

Sujet de stage post-doctoral de 12 mois intitulé

**Raidissement des interfaces dans les modèles multiphasiques à interface diffuse en présence de phénomènes d'échanges à l'interface**

Proposé par : C. Fochesato<sup>1</sup>, R. Motte<sup>2</sup>, M. Peybernes<sup>1,+</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Modélisation des Accidents Graves (DEN/CAD/DTN/SMTA/LMAG), CEA Cadarache, <sup>2</sup> CEA, DAM, DIF, CEA Bruyères-Le-Châtel  
+ contact : [mathieu.peybernes@cea.fr](mailto:mathieu.peybernes@cea.fr)

Résumé

Afin d'étudier les écoulements multiphasiques à phases séparées, présents dans de nombreuses applications de la DAM et de la DEN, l'utilisation d'une représentation dite « diffuse » des interfaces entre les différentes phases s'est développée. Elle est généralement basée sur la résolution d'une équation de transport d'un champ scalaire définissant l'interface et présente des avantages qui conduisent à considérer ce type de modélisation (capacité à traiter des géométries complexes, performances, robustesse). En outre, ces méthodes sont, par construction, plus tolérantes vis-à-vis des raideurs numériques inhérentes à certains modèles tels que le glissement, et potentiellement, plus robustes dans l'optique de l'accroissement de la taille des maillages. Mais pour être efficaces et utilisables dans un contexte industriel, il est cependant indispensable de réduire la diffusion numérique inhérente à ce type de méthodes. Des méthodes dites de « raidissement » (sharpening ou steepening) d'interface, ont été proposées dans la littérature essentiellement dans le cadre des phénomènes d'advection. Pour répondre aux applications de la DAM et de la DEN mettant en jeu des modèles multiphasiques plus généraux, ces méthodes doivent, en outre, être évaluées et éventuellement modifiées en relation avec l'ajout de modèles d'échanges à travers l'interface. Cela concerne en particulier la conduction thermique entre deux phases en déséquilibre de température, la prise en compte des changements de phase fusion/solidification ou vaporisation/condensation, ou encore la prise en compte du glissement entre phases.

Mots-clés : écoulements multiphasiques, interface, méthodes anti-diffusives

Abstract

In order to study the multiphase phase-separated flows present in many DAM and DEN applications, a so-called "diffuse" representation of the interfaces between the different phases has been developed. It is generally based on the solution of a transport equation for a scalar field defining the interface and has advantages that lead to consider this type of modeling (ability to deal with complex geometries, performance, robustness). In addition, these methods are, by design, more tolerant to the numerical stiffnesses inherent in certain models such as sliding, and potentially more robust in view of increasing the size of the meshes. But to be effective and usable in an industrial context, it is however essential to reduce the numerical diffusion inherent to this type of methods. Methods known as "sharpening" (or steepening) interface, have been proposed in the literature mainly in the context of advection phenomena. In order to answer to DAM and DEN applications involving more general multiphase models, these methods must, in addition, be evaluated and possibly modified in connection with the addition of exchange models across the interface. This concerns, in particular, the thermal conduction between two phases in temperature imbalance, the consideration of the melting / solidification or vaporization / condensation phase changes, or of the sliding between phases.

Keywords: multiphase flows, interface, anti-diffusive

## Contexte général et enjeux

La DAM et la DEN sont engagées dans le développement ou la rénovation de logiciels d'écoulements multiphasiques comportant des interfaces entre phases non miscibles à l'échelle d'intérêt (on parle aussi d'écoulements à phases séparées ou d'interfaces raides). Après une période principalement portée sur l'utilisation de méthodes de reconstruction d'interfaces plutôt géométriques comme VOF/PLIC, DAM/DIF/SSA souhaite approfondir la voie offerte par une représentation diffuse de l'interface où celle-ci apparaît comme une zone de mélange d'épaisseur finie (basée généralement sur la résolution d'une équation de transport d'un champ scalaire définissant l'interface). Cette zone de mélange artificielle provient de la diffusion numérique qui tend à étaler la présence de chaque fluide aux abords de l'interface représentée sur plusieurs mailles.

Cette approche, pour être performante et capturer les interfaces non miscibles sur des épaisseurs de taille raisonnable, nécessite l'utilisation de techniques de raidissement de l'interface qui vont chercher à éviter ou compenser l'effet de la diffusion numérique (on parle de méthodes « sharpening », « steepening », ou anti-diffusives). Elle a été suivie à la DEN pour le code EUROPLEXUS notamment, et les équipes chargées du développement de nouvelles applications au DEN/DTN/SMTA/LMAG souhaitent à leur tour explorer cette approche.

