

Stage de Master 2

Élaboration et caractérisation de grains cohésifs pour l'étude de milieux granulaires à polydispersité évolutive

Encadrement	Patrick RICHARD (patrick.richard@univ-eiffel.fr) Riccardo ARTONI (riccardo.artoni@univ-eiffel.fr)
Laboratoire	MAST-GPEM, Université Gustave Eiffel, Nantes, France https://gpem.univ-gustave-eiffel.fr/
Durée	5 à 6 mois, temps plein
Période souhaitée	1 ^{er} semestre 2027
Gratification	Gratification légale de stage en vigueur
Poursuite possible	Thèse de doctorat (3 ans) sur le même sujet

Contexte

Les milieux granulaires sont omniprésents dans notre environnement, qu'il soit industriel (dans les secteurs agroalimentaire, du génie civil ou pharmaceutique, par exemple) ou naturel, comme lors de glissements de terrain ou d'avalanches.

Lorsque les grains présentent des interactions cohésives, ils peuvent s'agréger en amas maintenus par des liaisons susceptibles de se rompre sous l'effet de sollicitations mécaniques. Sous cisaillement, la rupture progressive de ces liaisons intergranulaires entraîne une évolution de la microstructure, caractérisée notamment par une fragmentation des amas et une dispersion croissante de leur taille. Cette fragmentation peut à son tour favoriser l'apparition de phénomènes de ségrégation, modifiant les propriétés d'écoulement à l'échelle macroscopique. Il s'établit ainsi un couplage entre l'évolution de la microstructure et le comportement rhéologique du matériau. Malgré son importance dans de nombreuses applications, les mécanismes gouvernant ce couplage entre microstructure, rupture des liaisons et comportement rhéologique demeurent encore largement incompris.

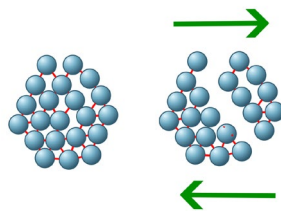


Figure : Un amas formé de grains cohésifs (les liaisons cohésives sont représentées en rouge). Sous l'effet d'un cisaillement certaines liaisons se rompent et conduisent à la fragmentation de l'amas.

Ce stage constitue la première étape d'un projet de recherche plus large, qui a vocation à se poursuivre par une thèse de doctorat au laboratoire MAST-GPEM (Université Gustave Eiffel, Nantes). Il permettra au/à la stagiaire de développer les bases scientifiques pour aborder ce sujet dans la durée.

Objectifs du stage

Ce stage aura pour objectif principal le développement et la caractérisation d'un milieu granulaire cohésif modèle afin d'étudier la rupture d'amas cohésifs sous contrainte. Tout d'abord, il s'agira de mettre au point un protocole de fabrication de grains cohésifs (billes collées) assurant un contrôle précis de leur taille et de la résistance de leurs liaisons, avant d'en caractériser la réponse mécanique via des essais de rupture. Le cœur du travail reposera ensuite sur la réalisation d'essais de cisaillement dans un cellule (voir figure suivante) pour quantifier l'impact de la fragmentation sur la distribution de taille des grains et l'émergence de la ségrégation. Enfin, selon l'avancement du travail et les appétences du candidat, une

ouverture numérique en éléments discrets (DEM) pourra être envisagée pour confronter expérimentation et simulation.



Figure : schéma (gauche) et photo (droite) de la cellule de cisaillement. Les grains sont situés entre le fond et le plafond de la cellule. Le premier tourne à vitesse constante, le deuxième est soumis à une pression constante.

Programme indicatif

Le premier mois du stage sera consacré à l'étude bibliographique et à la prise en main expérimentale du dispositif. Cette phase comprendra la synthèse des grains cohésifs (billes collées), la mise au point du protocole de fabrication ainsi que les premiers essais de caractérisation de la résistance des liaisons intergranulaires.

L'adaptation de la cellule de cisaillement aux grains cohésifs fera l'objet des deux mois suivants. Les expériences de cisaillement seront alors réalisées avec un suivi par imagerie et des mesures de force, afin d'étudier la rupture progressive des liaisons et son influence sur l'évolution de la granulométrie.

Les deux mois suivants seront dédiés à l'analyse quantitative des données expérimentales, notamment à travers l'étude de l'évolution des distributions de taille et des signatures de ségrégation. Une comparaison avec les résultats obtenus à l'aide d'un modèle DEM pourra être envisagée.

Enfin, la fin du stage sera consacrée à la rédaction du mémoire, à la préparation de la présentation orale ainsi qu'à la discussion des perspectives, notamment en vue d'une éventuelle poursuite en thèse. Ce planning est susceptible d'être ajusté en fonction de l'avancement des travaux et de la durée effective du stage.

Compétences requises

- Étudiant(e) en Master 2 (ou dernière année d'école d'ingénieur) en physique, mécanique, génie civil, génie des procédés ou domaine connexe.
- Goût prononcé pour le travail expérimental en laboratoire.
- Rigueur, autonomie et curiosité scientifique.
- Des notions de programmation (Python par exemple) sont un plus, notamment pour le traitement d'images et de données.

Environnement de travail

Le stage se déroulera au sein du laboratoire MAST-GPEM (Université Gustave Eiffel, Nantes), qui dispose de dispositifs expérimentaux dédiés à l'étude des milieux granulaires (cellules de cisaillement, moyens d'imagerie) ainsi que de moyens de calcul pour la simulation DEM. Le/la stagiaire sera encadré(e) par Patrick RICHARD et Riccardo ARTONI, chercheurs spécialistes du domaine, et intégré(e) à une équipe de recherche active sur cette thématique. Une ingénieure d'études, Eléonore MIGUET, participera également à l'encadrement pour les aspects techniques.

