

Simulation numérique de l'érosion par impacts répétés de gouttes d'eau à grand vitesse sur les augets de turbine Pelton

G. Coudouel ^{1,2}, A. Combescure ¹, J.-C. Marongiu ²

¹ INSA Lyon, LaMCoS, UMR CNRS 5259, {guillaume.coudouel – alain.combescure}@insa-lyon.fr

² ANDRITZ Hydro SAS, Jean-Christophe.Marongiu@andritz.com

Résumé

Le travail présenté ici concerne la simulation numérique d'un impact de goutte d'eau sur un massif axisymétrique en acier. Les calculs fluide/structure sont séparés : d'un côté le calcul fluide est réalisé par la méthode SPH-ALE et concerne la chute d'une goutte sur un mur rigide, et de l'autre côté, le calcul de structure est effectué par éléments finis avec une pression imitant l'impact de la goutte.

Abstract

This paper presents the numerical simulation of a water droplet shock on an axisymmetric steel solid. Fluid/structure computations are separate : the fluid computation is performed with SPH-ALE method for the fall of a water droplet on a rigid wall, and on the other side, the solid calculus is made by FEM with a pressure, which copies the droplet impact.

Mots clefs : Structure ; fluide ; éléments finis ; SPH ; calcul transitoire ; impact

1 Cadre de l'étude

Durant leur fonctionnement, les turbines hydrauliques connaissent de nombreux dommages dus à la mauvaise qualité de l'eau ou aux conditions d'écoulement. Ces dégradations engendrent des coûts de maintenance et des pertes de puissance, et peuvent même mettre en danger la sécurité des installations. Exploitants de centrales hydrauliques et fabricants de turbines cherchent à augmenter la durée de vie des machines en réduisant l'intensité des dommages et à l'aide de traitement de surfaces. Le projet PREDHYMA (*Prediction of Erosion Damages in Hydraulic MACHines*) a pour but de développer un ensemble d'outils traitant des mécanismes d'endommagement pour aider les ingénieurs à gérer le cycle de vie des installations.

Ce projet est en contrat avec la société ANDRITZ Hydro, le LaMCoS de l'INSA de Lyon, et le LMFA de l'ECL. Il concerne 4 travaux de doctorats, chacun traitant un aspect d'endommagement des augets de turbines Pelton. Le travail présenté ici concerne l'érosion par impacts répétés de gouttes d'eau à grande vitesse sur les augets de turbine Pelton. En effet, pour les turbines à haute chute, le jet d'eau est composé d'un corps liquide entouré de gouttelettes. Les observations montrent que les zones d'impact de ces gouttes présentent un processus d'endommagement particulier.

Le travail consiste en la compréhension des mécanismes d'érosion à partir de simulations numériques (échelle microscopique) des impacts de gouttes sur les augets. Ces résultats seront transposés à l'échelle de la turbomachine (macroscopique) pour prévoir l'endommagement au cours du cycle de vie de la turbine.

2 Modélisation numérique

2.1 Cas test Abaqus

Un cas test a été réalisé sur le code commercial Abaqus. Ce modèle est axisymétrique 2D et représente un cylindre de 100mm de haut de rayon, avec une pression homogène de 1GPa au centre de sa face supérieure sur 1mm. Cette pression est jouée le rôle de l'impact d'une goutte sur la structure.

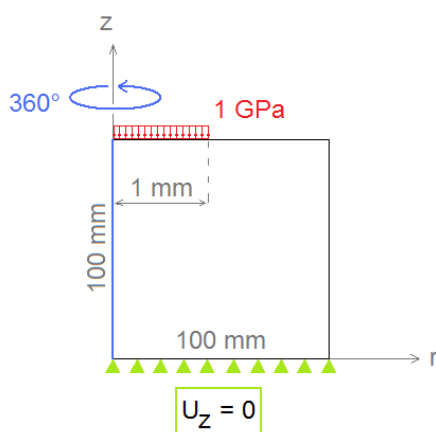


Figure 1. Modèle du cas test

Les résultats en statique montrent la nécessité de considérer les déformations non-linéaires, d'autant plus que les calculs en régime transitoire sont réalisés en schéma explicite. Des calculs avec des éléments d'absorption en bordure extérieure et une structure plus mince ont été effectués pour évaluer l'influence des dimensions du modèle sur la réflexion des ondes. Les résultats en termes de déformation plastique cumulée étant identiques, il est donc possible de diminuer l'épaisseur du cylindre, donc du modèle sans influence sur la réponse près des zones de dommage. Les premiers calculs restent proches d'un comportement quasistatique et le chargement doit-être de l'ordre de la microseconde pour commencer à observer des effets dynamiques.

