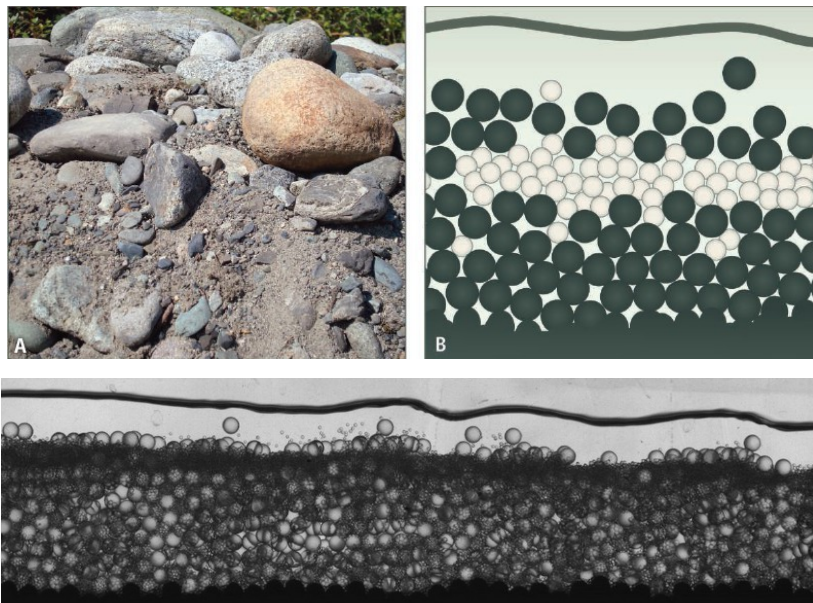


Sujet de thèse pleinement financé à IRSTEA, Université Grenoble Alpes  
**Modélisation de la ségrégation en transport sédimentaire  
par éléments discrets couplés.**

Direction de thèse : Philippe Frey [philippe.frey@irstea.fr](mailto:philippe.frey@irstea.fr) - Julien Chauchat [julien.chauchat@grenoble-inp.fr](mailto:julien.chauchat@grenoble-inp.fr)

**Mots clés** : transport de sédiments, charriage, ségrégation, modélisation par éléments discrets

De nombreux écoulements naturels se présentent sous la forme d'un mélange de particules solides dans un fluide. Le charriage consiste dans le transport des sédiments grossiers restant en contact avec le lit des cours d'eau. Le charriage joue un rôle fondamental dans la morphologie de ces derniers, la formation des paysages et a de fortes implications dans les inondations en montagne et en écologie. Sur le plan scientifique, la compréhension réelle du transport solide au-delà de la simple description reste une question ouverte notamment en raison d'une granulométrie étendue entraînant une ségrégation des sédiments responsable de structurations complexes (fig. A).



A. pavage en rivière B. Ségrégation par tamisage cinétique C. Incision du lit par ségrégation de grains fins  
A. River armoring B. Segregation by kinetic sieving C. degradation by fine material segregation

Des expériences ont été réalisées à IRSTEA avec une distribution bi-disperse (deux tailles) dans un canal quasi-bidimensionnel à forte pente. On distingue deux mécanismes: la percolation spontanée et le tamisage cinétique. La percolation spontanée est observée lorsque le lit grossier est statique et que les particules fines sont suffisamment petites pour s'infiltrer dans la matrice formée par les particules grossières sous le seul effet de la gravité. Le tamisage cinétique se produit lorsque le lit de particules grossières est en mouvement, une infiltration apparaissant pour des particules fines à peine plus petites que le lit grossier (Frey and Church 2009, 2011). Nous disposons de deux jeux de données de mélanges bidisperses de particules sphériques :

- Sur un lit grossier en mouvement, avec un faible flux de particules à peine plus petites (fig. B) ;
- Sur un lit grossier soumis à un flux de particules plus fines (Dudill et al. 2016): après introduction des fines, Il est observé soit un exhaussement soit une incision selon les conditions de taille et de flux des fines(Fig.C).

