

Un modèle de contact lubrifié avec frottement pour la simulation numérique de milieux granulaires immergés

Quentin HOUSSIER, CMAP - Palaiseau

Baptiste DARBOIS-TEXIER, FAST - Orsay

Georges GAUTHIER, FAST - Orsay Loïc GOUARIN, CMAP - Palaiseau

Aline LEFEBVRE-LEPOT, CNRS, FdM CentraleSupélec - Gif Sur Yvette

Dans cet exposé on s'intéresse à la simulation de milieux granulaires denses formés de particules macroscopiques, enduites d'un fluide visqueux. Ces systèmes font apparaître des phénomènes physiques d'interaction entre particules proches qui sont également mis en jeu dans le cadre plus général des suspensions tels que la lubrification (effet du fluide interstitiel) ou le contact solide. Ces milieux apparaissent dans des domaines d'applications variés (traitements des eaux, dynamique côtière, étude du transport des globules dans le sang). Le comportement macroscopique de tels systèmes (instabilités de concentration ou de blocage lors de l'écoulement par exemple) est particulièrement complexe et encore mal compris.

La simulation numérique de ces systèmes doit permettre une avancée dans la compréhension de ces phénomènes. La modélisation des contacts entre grains a alors une importance primordiale sur le comportement macroscopique. Ces contacts mènent à des interactions singulières pour lesquelles des schémas numériques adaptés doivent être développés. On se place ici dans le cadre de modèles de type "Dynamique des contacts" développés par J.J. Moreau, faisant appel à l'analyse convexe non lisse.

De tels schémas ont été développés pour la prise en compte de contacts secs avec friction [1] ou avec lubrification [2]. Ils se ramènent, à chaque itération en temps à la résolution d'un problème de minimisation sous contraintes convexes. Dans ces schémas, les forces de contact peuvent être vues comme multiplicateurs de Lagrange du problème contraint. Le problème dual correspondant, nous permet d'écrire ces schémas dans un même cadre, où les forces minimisent une même énergie discrète, sous une contrainte dépendant du modèle choisi.

Des résultats expérimentaux montrent qu'il est indispensable de prendre en compte à la fois les effets de la lubrification et les contacts frottants [3]. En se basant sur les formulations précédentes, on présente dans cet exposé un nouveau modèle permettant de représenter la transition entre les contacts visqueux et frottants. Le schéma correspondant se ramène à chaque instant à résoudre un nouveau problème d'optimisation sous contrainte. Celui-ci est résolu grâce à un algorithme de type gradient projeté accéléré couplé à un algorithme de point fixe. On présentera les résultats de simulations numériques illustrant la convergence de l'algorithme vers des solutions acceptables physiquement.

- [1] H. Bloch, A. Lefebvre-Lepot. *On convex numerical schemes for inelastic contacts with friction*. ESAIM : Proceedings and Surveys, **75**, 24–59, 2023.
- [2] A. Lefebvre. *Numerical simulation of gluey particles*. ESAIM : Mathematical Modelling and Numerical Analysis, **43(1)**, 53–80, 2009.
- [3] H. Perrin, M. Wyart, B. Metzger, Y. Forterre. *Nonlocal effects reflect the jamming criticality in frictionless granular flows down inclines*. Physical Review Letters, **126(22)**, 228002, 2021.