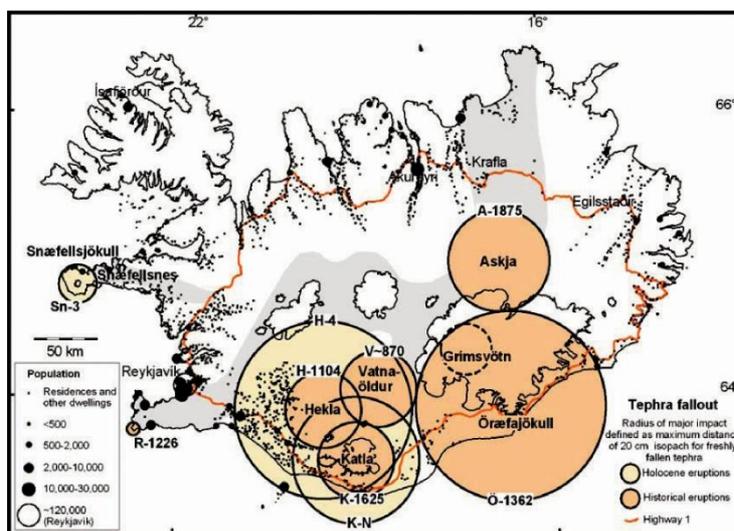


Figure. 3 – Retombées de téphra avec épaisseur supérieure à 20 cm lors des principales éruptions.

1.3.2 Les coulées de lave

Des coulées de lave post glacières couvrent une grande partie des zones volcaniques. Un grand nombre de celles-ci ont entre 8000–10000 années d'âge, ce qui correspond à une recrudescence de l'activité volcanique après la fin de l'ère glacière. Parmi celles-ci, les grandes coulées du type bouclier dont le volume s'échelonne entre 1 et 20 km³. Les coulées de laves formées en temps historiques (figure 6) couvrent 3300 km². Les laves de moindre volume sont cantonnées autour des systèmes volcaniques et des centres de volcanisme tandis que les laves plus importantes peuvent couler sur des dizaines de kilomètres, depuis la source, jusqu'aux zones se trouvant en dehors du volcanisme proprement dit. La vitesse à laquelle ces coulées avancent est relativement faible, sauf près de la cheminée, ou bien dans le cas de lave formée à un taux de débit très élevé. Le risque d'accidents mortels, lors des éruptions effusives, est par conséquent bas. Par contre, les pertes de biens, lors des éruptions effusives, sont fréquentes surtout lorsqu'elles se produisent près des zones habitées. L'on peut citer comme exemples les éruptions de Eldgjá en l'an 934, les éruptions de Hekla, en particulier celle de 1389, l'éruption de Laki en 1783, les "feux" de Mývatn entre 1724–29 et l'éruption de Heimaey (aux Îles Vestmann) en 1973. Le risque, lors des éruptions effusives futures, de coulées de lave se dirigeant vers des zones habitées de l'Islande, est relativement élevé et ne cesse de croître étant donné l'accroissement de la population de l'île; l'on s'inquiète surtout pour les faubourgs sud de Reykjavík, pour le village de Grindavík sur la presqu'île de Reykjanes, pour la ville de Heimaey, pour la région du Lac Mývatn ainsi que pour les basses terres habitées autour du glacier Snæfellsjökull.

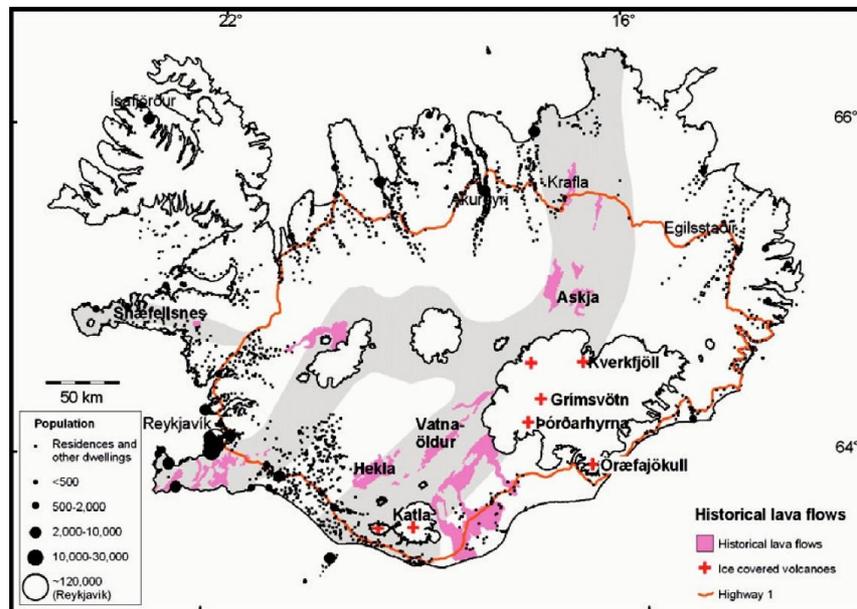


Figure 4 – Les coulées de lave historiques (moins de 1140 années d'âge)

1.3.3. Les jökulhlaup (débâcles glacières)

Un jökulhlaup (ou débâcle glacière) est un terme islandais internationalement adopté pour décrire une crue brutale d'eau de fusion glacière, généralement engendré par un échauffement géothermique, mais parfois par une éruption volcanique sous glacier.

