



HAL
open science

Matériaux granulaires en transformation : dynamique et structure

Aymeric Merceron, Pierre Jop

► **To cite this version:**

Aymeric Merceron, Pierre Jop. Matériaux granulaires en transformation : dynamique et structure. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444595

HAL Id: hal-03444595

<https://hal.science/hal-03444595>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Matériaux granulaires en transformation : dynamique et structure

A. MERCERON^a, P. JOP^a

- a. Surface du Verre et Interfaces, UMR 125 CNRS/Saint-Gobain
aymeric.merceron@saint-gobain.com
pierre.jop@saint-gobain.com

Résumé :

De nombreux procédés industriels requièrent la transformation d'un matériau granulaire dit réactif en un produit fini. Au cours de tels processus, un couplage fort apparaît entre la réponse de la microstructure granulaire et les transformations physico-chimiques qui affectent ses constituants. Nous étudions l'évolution d'un empilement granulaire fait de disques métalliques inertes au sein duquel sont placés des glaçons. Au cours de la fonte de ces grains réactifs, le milieu laisse apparaître des réarrangements complexes tant spatialement que temporellement. Par traitement d'images, nous analysons ce processus de réorganisations en évaluant l'ampleur spatiale et temporelle des événements ainsi qu'en caractérisant les modifications de la structure solide.

Abstract :

Turning a reactive granular material into an end product is very common in many industrial processes. In such process, a strong coupling appears between the granular microstructure and physicochemical transformations affecting its components. We study the evolution of a granular packing made of steel disks in which we placed dimethylsulfoxide blocks. While they melt, complex spatiotemporal rearrangements take place in the granular medium. By image processing, we analyze this reorganization process by measuring spatial and temporal amplitudes of events and characterizing modifications of the solid structure.

Mots clefs : milieux granulaires réactifs, réarrangements, microstructure

1 Introduction

Les matériaux granulaires sont omniprésents dans les secteurs industriels comme ceux de l'élaboration du verre. En effet, la matière première, sous forme de grains, doit être transformée au cours du procédé pour mener au produit fini. Les transformations peuvent être des diminutions de volume dues aux coefficients de dilatation, des changements de phase (fusion) ou même des réactions chimiques qui modifient la nature des grains. Au cours des vingt dernières années, de nombreuses études sur les milieux granulaires se sont attachées à analyser leurs comportements rhéologiques [1], des critères de stabilité mécanique [2] ou même les comportements de ce type de matériau lorsqu'ils sont humides [3,4]. Mais finalement peu d'études sont consacrées à l'impact de la structure granulaire sur le procédé [5], ce volet étant typiquement traité dans des systèmes de frittage de poudres.

Pourtant, la nature particulière du milieu est un paramètre important. En effet, l'organisation des contacts de l'empilement granulaire peut limiter les réactions possibles et limiter la cinétique globale du système et inversement. Les matériaux granulaires réactifs présentent donc un fort couplage entre la réponse de la microstructure granulaire et les transformations qui apparaissent sur ses constituants. De récents travaux commencent à explorer l'évolution de matériaux granulaires réactifs, mais ils existent finalement peu de systèmes expérimentaux [6,7]. Dans cette étude, nous avons entrepris de sonder expérimentalement la dynamique des réarrangements et son impact sur la structure d'un matériau granulaire réactif modèle.

2 Dispositif expérimental

Il se compose d'une cellule close 2D faite de deux parois en verre de 25cm×25cm séparée d'un espace de 3mm au sein de laquelle on place un matériau granulaire réactif modèle. Il s'agit d'environ 3000 disques métalliques bidisperses de diamètres 4 et 5mm et d'un ou deux glaçons de diméthylsulfoxyde de diamètre 4cm. La cellule est ensuite placée verticalement puis remplie d'un mélange d'eau et de diméthylsulfoxyde afin d'empêcher la formation de ponts capillaires lors de la fonte du glaçon. Enfin, l'empilement est confiné par l'application d'un poids uniforme au sommet de l'empilement. L'évolution du milieu est suivie tout au long de l'expérience par un appareil photo haute résolution avec des prises de vue toutes les 10 secondes (Figure 1). Toutes les informations utiles à notre analyse sont ensuite extraites par traitement d'images.

3 Evolution de la structure

Comprendre les réarrangements de la microstructure granulaire induits par les transformations permettrait de prévoir l'état final du système. Pour cela, il faut pouvoir sonder la dynamique de ces réarrangements tant dans le temps que dans l'espace tout au long de la fonte des grains réactifs. L'objectif principal de cette étude est de mesurer les modifications du réseau solide induites par des réarrangements largement distribués spatialement et temporellement.

En effet, au cours de la fonte du glaçon, on a des événements d'amplitudes très différentes, tant en quantité de grains mis en jeu qu'en terme de déplacements. De la même façon, ces réarrangements peuvent être autant isolés qu'étalés dans le temps. Globalement, le champ de déplacement est plutôt vertical (Figure 2a), analogue à celui d'un silo [8]. Au-delà de cette description, nous nous sommes

intéressés aux fluctuations au sein de l'empilement en calculant les déplacements relatifs entre chaque grain et leur voisinage. Ceci nous permet d'identifier des zones de mélange préférentielles (Figure 2b).

