



Granular physics



Physique des milieux granulaires

Foreword

Granular media play a major role in geophysics and industrial processes. Their interactions are complicated by relatively small-scale separation between individual particles and system size, by the presence of other interpenetrating phases such as water or air, by the large number of grains involved in realistic applications, and by the importance of microscopic contact forces, such as solid friction, which are challenging to measure or control. Yet significant progress has been made in the last two decades toward the understanding of granular media, thanks to the curiosity of physicists and engineers. This thematic issue gathers contributions from researchers dealing with diverse aspects of granular mechanics, from static assemblies to flowing suspensions, and from theory to natural phenomena. These review articles illustrate rather different approaches to these complicated systems.

In quasi-static assemblies of grains, the three reviews of Radjai, Behringer, and Desrues & Endo discuss how force chains, jamming and localization contribute to stresses and deformation of the granular medium. In this highly non-linear problem, a challenge is to relate the geometrical fabric to force transmission at grain contacts, so that a continuum description of the material can bring hope to model the assembly at the macroscopic scale. These reviews complement a recently released thematic issue of *Comptes rendus Mécanique* edited by François Nicot and Félix Darve dealing with “Granular and polycrystalline solid mechanics”, in which different macroscopic descriptions of granular assemblies are introduced.

As a gradual transition to flowing systems, van Hecke reviews how, as contacts are created and lost in relatively slow deformations of the system, hysteretic cycles of jamming and yield are governed by small fluctuations. Delannay, Duranteau & Tournat show that avalanches, which mark the transition between a static and a flowing system, are foretold by precursor events consisting of intermittent particle rearrangements that can be observed in numerical simulations and detected through their acoustic emissions in experiments.

When grains are involved in rapid motion and shearing, such as flows on inclines, Kumaran considers theoretical approaches derived from a granular analogue of the Maxwell–Boltzmann kinetic theory of dense gases. Jop then summarizes successes and limitations of a pragmatic bulk rheology for dense flows. Gray & Gajjar review how heterogeneous flows of grains segregate by size. They outline a mixture framework that captures segregation and mixing observed in experiments, including the formation of shocks and fans in particle species concentration.

This thematic issue also discusses large-scale natural granular–fluid systems. Turnbull, Bowman & McElwaine review experiments and modeling of highly destructive debris flows, which hurl mixtures of rock, water, and sediments down mountain slopes. Sovilla, McElwaine & Louge provide a composite description of the evolving structure in high-speed powder snow avalanches from recent detailed measurements on a whole mountain. Valance, Rasmussen, Ould El Moctar & Dupont review models and experiments of Aeolian sand transport. Finally, Courrech du Pont reviews the intriguing dynamics of mobile sand dunes.

Avant-propos

Les milieux granulaires jouent un rôle important en géophysique et dans les procédés industriels. Leurs interactions sont compliquées en raison de la faible séparation d'échelles entre la taille des particules et celle du système, de la présence d'autres phases comme l'eau ou l'air, du grand nombre de grains impliqués dans des applications réalistes et de l'importance des forces de contact microscopiques, tel le frottement solide, qui sont difficiles à mesurer ou à contrôler. Pourtant, des progrès significatifs ont été réalisés dans les deux dernières décennies vers la compréhension des milieux granulaires, grâce à la curiosité des physiciens et des ingénieurs. Ce numéro thématique rassemble des contributions portant sur divers aspects

de la mécanique granulaire, des assemblages statiques à des suspensions fluides et de la théorie aux phénomènes naturels. Ces articles de synthèse illustrent des approches assez différentes de ces systèmes complexes.

Dans les assemblées quasi statiques de grains, les trois articles de Radjai, de Behringer, et de Desrues & Endo discutent comment les chaînes de forces, la localisation et le blocage contribuent à la déformation du milieu granulaire. Dans ce problème hautement non linéaire, un défi est de relier le tenseur de fabrique aux réseaux des forces de contact, de sorte qu'une description continue du milieu granulaire puisse modéliser l'assemblage à l'échelle macroscopique. Ces articles complètent un numéro thématique des *Comptes rendus Mécanique*, coordonné par François Nicot et Félix Darve, sur « la mécanique des milieux granulaires et solides polycristallins », paraissant concomitamment et dans lequel sont introduites différentes descriptions macroscopiques des assemblages granulaires.

Pour une transition progressive vers des systèmes qui coulent, van Hecke examine la façon dont les contacts sont créés et perdus dans des déformations relativement lentes du système, ce qui engendre de grandes fluctuations au niveau des forces de contact. Delannay, Duranteau & Tournat montrent que les avalanches, qui marquent la transition entre un état statique et un état « fluide » sont précédées par des événements précurseurs, comprenant des réarrangements intermittents de particules qui peuvent être observés dans des simulations numériques et détectés par leurs émissions acoustiques dans des expériences.

Lorsque les grains sont impliqués dans un mouvement rapide, tel que des écoulements sur des pentes, Kumaran considère des approches théoriques issues d'une analogie avec la théorie cinétique de Maxwell–Boltzmann des gaz denses. Jop résume ensuite les succès et les limites d'une rhéologie empirique pour les écoulements denses. Gray & Gajjar examinent la façon dont les écoulements hétérogènes de grains subissent un processus de ségrégation par la taille. Ils décrivent un cadre théorique qui rend compte de la ségrégation et du mélange observés dans les expériences, mais aussi de la formation d'ondes de choc séparant les zones respectivement riches et pauvres en particules de grandes tailles.

Ce numéro thématique traite également des systèmes diphasiques comprenant des grains et un fluide porteur (eau ou air), que l'on rencontre fréquemment dans les écoulements naturels. Turnbull, Bowman & McElwaine examinent les expériences et les modèles relatifs aux écoulements de débris très destructeurs qui entraînent un mélange de roches, de sédiments et d'eau vers la base des montagnes. Sovilla, McElwaine & Louge fournissent une description de la structure composite évolutive des avalanches de neige poudreuse à grande vitesse à partir de mesures détaillées et récentes sur tout un pan de montagne. Valance, Rasmussen, Ould El Moctar & Dupont passent en revue les modèles et les expériences en soufflerie relatifs au transport éolien du sable. Enfin, Courrech du Pont examine la dynamique surprenante des dunes de sable.

Alexandre Valance
Institut de physique de Rennes (IPR), CNRS UMR 6251, Université de Rennes-1,
35042 Rennes cedex, France
E-mail address: alexandre.valance@univ-rennes1.fr

Michel Louge
Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University,
192 Rhodes Hall, Ithaca, NY 14853, USA
E-mail address: MYL3@cornell.edu

Available online 11 February 2015