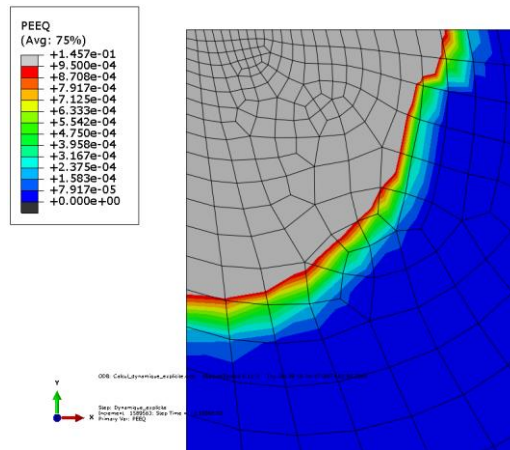


Figure 2. Déformation plastique cumulée pour le cas test avec limite d'échelle pour plasticité

2.2 Calcul fluide Asphodel

Ensuite, un calcul fluide en 2D a été réalisé avec Asphodel, un code SPH-ALE. Ce calcul concerne la chute de la goutte sur un mur rigide. La goutte d'eau est un disque de diamètre 1mm composé de 32000 particules SPH, sans viscosité (équations d'Euler), muni d'une vitesse initiale perpendiculaire au mur de $100\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, ce dernier étant muni de capteurs de pression en son long. Ces capteurs permettent de relever l'évolution temporelle et la répartition spatiale de la pression exercée par la goutte sur le plan.

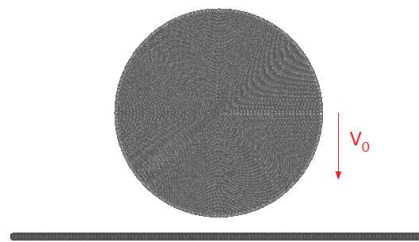


Figure 3. Particules SPH du modèle fluide

L'observation de l'onde acoustique se fait par le gradient de la masse volumique. On voit un front principal, ainsi que d'autres plus petits, conséquence de la discrétisation du milieu fluide en particules.

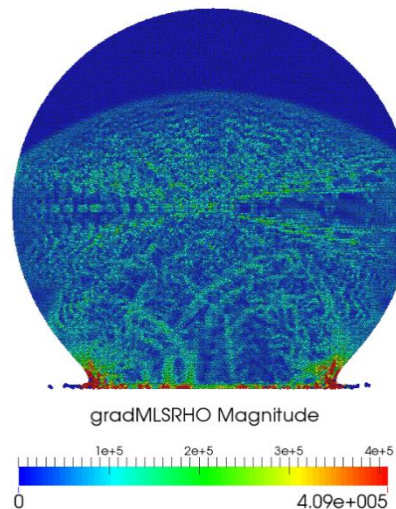


Figure 4. Norme du gradient de la masse volumique du fluide dans la goutte après impact (kg.m^{-4})

La pression relevée montre des extrema de 400 MPa sur les bords de la zone d'impact juste après le choc, puis la répartition prend l'allure d'une parabole au cours de la diminution de l'intensité.

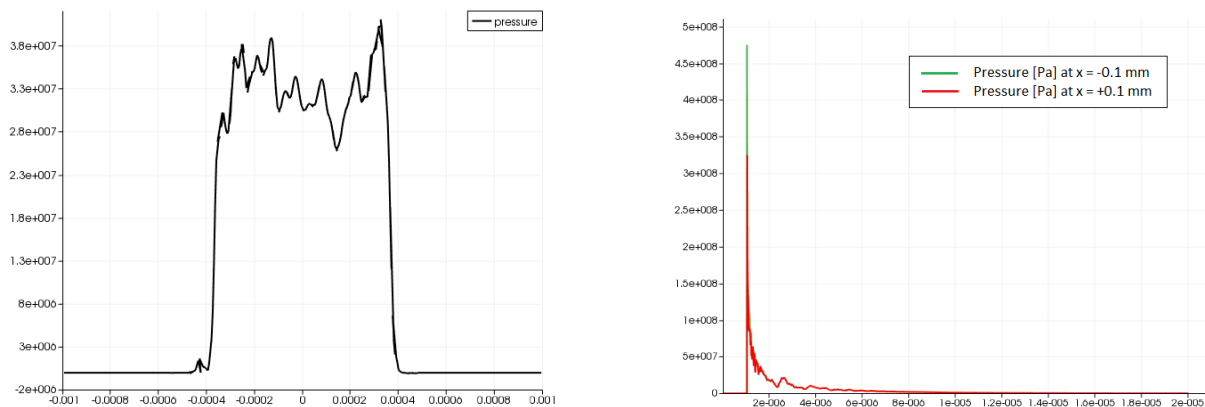


Figure 5. Gauche : $P(x)$ à $t=1\mu\text{s}$ (Pa)

Droite : $P(t)$ pour $x=\pm 0.1\text{mm}$ (Pa)

Les vitesses trouvées sur les bords sont très élevées et non pertinentes, elles sont de l'ordre de 700ms^{-1} soit la moitié de celle du son dans l'eau. Ces valeurs sont dues premièrement à l'absence de viscosité dans le fluide, qui devrait amortir le mouvement de l'eau, et deuxièmement, à la géométrie 2D, qui représente un cylindre et non une sphère, et donc comprime les bords de la zone de contact et éjecte fortement le fluide dans une seule direction.

