

Proposal of Master 2 Internship 2020-2021

Investigation of granular avalanches triggered by ultrasound

Place of internship : Institut Langevin, ESPCI Paris, PSL University, 1 rue Jussieu, 75005 Paris

Contact : - ESPCI Paris : Profs. X. Jia (xiaoping.jia@espci.fr), A. Tourin (arnaud.tourin@espci.fr)

- IPGP : Prof. A. Mangeney (mangeney@ipgp.fr)

An inclined granular bed begins to flow beyond a maximum angle, i.e., the avalanche angle, and stabilizes again at a lower angle, i.e., the angle of repose. At an angle less than the avalanche angle, the granular bed may also flow if subjected to an external disturbance. This is how, for example, certain landslides or rockfalls originate from vibrations linked to local seismic activity (see Fig. 1), or even to distant earthquakes. If the phenomenon is known, it is still imperfectly understood.

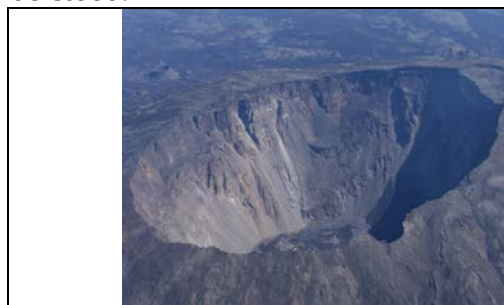


Fig. 1. Cratère Dolomieu au Piton de la Fournaise. Plusieurs éboulements s'y produisent chaque jour. Leur occurrence et leur importance semblent liées à la sismicité locale (V. Durand, A. Mangeney, F. Hass, X. Jia, A. Peltier et al, J. Geophys. Res. 123, 2422 (2019)).

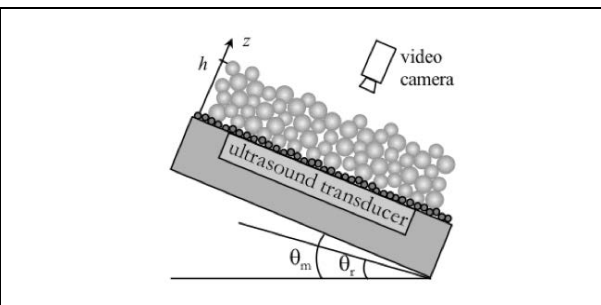


Fig. 2. Des billes de verre (d'une centaine de μm de diamètre) sont déposées sur un émetteur piézo-électrique dont la rugosité de surface est contrôlée. L'angle d'avalanche est noté θ_m , l'angle de repos θ_r . Une caméra permet de filmer l'écoulement déclenché par la vibration ultrasonore.

We have shed a new light on this issue by a series of laboratory experiments using ultrasound [1]. In these experiments, the granular bed consists of glass bead layers ($d \sim 100 \mu\text{m}$ in diameter) with controlled thickness and deposited on an ultrasonic transducer with different surface roughness. The granular layer is inclined at an angle less than the avalanche angle (see Fig. 2), and then the ultrasonic source is excited by a sinusoidal signal to produce nanometer-amplitude vibration. Two regimes of triggered flows were observed. When the inclination is slightly less than the avalanche angle, the ultrasonic vibration triggers a stationary granular flow whose speed is independent of the ultrasonic amplitude. At a lower inclination angle, the flow caused by ultrasound is intermittent. The flow speed depends on the amplitude of the ultrasound and stops when the ultrasound is turned off. In both cases, the vibration amplitude is too small to induce any macroscopic rearrangement of grains, instead, the ultrasound lubricates/fluidizes the grain contacts and reduce the interparticle coefficient of friction.

In this internship, we will investigate the spatial correlation of the intermittent granular flows in layers of various thicknesses ($h/d \sim 2-20$ with $d \sim 0.1-1\text{mm}$), which will allow to follow the size growth of the sliding clusters (patches) prior to the avalanche as a function of the interplay between the inclined angle, the ultrasound amplitude ($\sim 1-20 \text{ nm}$) and frequency ($\sim 40-500 \text{ kHz}$). Also, we will study the interlocking effect due to the irregular shape of particles, such as sand particles. This work should provide a better understanding of the triggering of landslides and rockfalls by seismicity.

This work could be followed by a Ph.D project.