Les risques qu'on rencontre le plus souvent en relation avec l'activité géothermique et volcanique en Islande ce sont les jökulhlaup fréquents, dont la grande majorité est issue des glaciers Vatnajökull et Mýrdalsjökull (Katla) (Figures 2 et 7). La plupart d'entre eux consistent seulement en eau quoique certains soient très chargés en sédiments et parfois en blocs de glace. Généralement, l'on distingue deux types de jökulhlaup. D'une part, il y a ceux où l'eau de fonte est produite, lors d'une éruption, par des matériaux volcaniques en phase de refroidissement rapide,

d'autre part ceux où l'eau de fonte est produite de façon continue dans une zone géothermique enfouie sous une calotte glacière. Elle s'accumule alors dans une sorte de réservoir d'eau sous glacier, et puis, lorsque le son niveau atteint un certain seuil critique, elle est évacuée, à des intervalles quasi réguliers. Ce second type est généralement nettement moins grand et plus fréquent que ceux du premier type. Enfin, des jökulhlaup peuvent aussi être issus de réservoirs sous glaciers, sans qu'il y ait une intervention volcanique. Néanmoins, ceux-là sont en règle générale nettement moins importants que les jökulhlaup dus aux éruptions volcaniques.

Les jökulhlaup issus du volcan Katla sont signalés par des tremblements de terre entre 2–10 heures précédant l'émergence du torrent d'eau d'en dessous du glacier. Un grand jökulhlaup de Katla, comme celui de 1918, peut atteindre un débit de pointe de 300,000 m³/s et inonder une zone de 600–800 km² à l'est du volcan. Un délai de préavis aussi court met évidemment les autorités de la Protection Civile à rude épreuve, étant donné qu'ils ne disposent alors que de 1H–1H30 pour fermer les routes à la circulation et pour évacuer les zones à haut risque. Des études récentes ont montré que pendant les 10.000 dernières années, les grands jökulhlaup de Katla se sont en moyenne jetés vers l'ouest une fois tous 500–800 ans. Des simulations ont montré qu'un jökulhlaup dans cette direction, du même ordre de grandeurs que celui de 1918, couvrirait une zone de 600 km² habitée par une population de près de 600 personnes. La profondeur de l'eau dépasserait 1 m et elle coulerait à une vitesse >1 m/s, et il est prévu qu'elle couvrirait la quasi-totalité de la zone habitée. Le début d'une éruption dans la Katla exige l'évacuation des populations se trouvant aussi bien du côté est qu'à l'ouest du volcan, mais réduite dans la zone au sud. La figure 8 montre les résultats d'une simulation du temps de propagation et des zones inondées par des jökulhlaup aussi bien vers l'ouest, le sud et l'est. Le grand danger posé par le volcan Katla a rendu nécessaire un effort spécial de surveillance par des séismographes, l'enregistrement permanent par GPS, le sondage des rivières par des jauges reliées aux émetteurs de radio, des survols réguliers par des avions équipés de radar aérien au dessus de la calotte glacière, auscultant son profil. La plupart de ces données peuvent être consultées en temps réel sur l'Internet. La mise en place de ce système de surveillance de ce massif montagneux, destiné initialement à signaler une éruption du volcan Katla, fut primordial pour donner à temps l'alerte d'une éruption imminente de l'Eyjafjallajökull en 2010.

Les jökulhlaup issus de Grímsvötn sont soit d'origine géothermique, soit provoqués par une éruption; ces derniers étant généralement beaucoup plus grands mais aussi plus rares. L'ordre de grandeur des jökulhlaup géothermiques dans la seconde moitié du XX^e siècle était de 1.000–10.000 m³/s tandis que le jökulhlaup provoqué par l'éruption de Gjalp en 1996 atteignait 45.000 m³/s. La grande fréquence des jökulhlaup de Grímsvötn a rendu le Skeiðarársandur, leur voie d'issue, inapte à l'habitation humaine. Néanmoins, les jökulhlaup d'origine volcanique peuvent submerger et endommager la route circulaire numéro 1 et bloquer ainsi la principale route de transport dans le sud est du pays. Des petits jökulhlaup d'origine géothermique peuvent surgir en de nombreux endroits aussi bien dans la partie ouest du glacier de Vatnajökull que celui de Mýrdalsjökull (Katla), mais en règle générale ceux-ci revêtent un caractère relativement mineur.

