



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

ed560.stepup@u-paris.fr

**Titre du sujet : Ondes sismiques et hydro-acoustiques émises par les glissements sous-marins à l'échelle du laboratoire pour la détection et l'évaluation des aléas associés**

Directeur (trice) :

**MANGENEY Anne, Pr, mangeney@ipgp.fr**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : choisir éventuellement un.e co-directeur.trice avec HDR ou un.e coencadrant.e sans HDR supprimer les mots inutiles et ceux en italique

**DE ROSNY Julien, DR, julien.derosny@espci.fr**

Equipe d'accueil : à préciser et supprimer la ligne inutile

**IPGP- Equipe de sismologie – UMR7154**

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

**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, données pourtant nécessaires pour valider les modèles développés. Dans ce contexte, les ondes sismiques et hydro-acoustiques générées par les glissements de terrain sous-marins 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]. Par contre, l'analyse de ces ondes est très difficile à réaliser car d'une part les mécanismes de génération sont complexes et d'autre part, ces ondes sont fortement impactées par leur propagation.

Dans ce cadre, les expériences de laboratoire fournissent une opportunité sans équivalent pour étudier les processus de manière simplifiée, en séparant les effets comme la présence ou non d'eau, la topographie, les conditions initiales, etc. L'Institut Langevin, l'IPGP et l'EOST se sont associés, notamment dans le cadre de l'ERC SLIDEQUAKES, pour étudier la génération d'ondes élastiques lors d'écoulements granulaires secs (Figure 1). Les travaux réalisés sur des écoulements granulaires secs ont clairement mis en évidence des signatures spectrales, temporelles qui ont été validées par des approches numériques et interprétées à l'aide de modèles analytiques [3,4,5], faisant intervenir différents paramètres comme la température granulaire, la densité, le profil de vitesse, etc. Ces mesures de laboratoire ont été combinées à des simulations aux Eléments discrets permettant d'avoir accès à des variables internes non mesurables en laboratoire [6]. Les résultats obtenus ont permis de clarifier l'origine physique des lois empiriques observées à l'échelle du terrain et de proposer de nouvelles façons d'interpréter les ondes sismiques en termes de caractéristiques de l'écoulement [3].

Nous proposons ici de changer de paradigme en étudiant **l'émission acoustique lors d'écoulements granulaires mais cette fois immersés**. Depuis une trentaine d'années, les travaux sur les écoulements granulaires ont permis de faire un bond en avant dans la compréhension et la description du comportement des milieux granulaires [7]. Cependant, hormis une seule étude préliminaire réalisée en 2012 [8], l'émission acoustique associée à ces écoulements reste **un sujet très largement inexploré à l'interface entre la physique des granulaires et de l'acoustique physique**. Ces travaux sont d'autant plus importants qu'ils sont **des analogues des glissements de terrain sous-marins** pour lesquels il n'existe que très peu de données mais qui peuvent générer des tsunamis potentiellement dévastateurs [9].

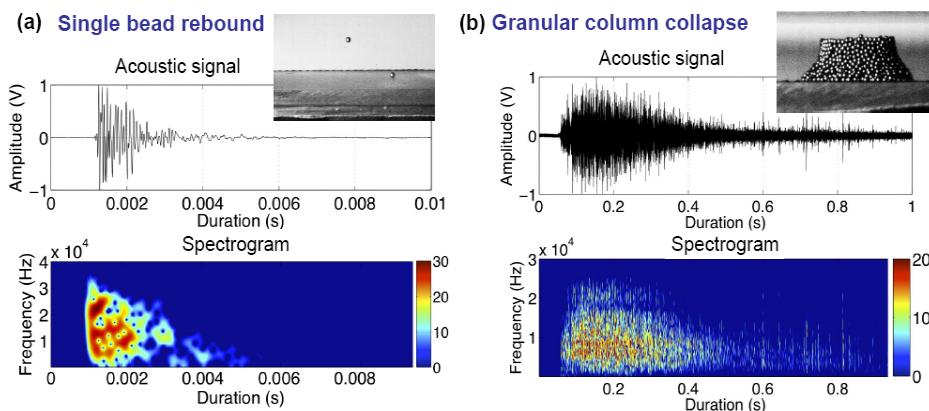
Utiliser les ondes émises par ces glissements de terrain pour les détecter et contraindre leur comportement serait une **avancée exceptionnelle pour l'évaluation des risques associés**. L'exploitation des ondes hydro-acoustiques dans ce but est en effet quasi-inexistante bien que ces ondes se propagent très loin, portant notamment la signature de la vitesse du glissement de terrain [2].

**Sujet de thèse :** Les phénomènes physiques impliqués aussi bien dans la dynamique de l'écoulement granulaire dans l'eau que dans la génération d'ondes élastiques et hydro-acoustiques sont complexes. C'est pourquoi le point de départ de cette thèse consistera en des expériences « modèles » à l'échelle du laboratoire de manière à pouvoir contrôler l'environnement et à pouvoir varier les conditions initiales et aux limites ainsi que les paramètres impliqués (Figure 1). Pour pouvoir exploiter au mieux ces expériences, nous effectuerons également des simulations par la méthode des éléments discrets (DEM) interfacée avec des méthodes numériques de dynamique des fluides (CFD) [10].

