

Offre de stage de recherche de Master 2

Implémentation d'un solveur variationnel de relaxation de la pression dans le code ECOGEN pour la simulation d'écoulements compressibles multiphasiques avec la méthode des interfaces diffuses

Responsables du stage

Nicolas Favrie

nicolas.favrie@univ-amu.fr

Thomas Heuzé

thomas.heuze@enib.fr

Lieu

Laboratoire IUSTI, Technopôle de Château-Gombert,
5 rue Enrico Fermi, 13453 Marseille cedex 13,
FRANCE.

Durée

5-6 mois (démarrage en mars 2026)

Gratification

En accord avec la législation française

[<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F32131>]

1 Contexte scientifique

La modélisation eulérienne d'écoulements compressibles multiphasiques, comprenant des phases potentiellement solide et/ou fluide, est d'une grande importance pour la simulation numérique d'applications de l'ingénieur pour des milieux fluides (cavitation au voisinage de pale, lithotripsie) comme pour des milieux solides (compaction de milieux hétérogènes [1], poreux). Elle nécessite entre autres de pouvoir suivre les interfaces au cours du temps et traiter des mélanges au sein d'un maillage de calcul fixe. Parmi les différentes approches existantes, la méthode des interfaces diffuses [2] permet de considérer les interfaces et les mélanges avec les mêmes modèle et schéma numérique dans tout le domaine de calcul, les interfaces étant considérées comme des zones de mélange.

Cependant, les interfaces sont autorisées à diffuser numériquement, et s'étalent donc sur plusieurs mailles au cours de la simulation. La simulation numérique de chocs sur ces interfaces étalées peut faire apparaître un phénomène de piégeage d'onde résultant d'une vitesse du son du mélange plus faible de celle de chaque phase, conduisant à des problèmes de convergence du calcul. Une approche suivie a consisté, après l'étape de convection des ondes, à effectuer une relaxation à vitesse finie des pressions de chaque phase dans une maille de calcul [2], ce qui permet de limiter le phénomène de piégeage d'onde et améliorer la convergence des calculs.

On s'intéresse dans ce stage à une modélisation mathématique de la relaxation qui est décrite dans un cadre thermodynamiquement cohérent, avec des potentiels d'état et de dissipation. Cette modélisation peut se réécrire comme un principe variationnel, c'est-à-dire un problème d'optimisation d'une fonctionnelle, conduisant à un intégrateur variationnel discret précis à l'ordre un. Ce solveur a été implémenté dans un code de démonstration écrit en Python, et a montré son bon fonctionnement et sa robustesse. En revanche, la simulation numérique de scénarii d'écoulements multiphasiques multi-dimensionnels plus complexes requiert l'utilisation d'un langage et d'un code de calcul plus efficaces.

2 Objectif

L’objectif de ce stage est d’implémenter ce solveur variationnel de relaxation des pressions dans le code de calcul CFD open-source ECOGEN [3], développé en langage C++. ECOGEN (https://code-mphi.github.io/ECOGEN/docs/sphinx_docs/index.html). Ce code permet de résoudre des modèles d’écoulements multiphasiques avec la méthode des interfaces diffuses, utilise un schéma volumes finis avec divers types de grilles de calcul (cartésiennes, AMR et non structurées), et peut fonctionner sur plusieurs milliers de coeurs en utilisant MPI. Des cas de test simples permettront de valider l’implémentation, avant de tester des configurations multi-dimensionnelles plus riches.

3 Activités du stagiaire

Les activités consisteront à

- se familiariser avec la modélisation hyperbolique multiphasique, et les solveurs de relaxation existants.
- se familiariser avec la modélisation thermodynamique, la formulation variationnelle, et l’intégrateur discret implicite de la relaxation à plusieurs phases.
- se familiariser avec le code ECOGEN [3], et son environnement informatique.
- implémenter le solveur de relaxation dans le code ECOGEN.
- valider l’implémentation sur divers cas tests.

4 Profil recherché

Nous recherchons un candidat ayant de solides compétences en mathématiques et méthodes numériques, et appréciant la programmation dans des langages de calcul scientifique (C++, Fortran). Le candidat fera preuve de rigueur et d’une importante curiosité scientifique. L’anglais couramment parlé et écrit est également requis. Des compétences en mécanique des fluides et des solides seront un plus.

Ce travail sera effectué en Zone à Régime Restrictif (ZRR). La validation par le fonctionnaire sécurité défense sera nécessaire.

5 Poursuite en doctorat

Ce stage pourra être poursuivi par une thèse de doctorat, dans le cadre du projet IPERFrag financé par l’Agence Nationale de la Recherche (ANR).

