

# Fluage et vieillissement d'un empilement de grains soumis à des cycles contrôlés de température

Thibaut Divoux, Hervé Gayvallet & Jean-Christophe Géminard

Université de Lyon, Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon,  
CNRS, 46 Allée d'Italie, 69364, Lyon cedex 07, France.  
`thibaut.divoux@ens-lyon.fr`

Un tas de sable est un système athermique : en effet, l'énergie potentielle d'un grain calculée sur une échelle de taille de l'ordre de son diamètre est d'une dizaine d'ordres de grandeur supérieure à l'énergie d'agitation thermique à température ambiante. Cette estimation répandue et tout à fait justifiée, masque cependant deux caractéristiques profondes des milieux granulaires. D'une part, la répartition des contraintes est inhomogène au sein du tas : des chaînes de force supportent l'essentiel des contraintes et donnent un rôle clef aux contacts entre grains. D'autre part, le diamètre d'un grain n'est pas sa seule échelle caractéristique : les grains ne sont jamais parfaitement lisses, et leur rugosité de surface fournit au moins une deuxième échelle pertinente. Ces deux ingrédients font des empilements granulaires des constructions athermiques essentiellement *fragiles* [1] ; une signature de cette fragilité est la grande sensibilité que présente un tas de sable aux variations de température extérieure. En effet, on sait depuis les expériences de C. Liu et S.R. Nagel que de faibles variations de température suffisent à provoquer des réorganisations au sein d'un empilement [2]. La dilatation des grains modifie fortement la distribution des chaînes de force [3], ce qui conduit à des avalanches internes [4], et à une restructuration macroscopique du tas. L'utilisation de variations périodiques de température se révèle donc être un moyen original d'induire la compaction d'un empilement [5,6].

Les mécanismes à l'origine d'un tel *fluage* d'une assemblée de grains ainsi que sa dynamique n'ont cependant pas fait l'objet de l'attention qu'ils méritent. Nous présentons ici une étude expérimentale de la dynamique résolue en temps d'une colonne de grains soumise à des cycles de température [7]. Nous montrons que cette dynamique est lente, qu'elle dépend fortement de l'amplitude des cycles de température imposés et qu'elle présente des signes manifestes de vieillissement. Nous discuterons les grandes caractéristiques de ce processus de compaction, et comment la compaction thermique se compare à la compaction mécanique (tapping [8], cisaillement [9], etc). Enfin, nous détaillerons la limite des cycles de température de faible amplitude qui place l'empilement au voisinage de la transition de blocage. Tous ces résultats incitent à voir un empilement de grains comme un système modèle de solide amorphe, et les variations contrôlées de température le cadre expérimental adapté pour tester des idées récentes quant aux réarrangements locaux (structure quadrupolaire) dans ce type de milieux [10].

## Références

1. M.E. Cates, J.P. Wittmer, J.P. Bouchaud and P. Claudin, Phys. Rev. Lett. **81**, 1841 (1998).
2. C. Liu and S.R. Nagel, Phys. Rev. Lett. **68**, 2301 (1992) ; C. Liu Phys. Rev. B **50**, 782 (1994).
3. E. Clément, Y. Séréro, J. Rajchenbach, and J. Duran, in Proceedings of the *III<sup>rd</sup>* Intern. Conf. on Powder & Grains in Durham, p 349, R.P. Behringer and J.T. Jenkins editors (Balkema, Rotterdam, 1997).
4. P. Claudin and J.P. Bouchaud, Phys. Rev. Lett. **78**, 231 (1997).
5. J.-C. Géminard, *Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Joseph Fourier, Grenoble I, p. 32 (2003).
6. K. Chen *et al.*, Nature **442**, 257 (2006).
7. T. Divoux, H. Gayvallet and J.-C. Géminard, Phys. Rev. Lett. **101**, 148303 (2008).
8. J.B. Knight *et al.*, Phys. Rev. E **51**, 3957 (1995). P. Richard *et al.*, Nature Materials **4**, 121 (2005).
9. O. Pouliquen *et al.* Phys. Rev. Lett. **91**, 014301 (2003). M. Toiya *et al.* Phys. Rev. Lett. **93**, 088001 (2004).
10. M. Tsamados, A. Tanguy, F. Léonforte and J.-L. Barrat, Eur. Phys. J. E **26**, 283 (2008).