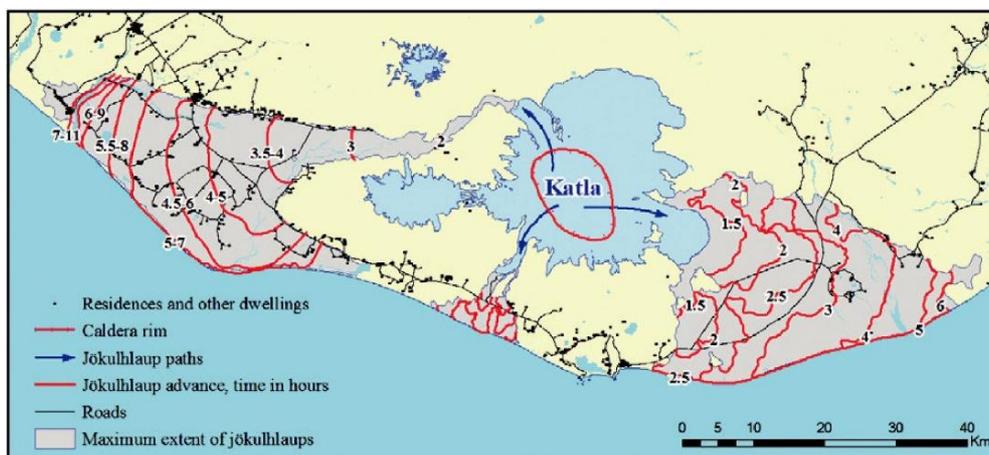


Figure 5 – La zone submergée et le temps de propagation des eaux en heures pour des jökulhlaup dont la décharge maximale serait de 250.000-300.000 m³/s, issus d'éruptions d'en dessous la calotte glacière du volcan Katla

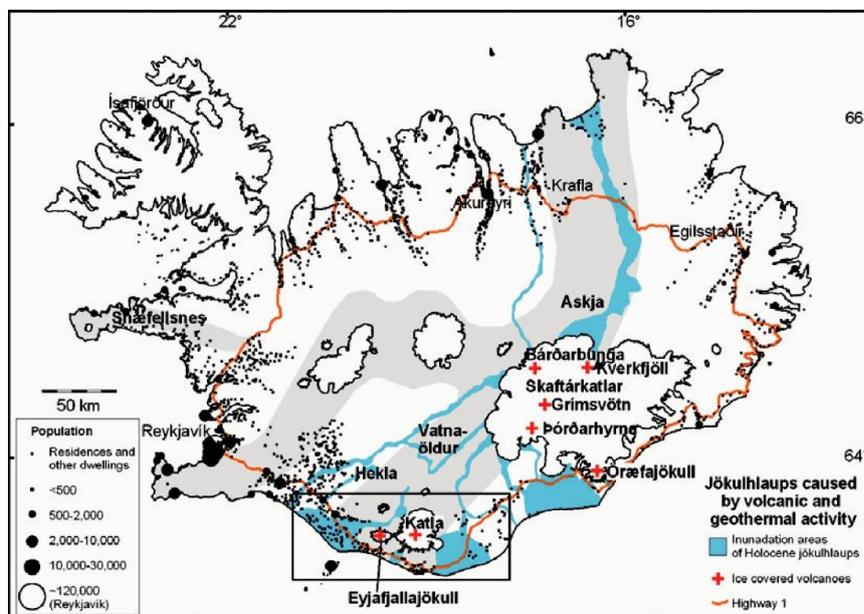


Figure 6 – Les zones affectées par des jökulhlaup (inondations) dus à l'activité volcanique