Perspective de poursuite en thèse

Ce stage est la première étape d'un projet de recherche destiné à se prolonger par une thèse de doctorat sur le même sujet. Le/la stagiaire ayant démontré sa motivation et ses aptitudes pour la recherche sera encouragé(e) et accompagné(e) pour candidater au financement doctoral correspondant.

Candidature

Merci d'adresser un CV et une courte lettre de motivation, accompagnés des relevés de notes de M1 (et de M2 si disponibles), à Patrick RICHARD et Riccardo ARTONI (coordonnées ci-dessus).

Master 2 Internship

Development and Characterization of Cohesive Grains for the Study of Granular Media with Evolving Polydispersity

Encadrement	Patrick RICHARD (patrick.richard@univ-eiffel.fr) Riccardo ARTONI (riccardo.artoni@univ-eiffel.fr)
Laboratoire	MAST-GPEM, Université Gustave Eiffel, Nantes, France https://gpem.univ-gustave-eiffel.fr/
Durée	5 à 6 mois, full-time
Période souhaitée	First half of 2027
Gratification	Current legal internship allowance
Poursuite possible	3-year PhD thesis on the same topic

Background

Granular media are ubiquitous in our environment, whether in industrial settings (for example, in the food-processing, civil engineering, or pharmaceutical sectors) or in natural phenomena such as landslides and avalanches.

When grains exhibit cohesive interactions, they can aggregate into clusters held together by cohesive bonds that may break under mechanical stress. Under shear, the progressive failure of these intergranular bonds leads to changes in the microstructure, notably through cluster fragmentation and an increasing dispersion of cluster size. This fragmentation can, in turn, promote segregation phenomena, thereby modifying flow properties at the macroscopic scale. A coupling is thus established between microstructural evolution and the rheological behavior of the material. Despite its importance in many applications, the mechanisms governing this coupling between microstructure, bond breakage, and rheological behavior remain largely poorly understood.

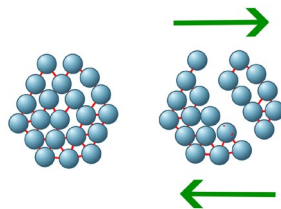


Figure : A cluster formed of cohesive grains (cohesive bonds are shown in red). Under shear stress, some bonds break, leading to the fragmentation of the cluster.

This internship is the first step of a broader research project that is intended to continue with a PhD thesis at the MAST-GPEM laboratory (Université Gustave Eiffel, Nantes). It will provide the intern with the scientific foundations needed to pursue this research topic in the longer term.

Internship objectives

The main objective of this internship is to develop and characterize a model cohesive granular medium in order to study the failure of cohesive clusters under mechanical loading. First, the intern will develop a protocol for manufacturing cohesive grains (glued beads) that provides precise control over their size and bond strength, and will characterize their mechanical response through bond-breaking tests. The core of the work will then involve shear tests in a shear cell (see figure below) to quantify the impact of fragmentation on grain-size distributions and the emergence of segregation. Finally, depending on the progress of the work and the candidate's interests, a numerical study based on the Discrete Element Method (DEM) may be considered to compare experiments with simulations.

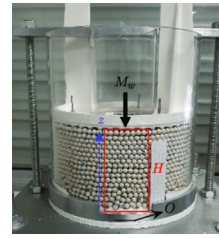
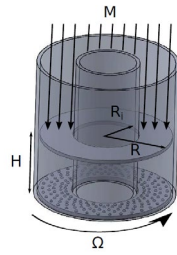


Figure : Sketch (left) and photo (right) of the shear cell. The grains are located between the bottom and the top of the cell. The former rotates at a constant speed, while the latter is subjected to a constant pressure."

Indicative schedule

The first month of the internship will be devoted to a literature review and to becoming familiar with the experimental setup. This phase will include the preparation of cohesive grains (glued beads), the development of the manufacturing protocol, and initial tests to characterize the strength of the intergranular bonds.

The following two months will focus on adapting the shear cell to cohesive grains. Shear experiments will then be performed with imaging and force measurements to study the progressive failure of the bonds and its influence on the evolution of the grain-size distribution.

The next two months will be devoted to the quantitative analysis of the experimental data, in particular by studying the evolution of size distributions and segregation signatures. A comparison with results obtained using a DEM model may also be considered.

Finally, the end of the internship will be devoted to writing the internship report, preparing the oral presentation, and discussing future prospects, particularly with a view to a possible continuation as a PhD student. This schedule may be adjusted depending on the progress of the work and the actual duration of the internship.

Required skills

- Master's student (M2) or final-year engineering school student in physics, mechanics, civil engineering, process engineering, or a related field.
- Strong interest in experimental laboratory work.
- Rigor, autonomy, and scientific curiosity.
- Basic programming skills (e.g., Python) are a plus, particularly for image and data processing.

Working environment

The internship will take place at the MAST-GPEM laboratory (Université Gustave Eiffel, Nantes), which has experimental facilities dedicated to the study of granular media (shear cells and imaging equipment), as well as computational resources for DEM simulations. The intern will be supervised by Patrick RICHARD and Riccardo ARTONI, experts in this field, and will join an active research team working on this topic. A research engineer, Eléonore MIGUET, will also contribute to the supervision, particularly on technical aspects.

Prospects for a PhD

This internship is the first step of a research project intended to continue with a PhD thesis on the same topic. An intern who demonstrates motivation and research aptitude will be encouraged and supported in applying for the corresponding doctoral funding.

Application

Please send a CV and a short cover letter, together with your M1 transcripts (and M2 transcripts if available), to Patrick RICHARD and Riccardo ARTONI (contact details above).