

---

**Titre du sujet :**

Directeur (trice) : **MANGENEY Anne**, Professeur PRCE2 Université Paris Cité et IUF, mangeney@ipgp.fr  
Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : **MAURY Bertrand**, Professeur PRCE2 et Académie des Sciences, bertrand.maury@universite-paris-saclay.fr  
Equipe d'accueil :

**IPGP- Equipe de Sismologie – UMR7154  
Laboratoire de Mathématiques, Université Paris-Saclay**

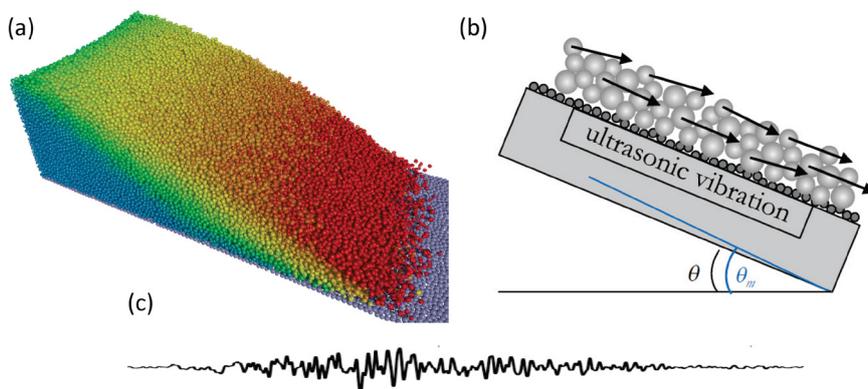
Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

**Développement du sujet :**

**Interaction ondes-écoulements granulaires : simulation par éléments discrets**

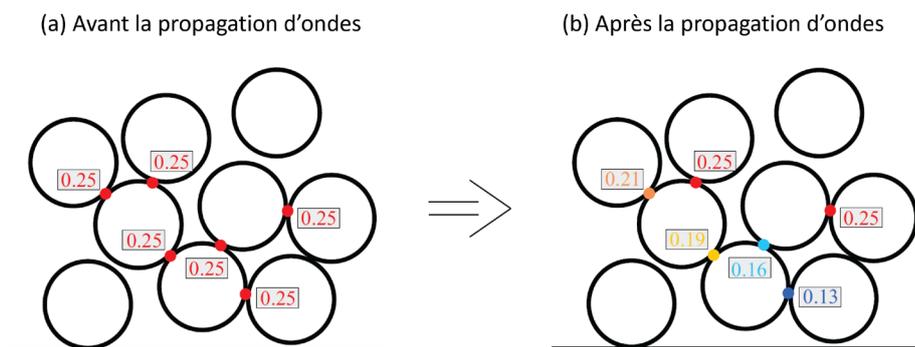
**Contexte** : Les glissements de terrain et potentiels tsunamis générés représentent un des risques naturels majeurs. Leur détection et leur simulation restent actuellement un problème ouvert et rendu extrêmement difficile par le peu de données de terrain sur la dynamique de ces écoulements, information pourtant nécessaire pour valider les modèles développés. Dans ce contexte, les **ondes sismiques générées par les glissements de terrain représentent un outil d'étude unique**, transportant de précieuses informations sur les caractéristiques de l'écoulement (masse, vitesse, comportement mécanique, etc.) à des distances pouvant aller jusqu'à des centaines de km de la source [1,2,3] (Fig. 1c). De plus, les ondes sismiques émises par l'écoulement peuvent modifier la dynamique de l'écoulement lui-même en lubrifiant les contacts entre les grains, induisant une **diminution du coefficient de friction effectif (macroscopique) de ces matériaux granulaires** [4,5]. Cela permet ainsi à l'écoulement d'aller plus loin que sans la présence d'ondes. Ce processus complexe pourrait être à l'origine de la **grande mobilité des glissements de terrain**, dont l'origine reste encore un mystère [6].



**Figure 1** : (a) Simulation par éléments discrets de l'écoulement d'un milieu granulaire [10], (b) expériences de laboratoire sur l'influence des vibrations ultrasonores sur la stabilité d'une couche granulaire [4], et (c) signal sismique généré par un glissement de terrain [1].

Comprendre les processus physiques sous-jacents à la grande mobilité des glissements de terrain et les quantifier représente **un des plus grands enjeux pour l'évaluation des aléas** liés à ces catastrophes naturelles, dont la fréquence augmente avec le changement climatique. En effet, l'absence de compréhension de ces processus empêche de les intégrer dans les modèles numériques simulant les glissements de terrain et qui sont utilisés pour calculer la distance qu'ils parcourent ainsi que leur dynamique, quantités nécessaires pour construire les cartes d'aléas.

**Sujet de thèse** : Dans le contexte présenté ci-dessus, les **simulations aux éléments discrets, décrivant la dynamique des particules et de leurs interactions** fournit un outil unique pour quantifier l'interaction ondes-écoulement. Ces modèles sont arrivés à un état de maturité qui permet de simuler une grande quantité de grains avec un temps de calcul raisonnable pour étudier les processus physiques impliqués dans les écoulements granulaires inertiels, considérés comme un analogue des glissements de terrain [7]. Il s'agira dans cette thèse de **coupler un modèle aux éléments discrets basé sur la Dynamique des Contacts avec des calculs de propagation d'ondes sur le réseau de contacts** entre les grains. En effet, les ondes se propagent à travers les contacts élastiques entre les grains. L'échelle de temps du mouvement des grains étant beaucoup plus grande que l'échelle de temps de la propagation d'ondes, cela permet de faire les calculs en deux temps en résolvant d'abord le mouvement des grains et en calculant ensuite la propagation des ondes sur la configuration des grains obtenues par le premier calcul. Une **loi d'affaiblissement du contact** lié au passage des ondes hautes fréquences et faible amplitude sera utilisée pour décrire la lubrification acoustique du contact entre les grains (Fig. 2). Cette loi est issue d'expériences de laboratoire sur des couches granulaires soumises à des ultrasons [4].