[1] J. Léopoldès, X. Jia, A. Tourin, and A. Mangeney, "Triggering granular avalanches with ultrasound", Phys. Rev. E **102**, 042901(2020)

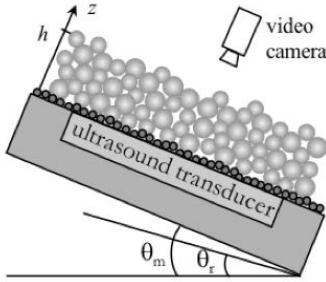
Etude des avalanches granulaires déclenchées par ultrasons

Lieu du stage : Institut Langevin, ESPCI Paris, PSL Université, 1 rue Jussieu, 75005 Paris

Contact : - ESPCI Paris : Profs. X. Jia (xiaoping.jia@espci.fr) et A. Tourin (arnaud.tourin@espci.fr)

- IPGP : Prof. A. Mangeney (mangeney@ipgp.fr)

Un lit incliné de grains solides ne commence à s'écouler qu'au-delà d'un angle maximum (l'angle d'avalanche) et se stabilise à nouveau sur une pente légèrement inférieure (l'angle de repos). Pour un angle inférieur à cet angle maximum, une avalanche peut malgré tout se déclencher si le lit de grains est soumis à une perturbation extérieure. C'est ainsi par exemple que certains éboulements ou glissements de terrain peuvent trouver leur origine dans les vibrations liées à l'activité sismique locale (cf. Fig. 1), voire même distante. Si le phénomène est connu, il est encore aujourd'hui imparfaitement compris.

	
Fig. 1. Cratère Dolomieu au Piton de la Fournaise. Plusieurs éboulements s'y produisent chaque jour. Leur occurrence et leur importance semblent liées à la sismicité locale (V. Durand, A. Mangeney, F. Hass, X. Jia, A. Peltier et al, J. Geophys. Res. 123, 2422 (2019)).	Fig. 2. Des billes de verre (d'une centaine de μm de diamètre) sont déposées sur un émetteur piézo-électrique dont la rugosité de surface est contrôlée. L'angle d'avalanche est noté θ_m, l'angle de repos θ_r. Une caméra permet de filmer l'écoulement déclenché par la vibration ultrasonore.

Nous avons apporté une nouvelle lumière à cette problématique grâce à une série d'expériences menées à petite échelle avec des ultrasons [1]. Dans ces expériences, le lit granulaire consiste en une succession de couches de billes de verre ($d \sim 100 \mu\text{m}$ de diamètre) d'épaisseur contrôlée et déposée sur un émetteur ultrasonore dont la rugosité de surface est elle-même contrôlée. L'ensemble est incliné d'un angle inférieur à l'angle d'avalanche (cf. Fig. 2). La source piézo-électrique est excitée par un signal sinusoïdal de fréquence 40 kHz pour produire une vibration d'amplitude nanométrique. Deux régimes d'écoulements déclenchés ont été observés. Lorsque l'inclinaison est légèrement inférieure à l'angle d'avalanche, la mise sous vibration du lit granulaire déclenche un écoulement stationnaire dont la vitesse est indépendante de l'amplitude ultrasonore. Pour un angle d'inclinaison plus faible, l'écoulement provoqué par les vibrations ultrasonores présente un caractère intermittent dont la vitesse dépend de l'amplitude des ultrasons et qui s'arrête lorsque ces derniers sont éteints. Dans les deux cas, l'amplitude de la vibration est bien trop faible pour induire un réarrangement macroscopique des grains, par contre, les ultrasons peuvent lubrifier/fluidiser les contacts entre des grains et réduire le coefficient de friction inter-particulaire.

Dans ce stage, nous allons étudier la corrélation spatiale des écoulements granulaires intermittents de couches d'épaisseurs variables ($h/d \sim 2-20$ avec $d \sim 0.1-1\text{mm}$) et ainsi suivre la croissance de la taille de zones glissantes proches de l'avalanche en fonction de l'angle d'inclinaison, de l'amplitude ($\sim 1-20 \text{ nm}$) et de la fréquence ($\sim 40-500 \text{ kHz}$) des ultrasons. Nous nous intéresserons aussi aux effets de blocage liés à la forme irrégulière des grains, comme dans les sables. Ce travail devrait ouvrir la voie à une meilleure compréhension des déclenchements d'éboulements et de glissements de terrain induits par la sismicité.

Ce stage pourra trouver un prolongement dans le contexte d'une thèse.

[1] J. Léopoldès, X. Jia, A. Tourin, and A. Mangeney, “Triggering granular avalanches with ultrasound”, *Phys. Rev. E* **102**, 042901(2020)