1.3.4. Dommages imputables à des risques volcaniques

Des dommages à l'infrastructure et les conséquences économiques des éruptions peuvent être graves pour un pays dont la population s'élève à seulement 320.000 personnes. Souvent, des routes et des lignes de communication et électriques, traversent les voies d'issue bien connues des jökulhlaup issus de Grímsvötn et de Katla et de même, les centrales électriques géothermiques se trouvent obligatoirement situées à proximité des volcans centraux. Quelques pertes seront donc, à l'avenir comme par le passé, inévitables. Pendant le Moyen-Âge et la Petite Ère Glacière, la société islandaise dépendait essentiellement d'une agriculture de subsistance. Par conséquent, il pouvait y avoir, à la suite d'éruptions volcaniques, des famines et des pertes en vie humaine sévères. Compte tenu du progrès technologique et des avancées économiques de ces 100 dernières années, des pertes de ce genre sont désormais très peu probables en Islande. Par ailleurs, l'existence de systèmes d'alerte de plus en plus sophistiqués, notamment celui des séismographes disponibles en temps réel, permet d'envisager la perspective d'un système d'alarme pour la plupart des éruptions volcaniques. Néanmoins, quoique peu fréquents, un événement de la même envergure que l'éruption de l' Öraefajökull en 1362 pourrait, aujourd'hui comme jadis, occasionner des dommages considérables et des pertes en vies humaines si l'on n'arrivait pas à évacuer la zone à haut risque à temps. L'ouverture d'une fissure volcanique, dans une zone urbaine, tel que cela se produisit presque à Heimaey (l'île principale des Îles Vestmann) en 1973, pourrait avoir des conséquences désastreuses. L'impact économique d'un événement volcanique peut être considérable et certaines villes en Islande ne sont pas à l'abri de coulées de lave. Par exemple, une grande partie de la ville sur Heimaey fut engloutie par la lave et le téphra, dans une éruption somme tout de taille modeste en 1973.

2. L'ÉRUPTION DE L'EYJAFJALLAJÖKULL

L'Eyjafjallajökull, une des plus petites calottes glacières du pays, est situé dans la partie la plus méridionale de l'Islande. Cette calotte recouvre la caldeira d'un volcan, culminant à 1.666 m. d'altitude, dont les éruptions sont relativement nombreuses depuis la fin de la dernière ère glacière. La plus récente datait des années 1821-1823. Lors des éruptions précédentes de l'Eyjafjallajökull, elles ont parfois été suivies par des éruptions dans son voisin plus important, le volcan Katla.

Les éruptions en 2010 de l'Eyjafjallajökull, faisant partie d'événements volcaniques dans le massif des Eyjafjöll en Islande, constituent une série d'événements volcaniques qui, quoique de taille relativement mineure pour ce genre d'événements, ont néanmoins énormément perturbé le trafic aérien sur l'Atlantique ouest et nord, pendant une période initiale de six jours, en avril 2010.

Des perturbations supplémentaires locales ont continué jusqu'en mai 2010. L'éruption fut officiellement déclarée comme terminée en octobre 2010 lorsque la neige sur le glacier ne fondait plus.

L'éruption de l'Eyjafjallajökull était le plus important évènement hasardeux de la nature en Islande depuis plusieurs décennies. Il commença au mois de mars par une petite éruption de flanc, mais l'évènement principal fut la grande éruption explosive au sommet en avril. Par définition, les évènements volcaniques, formant une éruption singulière, sont constitués par l'enchaînement de plusieurs phases successives. Les inondations dont l'origine était la fonte des glaces sur le site de l'éruption constituait un danger considérable pour la population locale et pour l'infrastructure routière, les retombées de cendres rendaient les conditions de vie au sud du volcan très difficiles pendant plusieurs semaines, mettant même en péril la survie de l'agriculture dans cette région rurale, tout en perturbant de manière jusqu'alors inconnue le trafic aérien en Europe et sur l'Atlantique Nord. La phase d'activité explosive se poursuivrait sans interruption pendant 39 jours, avec des retombées de cendres dans de nombreux endroits et avec la perturbation continue des routes de navigation aérienne, très chargées au dessus de l'Atlantique Nord. À cette époque, environ 800 personnes furent précipitamment évacuées à trois reprises, face à un danger d'inondation imminente, mais, heureusement, aucun domicile ne fut endommagé et, en règle générale, les gens furent autorisés à rentrer chez eux le soir même.

La phase initiale– la première éruption au flanc de la montagne

L'activité sismique commença à la fin de l'année 2009 et petit à petit, son intensité s'accrut jusqu'au 20 mars 2010, quand une petite éruption au flanc de la montagne commença, qui dura jusqu'au 12 avril. Les éruptions de 2010 constituent le point culminant de 18 ans de remous volcaniques sans qu'ils se transforment en éruptions. Précédant l'éruption, pendant une période de trois mois, une intrusion magmatique d'environ $\sim 0.05 \text{ km}^3$ de volume s'infiltra, de manière complexe, sous le volcan et fut détectée par GPS (Global Positioning System), par des relevés géodésiques, et par l'analyse d'images obtenues par radar de satellite. Au début du mois de janvier 2010, le taux des déformations et le nombre des tremblements de terre commença à s'accroître. En vue de ces déformations et de l'activité sismique continue, les chercheurs ont décidé de placer davantage de stations de GPS près de la montagne. Seulement quelques semaines plus tard, les instruments ont détecté un gonflement accentué, indiquant qu'il y avait du magma qui remontait vers la surface à travers la "plomberie" à l'intérieur du volcan. Les déformations rapides se sont arrêtées aussitôt que l'éruption au sommet commença.



