



HAL
open science

Intéraction fluide coque en SPH

Bertrand Maurel, Alain Combescure, Serguei Potapov

► **To cite this version:**

Bertrand Maurel, Alain Combescure, Serguei Potapov. Intéraction fluide coque en SPH : Modélisation SPH de l'intéraction fluide structure dans le cas d'un réservoir sous impact. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01492455

HAL Id: hal-01492455

<https://hal.science/hal-01492455>

Submitted on 20 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Intéraction fluide coque en SPH

Modélisation SPH de l'interaction fluide structure dans le cas d'un réservoir sous impact

Bertrand Maurel* — **Alain Combescure*** — **Serguei Potapov****

* *Laboratoire de Mécanique des contacts et des Solides, INSA Lyon / UMR CNRS
20 avenue Albert Einstein 69621 Villeurbanne Cedex*

bertrand.maurel@insa-lyon.fr

** *Electricité de France, Direction des études et recherches
1 avenue du général de Gaulle BP 40892141 Clamart Cedex*

RÉSUMÉ. Dans cet article est présentée une nouvelle méthode de modélisation d'interactions fluide-structure adaptée à la prédiction de ruptures de parois de réservoirs remplis de fluide. La méthode se base sur un modèle SPH pour le fluide et un autre pour la coque. Cet article présente le model SPH coque utilisé ainsi que la technique utilisée pour gérer l'interaction.

ABSTRACT. In this paper, we present a new model for computation of fluid structure interaction adapted to the prediction of failure under impact loads of shells containing a fluid. The model is based on SPH models for both shell and fluid. The paper presents the models for thin shell structures and finally interaction.

MOTS-CLÉS : SPH,méthodes sans maillages,intéraction fluide structure,coques,méthode pinball

KEYWORDS: SPH,meshless methods, fluid-structure interaction,shells,pinball method

1. Introduction

L'impact à des vitesses élevées de l'ordre de plusieurs centaines de m/s d'un réservoir remplis de fluide sur une structure s'accompagne de nombreux phénomènes complexes comme l'éventration du réservoir et la fuite du fluide au travers des déchirures. Ces phénomènes se révèlent particulièrement difficiles à modéliser à l'aide d'outils classiques comme la méthode des éléments finis. En effet les grandes déformations du fluide, les effets de sloshing dans le réservoir, les impacts multiples et la fracturation de solides sont autant de phénomènes complexes et coûteux à traiter lorsque l'on utilise un maillage en particulier à cause des problèmes de remaillage. Le choix a donc été fait de se tourner vers des méthodes plus adaptées, les méthodes dites sans maillage ou meshless et plus particulièrement la méthode SPH. Cette dernière se révèle en effet très intéressante pour ce type de problèmes. Cette méthode se base en effet sur la discrétisation de la matière par un ensemble d'éléments assimilables à des billes. Ces billes ont une connectivité variable ce qui signifie qu'il est très facile de réorganiser les liaisons et en particulier de les casser pour modéliser des détachements de matière. Cette méthode a donc été appliquée ici à la modélisation de coques puis couplée à du fluide lui même modélisé en SPH.

2. Le principe de la méthode

La méthode SPH fut l'une des premières méthodes meshless. Elle était initialement destinée à la modélisation du comportement de gaz en astrophysique (Gingold *et al.*, 1977) mais fut ensuite étendue aux fluides ce qui reste encore aujourd'hui son principal champ d'application. Plus récemment elle fut adaptée aux solides (Gray *et al.*, 2001), (Randles *et al.*, 1996) et plus particulièrement aux problèmes d'impacts (Rabczuk *et al.*, 1996).

