



ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA TERRE



Sujet proposé pour un début de contrat en Septembre 2011

TITRE du SUJET : Modélisation des panaches volcaniques émis par les éruptions basaltiques : études théoriques et analogiques.

Directeur : **KAMINSKI Edouard, Pr, kaminski@ipgp.fr**

Equipe d'accueil : **IPGP – UMR7154 - Dynamique des Fluides Géologiques**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission**

*Plus de renseignement voir : <http://ed109.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

Développement du Sujet :

L'éruption récente du volcan islandais Eyjafjallajökull (Figure 1) a illustré la forte vulnérabilité des sociétés occidentales modernes face à l'aléa volcanique, et a montré la nécessité de disposer de modèles précis pour décrire le comportement du jet volcanique et notamment le flux de cendres injectées dans l'atmosphère. Parce que l'Islande est une des zones volcaniques les plus actives au monde, avec une moyenne de vingt-cinq éruptions par siècle (Thordarson and Larsen, 2007), et parce que les volcans Hekla, Katla, Bárðardunga and Grímsvötm (Laki) sont à la fois les systèmes les plus actifs dans la période récente, et ceux ayant produit les plus importantes éruptions, telle l'éruption du Laki en 1783-1784 et celle de l'Eldgjá aux alentours de 934, avec plus de 15 km³ de matériel pyroclastique émis, la probabilité d'une éruption majeure en Islande, bien plus considérable que la modeste éruption de l'Eyjafjöll (ce dernier étant un des volcans les moins actifs et les moins productifs de la région) est très élevée (Larsen and Eirícksson, 2007). Les perturbations attendues du trafic aérien seraient alors de plusieurs ordres de grandeur - en intensité et en durée - supérieures aux conséquences observées dans le cas de l'Eyjafjöll, et leur indispensable minimisation requière d'importantes améliorations des méthodes de suivi en temps réel de l'injection des cendres et de leur dispersion dans l'atmosphère. À titre d'exemple, l'éruption du Laki en 1783 a duré près de deux ans, avec un débit éruptif moyen plus de cent fois plus élevé que celui de l'Eyjafjöll.

Au delà du cas Islandais, la modélisation des éruptions basaltiques explosives reste bien moins développée que celle des éruptions explosives à magma siliceux (éruptions siliciques) car ces dernières, particulièrement spectaculaires, comme celle du Pinatubo en 1990, sont jugées plus dangereuses. Si on examine à une échelle plus "géologique" les éruptions basaltiques, on note cependant que si ces dernières sont caractérisées par des taux éruptifs certes moins importants, typiquement inférieur à 10⁶ kg/s au lieu de flux de l'ordre de 10⁹ kg/s pour les éruptions siliciques, elles peuvent toutefois avoir des durées d'activité beaucoup plus longues, pouvant dépasser la dizaine d'années (Kaminski et al. 2011). Ces éruptions ont donc d'une façon générale un impact potentiel très important sur l'atmosphère, depuis une "pollution" des couloirs aériens par les cendres, jusqu'à des effets commensurables sur le climat global. La nécessité de modèles adaptés aux panaches formés par les éruptions basaltiques est ainsi générale. Leur développement est le but de ce sujet de thèse



Figure 1: image satellite de la NASA, et photographie du panache de l'Eyjafjöll.

Les résultats des études diverses ayant été entreprises à la suite de la crise islandaise ont fait l'objet d'une session dédiée lors du dernier congrès mondial de l'American Geophysical Union à San Francisco, en décembre 2010. Ces études montrent que l'étendue du nuage de cendre est bien prédite par les modèles de dispersion atmosphérique (e.g. Prata et al., 2010). Cependant, la concentration des cendres prédite dans le nuage est nettement surestimée. Cet écart entre prédictions et observations ne peut pas être expliqué par des différences entre les schémas numériques utilisés pour calculer l'advection-diffusion des cendres (Mastin et al., 2010) et doit donc être relié aux caractéristiques de la source volcanique, c'est à dire au taux d'injection des cendres par le panache volcanique.

Le terme source utilisé pour modéliser le nuage de cendres islandais est issu des modèles de panaches volcaniques adaptés aux éruptions siliciques (c'est à dire à magma visqueux riche en gaz et donc fortement explosif). Les prédictions de tels modèles se traduisent par des lois d'échelle qui relient la hauteur du panache H (km) au débit massique du plume, Q (kg/s), du type $H = (2\alpha)^{-1/2} S^{-3/4} Q^{1/4}$ (e.g. Briggs 1969), où S est le paramètre de stratification de l'atmosphère, qui dépend de la latitude de l'éruption, et où α est le coefficient d'entraînement quantifiant l'efficacité de l'entraînement turbulent de l'air ambiant à la bordure du panache (e.g. Carazzo et al., 2008). Une fois le débit éruptif connu, la charge en cendre dans le panache peut être estimée de façon très directe (Woods, 1988). Les différences entre les prédictions de ces modèles classiques et les observations de concentration de cendres dans le nuage islandais peuvent être dues aux différentes caractéristiques propres aux éruptions basaltiques non encore prises en compte par les modèles "siliciques".