Ce sujet de thèse porte sur la modélisation du charriage et de la ségrégation et il fait suite à un premier travail de thèse (R. Maurin) au cours duquel un modèle numérique Eulérien-Lagrangien couplant le modèle aux éléments discrets (DEM) 3D open source Yade ([yade-dem.org](http://yade-dem.org)) à un solveur fluide 1D (Reynolds Averaged Navier Stokes) a été développé. Ce code de calcul a été validé à l'aide de données expérimentales

obtenues avec une seule taille de particules dans le canal expérimental à Irstea (Maurin *et al.* 2015). Ce code a ensuite été utilisé pour caractériser la rhéologie de l'écoulement granulaire formant le lit sédimentaire (Maurin *et al.* 2016).

L'objectif principal de la thèse proposée est d'étendre le code de calcul au cas polydisperse afin d'étudier le phénomène de ségrégation. Dans un premier temps, le modèle sera validé à l'aide de jeux de données bidisperses évoqués ci-dessus en terme de concentration relative, trajectoires et vitesse des particules. Dans un deuxième temps, le modèle sera utilisé pour effectuer une expérimentation numérique visant à investiguer l'espace des paramètres comme le rapport de taille dans le cas bidisperse ou la distribution granulométrique dans le cas polydisperse. Les résultats obtenus seront comparés aux théories existantes (par exemple Savage and Lun 1988) ou observations récentes (par exemple van der Vaart *et al.* 2015), afin de proposer un modèle de la ségrégation en charriage. L'objectif final est de proposer un modèle permettant de représenter le processus de ségrégation dans les modèles continus.

## Contacts

P. Frey, directeur de thèse [philippe.frey@irstea.fr](mailto:philippe.frey@irstea.fr) Tel. 04 76 76 27 71 <http://www.irstea.fr/en/frey>

J. Chauchat, co-directeur de thèse [Julien.Chauchat@grenoble-inp.fr](mailto:Julien.Chauchat@grenoble-inp.fr) Tel. 04 76 82 50 89

<http://www.legi.grenoble-inp.fr/people/Julien.Chauchat/>

<http://www.irstea.fr/la-recherche/unites-de-recherche/etgr/canal-particulaire-pour-letude-du-charriage>

Ce doctorat s'inscrit dans le cadre du projet ANR SegSed (financement acquis) et sera basée à IRSTEA, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, à Grenoble (domaine universitaire) en collaboration avec le LEGI, écoulements géophysiques et industriels et le 3SR, sols, solides, structures risques (B. Chareyre). Le projet ANR implique des partenaires français tel que l'Institut de Physique de Rennes, le laboratoire Hubert Curien (Saint Etienne) et étrangers tel que le department of Geography, University of British Columbia (Canada), the school of Mathematics, University of Manchester (UK) et le Naval Research Laboratory, Office of Naval Research (USA). Le/la candidat(e) recruté(e) sera amené(e) à présenter ses travaux dans le cadre des réunions du projet et il/elle aura l'occasion d'interagir avec l'ensemble des partenaires.

## Profil du candidat

*Plusieurs profils possibles :*

Mécanique (fluide, solide ou sol)

Géophysique avec intérêt pour la mécanique

Physique des écoulements fluides et/ou granulaires

Expérience avérée de programmation dans un des langages suivant : python ou C++

Très bon niveau d'anglais

## Références

Dudill AR, Frey P, Church M, Lafaye de Micheaux H. 2016. Exploring the influence of a mobile bed surface upon infiltration. In: Constantinescu, Garcia, Hanes (Eds), River Flow, Iowa City, USA, July 11-14, pp. 963-968.

Frey P, Church M. 2009. How River Beds Move. *Science* **325**: (18 September 2009) 1509-1510.

Frey P, Church M. 2011. Bedload: A granular phenomenon. *Earth Surface Processes and Landforms* **36**(1): 58-69.

Maurin R, Chauchat J, Chareyre B, Frey P. 2015. A minimal coupled fluid-discrete element model for bedload transport. *Physics of Fluids* **27**(11): 113302.

Maurin R, Chauchat J, Frey P. 2016. Dense granular flow rheology in turbulent bedload transport. *Journal of Fluid Mechanics* **804**: 490-512.