Figure 7 – La première éruption, au mois de mars 2010

2.2. L'éruption au sommet du volcan

Après deux jours de pause, le volcan se mit à jaillir à nouveau le 14 avril. Cette fois-ci, la lave pénétra par une nouvelle cheminée volcanique située en dessous de la calotte glaciaire au sommet de la montagne. Peu après, l'éruption entra dans sa phase explosive et éjecta une poussière fine, riche en matériaux de verre, jusqu'à 8 kilomètres de hauteur dans l'atmosphère.

Ce qui a rendu cette activité volcanique tellement perturbatrice pour la navigation aérienne était la combinaison des quatre facteurs suivants:

1. L'emplacement du volcan, situé directement en dessous du courant jet ((des courants d'air étroits et rapides, que l'on trouve dans l'atmosphère (les plus forts sont les courants polaires), à environ 7–12 kms au dessus du niveau de la mer))
2. Pendant cette période, la direction du courant jet était inhabituellement stable, et orientée en permanence vers le sud-est.
3. L'éruption eut lieu sous 200 m (660 pieds) de glace solide. Par conséquent, les eaux de fonte glacière se re versaient dans le cratère du volcan, engendrant ainsi deux phénomènes spécifiques:
 1. L'eau, qui se transformait ainsi en vapeur, augmentait de façon significative la puissance explosive de l'éruption.
 2. La lave éruptive refroidissait très rapidement, créant ainsi un nuage de cendres riche en matériaux en verre, extrêmement abrasif.
4. La puissance explosive du volcan était suffisamment forte pour injecter ces cendres directement dans le courant jet.

Sans la combinaison des facteurs spécifiques susmentionnés, l'éruption de l'Eyjafjallajökull aurait été de taille moyenne et somme toute sans intérêt particulier pour des gens en dehors de la communauté scientifique et les personnes habitant les environs immédiats du volcan. Réunis, au contraire, c'étaient précisément ces facteurs qui permettaient la propulsion de cendres volcaniques directement dans le courant jet, au dessus de l'Europe du Nord et dans l'espace aérien le plus dense au monde.



Figure 8 – Les cendres volcaniques couvraient les routes près de l'Eyjafjallajökull

2.3. La fonte d'eau glacière et les inondations

La phase explosive de l'éruption a duré 39 jours, quoique la fonte intensive dans la zone du cratère eut lieu essentiellement pendant les deux premiers jours, provoquant des jökulhlaup en série en direction du nord, vers la rivière de Markarfljót. La fonte continua par la suite, mais son taux était insuffisant pour provoquer d'autres jökulhlaup.

L'éruption au centre du glacier, en dessous d'une épaisseur initiale de glace de 200 m, relâcha presque immédiatement de l'eau fondue qui, au matin du 14 avril, provoqua un débordement des rivières avoisinantes lorsqu'elle se jeta, par deux branches, sous chaque flanc du volcan et nécessita l'évacuation d'environ 800 personnes.

La branche principale se précipita vers la rivière de glacier Markarfljót du côté nord du volcan et atteignit son apogée vers midi lorsqu'elle débitait 2700 m³/sec, alors que son débit habituel est de 100 m³/sec. Un second jökulhlaup, quoique de moindre importance descendait la vallée de Markarfljót le 15 avril au soir.



Figure 9 – L'éruption de l'Eyjafjallajökull en avril 2010 et la rivière glaciale de Markarfljót

2.3.1. Les routes et les ponts

Un système de contrôle des inondations, constitué de digues faites en pierre de blindage et de remblais, a été mis en place pour maintenir le Markarfljót dans son lit et le diriger sous les ponts, tout en protégeant la végétation en empêchant les débordements et l'érosion. Le pont, long de 250 m. enjambant la rivière de Markarfljót, sur la très importante route circulaire 1, a été conçu pour résister aux inondations d'environ 2500 m³/s, mais au début de l'éruption, les scientifiques ont estimé qu'on pourrait s'attendre à un torrent dépassant les 10.000 m³/s à son maximum. Lorsqu'au matin, l'Administration Routière s'aperçut que les eaux de fonte commençaient à suivre ce chemin, elle décida d'arrêter tout trafic et entama ses préparatifs destinés à sauver l'infrastructure sur cette route importante, sachant qu'elle ne disposerait que d'un délai d'environ 2-3 heures jusqu'à ce que les eaux y parviennent. Des canaux ont été creusés à travers les remblais renforcés de blindage de chaque côté du pont principal, afin de détourner le torrent du pont en béton, une structure beaucoup plus précieuse. En fin de compte, l'on constata un débit maximal de 2700 m³/s, un volume que l'ouverture du pont aurait probablement pu absorber, néanmoins, les spécialistes ont estimé que, dans ces conditions, le pont aurait probablement été endommagé, d'une manière ou d'une autre. Par conséquent, la décision de couper la route et de détourner ainsi les eaux du pont était justifiée.