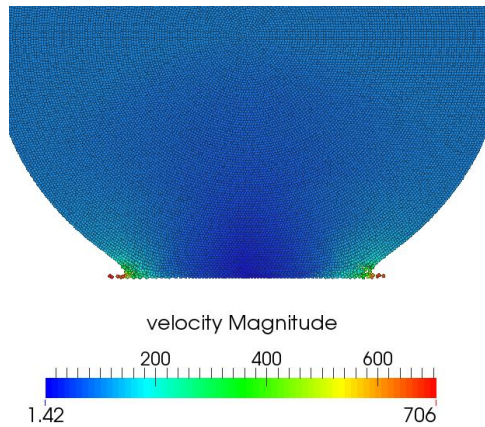


Figure 6. Norme de la vitesse des particules dans la goutte ($m.s^{-1}$)

2.3 Calcul structure Europlexus

Maintenant, pour les calculs de structure, le code éléments finis Europlexus sera utilisé pour les calculs en schéma explicite. Afin de vérifier la pertinence du modèle, le cas test a été réalisé sur EPX et les résultats comparés à ceux d'Abaqus, ils sont identiques. Ensuite, la pression relevée dans Asphodel est introduite dans le calcul EPX en tant que chargement pour simuler plus concrètement l'impact de goutte.

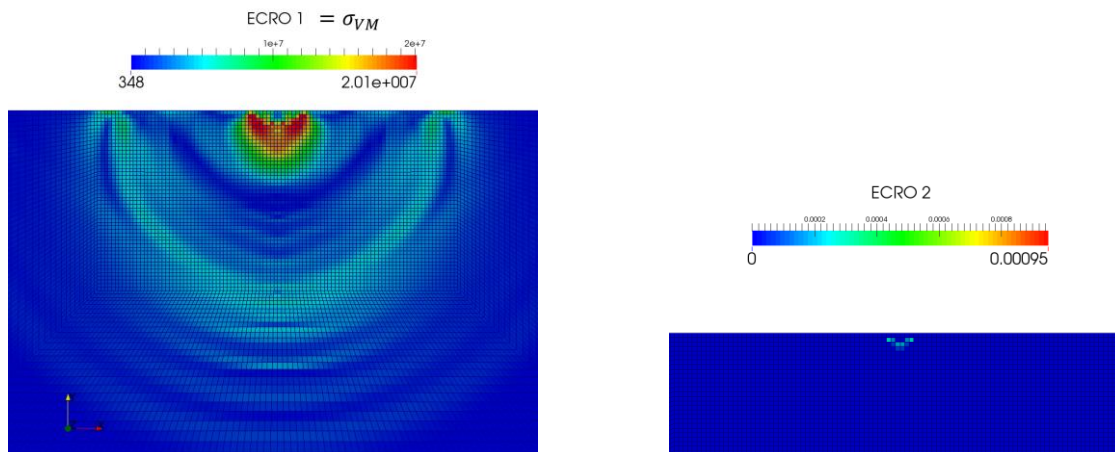


Figure 7. Gauche : Contraintes de Von Mises dans la structure (Pa)
Droite : Déformation plastique équivalente

Les résultats montrent que la plasticité n'agit pratiquement pas dans ces conditions, et la suite du travail s'orientera vers le mécanisme de fatigue.

Références

- [1] N. Martin S. Krüger and P. Dupont. Assessment of wear erosion in pump impellers. In Proceedings of The Twenty-Sixth International Pump Users Symposium, 2010.
- [2] Benchaita M. T., Griffith T., Rabinowicz E., Erosion of metallic plate by solid particles entrained in a liquid jet. Journal of engineering for industry, 1983, Vol 105, pp 215-222
- [3] L. Nokleberg, T. Sontvedt, ``Erosion of Oil and Gas Industry Choke Valves Using Computational Fluid Dynamics and Experiment,`` *Int. J. Heat and Fluid Flow*, **19**, 636-643
- [4] Naoya Ochiai, Yuka Iga, Motohiko Nohmi, Toshiaki Ikohagi, Study of Quantitative Numerical Prediction of Cavitation Erosion in Cavitating Flow, Journal of Fluids Engineering, 2013, Vol.135 pp-0011302-1-10

Acknowledgement

The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7 / 2007-2013) under Grant Agreement 608393 "PREDHYMA".