

Une Méthode sans maillage pour la Modélisation des Interactions Fluide-Structure: Application à la Rupture d'un Réservoir sous Impact.

F. Caleyron^{1,2}, A. Combescure¹, V. Faucher², S. Potapov²

¹ Université de Lyon, INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, fabien.caleyron@insa-lyon.fr, alain.combescure@insa-lyon.fr

² LaMSID UMR EDF-CNRS-CEA 2832, vincent.faucher@cea.fr, serguei.potapov@edf.fr

Résumé — La mise au point de méthodes numériques permettant de réaliser des simulations prédictives de structures minces en interaction avec un fluide est un enjeu industriel. Il s'agit notamment de prévoir la ruine éventuelle de la structure et le débit de fuite associé dans des situations extrêmes de type impact. La simulation de ce type de problème fait intervenir trois composantes essentielles : un modèle de structure mince incluant toutes les éventuelles non-linéarités jusqu'à la rupture, un modèle de fluide permettant de capter les phénomènes de sloshing et les projections et, enfin, la gestion de l'interaction fluide/structure dont la topologie peut varier fortement au cours du calcul.

Mots clés — SPH, coque, fluide, impact, rupture.

1 Modélisation

Ce papier présente une solution reposant entièrement sur l'utilisation d'une méthode sans maillage appelée la méthode Smoothed Particles Hydrodynamics (SPH) [5] ainsi que ses variantes. Afin de s'affranchir des contraintes liées à l'existence d'un maillage à connectivité fixe, les méthodes sans maillage proposent de discrétiser le problème sur un ensemble de noeuds dont les voisinages peuvent varier de manière quelconque au cours du calcul. La méthode SPH se distingue par la résolution du problème fort et l'utilisation de fonctions de forme splines cubiques. Une variante de la méthode, appelée MLSPH, repose sur l'utilisation de fonctions de forme dites "moindre carré mobile" [3], [4].

- Le fluide, considéré comme faiblement compressible, est modélisé grâce à la méthode SPH originale.
- La méthode MLSPH a été étendue à la modélisation des coques épaisses de Mindlin-Reissner à l'aide d'une seule couche de particules [6]. Les difficultés numériques liées à la méthode sont surmontées par l'utilisation d'une formulation Lagrangienne totale [6] qui supprime l'instabilité en tension dont souffre la méthode SPH originale et l'utilisation de points intermédiaires [6] pour le calcul des contraintes ce qui permet de s'affranchir des modes à énergie nulle. Le présent travail reprend cette formulation et l'étend afin de modéliser les phénomènes de fissuration, rupture et fragmentation. Une loi d'endommagement est associée au matériau et permet d'annuler les interactions entre les particules de part et d'autre d'une zone endommagée selon une méthode similaire à la méthode de visibilité [1]. La figure 1 illustre la capacité de la méthode à traiter des phénomènes complexes comme la pétalisation consécutive à un impact.
- Les interactions fluide-structure doivent être traitées avec attention puisque la topologie de l'interface varie beaucoup au cours du calcul notamment lors de l'apparition d'une fuite à travers la coque. La méthode des Pinballs [2] s'applique naturellement à la méthode SPH puisque le contact est géré par l'interpénétration de sphères correspondant aux particules du modèle.

Tous les développements sont réalisés au sein du logiciel de dynamique rapide EUROPLEXUS.

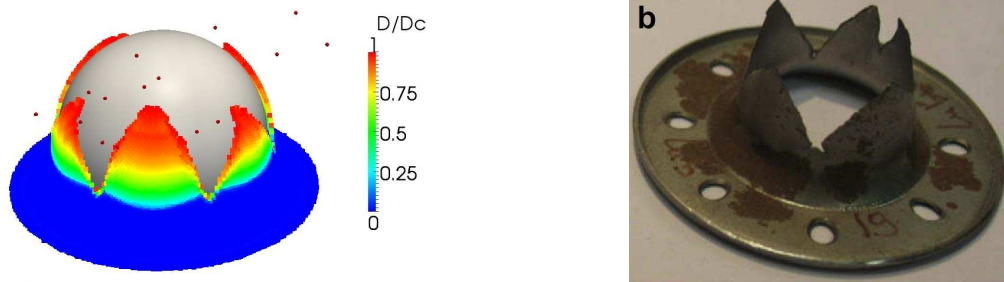


FIG. 1 – Perforation d’une plaque en acier par un projectile hémisphérique : comparaison avec la déformée expérimentale tirée de [7]