Le 17 avril, les coupures dans la route avaient déjà été comblées et l'on permettait de nouveau à la circulation d'urgence de passer. L'on travailla jour et nuit sur les réparations provisoires et, déjà le 18 avril, l'on permettait à la circulation générale de passer, même si le volcan était encore très actif et qu'il y avait toujours la possibilité d'une nouvelle inondation. Un nouveau système d'alerte, constitué de jauges mesurant le niveau et la conductivité électrique de l'eau, fut mis en place et, en coopération avec les autorités locales et la police, les plans d'urgence furent renforcés. Heureusement, d'autres inondations n'ont pas suivi, étant donné que l'éruption volcanique avait déjà fait fondre la plus grande partie de la glace dans le voisinage du cratère. Enfin, les réparations définitives et le macadamisage sur les sections endommagées de la route numéro 1 furent accomplis au début de l'été 2010.



Figure 10 – L'inondation à sa décharge maximale sur la Route 1. Seules les routes furent endommagées.



Figure 11 – La réparation des routes commença déjà au lendemain de l'inondation catastrophique.

2.4. Nuage de cendres et la navigation aérienne

Pendant l'éruption sous-glaciaire de l'Eyjafjallajökull en avril-mai 2010, l'activité volcanique fut surveillée par des sondes géophysiques diverses (sismiques, tension, GPS), ainsi que le débit des rivières depuis le glacier et le comportement du nuage de cendres volcaniques. L'instrument principal pour surveiller ce dernier était le radar météorologique situé à l'aéroport international de Keflavik, à environ 150 kms à l'ouest du volcan. La surveillance de la hauteur du panache par radar fut renforcée par des observations visuelles, aussi bien sur place qu'à distance à l'aide de webcams. Des observations aériennes ont permis d'effectuer une étude détaillée du panache et les rapports fournis par des pilotes d'avions s'avéraient être d'une importance capitale afin de corroborer les données fournies par les radars. D'autre part, des données émanant des détecteurs d'éclairs et des sondes radioscopiques ont été utilisées afin de corroborer les informations sur la hauteur du panache. Des images de satellite, sur plusieurs bandes de fréquence et aussi bien polaires que géostationnaires, ont été utilisées afin de dépister la direction d'orientation du nuage de cendres. La dispersion de celui-ci fut déterminée en mesurant la différence de température due à sa luminosité variable. La surveillance des retombées des cendres et les observations météorologiques furent complétées par une réanalyse météorologique et les prévisions du vent furent utilisées afin prévoir la dispersion locale des cendres.

Les effets des cendres sur l'aviation civile sont connus depuis plusieurs décennies. Neuf Volcanic Ash Advisory Centres (VAAC-Centres de Conseil sur les Nuages Volcaniques) autour du monde sont responsables pour renseigner l'aviation internationale sur les lieux et les mouvements de nuages de cendres volcaniques. Afin de mieux s'y préparer, des exercices ont eu lieu au fil des années et des plans de préparation mis au point. Cependant, des grands pas en avant ont été faits lors de l'éruption de l'Eyjafjallajökull. Par exemple, un rapport sur l'évolution du panache volcanique, pendant toute la durée de l'éruption, fut émis une fois toutes les 3 heures, par le VAAC de Londres et d'autres instituts similaires en Europe et en Amérique du Nord.

Afin de répondre aux soucis que des cendres volcaniques émis lors de l'éruption de l'Eyjafjallajökull de 2010 en Islande pourraient endommager les réacteurs des avions, l'espace aérien de plusieurs pays fut interdit au trafic soumis aux règles de vols instrumentaux, provoquant du coup la plus importante fermeture du trafic aérien depuis la Seconde Guerre mondiale. Ces fermetures ont cloué au sol des millions de passagers, non seulement en Europe mais à travers le monde entier. Avec l'espace européen fermé en grande partie au trafic, d'autres pays furent également affectés lorsque les vols à destination de et depuis l'Europe furent annulés.

Après une fermeture initiale ininterrompue de l'espace aérien d'une grande partie de l'Europe de Nord entre le 15 et le 23 avril, celui-ci, dans les semaines suivantes, fut fermé par intermittence, en différentes parties de l'Europe, au fur et à mesure que l'on surveillait l'évolution du nuage de cendres.

L'Association Internationale du transport aérien (IATA) estimait que l'industrie de l'aviation dans le monde perdrait €148 millions par jour pour la durée de cette perturbation.