Le but de cette thèse sera d'incorporer dans les modèles de panaches turbulents deux séries de différences majeures entre les panaches turbulents produits par les éruptions siliciques et basaltiques : (1) la coexistence de coulées de lave au sol et d'un panache atmosphérique, et (2) la géométrie particulière (souvent linéaire, Figure 2) et l'organisation spatiale des événements (qui peuvent être multiples dans le cas basaltique). Des modélisations théoriques et des expériences analogiques à l'échelle du laboratoire seront développées pour réaliser ces buts.

La prise en compte de l'effet des coulées au sol reposera sur une caractérisation de la fragmentation du magma dans le conduit volcanique, laquelle contrôle la répartition du flux de magma entre cendres fines émises dans le panache, et blocs grossiers et coulées émises au sol. L'effet du couplage entre panache volcanique et mouvements thermiques convectifs au dessus des coulées sera étudié à l'aide d'un modèle théorique pour des jets coaxiaux, et ce en fonction de l'efficacité de la fragmentation.

La prise en compte de la géométrie de l'événement sera réalisée à travers le développement de modèles théoriques de jets turbulents dans un premier temps linéaire, et dans un second temps de forme elliptique, afin d'incorporer le rapport d'aspect de la source dans la description de la turbulence. Les équations de mélange turbulent et de conservation seront établies et résolues pour ces géométries. Ces équations feront intervenir une constante d'entraînement qui sera déterminée expérimentalement par le biais de modèles analogiques de jets turbulents générés par des mélanges de fluides particuliers permettant de reproduire les variations de la poussée d'Archimède caractéristiques des panaches volcaniques. Le dispositif expérimental sera ensuite étendu à l'étude de l'interaction entre panaches issues de sources ponctuelles alignées, en jouant sur le rapport entre la taille des sources et leur espacement.

En fonction de l'avancée des parties théoriques et analogiques du sujet, et notamment de l'obtention de nouvelles lois d'échelles adaptées aux panaches basaltiques, des évolutions vers les modèles numériques seront envisagées, en interaction avec d'une part le groupe de Météo France de Toulouse développant les modèles de dispersion des cendres dans l'atmosphère (VAAC), et, d'autre part, le groupe du professeur Koyaguchi de l'ERI à Tokyo, qui dispose d'un modèle numérique 3D pour les panaches volcaniques permettant d'étudier des géométries complexes.

Bibliographie:

Briggs, G. A., Optimum formulas for buoyant plume rise, Philos. Trans. R. Soc. Lond., 265, 197-203, 1969.

Carazzo, G., E. Kaminski and S. Tait, On the dynamics of volcanic columns: a comparison of field data with a new model of negatively buoyant jets, J. Volcanol. Geotherm. Res., 178 – pp. 94-103, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.01.002, 2008.

Kaminski, E., A.-L. Chenet, C. Jaupart and V. Courtillot, Rise of volcanic plumes to the stratosphere aided by penetrative convection above large lava flows, Earth Planet. Sci. Lett., 301 – pp. 171-178, 10.1016/j.epsl.2010.10.037, 2011

Larsen, G. and Eiriksson, J., Late Quaternary terrestrial tephrochronology of Iceland - frequency of explosive eruptions, type and volume of tephra deposits, J. Quaternary Sci., 23, 109-120, 2007.

Mastin, L. G., H. Schwaiger, R. P. Denlinger, Why do models predict such large ash clouds? An investigation using data from the Eyjafjallajökull eruption, Iceland, AGU Fall Meeting, San Francisco, 2010.

Prata, F., A. Stohl, S. Eckhardt, N. Kristiansen, K. Stebel, L. Clarisse, P. Seibert and H. E. Thomas Reconstructing the volcanic eruption source term for Eyjafjallajökull using inverse modeling and satellite retrievals, AGU Fall Meeting, San Francisco, 2010.

Thordarson, T. and Larsen, G., Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history, Journal of Geodynamics, 43, 118–152, 2007.

Woods, A. W., The fluid dynamics and thermodynamics of eruption columns, Bull. Volcanol., 50, 169-193, 1988.

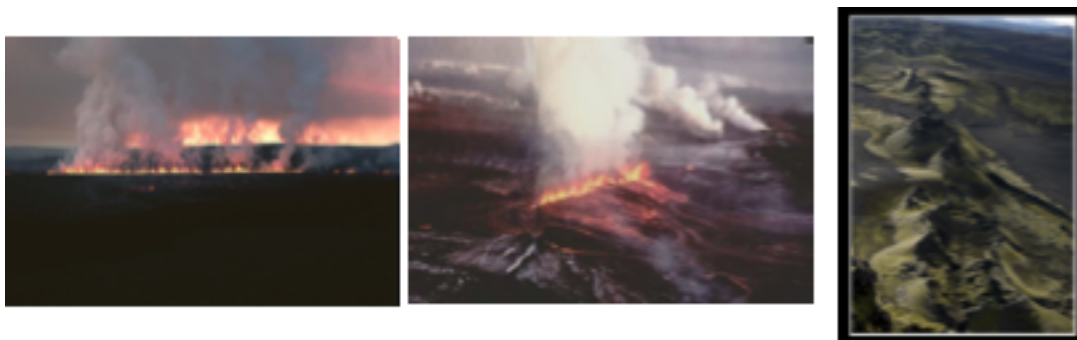


Figure 2 : les deux images de gauche correspondent à la fissure éruptive, d'une dizaine de kilomètres, du volcan islandais Krafla en 1984. L'image de droite correspond à la fissure éruptive du Laki en 1783.