Le principe de la méthode repose sur une interpolation pour chaque bille des grandeurs physiques définies sur les billes voisines. On peut ainsi calculer pour chaque bille i une valeur approchée \tilde{f} d'un champ f à l'aide de ses voisines notées j (de volume V_j) en ayant recours à une fonction d'interpolation appelée aussi fonction noyau et notée $W(\vec{X}_i - \vec{X}_j)$. On écrit ainsi :

$$f_i = \sum_j f_j \times W(\vec{x}_i - \vec{x}_j) V_j \quad [1]$$

De la même manière il est possible d'évaluer le gradient ou le divergent d'un champ :

$$\vec{\nabla} f_i = \sum_j f_j \times \vec{\nabla} W(\vec{x}_i - \vec{x}_j, h) V_j \quad [2]$$

En se basant sur la formule 2 on peut de plus écrire les équations de la mécanique des milieux continus, respectivement l'équation de continuité et l'équation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right)_i = -\rho_i \times \text{div}(\vec{v}) = -\rho_i \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} (\vec{v}_i - \vec{v}_j) \vec{\nabla} W(\vec{x}_i - \vec{x}_j, h) \quad [3]$$

$$\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\right)_i = \text{div}(\sigma) = \sum_j m_j \left(\frac{\sigma_i}{\rho_i^2} + \frac{\sigma_j}{\rho_j^2}\right) \vec{\nabla} W(\vec{x}_i - \vec{x}_j, h) \quad [4]$$

Ce formalisme s'applique aussi bien à des fluides qu'à des solides, la différence résidant dans le calcul des contraintes. Cependant dans le cas de solides des problèmes de stabilité et de sous intégration apparaissent comme l'ont montré entre autre Monaghan (Gray *et al.*, 2001) et Belytschko (Belytschko *et al.*, 2000). Dans le cas où les déformations restent raisonnables le recours à une formulation lagrangienne totale ainsi que l'ajout de points de calculs fictis appelés stress points permettent de s'affranchir efficacement de ces problèmes (Belytschko *et al.*, 2005). L'équation 4 est modifiée pour faire intervenir désormais le tenseur des contraintes nominales P. En considérant de plus que le matériau est homogène et que les masses volumiques initiales sont égales on peut écrire :

$$\rho_{0i} \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\right)_i = \sum_j V_j (P_i + P_j) \vec{\nabla}_0 W(x_{0i} - x_{0j}, h) \quad [5]$$

La formulation SPH lagrangienne totale présente en outre un grand intérêt en termes de temps de calcul car on utilise à chaque instant la position initiale des billes et l'on peut ainsi se passer de coûteuses opérations de recherches de voisins.

3. Méthode SPH adaptée à la modélisation des coques

Le théorie des coque épaisses de Mindlin-Reissner est ici utilisée. On considère que la position \vec{X} de même que le déplacement \vec{U} de tout point de la coque d'épaisseur h dont la position dans l'épaisseur est paramétrée par ξ avec $\xi \in [-\frac{h}{2}; \frac{h}{2}]$ peut être définie uniquement à l'aide de la position \vec{X}_m ou du déplacement \vec{U}_m des points du plan moyen de la coque :

$$\vec{X} = \vec{X}_m + \xi \cdot \vec{n} \quad ; \quad \vec{U} = \vec{U}_m + \xi \cdot \Delta \vec{n} \quad [6]$$

Le vecteur \vec{n} est le vecteur pseudo normal qui modélise l'orientation par rapport au plan moyen des sections. Il est lui même déterminé pour chaque bille par deux degrés de liberté supplémentaires en rotation autour des axes du repère local. On calcule à partir de l'équation 6 les déformations puis les contraintes dans le repère local via une loi de comportement élastique en contraintes planes. Les contraintes sont ensuite séparées en une partie constante dans l'épaisseur σ et une partie linéaire $\sigma_f(\xi)$. A partir de σ écrit dans le repère global on calcule le tenseur des contraintes nominales P et comme pour la formulation volumique on applique l'équation de continuité 5. Les contraintes de flexion σ_f intégrée dans l'épaisseur donnent les moments de flexion qui permettent ensuite d'écrire les équations dynamiques d'équilibres en rotation issues de la théorie des plaques.

Cette formulation SPH coque a ensuite été validée par comparaison avec des résultats éléments finis de coque épaisse. On présente ici le cas test d'une plaque carrée de dimensions 1mx1m et d'épaisseur 1cm soumis à une pression uniforme.

