

# Friction dans les matériaux granulaires, gouges de failles et sols liquéfiés : rôle du fluide et des anisotropies

Renaud Toussaint<sup>1,2</sup>, Cécile Clément<sup>1</sup>, Einat Aharonov<sup>3</sup>, Shahar Ben Zeev<sup>3,1</sup>, Liran Goren<sup>3</sup>, Stanislav Parez<sup>4</sup>, Ernesto Altshuler<sup>5,1</sup>, Laci Alonso-Llanes<sup>1,5</sup>, Fredrik Eriksen<sup>1,2</sup> & Antoine Turquet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IPGS, UMR7516, Université de Strasbourg, CNRS, 5 rue Descartes, 67084 Strasbourg, France

<sup>2</sup> PoreLab, Physics Dept, University of Oslo, Oslo, Norway

<sup>3</sup> Earth Science Institute, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel

<sup>4</sup> Czech Academy of Science, Prague, Czech Republic

<sup>5</sup> Physics Faculty, University of Havana, Cuba

renaud.toussaint@unistra.fr

Des frottements dans des mélanges de milieux fluides et solides sous l'état de granulaires denses saturés d'eau sont présents dans de nombreux systèmes terrestres naturels : gouges de failles actives, sols pouvant se liquéfier lorsqu'ils sont soumis à secousses sismiques, volcans de boues, avalanches gravitaires.

On présentera différentes études de ce type de phénomènes. Notamment, on montrera comment la liquéfaction de sols, qui est considérée dans les études géotechniques classiques comme résultant de l'élévation de la pression de pore jusqu'à l'annulation de la contrainte normale effective, peut également être atteinte sans pressurisation de pore dynamique significative, mais avec un rôle important des forces d'Archimède. Ce mécanisme élargit la gamme d'excitation qui permet d'aboutir à la liquéfaction, et permet d'expliquer comment la liquéfaction peut avoir lieu dans des sols bien compactés, et de manière récurrente sur certains sites. On montrera que ce type de mécanisme permet de prédire l'occurrence de la liquéfaction à partir d'une accélération de sol critique dépendant simplement de la densité du sol, sa saturation et les propriétés de friction [1]. La théorie est validée par la comparaison à des tests expérimentaux et numériques. Elle permet également de rendre compte des catalogues d'évènements de liquéfaction sismiques, et des expériences de rhéologie de sables mouvants [2]. Les couplages visqueux entre granulaires et fluides affectent également la dynamique de liquéfaction dans certains cas, en prolongeant la durée des évènements et la perte de friction macroscopique [3]

On présentera également des mécanismes à l'oeuvre dans la micromécanique de failles : perte de résistance par aquaplaning dans des gouges, drainées ou non [4], instabilités sous l'effet de grands gradients de pression de pore dans des granulaires denses [5], et effets des anisotropies dues à la morphologie des miroirs de failles sur les propriétés de friction.

## Références

1. C. Clément, R. Toussaint, M. Stojanova, and E. Aharonov (2018). Sinking during earthquakes : Critical acceleration criteria control drained soil liquefaction, *Phys. Rev. E* 97, 022905, DOI :10.1103/PhysRevE.97.022905.
2. C Clément, R Toussaint, E Aharonov (2018). Shake and sink : liquefaction without pressurization - arXiv preprint arXiv :1802.04391
3. Zeev, S. B., Goren, L., Parez, S., Toussaint, R., Clement, C., and Aharonov, E. (2017). The Combined Effect of Buoyancy and Excess Pore Pressure in Facilitating Soil Liquefaction. In *Poromechanics VI* (pp. 107-116).
4. Goren, L., Aharonov, E., Sparks, D., and Toussaint, R. (2011). The mechanical coupling of fluid-filled granular material under shear. *Pure and applied geophysics*, 168(12), 2289-2323.
5. Eriksen, F. K., Toussaint, R., Turquet, A. L., Måløy, K. J., and Flekkøy, E. G. (2018). Pressure evolution and deformation of confined granular media during pneumatic fracturing. *Physical Review E*, 97(1), 012908.