

## Des outils de simulation de rupture dynamique de matériaux hétérogènes (Xper) et d'écoulements granulaires immergés (ApoloGRIFF).

F. Perales<sup>1,2</sup>, V. Topin<sup>1,2</sup>, F. Dubois<sup>2,3</sup>, Y. Monerie<sup>1,2</sup>, B. Piar<sup>1</sup>, A. Wachs<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IRSN, DPAM, CE Cadarache, BP3 - 13115 St Paul-Lez-Durance Cedex, France, [vincent.topin@irsn.fr](mailto:vincent.topin@irsn.fr)

<sup>2</sup> MIST Laboratory, CNRS - IRSN - Université Montpellier 2

<sup>3</sup> LMGC, CNRS-Université Montpellier 2, case 048, Place Eugène Bataillon, F-34095 cedex 5, France

<sup>4</sup> IFP Energies nouvelles, Fluid Mechanics Department, 1&4 avenue de Bois Préau, 92852 Rueil Malmaison Cedex, France

**Résumé** — Ces travaux concernent les outils numériques développés dans le cadre des recherches de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire relatives à la sûreté des réacteurs à eau sous pression. Plus précisément, les études présentées dans ce papier portent d'une part sur la rupture dynamique des matériaux fortement hétérogènes et d'autre part sur le comportement d'un ensemble de particules immergées dans un fluide.

La modélisation de la fissuration dynamique des matériaux hétérogènes repose sur l'approche Non Smooth Fracture Dynamics (NSFD), basée sur une modélisation multicorps volumique-surfacique dans le formalisme de la méthode Dynamique des Contacts (DC) [2, 5]. La plate-forme numérique associée, appelée **Xper** (eXtended cohesive zone models and PERiodic homogenization), permet de simuler la rupture dynamique de matériaux hétérogènes et à gradients de propriétés, de l'amorçage de multifissures jusqu'à la ruine du matériau ainsi que des interactions complexes post-rupture [5, 6].

L'étude des mélanges fluide/grains repose sur un couplage de type Multiplicateur de Lagrange/ Domaines Fictifs [8], basé sur une méthode par éléments finis de bas degrés inf-sup stables pour la modélisation de la phase fluide et une approche discrète de type DC pour la phase granulaire [7]. L'outil numérique associé, appelé **ApoloGRIFF** (enhAnced Particle interactiOn using Lmgc90 sOftware for GRains In Fluid Flow <sup>1</sup>), permet de traiter des problèmes d'écoulement non compressibles complexes.

Ces plate-formes reposent sur le couplage mixte et en programmation orientée objet de la bibliothèque logicielle parallélisée (mémoire distribuée) PELICANS (Plate-forme Evolutive de LIbraries de Composants pour l'Analyse Numérique et la Simulation) [4] pour la résolution des problèmes volumiques (Eléments finis ou Volumes Finis) et du logiciel LMGC90 (Logiciel de Mécanique Gérant le Contact) [1, 3] pour la prise en compte d'interactions complexes (contact, frottement, adhésion, ...) entre les particules dans le formalisme DC adapté aux problèmes de contacts non réguliers. Les outils de simulations ont été appliqués avec succès aux problèmes complexes de ruptures de gaines de combustible nucléaire (FIG. 1) et de béton numérique (FIG. 2) (Xper) [5] et à la dynamique d'effondrement d'une colonne de grains dans un fluide lors d'une avalanche sous marine (ApoloGRIFF) (FIG. 3) [7].

<sup>1</sup>l'origine de l'acronyme GRIFF vient du logiciel PeliGRIFF développé par l'IFP Energies Nouvelles. PeliGRIFF utilise un code de Dynamique Moléculaire pour les interactions entre les particules à la place de la Dynamique des Contacts.