**Figure 2.** Illustration du changement des valeurs du coefficient de friction entre les grains dû aux perturbations liées aux ondes se propageant à travers le réseau de contact (Figure issue de [5]).

Dans cette thèse, il s'agira de modéliser la **source des ondes liées aux collisions élastiques entre les particules** [8,9] et de calculer l'effet des ondes générées sur l'écoulement macroscopique. Cette thèse comprend donc un **aspect théorique** qui consistera à poser le problème physique et à le formuler mathématiquement de manière cohérente et de proposer un modèle ayant des bonnes propriétés mathématiques. La thèse contient également un **aspect de codage ainsi qu'un aspect simulations numériques** basées sur des méthodes aux éléments discrets déjà développées pour modéliser les écoulements sous gravité [10] ou/et déclenchés par les ondes élastiques actives via la lubrification acoustique [5].

Dans un premier temps, nous simulerons des écoulements sur des plans inclinés puis nous chercherons à **nous rapprocher des conditions naturelles** en prenant en compte des topographies plus complexes et un grand nombre de grains. Pour l'analyse des résultats, nous chercherons à quantifier la variation des valeurs du coefficient de friction macroscopique (effectif) ainsi que l'augmentation de la distance parcourue par les écoulements granulaires en présence d'ondes générées par les écoulements eux-mêmes (bruits passifs) afin d'estimer si ce processus peut expliquer la grande mobilité des écoulements naturels à l'échelle du terrain.

Ces recherches interdisciplinaires seront menées avec Anne Mangeney de l'IPGP (géophysique), Bertrand Maury du Laboratoire de Mathématiques de l'Université Paris-Saclay et Hugo Martin (mathématiques appliquées), en collaboration avec Xiaoping Jia de l'Institut Langevin (acoustique) pour l'analyse des signaux. Ce sujet contribuera à consolider une collaboration fructueuse entre nos laboratoires et à créer une nouvelle dynamique débouchant sur une demande d'ERC Synergy à l'interface entre géophysique, physique, et mathématiques.

**Lieu** : IPGP & Laboratoire de Mathématiques de l'Université Paris-Saclay.

**Prérequis** : Cette thèse nécessite un bon niveau en mathématique, en numérique et en physique.

**Encadrement** : Anne Mangeney [mangeney@ipgp.fr](mailto:mangeney@ipgp.fr), Bertrand Maury ([Bertrand.Maury@math.u-psud.fr](mailto:Bertrand.Maury@math.u-psud.fr)), collaboration avec Hugo Martin (INRIA) et Xiaoping Jia (Institut Langevin).

## Références :

- [1] L. Moretti, **A. Mangeney**, Y. Capdeville, E. Stutzmann, et al., 2012. Numerical modeling of the Mount Steller landslide flow history and of the generated long period seismic waves, *Geophys. Res. Lett.*, L16402, 2012.
- [2] Allstadt, K. E., Matoza, R. S., Lockhart, A. B., Moran, S. C., Caplan-Auerbach, J. et al., 2018. Seismic and acoustic signatures of surficial mass movements at volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 364, 76–106.
- [3] Arran, M.I., **Mangeney, A.**, De Rosny, J., Toussaint, R., 2024. Simulated Slidequakes: Insights From DEM Simulations Into the High-Frequency Seismic Signal Generated by Geophysical Granular Flows, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 129(8), e2023JF007455.
- [4] Leopoldes, J., **Jia, X.**, Tourin, A., **Mangeney, A.**, 2020. Triggering granular avalanches with ultrasound, *Phys. Rev. E*, 102, 042901.
- [5] **Martin, H.**, **Mangeney, A.**, **Jia, X.**, **Maury, B.**, Lefebvre-Lepot, A., Maday, Y., Derand, P., 2025. Ultrasound-induced dense granular flows: a two-time scale modeling, *Journal of Fluid Mechanics*, 1004, A10.
- [6] Lucas, A., **Mangeney, A.**, and Ampuero, J. P., 2014. Frictional weakening in landslides on Earth and on other planetary bodies, *Nature Communications*, 5(3417).
- [7] Radjai, F., Roux, J.-N. & Daouadji, A. Modeling granular materials: century-long research across scales, *J. Eng. Mech.*, 143, 04017002 (2017).
- [8] M. Arran, **A. Mangeney**, J. De Rosny, M. Farin, R. Toussaint, O. Roche, Laboratory landquakes: Insights from experiments into the high-frequency seismic signal generated by geophysical granular flows, *J. Geophys. Res. - Earth Surface*, 126(5), 2021.
- [9] V. Bachelet, **A. Mangeney**, R. Toussaint, J. De Rosny, M. Farin, C. Hibert, Acoustic emissions of nearly steady and uniform granular flows: a proxy for flow dynamics and velocity fluctuations, *J. Geophys. Res. - Earth Surface*, 128, e2022JF006990, 2023.
- [10] **Martin, H.**, **Mangeney, A.**, Lefebvre-Lepot, A., **Maury, B.**, Maday, Y., 2024. An Optimization-Based Discrete Element Model for Dry Granular Flows: Application to Granular Collapse on Erodible Beds, *J. Comput. Phys.*, 498, 112665.