

Sujet de thèse de doctorat

Titre : Étude du rayonnement acoustique d'éruptions volcaniennes

Encadrement : Roberto Sabatini (Prof. Junior à l'École Centrale de Lyon, roberto.sabatini@ec-lyon.fr)
Christophe Bogey (Directeur de recherche au CNRS, christophe.bogey@ec-lyon.fr)

Lieu : Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA),
École Centrale de Lyon, 69134 Écully Cedex, France

Contexte

Les éruptions volcaniennes sont des éruptions explosives caractérisées par leur nature impulsive et leur durée courte, s'étendant généralement de quelques secondes à quelques minutes [1,2]. Elles se produisent lorsqu'un dôme de lave, obstruant initialement le conduit volcanique (cf. Figure 1(b)), est brusquement rompu sous l'effet des pressions élevées dans le magma sous-jacent (1 – 10 MPa). Comme illustré sur la figure 4(b), suite à cette rupture, une onde de décompression, suivie d'un front de fragmentation, se propage le long du conduit, tandis qu'une onde de choc est générée dans l'atmosphère. Au niveau du front de fragmentation, le magma se fragmente en un mélange de particules solides, appelées pyroclastes, et de gaz chauds, tels que la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le dioxyde de soufre. Ce mélange est alors propulsé vers le cratère et éjecté dans l'atmosphère sous forme d'un jet instationnaire à haute température (1000°C) et à des vitesses soniques ou supersoniques atteignant jusqu'à 400 m.s⁻¹.

Le déplacement de l'air atmosphérique lors d'une éruption explosive engendre des ondes acoustiques [3–10] avec des fréquences typiquement inférieures au seuil auditif humain (< 20 Hz). Ces ondes, désignées sous le nom d'infrasons, peuvent parcourir des centaines de kilomètres dans l'atmosphère en transportant des informations importantes sur leur source [11–15]. Par conséquent, les signaux infrasonores enregistrés au niveau du sol sont de plus en plus utilisés pour détecter et surveiller l'activité de volcans explosifs, ainsi que pour déduire certains paramètres d'éruption tels que le volume éjecté, la masse éruptive, la hauteur du panache et les dimensions du cratère [3–10]. Dans ce contexte, corrélérer entre les caractéristiques des éruptions volcaniques et le rayonnement acoustique s'avère indispensable pour améliorer notre capacité à interpréter les enregistrements infrasonores et à estimer les paramètres éruptifs.

