

Pénétration d'une tige flexible dans un milieu granulaire dense

Algarra¹, Kolb¹, Vandembroucq¹ & Lazarus²

¹ PMMH, CNRS UMR 7636, UPMC and Université Paris Diderot, ESPCI-ParisTech, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05, France

² Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS UMR 7190, UPMC, F-75005 Paris, France

`nicolas.algarra@espci.fr`

Nous nous intéressons au problème de pénétration d'une tige flexible dans un milieu granulaire dense proche de sa transition de blocage. Cette expérience est un cas d'interaction fluide/structure un peu particulière où le fluide est un milieu granulaire. Plus largement, ce travail s'inscrit dans les problématiques d'écoulement de fluides autour d'objets flexibles qui adaptent leur forme pour être davantage profilés et minimiser leur force de traînée (« stratégie du roseau ») [1] [2] [3]. La tige élastique utilisée est une lame de mylar de longueur L et d'épaisseur t ajustables. Imposer ses dimensions géométriques revient à fixer la force caractéristique que la tige est capable de soutenir sans flamber, ou de façon équivalente la force typique de pénétration qu'elle peut exercer. Vu la dépendance de la force critique de flambage en L^{-2} , on s'attend à des mécanismes de pénétration très différents suivant la longueur de la tige. Mais d'un autre côté, on peut jouer sur la compacité ϕ du milieu granulaire et donc sur la façon dont la tige est étreinte latéralement. Augmenter la compacité reviendrait à consolider latéralement la tige et à éviter sa déstabilisation. Dès lors, on peut se demander s'il n'y a pas une longueur de tige optimale qui minimiserait le travail nécessaire à la pénétration pour une compacité granulaire donnée. D'autre part, une autre question est de savoir quel sera le chemin emprunté par la tige et comment il dépendra de la distribution de tailles de pores entre les grains et de leur facilité à se réarranger.

Nous avons donc étudié la pénétration de tiges de différentes longueurs (L variant de 1 à 5 cm, soit de 2 à 10 diamètres de grains) dans des milieux granulaires 2 D de compacité ϕ (ϕ compris entre 79% et 83%) proche de la compacité de blocage, et pour une vitesse fixe $V_0=5/6$ mm/s correspondant à un régime d'écoulement granulaire quasi-statique. A différents stades de pénétration, nous mesurons les forces et moments au point d'encastrement et déterminons par analyse d'images les déformées de la tige ainsi que les mouvements des grains. Nous avons identifié une transition d'un régime d'oscillation de l'extrémité libre de la tige à un régime de basculement où la tige ploie irréversiblement d'un côté. Cette reconfiguration de la tige est associée à une dissymétrisation de la compacité du milieu granulaire de part et d'autre de la tige, avec la création d'une cavité vide de grains en aval de la tige. La déformée expérimentale de la tige est comparée à différents profils obtenus par des simulations sur des poutres d'Euler-Bernoulli pour différentes répartitions d'efforts, de façon à comprendre le couplage entre la reconfiguration de la tige et la réorganisation des grains.

Références

1. E de Langre, A Gutierrez, and J Cosse. On the scaling of drag reduction by reconfiguration in plants. *COMPTEs RENDUS MECANIQUE*, 340(1-2) :35–40, JAN-FEB 2012.
2. S Alben, M Shelley, and J Zhang. Drag reduction through self-similar bending of a flexible body. *NATURE*, 420(6915) :479–481, DEC 5 2002.
3. L Schouveiler and A Boudaoud. The rolling up of sheets in a steady flow. *JOURNAL OF FLUID MECHANICS*, 563 :71–80, 9 2006.