Plus précisément, il s'agira de développer une approche expérimentale pour étudier la génération d'ondes élastiques (équivalent des ondes sismiques) et hydro-acoustiques lors d'écoulements granulaires immersés dans une cuve d'environ 2 mètres de long. La première partie de la thèse consistera à adapter le dispositif que nous avons développé pour les écoulements granulaires secs à un environnement immersé. Il s'agira de mettre en place et de calibrer différents capteurs : des caméras ultrarapides pour estimer les profils de vitesse, la température granulaire ou la fraction volumique, des capteurs de force pour mesurer la force basale, un capteur de pression pour mesurer la pression de pores, des accéléromètres pour mesurer les ondes élastiques et enfin des hydrophones pour la mesure hydro-acoustique.

De manière à valider le dispositif, des mesures obtenues lors de l'impact d'un seul grain seront tout d'abord réalisées. Une analyse sera menée pour comparer nos mesures aux modèles d'impact de particules immersées. Dans un second temps, des mesures sur des avalanches granulaires seront effectuées de manière d'une part à retrouver des résultats publiés dans la littérature sur la dynamique de l'écoulement, mais surtout pour caractériser l'émission élastique et hydro-acoustique lors de l'avalanche. Nous réaliserons des expériences stationnaires sur plan incliné car plus simples à analyser et des expériences instationnaires (effondrements de colonnes granulaires, topographie variable) pour se rapprocher de la réalité terrain.

Nous nous concentrerons dans un premier temps sur des marqueurs acoustiques simples tels que l'évolution du niveau acoustique ou encore la dépendance temporelle de l'enveloppe pour différentes gammes de fréquences en fonction de la dynamique de l'écoulement. Dans un second temps, nous utiliserons des simulations par éléments discrets couplant la description de l'interaction entre les grains et entre l'eau et les grains pour aller plus loin dans l'interprétation physique des corrélations observées entre les caractéristiques des écoulements et celles des ondes émises. Ces avancées permettront de nourrir et de développer des **nouvelles méthodes de détection et de caractérisation des glissements de terrain sous-marins** pour l'évaluation des aléas associés. Une application aux éboulements et écoulements pyroclastiques récurrents sur le volcan du Stromboli, mesurés par des capteurs sismiques et hydroacoustiques, est également envisagée.



**Figure 1 :** Expériences de laboratoire (a) d'impact de grains individuels [4] et (b) d'écoulements granulaires montrant respectivement l'onde élastique (e. g. sismique) émise et le spectrogramme associé [3].

Le banc expérimental sera développé à l'institut de Physique de Paris (encadrement Anne Mangeney de l'IPGP et Julien de Rosny de l'Institut Langevin) et l'analyse des signaux sera réalisée en collaboration avec

Renaud Toussaint de l'ITES, EOST. Les simulations par éléments discrets seront réalisées en collaboration avec Farhang Radjai (INSIS) et Bertrand Maury (INSMI). La comparaison avec des données terrain sera réalisée avec Jackie Caplan (Western Washington University).

### Références :

- [1] L. Moretti, A. Mangeney, Y. Capdeville, E. Stutzmann, et al., *Geophys. Res. Lett.*, L16402, 2012.
- [2] J. Caplan-Auerbach, R. P. Dziak, D. R. Bohnenstiehl, et al., *Hydroacoustic investigation of submarine landslides at West Mata volcano, Lau Basin*. *Geophys. Res. Lett.* 41, 5927–5934, 2014.
- [3] M. Farin, A. Mangeney, J. De Rosny, et al., *Relations Between the Characteristics of Granular Column Collapses and that of the Generated High-frequency Seismic Signal*, *J. Geophys. Res- Earth Surf.*, 2019.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] M. Arran, A. Mangeney, J. De Rosny, J., R. Toussaint, *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), 2024.
- [7] B. Andreotti, Y. Forterre, et O. Pouliquen. *Granular media: between fluid and solid*. Cambridge University Press, 2013.
- [8] J.-L. Thirot, Y. Le Gonidec, B. Kergosien; *Acoustic emissions in granular structures under gravitational destabilization*. *AIP Conf. Proc.* 24 May 2012; 1433 (1): 143–146.
- [9] P. Poulain, A. Le Friant, A. Mangeney, S. Virolet, E. Fernandez-Nieto, M. J. Castro Diaz, M. Peruzzetto, F. Bouchut, G. Grandjean, *Performance and limits of a shallow-water model for landslide-generated tsunamis: from laboratory experiments to simulations of flank collapses at Montagne Pelee (Martinique)*, *Geophys. J. Int.*, 233(2), 796-825, 2023.
- [10] L. Amarsid, J.-Y. Delenne, P. Mutabaruka, Y. Monerie, F. Perales, F. Radjai, *Visco-inertial regime of immersed granular flows*, *Physical Review E*, 96, 012901, 2017.