Savage SB, Lun CKK. 1988. Particle-size segregation in inclined chute flow of dry cohesionless granular solids. *Journal of Fluid Mechanics* **189**: 311-335.

van der Vaart K, Gajjar P, Epely-Chauvin G, Andreini N, Gray J, Ancey C. 2015. Underlying asymmetry within particle size segregation. *Physical Review Letters* **114**(23): 10.1103.

Fully funded PhD subject at IRSTEA, Université Grenoble Alpes

## Modelling size-segregation in bedload sediment transport with a coupled discrete element method

Supervisors : Philippe Frey [Philippe.frey@irstea.fr](mailto:Philippe.frey@irstea.fr) - Julien Chauchat [julien.chauchat@grenoble-inp.fr](mailto:julien.chauchat@grenoble-inp.fr)  
(see figures, references and contacts in the French part)

**Keywords:** sediment transport, size segregation, bedload, discrete element modeling, fluid-grain coupling

Transport of bedload, the larger material that is transported in stream channels 'in contact' with the bed, has major consequences for public safety, for the management of water resources, and for environmental sustainability. Most particularly, in mountains, steep slopes drive intense transport of a wide range of grain sizes. An important reason for our limited ability to predict sediment flux is that we have no general understanding of grain-grain interactions in stream channels (Frey and Church 2009, 2011), the main reason being related to a very wide range of grain size leading to grain size sorting or segregation (Fig.A).

Two-size Experiments were carried out at IRSTEA in a two-dimensional mobile bed channel in a turbulent supercritical flow on steep slopes. Two different segregation mechanisms are distinguished. Kinetic sieving concerns a moving bed, where statistically void openings permit downward percolation of fine particles as large as those of the bed. By contrast, spontaneous percolation concerns the infiltration of fine grains into an immobile coarser bed under the mere effect of gravity. Two corresponding datasets are available:

- On a bed of moving coarse spherical particles, with a low rate of somewhat smaller particles (Fig B);
- On a coarse bed fed by a finer particle rate, either aggradation or degradation of the bed was observed (Dudill *et al.* 2016) depending on finer sediment size and rate (Fig.C)

A first PhD (R. Maurin) allowed us to couple the 3D Discrete Element Method (DEM) open source software Yade ([yade-dem.org](http://yade-dem.org)) with a RANS type turbulence solver (Reynolds average Navier Stokes).

The lagrangian DEM takes each individual particle into account with intergranular interactions modelled with simple laws (e.g. Coulomb friction). Gravity, contact forces and hydrodynamic forces permit to solve the dynamical behaviour of the system.

This code has been validated with the help of a dataset obtained with particles of the same size in the Irstea narrow flume (Maurin *et al.* 2015). This code has then be used to characterize the dense granular rheology in the bed (Maurin *et al.* 2016).

The objective of this PhD will consist in extending the code to the polydisperse case to study segregation. First, the new code will be validated with the help of the two-size mixture datasets described above in terms of relative concentration, velocities and trajectories. Then numerical experiments will explore wider conditions not easily accessible to experiments in terms of grain size ratio/grain size distribution or the fine feed rate. Results will be compared or contrasted to existing theories (e.g. Savage and Lun 1988) or recent observations (e.g. van der Vaart *et al.* 2015) in order to derive a new segregation model for bedload transport. The final objective is to propose a model able to represent the segregation process in continuous models.

### Framework

This exciting PhD is part of the ANR project Segsed and will be carried out at IRSTEA, National Institute in Science and Technology for Environment and Agriculture, Grenoble (University campus). Useful collaborations include LEGI, écoulements géophysiques et industriels and 3SR laboratory, sols, solides, structures, risques (B. Chareyre). The ANR project includes French partners (the Physics institute of Rennes and the Hubert Curien laboratory, St-Etienne) and foreign ones (Dept of Geography, UBC , Vancouver, Canada, School of mathematics, University of Manchester (UK) and the Naval Research Laboratory, ONR (USA). The applicant will have numerous opportunities to interact with all partners.

### Candidate profile

Background in mechanics or physics or Earth science, with a strong interest in modelling.

Required : a proven programming experience ( python, C++, ...) and a very good level of English.

Knowledge in fluid mechanics and/or in physics of granular media will be appreciated.