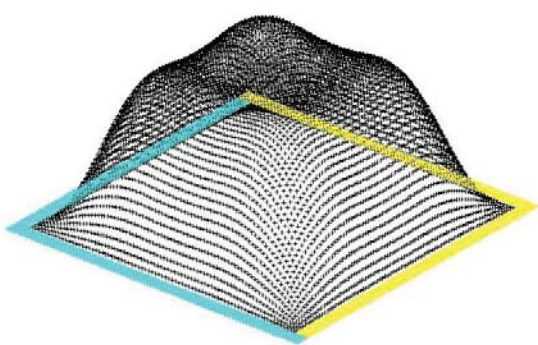


Figure 1. Déformée observée en SPH (amplification x3)

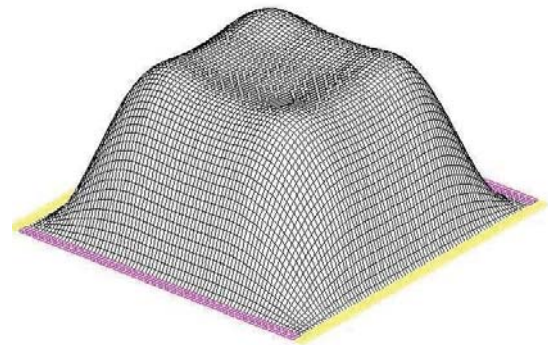


Figure 2. Déformée observée en EF (amplification x3)

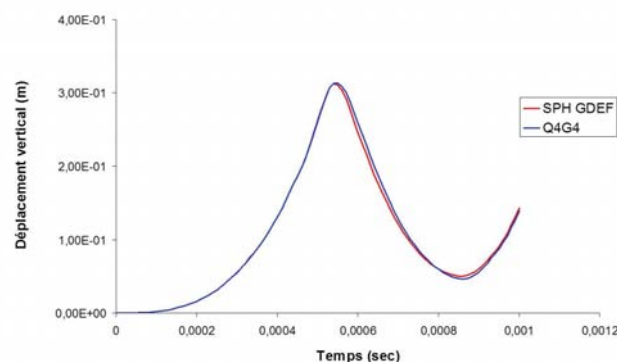


Figure 3. Evolution de la flèche au centre de la plaque avec les méthodes SPH et EF

Un modèle de plasticité de type global dans l'épaisseur (Zeng *et al.*, 2001) a également été introduit. Le même type de validations qu'en élasticité ont été réalisés et montrent à nouveau une bonne concordance des résultats avec les éléments finis de coque épaisse.

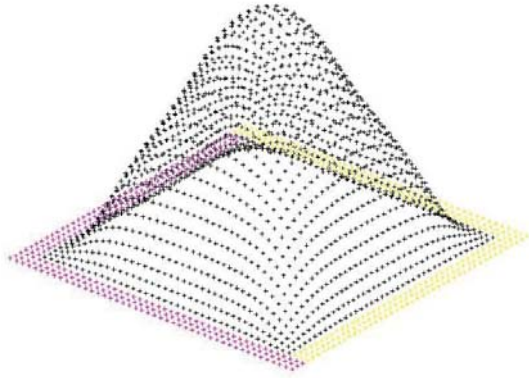


Figure 4. *Comportement plastique : déformation résiduelle en SPH (x2)*

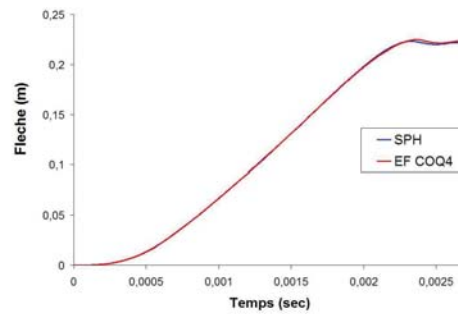


Figure 5. *Flèches obtenues avec la méthode SPH et des EF COQ4 (x2)*

4. Intéraction fluide-structure en SPH

Comme il a déjà été évoqué, dans le cas de la coque le formalisme SPH lagrangien total pour la partie solide impose de traiter le contact de manière indépendante de la formulation. On utilise pour ce faire la méthode dite des pinballs (Belytschko *et al.*, 1991), (Casadei, 2003) qui permet via un calcul de multiplicateurs de lagrange d'imposer une condition de compatibilité des vitesses au niveau de la zone de contact entre les billes des deux corps impactant. Dans l'attente de résultats expérimentaux cette approche a été validée par comparaison avec une technique existante permettant le couplage entre un fluide SPH et une structure éléments finis (Letellier, 1996). Dans le cas de l'impact 3D d'une colonne d'eau à 500 m/s sur une plaque carrée de dimensions 1m x 1m x 0.01m la comparaison des déformées observées à divers pas de temps ainsi que l'évolution de la flèche au centre de la plaque révèlent une bonne similitude des résultats.

