

Scénario dynamique de fluidisation d'un solide granulaire

A. PONS^a, A. AMON^b, T. DARNIGE^a, J. CRASSOUS^b, E. CLÉMENT^a

a. PMMH, ESPCI, UMR CNRS 7636 and Université Paris 6 & Paris 7, 75005 Paris

b. Université Rennes 1, Institut de Physique de Rennes (UMR UR1-CNRS 6251), Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, axelle.amon@univ-rennes1.fr

Résumé :

Nous présentons des résultats démontrant la fluidisation d'un solide granulaire loin de son seuil d'écoulement. L'étude d'un modèle visco-élastique générique, prenant en compte les effets de vieillissement et de rajeunissement du matériau nous permet de proposer un scénario original de liquéfaction des solides amorphes sous leur seuil dynamique. Une étude expérimentale d'un solide granulaire cisailé, soumis à de très faibles fluctuations de contrainte autour d'une valeur imposée, nous permet de mettre en évidence ce phénomène dans le cas d'un système amorphe modèle.

Abstract :

We present experimental and theoretical results demonstrating the fluidization of a granular solid under its Coulomb threshold. The study of a generic visco-elastic model which takes into account ageing and rejuvenation of the material allows us to propose an original scenario of the liquefaction of amorphous solid under their dynamical threshold. An experimental study of a sheared granular solid, submitted to small fluctuations around an average constant shear stress, allows us to evidence this phenomenon in the case of a model amorphous material.

Mots clefs : fluidization, yield-stress fluids, creep, secular drift, granular materials, two-times perturbation analysis

1 Résumé étendu

Les descriptions actuelles des mécanismes à l'origine de la plasticité dans les amorphes reposent sur l'existence de réarrangements locaux dont l'accumulation conduit à la formation de l'écoulement plastique au sein du matériau [1]. Un des points clés de ces théories est lié au fait que lors d'un événement plastique localisé il y a une redistribution à longue portée de la contrainte qui est susceptible de déclencher d'autres réarrangements. Cette redistribution peut alors être considérée comme l'origine d'un bruit mécanique qu'il a été proposé de modéliser par une température effective [2]. Cependant, le fait qu'une analogie formelle puisse être faite entre des fluctuations mécaniques et une température dans un scénario "à la Eyring" est débattu actuellement [3].

Nous proposons un modèle dynamique du mécanisme de fluidisation des amorphes par des fluctuations mécaniques, différent d'un scénario "à la Eyring" et ne nécessitant pas l'introduction d'une température effective. Nous montrons que la combinaison d'un effet de mémoire (vieillessement) et de la non-linéarité des équations (rajeunissement dû au cisaillement) conduit à une convergence de la viscosité effective du solide amorphe vers une valeur finie en présence de petites fluctuations mécaniques. Le mécanisme sous-jacent à ce phénomène dynamique est une dérive séculaire, c'est-à-dire une accumulation de très petits effets sur des temps très longs. Nous obtenons par une analyse perturbative d'un modèle rhéologique générique de fluide à seuil [4] l'expression analytique de cette viscosité dans un cas modèle [7]. Cette analyse est basée sur la séparation des deux échelles de temps caractéristiques du système : le temps "rapide" des oscillations et le temps "lent" caractérisant l'évolution de la réponse moyenne.