L'objectif est d'améliorer et industrialiser ces méthodes afin qu'elles soient pertinentes pour un champ plus grand d'applications que celles où elles ont été testées jusqu'à présent, notamment celles ayant une physique d'interface plus complexe. Plusieurs applications ont été ciblées dans le cadre de cette étude :

- Dans le cadre de l'étude des accidents graves à la DEN, l'interaction corium-réfrigérant qui est un phénomène d'interaction en dynamique rapide entre du corium liquide chaud et du liquide réfrigérant se vaporisant à une température bien inférieure à celle du corium ; il s'ensuit une fragmentation du corium et une vaporisation intense pouvant conduire à ce qu'on appelle une explosion de vapeur ; afin de mieux comprendre le phénomène, des modèles permettant de suivre les interfaces entre le corium et le réfrigérant liquide et vapeur sont étudiés ; les transferts de chaleur sont primordiaux, ainsi que le changement de phase liquide/vapeur du réfrigérant.
- Dans le cadre des applications de la DAM, une application identifiée met en jeu la transition d'un modèle laminaire à un modèle turbulent : l'interface entre une région dans laquelle l'écoulement est laminaire et la région dans laquelle il devient turbulent (et modélisé par un modèle de mélange) peut être considérée comme une interface entre un milieu pur et un milieu hétérogène. Cela implique le passage d'une modélisation « sharp » de l'interface à une modélisation de type mélange pour le milieu turbulent. Le phénomène physique mis en jeu peut même aboutir à la présence de mailles où coexistent ces différents types de modélisation. Il est alors d'un intérêt particulier de disposer d'une méthode de suivi d'interface compatible ou continue entre les différents modèles.

Ces configurations conduisent à devoir prendre en compte différents échanges à l'interface : du transfert de masse et d'énergie, mais aussi des échanges de quantité de mouvement associés au glissement entre phases. La compréhension obtenue pourra alors servir à d'autres applications comme celles impliquant du changement de phase par fusion / solidification à la DEN.

## Description de l'approche scientifique

Les méthodes développées devront être utilisables sur des maillages cartésiens ou non-structurés et/ou non-conformes, et être performantes en temps de calcul sur les actuelles et futures architectures HPC. Les méthodes de suivi d'interface « diffuse avec raidissement » ont été proposées dans la littérature essentiellement dans le cadre des phénomènes de transport. Pour répondre aux besoins des applications visées, ces méthodes doivent être d'une part évaluées et industrialisées pour la résolution des phénomènes de transport, et d'autre part éventuellement modifiées pour tenir compte d'échanges à l'interface. Ces échanges concernent par exemple la conduction thermique entre phases en déséquilibre de température, le changement de phase fusion/solidification ou vaporisation/condensation, ou encore le glissement entre phases.

La méthodologie consistera à identifier, parmi les différentes solutions proposées dans la littérature, la méthode la plus prometteuse puis à la modifier pour répondre aux différentes applications en vue, ainsi qu'au cahier des charges technique. Cela conduira à des spécifications communes pour l'élaboration d'une bibliothèque de routines C++ qui visera à être intégrée à terme dans les codes applicatifs. Cette librairie sera prototypée et testée dans le code SHY disposant déjà de méthodes de suivi d'interface VOF/PLIC pour des modèles compressibles multiphasiques de type Euler, et diffuse pour des problèmes d'advection. La librairie sera ensuite testée dans le code SCONE (en C++) de la

DEN, disposant d'un modèle multiphasique compressible avec conduction thermique dans le cadre d'une représentation de type interface diffuse mais sans technique de raidissement. Cela permettra de tester directement l'intérêt de l'approche choisie et la pertinence de la méthodologie suivie.

## Références

- Desprès, B., Lagoutière, F., 2001. Contact discontinuity capturing schemes for linear advection and compressible gas dynamics. *SIAM Journal of Scientific Computing* 16, 479–524.
- Desprès, B., Lagoutière, F., 2007. Numerical resolution of a two-components compressible fluid model with interfaces. *Progress in Computational Fluid Dynamics* 7 (6), 295–310.
- B. Desprès, F. Lagoutière, E. Labourasse, I. Marmajou, An antidissipative transport scheme on unstructured meshes for multicomponent flows : *International Journal on Finite Volumes* 7, num 1 (2010)
- Desprès, B., Lagoutière, F., Labourasse, E., Marmajou, I., 2010. An anti-dissipative transport scheme on unstructured meshes for multicomponent flows. *International Journal on Finite Volumes* 7, 30–65.
- V. Faucher and S. Kokh, Extended Vofire algorithm for fast transient fluid-structure dynamics with liquid-gas flows and interfaces, *J. Fluids and structures*, 39, pp. 25 (2013).
- A. Bernard-Champmartin and F. De Vuyst, A low diffusive Lagrange-remap scheme for the simulation of violent air-water free-surface flows, *Journal of Computational Physics*, vol. 274, 19–49 (2014).
- F. De Vuyst, T. Gasc, R. Motte, M. Peybernes, R. Poncet, « Lagrange-Flux Schemes : reformulating Second-Order Accurate Lagrange-Remap Schemes for Better Node-Based HPC Performance », *Oil and Gas Science and Technology journal (OGST)*, Special issue for the SIMRACE 2015 Conference, vol 71, num 6, online, 2016.