

Effet de la gravité sur le mûrissement dans un mélange binaire

Raphaël Zanella & Hervé Henry

UMR7643 Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Ecole Polytechnique, Route de Saclay, 91128 Palaiseau cedex
herve.henry@polytechnique.edu

Lorsqu'un mélange binaire est refroidi en dessous d'une température critique, il devient instable thermodynamiquement vis-à-vis de la séparation de phase. Deux phases apparaissent spontanément (l'une riche en une espèce, l'autre en l'autre espèce) et forment une microstructure présentant une taille caractéristique qui est le résultat d'un compromis entre effets énergétiques (minimisation de l'énergie de surface) et cinétiques (efficacité de la diffusion à courte distance) [1]-[2]. Par la suite, en suivant un principe de minimisation de l'énergie (ici de surface), la microstructure évolue lentement par diffusion puis par écoulement [3], ce qui entraîne une augmentation de la taille caractéristique. En utilisant des simulations numériques, nous cherchons à comprendre les effets de la gravité (les phases ont des densités différentes) sur le mûrissement hydrodynamique.

Notre approche consiste à résoudre par méthode pseudo-spectrale un modèle fortement non-linéaire couplant l'équation de Cahn-Hilliard [2], pour le calcul de la composition du mélange, et les équations de Navier-Stokes sous l'approximation de Boussinesq, pour le calcul de la vitesse. Considérer l'équation de Cahn-Hilliard implique de travailler avec un modèle à interface diffuse, qui évite d'avoir à suivre l'interface entre les phases au cours de la simulation. L'équation de Cahn-Hilliard a déjà fait ses preuves dans les écoulements de fluides non miscibles, voir [4]-[5] par exemple. Les termes de forçage dans l'équation de la quantité de mouvement sont la divergence du tenseur de capillarité de Korteweg [6] et la force de flottaison liée à la variation de la densité avec la composition.

Dans une première étape, le code est validé sur le régime linéaire de l'instabilité de Rayleigh-Taylor. Les taux de croissance théoriques de perturbations de différentes longueurs d'ondes sont estimés numériquement avec une erreur très faible. Dans une deuxième étape, le code est appliqué au cas du mûrissement hydrodynamique dans un système *infini* (périodique), avec une distribution initiale aléatoire des phases. L'évolution des champs de composition et de vitesse est étudiée en faisant varier les viscosités des phases et le nombre d'Atwood. Différents régimes et taux de mûrissement sont observés selon les valeurs de ces paramètres.

Références

1. J. W. CAHN & J. E. HILLIARD, Free energy of a nonuniform system. I. Interfacial free energy, *The Journal of Chemical Physics*, **28**, 258–267 (1958).
2. J. W. CAHN, Phase separation by spinodal decomposition in isotropic systems, *The Journal of Chemical Physics*, **42**, 93–99 (1965).
3. E. D. SIGGIA, Late stages of spinodal decomposition in binary mixtures, *Phys. Rev. A*, **20**, 2, 595–605 (1965).
4. A. CELANI, A. MAZZINO, P. MURATORE-GINANNESCHI & L. VOZELLA, Phase-field model for the Rayleigh–Taylor instability of immiscible fluids, *J. Fluid Mech.*, **622**, 115–134 (2009).
5. J. KIM, Phase-field models for multi-component fluid flows, *Commun. Comput. Phys.*, **12**, 3, 613–660 (2009).
6. D. M. ANDERSON, G. B. MCFADDEN & A. A. WHEELER, Diffuse-interface methods in fluid mechanics, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **30**, 139–165 (1998).