

Instabilité d'érosion d'une interface granulaire sèche-humide.

G. LEFEBVRE^a, P. JOP^a

a. Surface du Verre et Interfaces, UMR 125 CNRS/Saint-Gobain
39 Quai Lucien Lefranc, 93303 Aubervilliers FRANCE

Résumé :

L'addition de liquide dans un milieu granulaire peut lui conférer une cohésion importante, et lui permettre de se comporter comme un substrat solide. Nous étudions l'évolution d'un agrégat fixe de matériau granulaire humide soumis à un écoulement de grains secs. Dans la géométrie confinée d'une cellule mince, l'ensemble est maintenu par les parois, et l'écoulement sec arrache des grains à l'agrégat. Ainsi, par érosion granulaire, la forme de l'interface est modifiée. Un traitement d'image permet d'obtenir l'interface de la zone humide, et d'analyser le phénomène. Nous avons mis en place une expérience d'érosion d'un tas humide cohésif dans une cellule mince, entre deux plaques de verre. Le matériau granulaire sec est injecté au sommet du tas cohésif à débit constant. Nous observons déstabilisation d'un profil initial plat dans certaines conditions. Le couplage entre la contrainte d'écoulement et la forme de l'interface crée des structures périodiques, qui se propagent vers le haut par le processus d'érosion.

Abstract:

Liquid may give strong cohesion properties to a granular medium, and confers a solid-like behavior. We study the evolution of a fixed aggregate of wet granular matter subjected to a flow of dry grains. In the confined geometry of a thin cell, the aggregate is hold by the walls, and the dry matter flowing around will pull grains out of the aggregate. Thus, by granular erosion, the shape of the interface is modified. We have set-up an erosion experiment on a heap-shaped aggregate, in an open cell between vertical plates. Dry grains are injected with a constant rate at the top of the cohesive heap. We observe destabilization of an initial flat profile in certain conditions. The coupling between the flow stress and the shape of the interface creates periodical structures, which propagate to the top through the erosion process.

Mots clefs : milieux granulaires, ponts capillaires, instabilité, érosion.

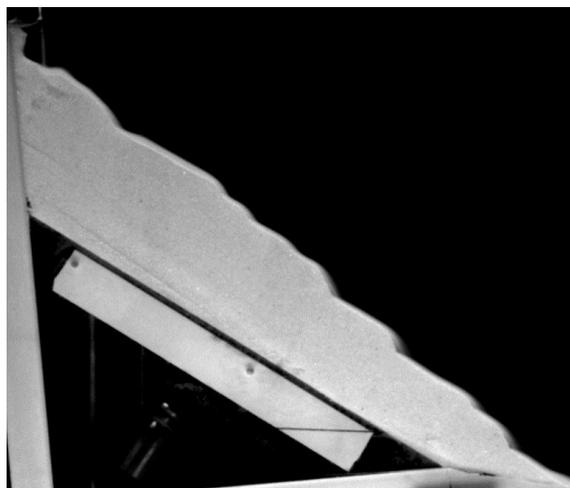


FIG. 1 – Vue latérale de l'expérience d'érosion. On peut voir la déstabilisation de la forme du tas.

Introduction

La cohésion d'un matériau granulaire apportée par du liquide peut être forte [1], et lui permettre de se comporter comme un substrat solide suivant les sollicitations auxquelles il est soumis. Dans des conditions de mélange où deux phases, sèche et humide, sont en contact, on peut s'attendre à une évolution de morphologie du substrat cohésif. Des échanges de grains entre les différentes zones peuvent a priori se produire. Plus précisément, des grains initialement secs vont s'agglomérer à l'agrégat existant si la formation de nouveaux ponts capillaires est permise par la distribution du liquide. D'autres seront éventuellement détachés du substrat humide, si une contrainte suffisante s'exerce sur les liaisons entre grains. C'est ce mécanisme d'érosion en particulier qui est étudié ici, d'un point de vue expérimental.

1 Expériences

L'expérience est réalisée dans une cellule mince ouverte, qui consiste en deux plaques de verre, séparées d'une distance de 6 mm. On utilise des billes de verre de taille comprise entre 200 et 400 μm . Le matériau humide est préparé en mélangeant une petite quantité d'eau dans les billes. Ce dernier est alors introduit dans la cellule de façon à former un tas plan. La proportion en liquide dans le milieu est fixée à 1% en masse, soit une teneur en liquide d'environ 3% en rapport volume d'eau sur volume total occupé par les grains, W . L'écoulement de grains secs de même nature est apporté par un entonnoir, au sommet du tas. L'expérience a été reproduite pour différents angles de tas initiaux, de 31° à 51° , avec des teneurs en liquide identiques, et débit identique. On observe ensuite le déroulement de l'expérience en prenant régulièrement des clichés tels que la figure 1. A l'aide d'un traitement d'image, on obtient la forme de l'interface du tas cohésif.

