



---

## Méthodes numériques non-régulières avec stabilisation de contraintes pour des problèmes de contact frottant

---

**Présentation du laboratoire d'accueil** Au cœur du Plateau de Saclay (Île-de-France), l'institut CEA LIST focalise ses recherches sur les systèmes numériques intelligents. Porteurs d'enjeux économiques et sociétaux majeurs, ses programmes de R&D sont centrés sur les systèmes interactifs (intelligence ambiante), les systèmes embarqués (architectures, ingénierie logicielle et systèmes), les capteurs et le traitement du signal (contrôle industriel, santé, sécurité, métrologie).

Dédiés à la recherche technologique, les 700 ingénieurs-chercheurs et techniciens de l'Institut ont pour objectif de favoriser l'innovation et son transfert autour de partenariats industriels pérennes. La culture projet et l'excellence scientifique des équipes de l'Institut sont au cœur de cette ambition.

Au sein du CEA LIST, le Laboratoire de Simulation Interactive (LSI) développe une plateforme de simulation multi-physique interactive mettant en jeu un ou plusieurs utilisateurs en exploitant les technologies de Réalité Virtuelle (RV) et de Réalité Mixte (RM). Cette plateforme, dénommée XDE Physics, permet de simuler la manipulation et les interactions de l'ensemble des systèmes, pièces rigides, articulées ou déformables (câbles) directement sur les maquettes numériques. Elle permet également de valider des scénarios incluant l'opérateur pour étudier l'ergonomie du poste de travail par l'introduction de son avatar dans la simulation dynamique. Centrées sur les noyaux de simulation interactive, les activités de l'équipe vont jusqu'à la mise au point d'applicatifs, répondant aux contextes d'usage de ses partenaires industriels (manufacturing pour l'automobile et l'aéronautique, énergie, santé).

**Description du stage** La dynamique de systèmes multi-corps avec contacts intermittents est intrinsèquement non-régulière, les trajectoires de tels systèmes comportant notamment des discontinuités de vitesse dues aux impacts. Les formulations et méthodes numériques non-régulières [1] permettent de modéliser et simuler de manière robuste et efficace des systèmes de ce type, avec de nombreuses applications industrielles. En particulier, les schémas en temps dits à « capture d'événement », comme le schéma de Moreau–Jean, sont bien adaptés aux simulations en temps réel.

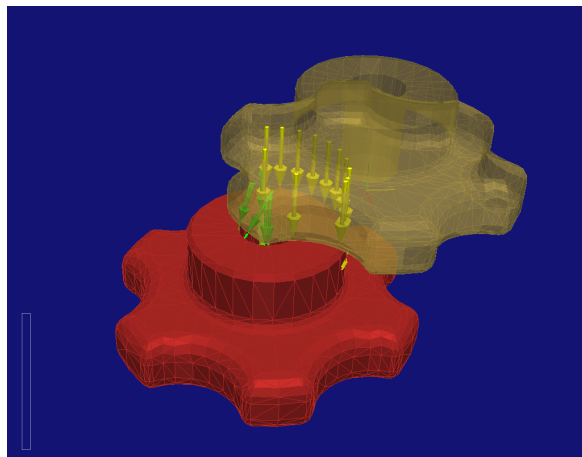
Un des éléments clés de la robustesse du schéma de Moreau–Jean est le traitement en vitesse des contraintes unilatérales modélisant la non-pénétration des solides, mais celui-ci présente l'inconvénient que les contraintes unilatérales en position ne sont pas strictement respectées, ce qui peut être problématique pour certaines applications. Des travaux récents [2] ont permis d'apporter des réponses à ces difficultés en s'inspirant des approches du type GGL [3] pour la stabilisation des contraintes bilatérales, mais ces résultats sont pour l'instant limités au cas des contacts unilatéraux sans frottement.

L'objectif de ce stage est d'ajouter à ce type de méthode numérique la possibilité de prendre en compte du frottement au contact, le modèle de base étant la loi de frottement de Coulomb. Un code de maquettage existant en Python pourra servir de base aux premières expérimentations numériques sur des cas simples. On s'intéressera notamment au comportement énergétique du schéma. En cas de résultats concluants et si le calendrier du stage le permet, une implémentation en C++ au sein de XDE Physics permettrait de réaliser des benchmarks plus complexes.

**Mots-clefs** Systèmes mécaniques non-réguliers, stabilisation des contraintes, contact frottant.

### Références bibliographiques

- [1] Vincent Acary et Bernard Brogliato. *Numerical Methods for Nonsmooth Dynamical Systems*. Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics. Springer, 2008.
- [2] Olivier Brùls, Vincent Acary et Alberto Cardona. *Simultaneous enforcement of constraints at position and velocity levels in the nonsmooth generalized- $\alpha$  scheme*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2014, vol. 281, pp.131-161.



Contact frottant entre corps rigides dans XDE Physics.

- [3] C.W. Gear, B. Leimkuhler et G.K. Gupta. *Automatic integration of Euler-Lagrange equations with constraints*. Journal of Computational and Applied Mathematics, 1985, vol. 12–13, pp 77-90.

**Profil recherché pour la candidature et caractéristiques du stage**

<i>Niveau demandé</i>	Ingénieur, Master 2
<i>Durée</i>	6 mois
<i>Rémunération</i>	Entre 700€ et 1300€ suivant la formation
<i>Lieu du stage</i>	CEA LIST, Nano-Innov, Palaiseau
<i>Compétences requises</i>	Simulation numérique, langage Python et/ou C++.

Il est prévu que ce stage puisse mener à une thèse en collaboration avec Vincent ACARY de l'Inria Grenoble Rhone-Alpes (équipe TRIPOP).