

## PROPOSITION DE THÈSE

Mécanique des matériaux granulaires et simulation numérique  
Rentrée universitaire 2020

Laboratoire 3SR UMR 5521 Grenoble

**Titre :** Étude par la méthode des éléments finis multi-particules de la rupture par cisaillement en conditions confinées dans un milieu granulaire constitué de particules fortement déformables

**Title :** *Shear-triggered failure within granular media involving deformable particles: Multi-Particle Finite Element Study*

**Encadrement :** Barthélémy Harthong, Didier Imbault

**Lieu :** Laboratoire 3SR, 1270 rue de la Piscine, 38610 Gières

**Financement :** Bourse du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation

**Salaire brut mensuel :** 1768.55€

**Durée du contrat :** 36 mois

**Début de la thèse :** octobre/novembre 2020

**Présentation détaillée du sujet** (*English version below*)

**Contexte :**

Depuis quelques années, des études mettant en collaboration plusieurs laboratoires du site grenoblois ont eu pour objet l'utilisation du procédé de compression de poudres pour fabriquer des produits ou des semi-produits à base de poudres biosourcées (en particulier l'amidon) afin d'obtenir des matériaux composites aux propriétés mécaniques intéressantes. Dans ce contexte, le procédé de compression de poudre a effectivement l'avantage de requérir assez peu d'énergie, et plus particulièrement de permettre la mise en forme sans transformation préalable de produits disponibles sous la forme de poudres ou de fibres courtes comme l'est précisément une grande partie des produits d'origine végétale. Outre les développements récents dédiés aux poudres bio-sourcées, le procédé de compression couplé ou non au procédé de frittage est actuellement très répandu dans l'industrie pour la mise en forme très grandes séries de poudres métallique (automobile), céramique (plaquettes usinage), pharmaceutique (médicament).

Un problème majeur pour la mise en forme par compression de poudre est la fissuration liée au cisaillement qui résulte d'un défaut créé pendant la compression. En particulier, ces défauts génèrent les problèmes connus par exemple dans l'industrie pharmaceutique sous le nom de « capping » ou de délamination. Actuellement, aucun modèle numérique ne peut les

prédire et seules de longues procédures de mise au point par essais-erreurs sur presse industrielles permettent de les éviter.

Le développement d'outils numériques capables de prédire ce genre de comportement nécessite de développer des modèles de comportement très précis. En effet, lors de la compression peuvent apparaître des zones très localisées dans lesquels les chemins de sollicitations sont très particuliers (par exemple, fort cisaillement à proximité des singularités géométriques). Ce sont précisément ces zones qui initient des défauts conduisant au rejet pur et simple de pièces ainsi fabriquées. Le besoin de modèles de comportement complexes se fait donc ressentir pour des zones représentant une toute petite fraction du volume mis en jeu.

Sujet :

Le projet de thèse propose d'utiliser une approche numérique nommée méthode des éléments finis multi-particules, qui consiste à construire un échantillon numérique constitué d'environ un millier de particules 3D maillées en éléments finis. Cet échantillon est ensuite soumis à des sollicitations mécaniques suivant une campagne d'expérimentation numérique, c'est-à-dire que la réponse de l'échantillon aux sollicitations imposées est post-traitée de la même manière que le serait un essai expérimental. L'intérêt de cette approche est double : tout d'abord, les essais numériques permettent de réaliser des expériences physiquement impossibles en raison des contraintes techniques ; ensuite, l'échantillon numérique est totalement maîtrisé et ne présente aucune inconnue et aucune variation entre deux chemins de chargement. Enfin, l'ensemble des réponses associé à l'ensemble des sollicitations imposées permettent une analyse fine et une compréhension approfondie du comportement de l'échantillon. Cette compréhension des mécanismes de rupture et de décohésion au sein de l'échantillon constitue l'objectif de la thèse.

#### **Profil du candidat :**

Les objectifs de la thèse requièrent une formation initiale (diplôme ingénieur ou master) en mécanique des solides et des matériaux. En effet les travaux de thèse sont axés sur un développement de compétences dans le domaine du comportement mécanique à plusieurs échelles des milieux granulaires. Par ailleurs un goût et savoir-faire dans le domaine des éléments finis et/ou programmation Python ou équivalent seraient appréciés.

**Date limite de candidature :** Mercredi 20 mai 2020

Envoi des candidatures : CV + lettre de motivation + relevé de notes à [didier.imbault@3sr-grenoble.fr](mailto:didier.imbault@3sr-grenoble.fr), [barthelemy.harthong@3sr-grenoble.fr](mailto:barthelemy.harthong@3sr-grenoble.fr)

*Over the past years, several studies in collaboration between several research groups of the Grenoble area have focused on the use of the powder compaction technique to fabricate*

composite materials with good mechanical properties from biosourced powders (starch in particular). In this context, the powder compaction process allows the shaping of products or semi-products directly from available constituents (i.e., powder or fibres) without any transformation. The powder compaction process is widespread and applied in particular to industrial production of automotive parts, ceramic or hardmetal parts or pharmaceutical tablets.

A major problem in the powder compaction shaping process is the apparition of shear-triggered cracks resulting from compaction-induced defects. In particular, the capping or delamination problems which are well-known in the pharmaceutical industry originate from such defects. Currently, due to the lack of appropriate numerical models, only costly trials-and-errors procedures can be developed to avoid them.

The development of numerical tools which would accurately reproduce this type of behaviour requires to develop very accurate constitutive laws. Indeed, localised zones in which the powder mass undergo very special loading paths can appear during compaction (for instance, highly-sheared zones close to geometrical singularities). These zones initiate the defect which in the end cause the pressed part to be simply rejected. The need for complex constitutive models is actually necessary for localised zones which only constitute a minor fraction of the total volume of the part.

The PhD project uses the multi-particle finite-element method, in which a numerical sample made of approximately 1,000 3D meshed particles is built. The sample is then submitted to mechanical loads following a numerical experimentation campaign. In other word, the mechanical response of the sample to the imposed loading is post-treated in the same manner than any numerical result. There is a double advantage in this method: first, the numerical tests allow for experiences that are technically impossible to actually carry out, and second, the numerical sample is totally controlled and no ingredient of the simulation is unknown. In the end, all the responses to all the imposed loads allow for a through analysis and a deep understanding of the sample's constitutive behaviour. This understanding of the failure and decohesion mechanisms within the sample is the actual objective of the PhD.