2 Observations

Ce système présente la particularité d'engendrer la déstabilisation de l'interface initialement plane. Des structures apparaissent spontanément et sont propagées par le processus d'érosion. Cette instabilité apparaît sur toute la gamme d'angle de pentes initiales que nous avons testées, excepté pour les valeurs les plus faibles inférieures à 32° . L'écoulement de rivières en montagne produit des structures similaires sur des fonds érodables. L'instabilité correspondante a été étudiée dans [1] et semble être analogue à celle que l'on observe ici avec des matériaux granulaires.

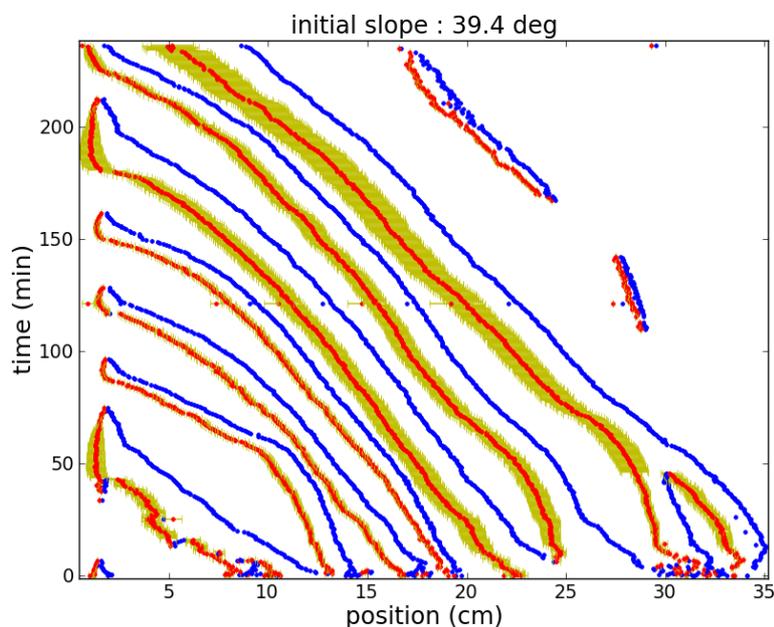


FIG. 2 – Diagramme spatio-temporel représentant l'évolution des structures pendant l'expérience. Les points rouges sont les maxima locaux des profils auxquels on a retranché leur pente moyenne. Les points bleus sont les minima, et la largeur des barres jaunes représente la hauteur de chaque marche. On peut voir la propagation des structures vers l'amont de l'écoulement.

A partir des diagrammes obtenus tels que la figure 2, on peut déduire la vitesse de propagation des structures, et la relier aux aspects morphologiques. La hauteur des marches, par exemple, semble corrélée à la vitesse comme on peut le voir sur la figure 3. En effet, les marches de grandes tailles demandent à transporter davantage de matière afin de les propager. Cependant, une grande variabilité des vitesses pour une même taille de marche est observée, ce qui semble indiquer une dynamique complexe, et un couplage potentiellement non-local entre la forme de l'interface et la dynamique d'érosion.

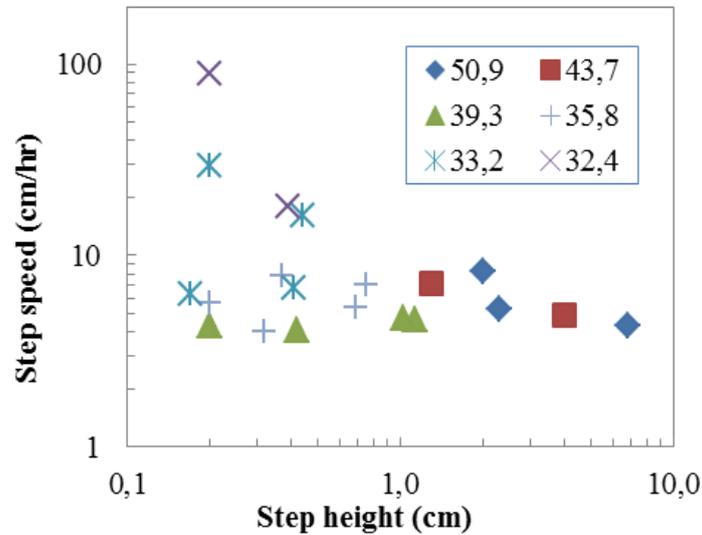


FIG. 3 – Vitesse de propagation des marches en fonction de leur hauteur.

Références

- [1] Herminghaus, S. Dynamics of wet granular matter. *Advances in Physics* 54, 221-261 (2005).
- [2] Parker, G., Norihiro, I., *J. Fluid Mech.* vol. 419 (2000);