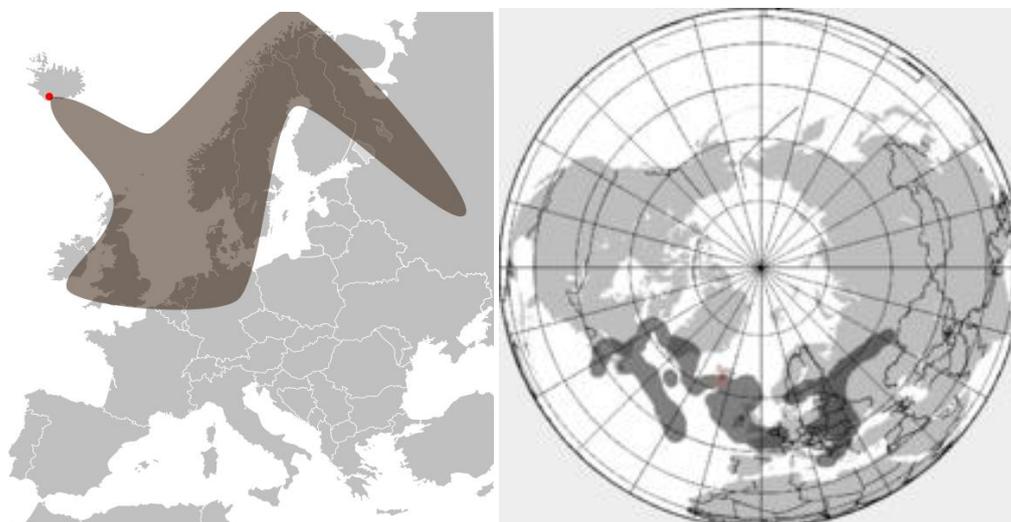


Figure 12 – Situation approximative du nuage de cendre entre le 15 et le 21 avril

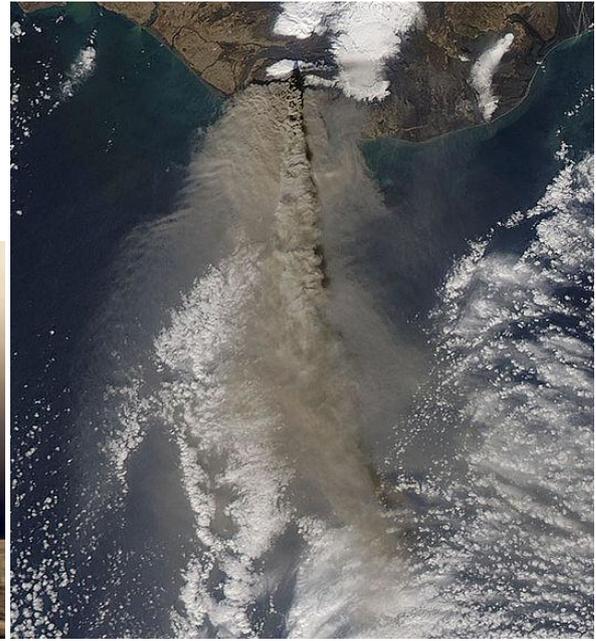


Figure 13 – Photographie et image par satellite du nuage de cendres le 17 avril

3. LA GESTION DU RISQUE ET LES DÉSASTRES NATURELS

3.1. Les systèmes d'alerte et de surveillance

Les jökulhlaup (débâcles glacières) sont plus fréquents en Islande qu'ailleurs au monde à cause de l'interaction des volcans avec des glaciers. Les plus grands jökulhlaup émanant d'en dessous le volcan Katla, recouverte d'un glacier, sont parmi les plus grands déluges que l'humanité ait pu observer. À son débit maximal, il peut décharger davantage que le débit moyen de L'Amazone. Les Islandais ont appris à éviter les plaines des alluvions glacières où passent le plus fréquemment les jökulhlaup, tel que les Mýrdalssandur et le Skeiðarársandur, mais les plaines alluviales de la rivière Markarfljót, sud de l'Islande, ou bien l'estuaire de la Jökulsá á Fjöllum, nord du pays, sont potentiellement aussi dangereuses et, tôt ou tard, un jökulhlaup inondera les régions agricoles de ces zones.

L'Office Météorologique de l'Islande fait fonctionner un système d'alerte qui informe le Bureau de la Protection Civile et l'Administration Routière lorsqu'une débâcle ou jökulhlaup est imminent. Une montée inhabituelle des eaux ou bien une conductivité électrique accrue dans celle-ci, détectés par des jauges placés aux endroits stratégiques, déclenche une alerte qui est, par la suite, évaluée par des scientifiques. Ainsi, le Bureau de la Protection Civile et l'Administration Routière obtiennent les quelques heures de délai nécessaires afin de prévenir le public d'un danger imminent.

