

Proposition de thèse de doctorat

Comportement quasi-statique de poudres cohésives : expériences et simulations numériques.

Directeur de thèse : Jean-Noël Roux (jean-noel.roux@ifsttar.fr)

Co-encadrant : Anh Minh Tang (anh-minh.tang@enpc.fr)

Laboratoire d'accueil: Laboratoire Navier (<https://navier.enpc.fr>), unité mixte ENPC-IFSTTAR-CNRS

Financement: Contrat doctoral IFSTTAR (<https://www.ifsttar.fr/offres-theses/index.php>)

Contexte et problématique

Les matériaux constitués de grains solides interagissant par des contacts adhésifs se rencontrent dans différents domaines d'application (dont le génie civil, les industries agro-agro-alimentaires et pharmaceutiques). On propose d'en étudier les propriétés à partir d'un modèle générique de poudre [1], assemblage de grains sphériques dont les contacts peuvent transmettre une traction, dont il sera possible de relier les comportements macroscopiques à leurs origines micromécaniques, à l'échelle des grains et des contacts. De tels systèmes ont été étudiés expérimentalement [1,2,3,4,5] et par la simulation numérique de type « éléments discrets » (DEM) [5,3,6,7] sous deux aspects : la compression isotrope ou œdométrique [7,3,2], avec l'effondrement des structures initialement lâches ; et le cisaillement maintenu (l'« état critique » au sens de la géomécanique, ou les écoulements inertiels) [3,6,5]. Entre ces deux situations extrêmes, l'évolution quasi-statique, telle qu'étudiée en mécanique des sols [4], du matériau granulaire cohésif, avec sa grande variété de microstructures possibles, du fait (Fig. 1) de la stabilisation de structures lâches, reste peu connue.

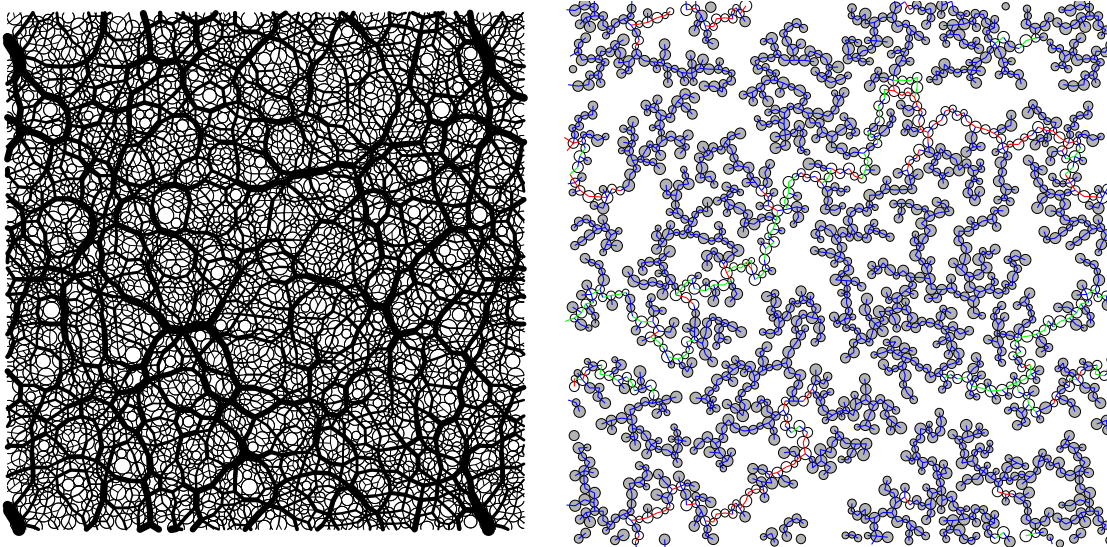


FIG. 1. Aspect du réseau des contacts dans un assemblage de grains 2D en équilibre sous pression isotrope sans (à gauche), ou avec (à droite) cohésion. (Les matériaux modèles de la thèse seront étudiés en dimension 3, en simulation comme au laboratoire).