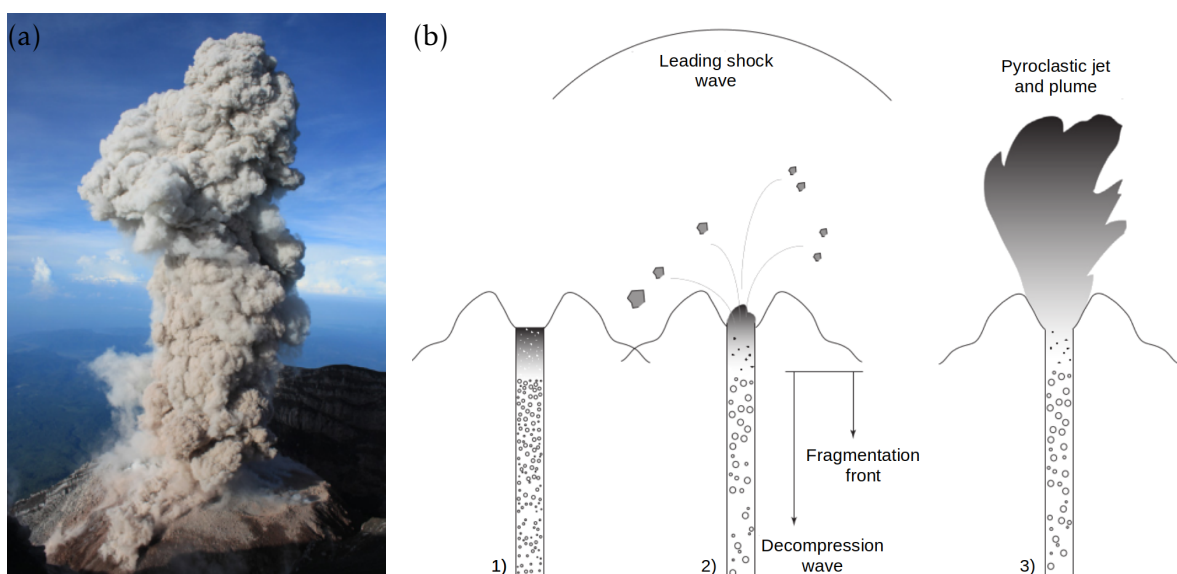


FIGURE 1 – (a) Éruption du volcan Semeru (Indonésie). (b) Schéma d'une éruption volcanienne.

Étude proposée

La plupart des études sur les ondes infrasonores émises par les éruptions de type vulcanien s'appuient sur des hypothèses simplificatrices. Tout d'abord, les explosions volcaniques sont souvent modélisées comme des sources acoustiques ponctuelles, omnidirectionnelles, monopolaires et impulsives. Ensuite, la dynamique du jet instationnaire qui suit l'explosion est généralement négligée. Enfin, la propagation infrasonore est souvent considérée comme linéaire. Cependant, ces hypothèses ne sont pas toujours valides et peuvent conduire à des estimations erronées des paramètres d'éruption [3]. Ainsi, il est nécessaire de reconsidérer ces hypothèses et d'adopter des modèles de source plus réalistes.

L'objectif de la thèse proposée est d'étudier le rayonnement acoustique des éruptions explosives de type vulcanien. Plus précisément, la propagation de l'onde de choc initiale et la dynamique du jet chaud éjecté seront étudiées numériquement en résolvant les équations de Navier-Stokes à l'aide d'une méthode aux différences finies d'ordre élevé [15]. Des simulations des grandes échelles en trois dimensions seront réalisées sur des maillages contenant plusieurs centaines de millions de points, ce qui permettra d'obtenir simultanément l'évolution de l'écoulement et son rayonnement acoustique. Cette approche directe de calcul du bruit d'origine aérodynamique a été développée au Centre Acoustique du LMFA et a déjà été appliquée avec succès à des jets d'air subsoniques et supersoniques [16-20]. Des illustrations sont disponibles sur le site web de l'équipe de recherche du Centre Acoustique à l'adresse <https://acoustique.ec-lyon.fr/caaweb.php>. Par ailleurs, les calculs seront effectués sur des clusters de CPU et GPU à l'aide d'un code écrit en langage C/C++/CUDA.

Dans le cadre de la thèse, il s'agira tout d'abord de valider l'approche numérique en reproduisant les résultats d'études précédentes sur les jets volcaniques instationnaires [3,21]. Ensuite, le rayonnement acoustique des éruptions vulcaniennes sera étudié pour différentes conditions d'éjection en termes de vitesse (sonique ou supersonique), pression, température et composition du gaz éjecté.

Références

- [1] A. B. Clarke, T. E. Ongaro & A. Belousov, "Chapter 28 : Vulcanian Eruptions," dans *The Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, 2015.
- [2] A. B. Clarke, "Chapter 7. Unsteady explosive activity : vulcanian eruptions," dans *The Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, 2015.
- [3] L. M. Watson, E. M. Dunham, D. Mohaddes, J. Labahn, T. Jaravel & M. Ihme, "Infrasound Radiation from Impulsive Volcanic Eruptions : Nonlinear Aeroacoustic 2D Simulations," *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, **126** (9), 1-28, 2021.
- [4] J. Taddeucci, J. Sesterhenn, P. Scarlato K. Stampka, E. Del Bello, J. J. Peña Fernandez & D. Gaudin, "High-speed imaging, acoustic features, and aeroacoustic computations of jet noise from Strombolian (and Vulcanian) explosions," *Geophysical Research Letters*, **41**, 3096–3102, 2014.
- [5] E. Marchetti, M. Ripepe, D. Delle Donne, R. Genco, A. Finizola & E. Garaebiti, "Blast waves from violent explosive activity at Yasur Volcano, Vanuatu," *Geophysical Research Letters*, **40**, 5838-5843, 2013.
- [6] E. Marchetti, M. Ripepe, A. J. L. Harris & D. Delle Donne, "Tracing the differences between Vulcanian and Strombolian explosions using infrasonic and thermal radiation energy," *Earth and Planetary Science Letters*, **279**, 273-281, 2009.
- [7] R. Genco, M. Ripepe, E. Marchetti, C. Bonadonna & S. Biass, "Acoustic wavefield and Mach wave radiation of flashing arcs in strombolian explosion measured by image luminance," *Geophysical Research Letters*, **41**, 7135-7142, 2014.

