

Simulation numérique d'impact en dynamique rapide de matériaux hyper-élastiques par la méthode X-FEM

P. Rozycki¹, N. Moës¹, S. Le Corre¹, M. Zarroug²

¹ GeM, Ecole Centrale de Nantes, France, {patrick.rozycki,nicolas.moes,steven.le-corre}@ec-nantes.fr

² DRIA/SARA/STEO/MAST, PSA-Peugeot Citroën, France, malek.zarroug@mpsa.com

Résumé — La simulation numérique en dynamique rapide de structures composées de matériaux hyper-élastiques peut s'avérer fastidieuse surtout si l'on souhaite obtenir une bonne qualité de résultats. La distorsion excessive des éléments finis du maillage au cours du temps, qui conduit à une dégradation du pas de temps critique, impose par exemple l'utilisation de techniques de type ALE. Nous proposons dans cet article une méthode alternative consistant à utiliser un maillage régulier unique via la méthode X-FEM et dont le principal atout est de simplifier les procédures de remaillage.

Mots clefs — X-FEM, Dynamique explicite, Elasticité non-linéaire.

L'utilisation de maillages lagrangiens, en dynamique rapide, pour des simulations numériques en grandes déformations peut soulever certains problèmes de calcul. En effet, si l'on prend le cas de matériaux hyper-élastiques, un chargement extrême peut aboutir à une modification sévère de la forme des éléments finis du modèle numérique, voire à des inversions. De manière sous jacente, le pas de temps critique, requis pour la stabilité des schémas explicites utilisés dans ce cas, se réduit considérablement. Le maillage ne satisfait plus alors aux conditions requises et aboutira à une importante diminution de la qualité des résultats [1], [2].

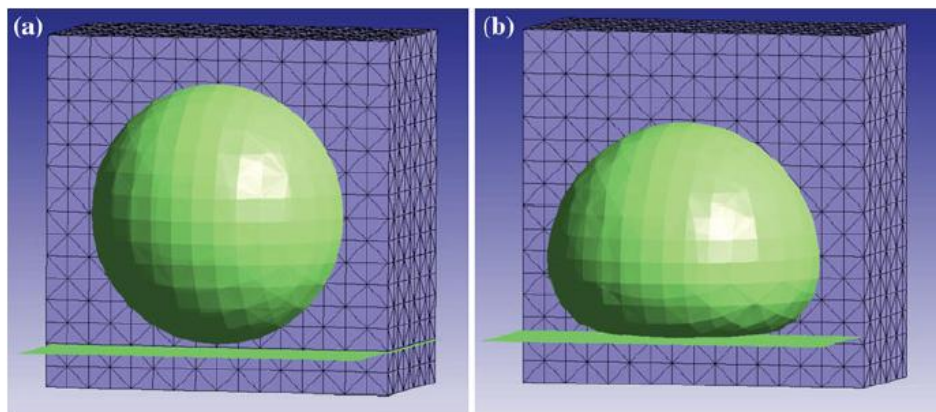
Afin de contourner ces problèmes, il est possible d'utiliser des méthodes « classiques » de type ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian). Ces dernières peuvent être couplées à la méthode X-FEM pour lever certains aspects problématiques notamment dans le cas de bi-matériaux [3], [4]. D'autres auteurs proposent d'appliquer une « rezoning method » [2]. Enfin pour certains cas quasi-statiques impliquant de grandes déformations, on peut noter le développement de la méthode FCM (Finite Cover Method) [5]. Cependant dans le cas de simulations numériques explicites, les remaillages peuvent prendre beaucoup de temps et engendrent des contraintes, ce qui a une incidence forte notamment pour des temps de calcul longs.

