

Soutenance de Thèse



LABORATOIRE de MÉCANIQUE et GÉNIE CIVIL

David APONTE



Jeudi 19 décembre 24 à 14:00

Amphithéâtre Jean Jacques Moreau

860, rue de Saint Priest, Bat. 2 34090 Montpellier

« Experimental and Numerical Investigation of Geometric Cohesion in Granular Systems Composed of Highly Non-Convex Particles »
co-tutelle avec l'Université de los Andes de Bogota

Le jury est composé de :

Stéphane BONELLI, Directeur de Recherche - INRAE (Rapporteur)

Riccardo ARTONI, Directeur de Recherche - Université Gustave Eiffel (Rapporteur)

Bernardo CAICEDO, Professeur, Universidad de los Andes, (Examinateur)

Pierre BREUL, Professeur, Clermont Auvergne INP (Examinateur)

Thierry RUIZ, Professeur, Université de Montpellier (Examinateur)

Stéphanie DEBOEUF, Chargée de Recherche - CNRS, Université Pierre et Marie Curie (Examinatrice)

Emilien AZÉMA, Professeur, Université de Montpellier - IUF (Directeur de Thèse)

Nicolas ESTRADA, Professeur Associé, Universidad de los Andes (co-Directeur de Thèse)

Mathieu RENOUF, Chargé de Recherche CNRS, Université de Montpellier (co-Encadrant)

Jonathan BARÉS, Ingénieur de recherche CNRS, Université de Montpellier (co-Encadrant)

Résumé

La résistance au cisaillement des matériaux granulaires est souvent expliquée à l'aide du critère de rupture de Mohr-Coulomb. Ce critère repose sur deux paramètres clés : l'angle de frottement interne et la cohésion. L'angle de frottement interne est généralement lié à la rugosité et à la forme des particules, tandis que la cohésion est liée aux forces d'adhésion entre les grains. Des recherches récentes ont ouvert un nouveau domaine d'étude, soulignant la possibilité d'effets cohésifs dans les matériaux granulaires sans qu'il soit nécessaire de recourir à des forces adhésives. Ces études ont montré que, dans les systèmes composés de particules de forme allongée (comme les particules en forme de bâtonnet) ou fortement non convexes (comme les particules en forme d'étoile), des effets cohésifs macroscopiques peuvent se développer en raison de la forme des particules et du frottement de contact. Cette thèse présente une étude sur ce phénomène, communément appelé « cohésion géométrique ». Nous avons étudié la stabilité des systèmes colonnaires à l'aide d'expériences et de simulations numériques. Notre objectif était d'étudier la relation entre la forme des particules et le développement de la cohésion géométrique au sein du système. Nos résultats, conformes aux études précédentes, réaffirment que la forme des particules est un facteur clé dans l'émergence de la cohésion géométrique, apportant ainsi un nouvel éclairage à ce phénomène. En variant systématiquement la forme des particules au sein d'une même famille géométrique, nous avons pu déterminer les formes optimales pour maximiser les effets de cohésion. Nous avons également mis en évidence une relation claire entre la friction de contact et la cohésion géométrique. Enfin, nous avons analysé la densité et la connectivité des systèmes bidimensionnels, et identifié les caractéristiques microstructurales permettant l'émergence d'un comportement solide dans ce type de systèmes granulaires.

Abstract

Shear strength in granular materials is often explained using the Mohr-Coulomb failure criterion. This criterion relies on two key parameters: internal friction angle and cohesion. The internal friction angle is typically linked to the roughness and shape of the particles, while cohesion is related to the adhesive forces acting between the grains. Recent research has introduced a new area of study, emphasizing the potential for cohesive effects in granular materials without the need for adhesive forces. These studies have shown that in systems composed of particles with elongated shapes (such as rod-shaped particles) or highly non-convex shapes (like star-shaped particles), macroscopic cohesive effects can develop as a consequence of particle shape and contact friction. This thesis presents an investigation on this phenomenon, commonly termed "geometric cohesion". We investigated the stability of columnar systems using both experiments and numerical simulations. Our objective was to investigate the relationship between particle shape and the development of geometric cohesion within the system. Our results reaffirm, in line with previous studies, that the shape of the particles is a key factor in the emergence of geometric cohesion, shedding new light on this phenomenon. By systematically varying the shape of the particles within a given geometric family, we were able to determine the optimal shapes for which the cohesive effects are maximized. We also found a clear relationship between contact friction and geometric cohesion. Finally, we analyzed the density and connectivity of two-dimensional systems, identifying the microstructural features that enable the emergence of solid-like behavior in this type of granular systems.