- [8] R. S. Matoza, D. Fee, M. A. Garcés, J. M. Seiner, P. A. Ramón & M. A. H. Hedlin, “Infrasonic jet noise from volcanic eruptions,” *Geophysical Research Letters*, **36**, L08303, 2009.
- [9] R. S. Matoza, D. Fee, T. B. Neilsen, K. L. Gee & D. E. Ogden, “Aeroacoustics of volcanic jets : Acoustic power estimation and jet velocity dependence,” *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, **118**, 6269-6284, 2013.
- [10] D. Fee, R. S. Matoza, K. L. Gee, T. B. Neilsen, & D. E. Ogden,, “Infrasonic crackle and supersonic jet noise from the eruption of Nabro Volcano, Eritrea,” *Geophysical Research Letters*, **40**, 4199–4203, 2013.
- [11] R. Sabatini, O. Marsden, C. Bailly & C. Bogey, “A numerical study of nonlinear infrasound propagation in a windy atmosphere,” *The Journal of the Acoustic Society of America*, **140**(1), 641-656, 2016.
- [12] R. Sabatini, C. Bailly, O. Marsden & O. Gainville, “Characterization of absorption and nonlinear effects in infrasound propagation using an augmented Burgers’ equation,” *Geophysical Journal International*, **207**, 1432-1445, 2016.
- [13] R. Sabatini, O. Marsden, C. Bailly & O. Gainville, “Three-dimensional direct numerical simulation of infrasound propagation in the Earth’s atmosphere,” *Journal of Fluid Mechanics*, **859**, 754-789, 2019.
- [14] R. Sabatini, J. B. Snively, C. Bailly, M. P. Hickey & J. L. Garrison, “Numerical modeling of the propagation of infrasonic acoustic waves through the turbulent field generated by the breaking of mountain gravity waves,” *Geophysical Research Letters*, **46**, 5526-5534, 2019.
- [15] C. Bogey & C. Bailly, “A family of low dispersive and low dissipative explicit schemes for flow and noise computations,” *Journal Computational Physics* , **194**(1), 194-214, 2004.
- [16] C. Bogey, O. Marsden & C. Bailly, “Large-Eddy Simulation of the flow and acoustic fields of a Reynolds number 10^5 subsonic jet with tripped exit boundary layers,” *Physics of Fluids*, **23**, 035104, 1-20, 2011.
- [17] C. Bogey & R. Sabatini, “Effects of nozzle-exit boundary-layer profile on the initial shear-layer instability, flow field and noise of subsonic jets,” *Journal of Fluid Mechanics*, **876**, 288-325, 2019.
- [18] C. Bogey, “Acoustic tones in the near-nozzle region of jets : characteristics and variations between Mach numbers 0.5 and 2,” *Journal of Fluid Mechanics*, **931**, A3, 1-41, 2021.
- [19] C. Bogey & R. Gojon, “Feedback loop and upwind-propagating waves in ideally expanded supersonic impinging round jets,” *Journal of Fluid Mechanics*, **823**, 562-591, 2017.
- [20] M. Varé & C. Bogey, “Generation of acoustic tones in round jets at a Mach number of 0.9 impinging on a plate with and without a hole,” *Journal of Fluid Mechanics*, **936**, A16, 1-32, 2022.
- [21] J. J. Pēna Fernandez & J. Sesterhenn, “Compressible starting jet : pinch-off and vortex ring–trailing jet interaction,” *Journal of Fluid Mechanics*, **817**, 560-589, 2017.

La liste complète des publications de l’équipe de recherche du Centre Acoustique est disponible à l’adresse : http://acoustique.ec-lyon.fr/publication_fr.php.