2 Application

Le modèle est validé par la simulation de l’impact d’une balle sur un cylindre en acier selon les conditions des expériences rapportées dans [8]. Le cylindre est tout d’abord vide, l’impact se traduit alors par une simple perforation de la structure. Ensuite, le cylindre est rempli d’eau et, toutes conditions restant par ailleurs identiques, l’impact se traduit par la création d’une fissure longitudinale et une fuite de fluide. La figure 2 témoigne de la qualité des simulations effectuées, les faciès de rupture obtenus numériquement étant proches des observations expérimentales.

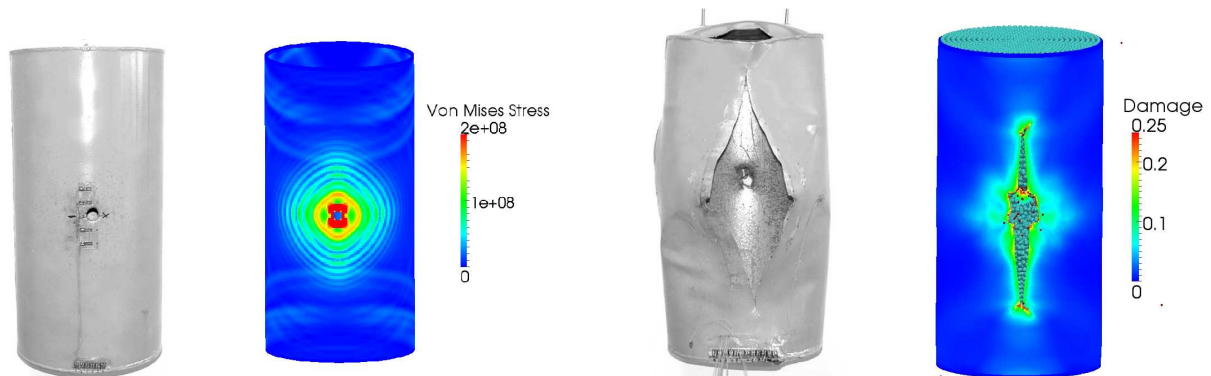


FIG. 2 – Perforation d’un cylindre vide (gauche) et rempli (droite) : comparaison avec les déformées expérimentales tirées de [8]

Références

- [1] Belytschko T., Gu L., Lu Y.Y., *Fracture and crack growth by element-free Galerkin methods*, Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, Vol. 2, 519-534 1994.
- [2] Belytschko T, Neal MO., *Contact-impact by the pinball method with penalty and Lagrangian methods*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 31, 547-572, 1991.
- [3] Dilts G. A., *Moving least squares particle hydrodynamics - I : consistency and stability*, Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 44, 1115-1155, 1999.
- [4] Dilts G. A., *Moving least squares particle hydrodynamics - II : conservation and boundaries*, Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 48, 1503-1524 2000.
- [5] Gingold R. A., Monaghan J.J., *Smoothed particle hydrodynamics : theory and application to non-spherical stars*, Monthly Notices of The Royal Astronomical Society, Vol. 181, 375-389, 1977.
- [6] Maurel B, Potapov S, Fabis J, Combescure A., *Full SPH fluid-shell interaction for leakage simulation in explicit dynamics*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 80, 210-234, 2009.
- [7] Ruzinek et al., *Experimental and numerical study on the perforation process of mild steel sheets subjected to perpendicular impact by hemispherical projectiles*, International Journal of Impact Engineering, Vol. 36, 565-587, 2009.
- [8] Timm T., *Beschuss von flüssigkeitsgefüllten Behältern*, PhD Thesis, Karlsruhe University, Germany, 2003.