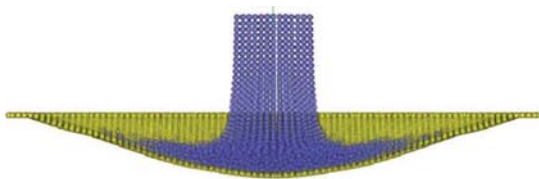


Figure 6. *Intéraction fluide SPH / Coque SPH (t=20ms)*

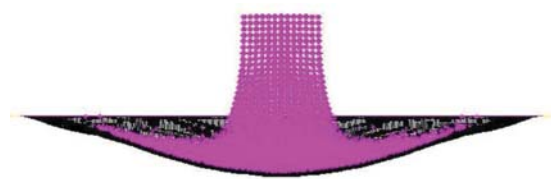


Figure 7. *Intéraction fluide SPH / Coque EF (t=20ms)*

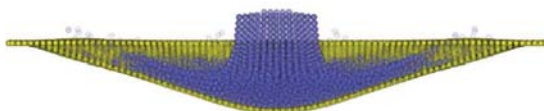


Figure 8. *Intéraction fluide SPH / Coque SPH (t=40ms)*



Figure 9. *Intéraction fluide SPH / Coque SPH (t=40ms)*

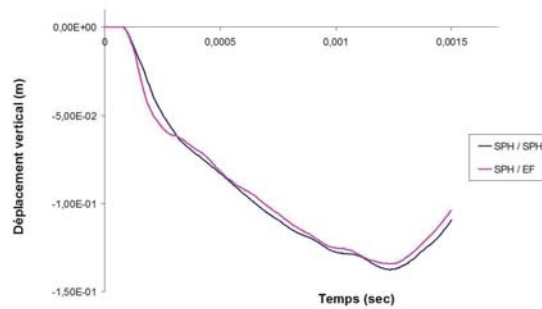


Figure 10. Evolution de la flèche au centre de la plaque pour les deux méthodes

5. Conclusion

Le formalisme SPH obtenue permet bien donc de modéliser le comportement de plaques ou de coques, et permet de plus couplé à un modèle fluide via la méthode pinball de simuler l'impact d'une fluide sur une structure mince.

6. Bibliographie

- Belytschko T., Guo Y., Liu W. K., Xiao S. P., « A unified stability analysis of meshless particle methods », *International journal for numerical methods in engineering*, vol. 40, p. 1359-1400, 2000.
- Belytschko T., Neal M. O., « Contact-Impact by the Pinball method with penalty and Lagrangian Methods », *International journal for numerical methods in engineering*, vol. 31, p. 547-572, 1991.
- Belytschko T., Rabczuk T., Xiao S. P., « Stable particle methods based on lagrangian kernels », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 193, p. 1035-1063, 2005.
- Casadei F., A General Impact-Contatc Algorithm based on hierarchic pinballs for the EURO-PLEXUS software system, Technical note n° 265, CCR ISPRA, septembre, 2003.
- Gingold R. A., Monaghan J. J., « Smoothed particle hydrodynamics : theory and application to non-spherical stars », *Mon. Not. R. astr. Soc.*, vol. 181, p. 375, 1977.
- Gray J. P., Monaghan J. J., « SPH elastic dynamics », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 190, p. 6641-6662, 2001.
- Letellier A., Contribution à la modélisation d'impacts d'oiseaux sur les aubes des réacteurs d'avions, Thèse de doctorat, Université d'Evry, 1996.
- Rabczuk T., Belytchko T., « SPH for high velocity impact », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 139, p. 347-373, 1996.
- Randles P. W., Libersky L. D., « Smoothed Particle Hydrodynamics : Some recent improvements and applications », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 139, p. 375-408, 1996.
- Zeng Q., Combescure A., Arnaudeau F., « An efficient plasticity algorithm for shell elements application to metal forming simulations », *Computers and Structures*, vol. 79, p. 1525-1540, 2001.