Objectifs et déroulement de la thèse

On se propose d'explorer et de caractériser ce régime de comportement, d'identifier les paramètres importants, de relier les grandeurs macroscopiques (critère de plasticité, résistance au cisaillement, dilatance ou contractance) aux ingrédients microscopiques du modèle. Peut-on identifier un régime élastique et un comportement élastoplastique ? Comment efficacement classifier les états initiaux ? Quelle est l'influence de caractéristiques des contacts comme la résistance au roulement ? Telles sont les questions que l'on compte traiter, le recours à la simulation numérique permettant une exploration détaillée de l'effet des paramètres micromécaniques. Les modèles traités par DEM auront vocation à s'appliquer à des situations génériques d'assemblages de particules cohésives non browniennes. L'étude du régime solide, quasi-statique, permettra de s'affranchir des effets de l'écoulement d'un éventuel fluide interstitiel.

En parallèle avec les simulations numériques, utilisant les codes de calcul développés au laboratoire, des expériences seront menées à bien sur différents systèmes bien choisis : poudres de bentonite ou argiles modèles, microbilles de polystyrène... Ces matériaux, dont on veillera à contrôler l'humidité (séchage à l'étuve pour éliminer l'eau adsorbée), seront assemblés par différentes techniques (pluviation sous vide, fluidisation et sédimentation). Ils seront soumis à des essais de compression œdométriques et triaxiaux. Il pourra être fait appel à la microtomographie X pour contrôler l'homogénéité des états initiaux et suivre l'évolution de la structure interne pendant les essais. Lors de la compression triaxiale, la déformation volumique de l'échantillon (qui est normalement mesurée par le volume d'eau interstitielle drainée pour un échantillon saturé d'eau) sera suivie par un système de double cellule développé dans l'équipe Géotechnique [8].

La confrontation des simulations aux expériences doit aboutir à une comparaison semi-quantitative des comportements, et à un éclairage utile de leurs origines microscopiques.

Les recherches pourront donner lieu à des échanges utiles avec nos collègues du laboratoire qui étudient les argiles, aux échelles moléculaire comme macroscopique, ou les gels colloïdaux (qui forment des structures lâches analogues).

Pré-requis

La thèse convient à un(e) étudiant(e) en Master de Recherche (M2) avec une bonne formation de base en mécanique des matériaux, intéressé(e) par l'expérience et par la modélisation numérique.

Candidature

Les dossiers de candidature (CV, lettre de motivation, bulletin de notes du M2, lettres de recommandation) sont à envoyer aux encadrants par courriel avant le 15 mars 2019.

Références

- [1] A. Castellanos. *Advances in Physics*, Vol. 54, No. 4, 263–376 (2005).
- [2] V.-D. Than, *Compression behavior of loose wet granular materials: experiment and discrete numerical simulation*, thèse de doctorat, université Paris Est, 2017.
- [3] V.-D. Than, S. Khamseh, A.-M. Tang, J.-M. Pereira, J.-N. Roux. *Basic mechanical properties of wet granular materials : a DEM study*, *ASCE J. Engineering Mechanics*, 143(1) Special Issue : SI, C4016001 (2017).
- [4] J. K. Mitchell, K. Soga. *Fundamentals of soil behavior*. Wiley, 2005.
- [5] M. Badetti, A. Fall, F. Chevoir, J.-N. Roux. *Shear strength of wet granular materials : macroscopic cohesion and effective stress*. *Eur. Phys. J. E* **41** : 68 (2018)
- [6] S. Khamseh, J.-N. Roux, F. Chevoir, *Flow of wet granular materials : a numerical study*, *Physical Review E* **92**, 022201 (2015)
- [7] F. Gilibert, J.-N. Roux, A. Castellanos, *Computer simulation of model cohesive powders: Plastic consolidation, structural changes, and elasticity under isotropic loads*, *Physical Review E* **78**, 031305 (2008)
- [8] Y. J. Cui, A. M., Tang, D. Marcial, J. Terpereau, G. Marchadier, X. Boulay. *Use of a Differential Pressure Transducer for the Monitoring of Soil Volume Change in Cyclic Triaxial Test on Unsaturated Soils*. *Geotechnical Testing Journal*, 30 (3), 227-233 (2007)