

Écoulements granulaires: rhéologie et modélisation continue

Direction Lydie Staron (section CNRS 9),
& Pierre-Yves Lagrée HDR (section CNRS 10)
CNRS & UPMC Univ Paris 06, UMR 7190,
4 place Jussieu, Tours 55-65 5ème.
Institut Jean Le Rond d'Alembert, Boîte 162, F-75005 Paris, France
lydie.staron@upmc.fr & pierre-yves.lagree@upmc.fr ;

2 avril 2014

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire :
Institut Jean Le Rond d'Alembert

Etablissement de rattachement :
UPMC-CNRS

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS :
Lagrée P-Y, Staron L. & Deboeuf S.

Titre de la thèse :
Écoulements granulaires : rhéologie et modélisation continue

Collaborations dans le cadre de la thèse :
Bristol University
Stéphane Popinet d'Alembert.

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Sujet :
Les milieux granulaires omniprésents autour de nous (sable, cailloux, mais aussi sucre, blé...) s'écoulent comme des fluides, ou sont solides au repos. Cette dualité sera explorée au travers d'expériences modèles et de simulations numériques du déplacement de tous les grains. Le but est d'établir les lois d'écoulement afin de proposer une description continue des milieux granulaires.

Résumé du Sujet

Les matériaux granulaires sont complexes même dans leurs formes les plus simples : la non linéarité des forces de contacts, leurs propriétés dissipatives, et l'absence de coupure d'échelle claire entre la taille des grains et la taille du système, font d'une avalanche de sable à la surface d'une dune un défi sérieux pour les modélisateurs. La difficulté consiste notamment à établir des lois rhéologiques rendant compte de la transition entre régimes dynamique et statique, et réciproquement. Les écoulements géophysiques tels que les avalanches de débris et avalanches de roches, qui à leur nature granulaire combinent les effets de la topographie, la multiplicité des tailles de grains, l'érosion du substrat *etc.*, sont un autre exemple d'objets granulaires encore peu compris. Cependant, des avancées récentes (GdrMidi 2004), notamment sur la rhéologie, ouvrent de nombreuses perspectives pour la modélisation de systèmes granulaires complexes. Le sujet de thèse proposé ici a pour objectif de modéliser le comportement mécanique d'un écoulement granulaire modèle dans différentes configurations, de façon à aborder les aspects suivants :

- Mise en mouvement et arrêt, propagation de fronts d'arrêt et de fronts d'érosion ;
- Influence de la nature du substrat sur lequel l'écoulement se propage : rugosité, érodibilité ;
- Influence du confinement latérales sur l'écoulement (effet de chenalisation) : modification des profils de vitesse, des propriétés de frottement/viscosité locales, étalement ;
- Rôle de la dispersité de la taille des grains : phénomènes de ségrégation et de lubrification ;
- Comportement face à un obstacle rigide ou érodable.

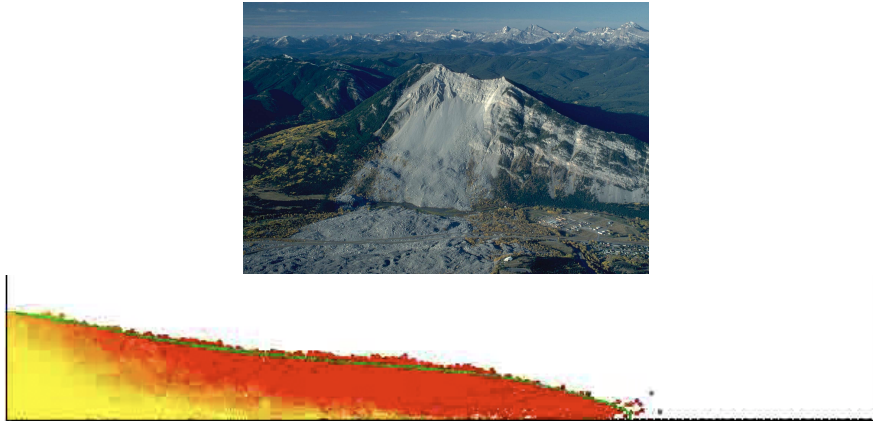


FIGURE 1 – haut : Exemple d'écoulement granulaire naturel : le glissement de Frank (Canada) ; Bas : comparaison entre simulations discrète (grains) et continue (ligne contour) ; le rouge indique des vitesses grandes, le jaune des vitesses nulles.

La méthodologie mise en oeuvre prévoit trois techniques distinctes et complémentaires :

1. La simulation numérique discrète : Un ensemble de plusieurs milliers de grains sont simulés individuellement. Ils obéissent aux équations de la dynamique couplés à des lois de contacts qui permettent de rendre compte des interactions entre les grains (Jean & Moreau 1992). Les vitesses des grains et les forces de contacts étant calculées au cours du temps, les simulations numériques discrètes permettent d'évaluer certaines grandeurs (contraintes, déformations, fluctuations des vitesses) difficiles à évaluer expérimentalement (Staron & Hinch 2005).

2. La simulation continue : Utilisant des travaux récents sur la rhéologie des matériaux granulaires (pour laquelle différents modèles seront proposés), cette dernière a été implémentée dans un solveur de Navier-Stokes complet *Gerris* (Popinet 2003). Ceci a permis de reproduire des résultats expérimentaux non-triviaux, fournissant ainsi un outil de validation des modèles rhéologiques, moins coûteux en temps que les méthodes discrètes. Cette approche sera généralisée aux aspects étudiés au cours de la thèse.

3. L'approche expérimentale : Des expériences d'effondrements de talus et de colonnes granulaires (Lajeunesse et al 2005) seront exploitées pour étudier de façon systématique le rôle de la nature du substrat et des parois, de la dispersité de taille des grains et de la géométrie de l'écoulement. Ce travail trouvera sa finalité dans une meilleure caractérisation théorique de la rhéologie granulaire, et l'élaboration d'un outil fiable de modélisation continue type fluide (Lagrée et al, 2011). Il ouvre de nombreuses perspectives pour la modélisation des écoulements naturels et la gestion des risques associés, mais également pour les procédés industriels et géo-techniques, où les écoulements granulaires ont un vaste champ d'application.

Références :

- On dense granular flows, GdR Midi, Euro Phys. J. E 14, 341 (2004).
- Unilaterality and dry friction in the dynamics of rigid body collections, M. Jean and J.-J. Moreau, Proc. Cont. Mech. Int. Symp., 31 (1992).
- Study of the collapse of granular columns using 2D discrete-grains simulation, L. Staron and E. J. Hinch, J. Fluid Mech., vol 545, pp 1-27, (2005)
- *Gerris* : a tree-based adaptive solver for the incompressible Euler equations in complex geometries, Popinet S., J. Comput. Phys. 190(2) :572-600 (2003)
- Spreading of a granular mass on an horizontal plane, Lajeunesse, E., Mangeney-Castelneau, A. & Vilotte, J.-P. Phys. Fluids 16, 2731-2381 (2004)
- The granular column collapse as a continuum : validity of a Navier-Stokes model with a $\mu(I)$ -rheology, P.-Y. Lagrée, L. Staron and S. Popinet, Journal of Fluid Mechanics, pp1-31 , doi :10.1017/jfm.2011.335
- "Continuum simulation of the discharge of the granular silo, A validation test for the $\mu(I)$ visco-plastic flow law" L. Staron, P.-Y. Lagrée, & S. Popinet (2014) Eur. Phys. J. E (2014) 37 : 5 DOI 10.1140/epje/i2014-14005-6