References

- [1] N. Favrie, K. Schmidmayer, and J. Massoni. A multiphase irreversible-compaction model for granular-porous materials. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, pages 1–25, 2022.
- [2] K. Schmidmayer, J. Cazé, F. Petitpas, E. Daniel, and N. Favrie. Modelling interactions between waves and diffused interfaces. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 95(2):215–241, 2023.
- [3] K. Schmidmayer, F. Petitpas, S. Le Martelot, and É. Daniel. ECOGEN: An open-source tool for multiphase, compressible, multiphysics flows. *Computer Physics Communications*, 251:107093, 2020.

Offre de stage de recherche de Master 2

Implementation of a variational pressure relaxation solver in the ECOGEN code for the simulation of multiphase compressible flows using the diffuse interface method

Internship advisors

Nicolas Favrie

nicolas.favrie@univ-amu.fr

Thomas Heuzé

thomas.heuze@enib.fr

Location

Laboratory IUSTI, Technopôle de Château-Gombert,
5 rue Enrico Fermi, 13453 Marseille cedex 13,
FRANCE.

Duration

5-6 months (Start in march 2026)

Gratification

In accordance with French legislation

[<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F32131>]

1 Scientific context

Eulerian modeling of compressible multiphase flows, including potentially solid and/or fluid phases, is of great importance for the numerical simulation of engineering applications for both fluid media (cavitation near blades, lithotripsy) and solid media (compaction of heterogeneous, multiphase, porous media [1]). It requires, among other things, the ability to track interfaces over time and handle mixtures within a fixed computational mesh. Among the various existing approaches, the diffuse interface modeling method allows interfaces and mixtures to be considered with the same model and numerical scheme throughout the computational domain, with interfaces being considered as mixing zones.

However, the interfaces are allowed to diffuse numerically, and therefore spread over several meshes during the simulation. Numerical simulation of shocks on these smeared interfaces can lead to a wave trapping phenomenon resulting from a lower mixing speed of sound than that of each phase, leading to convergence problems in the calculation. One approach used, after the wave convection step, was to perform a finite rate relaxation of the pressure of each phase in each grid cell [2], which limits the wave trapping phenomenon and improves the convergence of the calculations.

This internship focuses on a mathematical model of relaxation described within a thermodynamically consistent framework, including state and dissipation potentials. This model can be rewritten as a variational principle, that is, an optimization problem of a functional, whose time-discretization yields a first-order accurate discrete variational integrator. This solver has been implemented in a demonstration code written in Python and has shown the good relevance and robustness of the proposed approach. However, the numerical simulation of more complex, multidimensional, multiphase flow scenarios requires the use of a more efficient language and computational code.

2 Objective

The goal of this internship is to implement this variational pressure relaxation solver in the open-source CFD software ECOGEN (https://code-mphi.github.io/ECOGEN/docs/sphinx_docs/index.html), developed in C++. This software solves multiphase flow models using the diffuse interface method, employs a finite volume scheme with various types of computational grids (Cartesian, AMR, and unstructured), and can operate on several thousand cores using MPI. Simple test cases will validate the implementation before testing more complex multidimensional configurations.

3 Trainee's activities

Scientific activities will consist in

- get familiar with multiphase hyperbolic modeling, and existing relaxation solvers.
- get familiar with thermodynamic modeling, variational formulation, and the implicit discrete integrator of multiphase relaxation.
- get familiar with the ECOGEN code [3], and its computer environment.
- implement the relaxation solver in the ECOGEN code.
- validate the implementation on various test cases.

4 Profile required

We are looking for a candidate with solid skills in mathematics and numerical methods, and who enjoys programming in scientific computing languages (C++, Fortran). The candidate will demonstrate rigor and a strong scientific curiosity. Fluent written and spoken English is also required. Fluid and solid mechanics skills will be a plus.

This work will be carried out in a Zone à Régime Restrictif (ZRR). Validation by the defense security official will be required.

5 Pursuing a PhD

This internship may be pursued during a PhD thesis, falling in the scope of the project IPERFrag funded by the French national agency for research (ANR).

References

- [1] N. Favrie, K. Schmidmayer, and J. Massoni. A multiphase irreversible-compaction model for granular-porous materials. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, pages 1–25, 2022.
- [2] K. Schmidmayer, J. Cazé, F. Petitpas, E. Daniel, and N. Favrie. Modelling interactions between waves and diffused interfaces. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 95(2):215–241, 2023.
- [3] K. Schmidmayer, F. Petitpas, S. Le Martelot, and É. Daniel. ECOGEN: An open-source tool for multiphase, compressible, multiphysics flows. *Computer Physics Communications*, 251:107093, 2020.