



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, mangeneay@ipgp.fr**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : **DE ROSNY Julien, DR, julien.derosny@espci.fr**

Equipe d'accueil : **IPGP- Equipe de Sismologie – UMR7154 et Institut Langevin**

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, elles sont fortement impactées par leur propagation.

Dans ce cadre, les expériences de laboratoire fournissent un 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. 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. 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 immergés**. Dès le début des années 2000, les travaux sur les avalanches granulaires [8] ont permis d'identifier trois régimes d'écoulement limites. Cependant, hormis une seule étude préliminaire réalisée en 2012 [9], l'émission acoustique associée à ces écoulements reste **un sujet très largement inexploré**. 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 [6].

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. 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) [7].

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 immergés 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 immergé. 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 base, un capteur de pression pour mesurer la pression de pore, des accéléromètres pour mesurer les ondes élastiques et enfin des hydrophones pour la mesure acoustique.

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. Cette étude servira de fondation à une demande d'ERC Synergy à l'interface entre géophysique, mathématiques, physique et mécanique (arrivée à l'étape 3 de l'oral deux fois mais non financée).

Références :

- [1] L. Moretti, A. Mangeney, Y. Capdeville, E. Stutzmann, C. Huggel, C. et al., Numerical modeling of the Mount Steller landslide flow history and of the generated long period seismic waves, *Geophys. Res. Lett.*, L16402, 2012.
- [2] J. Caplan-Auerbach, R. P. Dziak, D. R. Bohnenstiehl, W. W. Chadwick, W. W., T. K. Lau, 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, R. Toussaint, P.T. Trinh, 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] P. Poulain, A. Le Friant, A. Mangeney, S. Viroulet, 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.
- [7] 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.
- [8] Sylvain Courrech du Pont, Philippe Gondret, Bernard Perrin, and Marc Rabaud, Granular Avalanches in Fluids, *Phys. Rev. Lett.* 90, 044301, 2003
- [9] J.-L. Thiroit, Y. Le Gonidec, B. Kergosien; Acoustic emissions in granular structures under gravitational destabilization. *AIP Conf. Proc.* 24 May 2012; 1433 (1): 143–146.