

Simulation multiphasique de l'injection d'énergie thermique au sein d'un liquide

M. Pelanti (ENSTA), P. Lafon (EDF)

Institut des Sciences de la Mécanique et Applications Industrielles (IMSIA)

UMR CNRS-EDF-ENSTA 9219

Contexte

Les phénomènes d'injection d'énergie thermique au sein d'un liquide sont typiques de plusieurs domaines applicatifs : le domaine de la défense avec les explosions sous-marines ou le domaine de l'énergie nucléaire avec les accidents d'insertion de réactivité (RIA¹).

Un RIA est un scénario hypothétique de sûreté étudié pour anticiper les conséquences d'une hausse brutale de réactivité au sein d'un crayon combustible comme lors d'une éjection accidentelle de grappes de commande. Dans le cadre d'un RIA, la température et la pression vont augmenter dans le crayon. Si la gaine du crayon est fragilisée, elle peut se rompre. Dans ce cas, deux phénomènes successifs peuvent se produire : 1- Les gaz de fission contenus dans le crayon créent une onde de choc qui se propage dans le liquide 2- Des particules de combustible sont expulsées dans le liquide de refroidissement. Dans ce dernier cas, ces particules très chaudes vaporisent une partie du liquide autour d'elles, ce qui provoque la création d'une autre onde de choc dans le liquide de refroidissement.

Ces phénomènes sont des phénomènes fluides triphasiques : gaz de fission, eau liquide et sa vapeur pour le RIA, gaz d'explosion, eau liquide et sa vapeur pour les explosions sous-marines. C'est ainsi qu'au sein d'IMSIA Marica Pelanti a développé une modélisation physique et numérique pour les écoulements triphasiques [2], soit un modèle à 9 équations construit à partir du modèle diphasique à 6 équations qu'elle avait précédemment développé [1]. Durant le post-doc d'Hala Ghazi [8], le développement de ce modèle triphasique a été entamé dans le code EUROPLEXUS² (EPX), sur la base des développements faits pour le modèle à 6 équations [5,6] au cours de la thèse de Marco De Lorenzo co-encadrée par Philippe Lafon et Marica Pelanti. Dans cette même thèse, de nouvelles tables thermodynamiques ont été développées pour l'eau et sa vapeur [4] tandis que dans le cadre de la thèse de Yu Fang, des tables ont été aussi développées pour le CO₂ [7].

D'autre part, dans le cadre des modélisations diphasiques et triphasiques précédemment évoquées, les processus de relaxation jouent un rôle crucial et cela tout particulièrement dans le cas de relaxations non instantanées lorsqu'on souhaite prendre en compte des effets de métastabilité. Ces processus de relaxation ont ainsi été étudiés dans le cadre de la thèse de Marco De Lorenzo [6] puis Marica Pelanti a renouvelé cette analyse pour les modèles à 6 et 9 équations [3].

Objectifs du projet de recherche

L'objectif de ce post-doctorat est de modéliser et simuler les phénomènes de transfert thermique et de changement de phase qui interviennent dans une situation d'injection d'énergie thermique dans un liquide. Dans ce travail, après avoir effectué les développements et les validations nécessaires, on modélisera ces phénomènes soit de manière globale à l'aide d'un terme source soit de manière locale en s'intéressant aux phénomènes physiques autour d'une particule solide chaude brusquement immergée au sein d'un liquide froid. Ce travail de modélisation et de simulation sera réalisé en s'appuyant sur ce qui a déjà été introduit dans EPX.

Le programme de travail est le suivant :

- Finalisation de la validation du modèle diphasique à 6 équations développé dans EPX associé aux algorithmes de relaxation interfacés avec les tables thermodynamiques de l'eau ;
- Développement et validation du modèle triphasique à 9 équations déjà introduit dans EPX associé aux algorithmes de relaxation interfacés avec les tables thermodynamiques de l'eau ;

¹ RIA = Reactivity Insertion Accident

² EUROPLEXUS est un code de calcul de Dynamique Rapide appartenant à l'Union Européenne et au CEA et co-développé par EDF

- Analyse des phénomènes d'injection d'énergie thermique dans un liquide à l'aide des modèles précédemment évoqués selon les scenarios suivants :
 - o Scenario global -- On considère ici l'injection d'énergie sous la forme d'un terme source ;
 - o Scenario local -- On souhaite ici modéliser les phénomènes physiques localement au niveau d'une particule chaude : vaporisation, ondes de pression, dynamique de l'interface liquide/vapeur.

Encadrement

Le post-doctorat sera encadré par Marica Pelanti (ENSTA) et Philippe Lafon (EDF) qui ont déjà encadré ensemble la thèse de Marco De Lorenzo et le post-doc d'Hala Ghazi.

Contacts : marica.pelanti@ensta-paris.fr, philippe.lafon@edf.fr

Durée

Le post-doctorat est prévu pour une durée de 12 mois à partir de l'automne 2024.

Localisation

Le post-doctorat se déroulera dans les locaux IMSIA d'EDF Lab Paris Saclay (Palaiseau) situé très proche des laboratoires de l'ENSTA.

Références

- [1] M. Pelanti, K.-M. Shyue, A mixture energy consistent six-equation two-phase numerical model for fluids with interfaces, cavitation and evaporation waves, *Journal of Computational Physics* 259, 331–357 (2014)
- [2] M. Pelanti and K.-M. Shyue, A numerical model for multiphase liquid-vapor-gas flows with interfaces and cavitation, *Int. J. Multiphase Flow*, 113, 208-230, 2019.
- [3] M. Pelanti, Arbitrary-rate relaxation techniques for the numerical modeling of compressible two-phase flows with heat and mass transfer, *International Journal of Multiphase flow*, 153, 104097 (2022)
- [4] M. De Lorenzo, P. Lafon, M. Di Matteo, M. Pelanti, J.-M. Seynhaeve, Y. Bartosiewicz, Homogeneous two-phase flow models and accurate steam-water table look-up method for fast transient simulations, *International Journal of Multiphase flow*, 95, 199-219 (2017)
- [5] M. De Lorenzo, M. Pelanti, P. Lafon, HLLC-type and path-conservative schemes for a single-velocity six-equation two-phase flow model: A comparative study. *Applied Mathematics and Computation* 333, 95-117 (2018)
- [6] M. De Lorenzo, P. Lafon, M. Pelanti, A hyperbolic phase-transition model with non-instantaneous EoS-independent relaxation procedures, *Journal of Computational Physics*, 379, 279-308 (2019)
- [7] Y. Fang, M. De Lorenzo, P. Lafon, S. Poncet, Y. Bartosiewicz, An Accurate and Efficient Look-up Table Equation of State for Two-phase Compressible Flow Simulations of *Carbon Dioxide*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 57(22),7676–7691 (2018)
- [8] Hala Ghazi, Numerical modelling of multiphase liquid-vapor-gas flows with realistic tabulated EOS, IMSIA research report (2021)