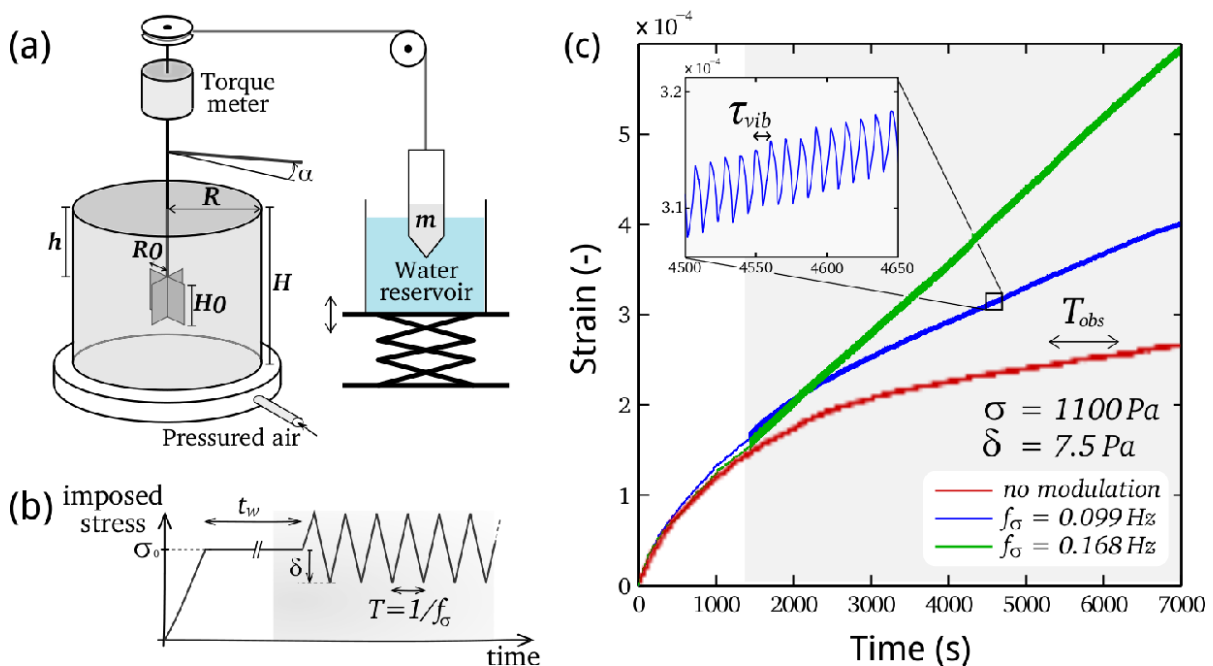


FIGURE 1 – (a) Dispositif expérimental. (b) Contrainte imposée durant une expérience : rampe de contrainte pour atteindre la valeur de consigne σ_0 , maintenue constante pendant t_w , puis modulation autour de cette valeur moyenne. (c) Déformation mesurée au cours du temps. En l'absence de modulation (courbe rouge), on observe un fluage logarithmique. En présence de modulation (courbes verte et bleue), le fluage devient linéaire, le taux de déformation est constant.

Pour valider nos prédictions analytiques, nous avons testé ce scénario sur un solide granulaire soumis à une contrainte de cisaillement constante, sous le seuil de Coulomb (voir figure 1(a)). Le granulaire a alors une réponse élastique aux temps courts et présente un fluage logarithmique aux temps longs (voir figure 1(c), courbe rouge) [5], qui a en effet pour origine l'accumulation d'événements plastiques localisés [6]. Nous superposons à la contrainte de cisaillement imposée une modulation de très faible amplitude (voir figure 1(b)). Les courbes verte et bleue de la figure 1(c) montrent que le fluage logarithmique est alors remplacé par une évolution linéaire de la déformation avec le temps : le solide granulaire se comporte comme un fluide visqueux. Nous comparons la viscosité mesurée aux prédictions théoriques et nous étudions expérimentalement la distribution spatiale de la déformation durant l'écoulement. Notre modèle théorique permet d'interpréter l'ensemble de nos résultats [7].

Références

- [1] Argon, A.S. *Acta Metallurgica* **27**, 47-58 (1979).
- [2] Sollich, P., Lequeux, F., Hébraud, P. & Cates M.E. *Phys. Rev. Lett.* **78**, 2020–2023 (1997).
- [3] Nicolas A., Martens K., & Barrat J.-L., *EPL* **107**, 44003 (2014).
- [4] Derec, C., Ajdari, A. & Lequeux, F. *Eur. Phys. J. E* **4**, 355-361 (2001).
- [5] Nguyen, V.B., Darnige, T., Bruand, A. & Clément, E. *Phys. Rev. Lett.* **107**, 138303 (2011).
- [6] Amon A., Nguyen, V.B., Bruand, A., Crassous J. & Clément, E., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 135502 (2012).
- [7] Pons, A., Amon, A., Darnige, T., Crassous, J., and Clément, E., *arXiv :1412.3288*.