Par ailleurs, au fur et à mesure de sa fonte, le site réactif laisse un espace vacant que l'empilement remplit par le biais des réarrangements. Nous étudions ce phénomène de recompaction tant dans le temps que dans l'espace en mesurant les fractions solides à l'échelle du système et à l'échelle locale. L'évolution de la fraction solide globale n'est pas monotone en temps, elle dépend fortement des capacités de réorganisations du milieu. L'empilement atteint spontanément une certaine compacité qui ne lui permet pas d'accéder à tout l'espace laissé par le site réactif.

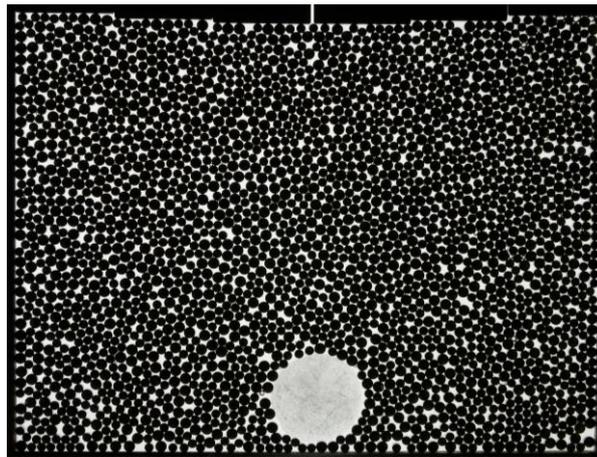


Figure 1 – Prise de vue au début d'une expérience.

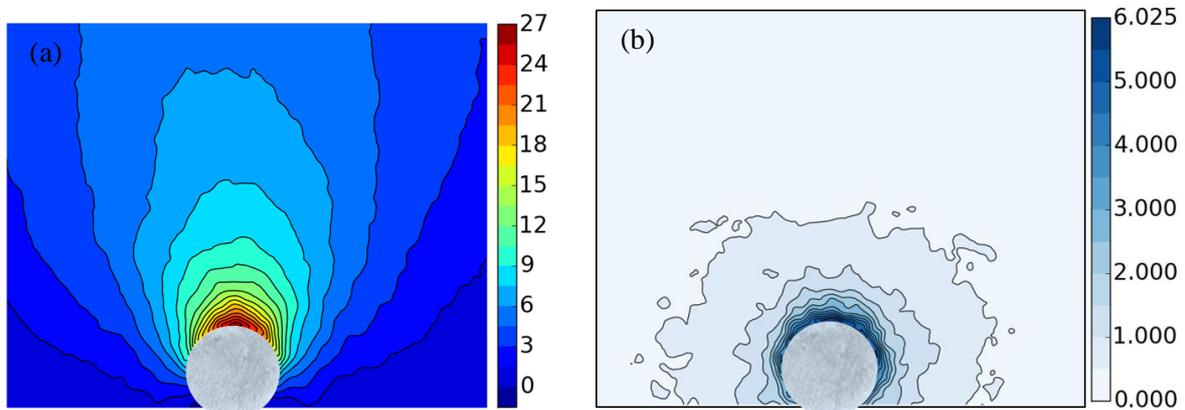


Figure 2 – (a) Champ des déplacements verticaux totaux en millimètres moyennés sur 20 manipulations. (b) Champ des déplacements relatifs totaux en millimètres moyennés sur 20 manipulations.

Références

- [1] P. Jop, Y. Forterre & O. Pouliquen, A constitutive law for dense granular flows, *Nature* 441, pp. 727-730 (2006).
- [2] M. Wyart, Stability at Random Close Packing, *Phys. Rev. Lett.*, 109, 125502 (2012).
- [3] S. Herminghaus, Dynamics of wet granular matter, *Adv. Phys.* 54, pp. 221-244 (2005).
- [4] N. Mitarai & F. Nori, Wet granular materials, *Adv. Phys.*, 55 pp. 1-45 (2006).
- [5] M. Chopinet, E. Gouillart, S. Papin, and M. Toplis « Influence of limestone grain size on glass homogeneity » *Glass. Technol. Euro. J. Glass Sci. Technol. A*, 51, 116 (2010).
- [6] S. Dorbolo, F. Ludewig, N. Vandewalle, and C. Laroche. How does an ice block assembly melt?, *Physical Review E*, 85(5):051310, (2012).
- [7] B. Turnbull, Scaling laws for melting ice avalanches, *Physical Review Letters*, vol.107, p. 58001, (2011).
- [8] J. Choi, A. Kudrolli, M. Z. Bazant, Velocity profile of granular flows inside silos and hoppers, *J. Phys.: Condens. Matter* 17 S2533, (2005).