La surveillance de l'activité volcanique en Islande peut être classifiée en deux catégories. D'une part, un réseau de surveillance géophysique, qui consiste maintenant en 62 stations sismiques, 70 stations de GPS et 6 stations de surveillance de tension. D'autre part, le réseau de surveillance hydrologique comprenant 160 jauges de niveau d'eau et des mètres de la conductivité électrique qui sont capables de signaler le début d'une activité volcanique en dessous des calottes glacières.

Ce système a été mis à rude épreuve lors de l'avènement de l'éruption de l'Eyjafjallajökull le 14 avril 2010. C'est seulement dans le voisinage de ce volcan, ainsi que dans celui de l'Öræfajökull, sud-est de l'Islande, que les débâcles glacières sont susceptibles d'atteindre les habitations humaines en moins d'une heure à partir du début de l'éruption volcanique. Par conséquent, une réaction prompte aux premières alertes est primordiale. D'abord les jauges et puis l'équipement de L'Office Météorologique de l'Islande, les survols par avion effectués par les Gardes Côtes islandais ont joué des rôles clefs, en permettant aux autorités de la Protection Civile ainsi qu'à l'Administration Routière de prendre des mesures adéquates contre les dangers des jökulhlaup

pendant les premiers jours de l'éruption. Ce fut crucial, au début de l'éruption, lorsque des jökulhlaup, chargés de débris volcaniques ainsi que d'icebergs, avançaient à grande vitesse (jusqu'à 20 km/h) et certains de ces débris étaient encore très chauds.

Ce système d'alerte mettait en marche tous les plans d'urgence: toutes les personnes se trouvant dans les zones hasardeuses furent évacuées, les routes furent fermées au trafic et les équipes de sauvetage entrèrent sur scène. Personne ne fut blessé et les maillons les plus importants du système routier ont pu être sauvés, tel que cela a déjà été décrit au chapitre 2.3.1.

L'Administration Routière et les perspectives futures

Une coopération étroite entre l'Administration Routière Islandaise et la communauté scientifique en matière de prévention contre les dangers de la nature existe déjà depuis des décennies. La recherche fondamentale et appliquée sur des phénomènes glaciologiques, l'activité volcanique, les jökulhlaup et bien d'autres hasards de la nature a été soutenue par l'intermédiaire de nombreux programmes et projets de recherche. L'administration a aussi activement supporté et partiellement financé la mise en place des systèmes de surveillance. Évidemment, ses motivations sont la principalement la sécurité routière ainsi que la sauvegarde de l'infrastructure, surtout de la très importante Route 1 longeant la côte sud.

Le PDG de l'Administration Routière est aussi membre du Conseil pour la Protection et la Sécurité Civile et son organisation occupe aussi une place permanente au Centre de Coordination des Crises Nationales, lors des grandes calamités naturelles.

L'éventualité de hasards naturels liés aux éruptions volcaniques est une fatalité avec laquelle le peuple islandais doit apprendre à vivre et l'Administration Routière Islandaise, à son tour, apprendre à gérer. Les inondations catastrophiques provoquées par une éruption sous glacier dans le volcan Katla ont été décrits dans le chapitre 1.3.3. L'on attend cette éruption depuis des années et elle pourrait se déclencher avec seulement quelques heures de préavis. Certains scientifiques ont même maintenu que l'éruption de l'Eyjafjallajökull en 2010 pourrait déclencher une telle éruption dans Katla. La débâcle glacière énorme résultant d'une éruption dans Katla détruira certainement des routes et des ponts et coupera tout le trafic sur la Route 1 pendant des semaines, voire des mois, en attendant que ces structures soient rebâties. Toutefois, le facteur crucial est la sauvegarde des vies humaines et par conséquent le maintien, le développement et le fonctionnement permanent des systèmes d'alarme est extrêmement important.

RÉFÉRENCES

1. Gudmundsson, M.T., Larsen, G., Höskuldsson, Á. and Gylfason, Á.G. (2008). Volcanic hazards in Iceland. *Jökull* No.58, pp 251-268.
2. Haraldsson, H. (1998). Catastrophic flood in Iceland (1996). *Routes/Roads* No 298, pp 4-14.
3. Jóhannesdóttir, G. and Gísladóttir, G. (2010). People living under threat of volcanic hazard in southern Iceland: vulnerability and risk perception. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10, pp 407-420.
4. Gudmundsson, M.T., Elíasson, J., Larsen, G., Gylfason, Á.G., Einarsson, P., Jóhannesson, T., Hákonardóttir, K.M., and Torfason, H. (2005). Overview of hazard due to eruptions and jökulhlaups from the western part of Mýrdalsjökull and Eyjafjallajökull.