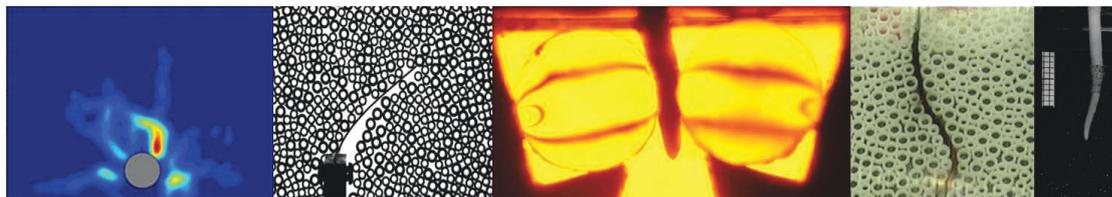


Synthèse des travaux  
présentée à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6  
pour obtenir le  
**Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches**  
par  
**Evelyne Kolb**

Maître de Conférences à l'UPMC  
Laboratoire Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH)  
UMR 7636 - ESPCI - UPMC - Paris Diderot

**Grains, Graines et Racines :**  
**Ecoulements et réorganisations**  
**de milieux granulaires denses**



Soutenance le 11 décembre 2014  
devant le jury composé de :

Martine Ben Amar	
Arezki Boudaoud	Rapporteur
Yves Couder	
Hélène Delanoë-Ayari	
Jean-Yves Delenne	Rapporteur
Alexia Stokes	
Nicolas Vandewalle	Rapporteur

## Résumé

---

Ce manuscrit est essentiellement consacré à l'écoulement de milieux granulaires denses interagissant avec des obstacles de différentes natures (parois, objets rigides, tiges flexibles ou racines en croissance). Dans un premier temps, nous étudions la rhéologie de milieux granulaires en présence de parois, lorsque les grains sont confinés ou s'écoulent hors d'un silo. Puis, nous abordons la question des réorganisations d'assemblées granulaires sous gravité produites par une perturbation ponctuelle et cyclique, ou par des vibrations. Nous présentons ensuite les résultats obtenus sur les champs de déplacements des grains et la force de traînée produite par l'écoulement d'un milieu granulaire autour d'un obstacle rigide et fixe, à l'approche de la transition de blocage. Dans une dernière partie, nous décrivons nos travaux actuels sur l'interaction entre un milieu granulaire et une tige flexible. Puis nous développons nos travaux sur la bio-mécanique des plantes et l'effet d'une contrainte mécanique sur la morphogenèse racinaire, dans le but de comprendre les mécanismes de pénétration de racines dans des sols sableux.

## Abstract

---

This manuscript is essentially devoted to the flow of dense granular media interacting with obstacles of different kinds (walls, rigid objects, flexible beams or growing roots). First, we study the rheology of granular materials, when the grains are confined in a silo or when they flow outside of it. We next deal with the reorganization of granular assemblies under gravity due to a small and cyclic perturbation or to vibrations. We then present our results obtained on the grain flow fields and drag force experienced by a fixed and rigid object placed in the flow of a granular material close to the jamming transition. In the last part, we describe our current results on the interaction between a flexible beam and a granular material. We then focus on plant biomechanics and on the effect of a mechanical stress on root morphogenesis, in order to understand the mechanisms of root penetration into sandy soils.