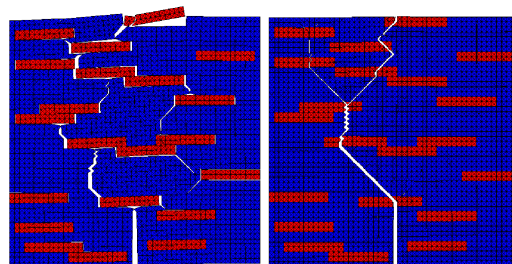


FIG. 1 – Xper : influence de l'interface matrice/inclusions : adhésion faible (gauche) et adhésion forte (droite).

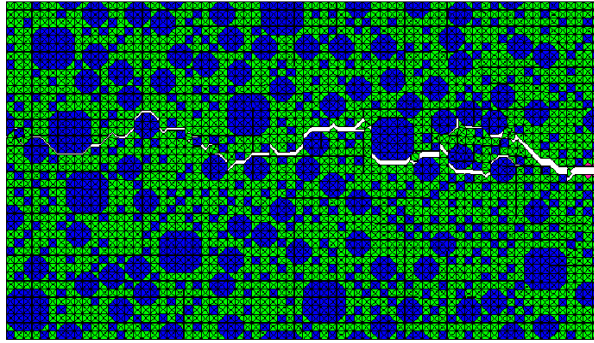


FIG. 2 – Xper : faciès de rupture d'un béton numérique.

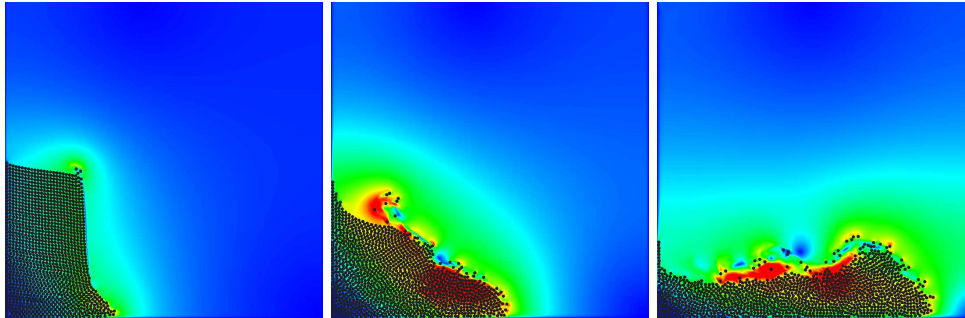


FIG. 3 – ApoloGRIFF : effondrement d'une colonne de grains mono-disperse dans un fluide. Les vitesses dans le fluide sont représentées en niveau de couleur.

## Références

- [1] F. Dubois and M. Jean. *Une plateforme de développement dédiée à la modélisation des problèmes d'interaction* 6ème colloque national en calcul de structures, Potier-Ferry, M. and Bonnet, M. and Bignonnet, A., 1 :111-118, 2003.
- [2] M. Jean. *The non-smooth contact dynamics method* Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 177 :235-257, 1999.
- [3] LMGC90. *Web site : <http://www.lmgc.univ-montp2.fr/~dubois/LMGC90/>*
- [4] PELICANS. *Web site : <https://gforge.irsn.fr/gf/project/pelicans/>*
- [5] F. Perales, F. Dubois, Y. Monerie, B. Piar, L. Stainier. *A NonSmooth Contact Dynamics-based multi-domain solver*, European Journal of Computational Mechanics, 19 :389-417, 2010.
- [6] F. Perales, S. Bourgeois, A. Chrysochoos, and Y. Monerie. *Two field multibody method for periodic homogenization in fracture mechanics of nonlinear heterogeneous materials*, Engineering Fracture Mechanics, 75 :3378-3398, 2008.
- [7] V. Topin, F. Dubois, Y. Monerie, F. Perales, and A. Wachs. *Micro-rheology of dense particulate flow : application to immersed avalanches*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Accepted, 2010.
- [8] A. Wachs. *A DEM-DLM/FD method for direct numerical simulation of particulate flows : Sedimentation of polygonal isometric particles in a Newtonian fluid with collisions*, Computers & Fluids, 38(8) :1608-1628, 2009.