Dans cet article, nous proposons une alternative qui consiste à appliquer la méthode X-FEM à la simulation numérique de structures incluant de matériaux hyper-élastiques en dynamique rapide. En effet, la méthode X-FEM permet de s'affranchir des contraintes maillages liées à des discontinuités de type fissures, trous et inhomogénéités [6], [7], [8]. Par ailleurs, des développements en dynamique explicite à propos de cette méthode sont déjà disponibles [9], [10]. C'est de la gestion particulière des discontinuités dont nous souhaitons tirer partie : elle nous simplifiera considérablement les étapes de remaillage nécessaire en cours de calcul. En effet, les nouveaux maillages introduits en cours de simulation ne seront plus tenus de se conformer aux contours de la structure déformée. Il devient alors possible d'utiliser des maillages réguliers structurés, ce qui permet d'optimiser les étapes de transferts de données entre les maillages successifs.

Nous présenterons dans une première partie l'algorithme de transfert de champs « solution » dans le contexte X-FEM, en insistant sur le souci d'efficacité et de robustesse de ce dernier. Au cours de cette présentation, nous développerons la démarche adoptée pour le transport des champs de déplacement et de vitesse et la reconstruction du champ d'accélération. Nous proposerons ensuite la solution retenue pour reconstruire la Level Set (définition eulérienne) qui décrit la discontinuité considérée. Et nous nous attarderons enfin, plus particulièrement, sur l'identification des éléments supports de cette Level Set et donc l'algorithme de scan conversion utilisé.

Dans un second temps, puisque notre sujet est de traiter des structures en matériaux hyper-élastiques en dynamique explicite, nous aborderons la gestion de contact. En effet, les discontinuités ne sont plus assujetties à une conformité au maillage et sont représentées par des Level Sets. C'est une particularité qu'il est donc nécessaire de prendre en compte dans les algorithmes. Nous verrons pourquoi nous nous sommes dirigés vers la méthode des pénalités plutôt que vers la méthode des multiplicateurs de Lagrange.

Enfin nous proposerons dans une dernière partie, quelques exemples d'application des travaux relatifs au lâché d'une boule « molle » sur une surface rigide et d'un impact de solide rigide sur une structure molle. Nous effectuerons une comparaison avec des solutions proposées par des codes de calcul commercial.



Références

- [1] T. Belytschko, WK. Liu, B. Moran. *Nonlinear finite elements for continua and structures*, Wiley, 2000.
- [2] DJ. Benson. *Computational methods in lagrangian and eulerian hydrocodes*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Elsevier, page235-page394, 1999.
- [3] AR. Khoei, M. Anahid, K. Shahim. *An extended arbitrary Lagrangian-Eulerian finite element method for large deformation of solids mechanics*, Finite Elements in Analysis and Design, Elsevier, page401-page416, 2008.
- [4] AR. Khoei, M. Anahid, K. Shahim. *An extended finite element formulation for contact in multi-material arbitrary Lagrangian-Eulerian calculations*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Wiley, page1420-page1444, 2006.
- [5] K. Terada, A. Maruyama, M. Kurumatani. *Eulerian finite cover method for quasic-static equilibrium of hyperelastic bodies*, Communications in numerical methods in engineering, Wiley, page1081-page1094, 2007.
- [6] C. Daux, N. Moës, J. Dolbow, N. Sukumar, T. Belytschko. *Arbitrary branched and intersecting cracks with the extended finite element method*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Wiley, page1741-page1760, 2000.
- [7] N. Moës, M. Cloirec, P. Cartraud, JF. Remacle. *A computational approach to handle complex microstructure geometries*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Elsevier, page3163-page3177, 2003.
- [8] N. Moës, JE. Dolbow, T. Belytschko T. *A finite element method for crack growth without remeshing*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Wiley, page131-page150, 1999.
- [9] T. Menouillard, J. Rethore, N. Moës, A. Combescure, H. Bung. *Mass lumping strategies for x-fem explicit dynamics: application to crack propagation*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Wiley, page447-page474, 2008.
- [10] P. Rozycki, N. Moës, E. Béchet, C. Dubois. *X-fem explicit dynamics for constant strain elements to alleviate mesh constraints on internal or external boundaries*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Elsevier, page349-page363, 2008.