

22^{ème} Congrès Français de Mécanique

Lyon, 24 au 28 Août 2015

Vers la simulation numérique de mousses instables avec surfactants

Andrea Titta^{a,b}, François Detcheverry^a, Marie Le Merrer^a,
Anne-Laure Biance^a, Peter D.M. Spelt^b

- a. Institut Lumière Matière (ILM), Université Claude Bernard Lyon 1 ,
andrea.titta@univ-lyon1.fr, françois.detcheverry@univ-lyon1.fr,
marie.le-merrer@univ-lyon1.fr, anne-laure.biance@univ-lyon1.fr
- b. Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA), Ecole Centrale
Lyon et Université Claude Bernard Lyon 1, andrea.titta@univ-lyon1.fr,
peter.spelt@univ-lyon1.fr

Résumé :

Les mousses ou matériaux moussés sont utilisés en raison de leur légèreté, de leur porosité, et de leur pouvoir d'isolation thermique et phonique. Cependant, les mousses solides, qui sont fabriquées à partir des mousses liquides, s'effondrent aux hautes porosités. Notre objectif est de comprendre comment une mousse se casse afin d'éviter cet effondrement, en étudiant les mousses liquides. Pour cela, nous développons un modèle numérique pour la simulation directe de mousses qui sont soumises à un cisaillement. Le point-clé est une description explicite des surfactants dans cet écoulement diphasique. Dans ce travail, nous proposons une extension de la méthode de simulation numérique "Level set" déjà établie pour des écoulements diphasiques, en prenant en compte la présence de surfactants. Les résultats des tests de validation sont présentés.

Abstract :

Foams or foamed materials are used because of lightness, insulating power from a thermal and phonic point of view, and because of porosity. But at high porosity solid foams (made from liquid foams) collapse. Our main objective is to develop understanding as to how a foam breaks in order to avoid this, by studying liquid foams. For this purpose, we develop here a computational model for the direct numerical simulation of foams that are exposed to shear. Key here is to account for the presence of surfactants in these two-phase flows. In the present work, we extend a well-established level-set method for two-phase flow simulations to account for surfactants. Results of validation tests are presented.

Mots clefs : Level set, surfactants, matériaux cellulaires, mécanique

des fluides, mousse, isolation

1 Introduction

Les mousses ou matériaux moussés sont utilisés pour leur légèreté, leur porosité et pour leur pouvoir d'isolation thermique ou phonique. Cependant, un problème de stabilité se pose pour les mousses solides, ce qui limite leurs performances. Afin de pouvoir améliorer la stabilité des mousses solides, nous nous intéressons à leur précurseur, les mousses liquides (voir [1]). Un des paramètres jouant un rôle important dans la stabilité des mousses liquides est la nature du surfactant utilisé. D'un point de vue expérimental, il est très difficile de mesurer localement la concentration des surfactants. C'est pourquoi nous développons une approche de simulation numérique afin de pouvoir étudier la répartition des surfactants. Notre objectif est une description complète des écoulements à l'échelle de quelques bulles (échelle locale) et de faire le lien avec la stabilité globale de la mousse.

2 Méthode numérique

L'approche numérique employée est la méthode Level Set avec la résolution des équations de Navier-Stokes pour un écoulement diphasique dont les interfaces évoluent au cours du temps. Une méthode Level Set sans surfactants déjà existante (Two Phase Level Set, TPLS haute performance MPI) a été utilisée (voir [3]), à laquelle nous avons ajouté le modèle des surfactants construit en utilisant une méthode de diffusion d'interface (voir [2]). Les surfactants sont supposés solubles dans la phase liquide. Les équations décrivant la dynamique des surfactants dans le liquide et à l'interface liquide/gaz peuvent être écrites sous la forme suivante:

$$\frac{\partial}{\partial t}(f\delta_\Gamma) + \nabla \cdot (f\delta_\Gamma \mathbf{u}) = D_f \nabla \cdot (\delta_\Gamma \nabla f) + \delta_\Gamma j, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\chi F) + \nabla \cdot (\chi F \mathbf{u}) = D_F \nabla \cdot (\chi \nabla F) - \delta_\Gamma j, \quad (2)$$

avec δ_Γ qui représente la fonction de Dirac à une dimension à l'interface liquide/gaz, f est la concentration des surfactants à l'interface, F est la concentration des surfactants dans le liquide, χ est la fonction caractéristique qui détermine si l'on se trouve dans le liquide ou dans le gaz, \mathbf{u} est le champ de vitesse, D_f et D_F sont les coefficients de diffusion et j est le terme source. Ici, l'équation (1) décrit l'évolution de la concentration des surfactants à l'interface, et l'équation (2) représente l'évolution de la concentration des surfactants dans le liquide. L'équation (1) correspond à une forme de distribution du modèle de surfactant déjà établi de Wong et al (voir [6]); l'équation (2) correspond à une équation d'advection-diffusion soumise à une absorption au niveau d'une interface, aussi dans une forme de distribution. Le terme source j est donné par:

$$j(f, F) = r_a F_s (f_\infty - f) - r_d f. \quad (3)$$

où r_a , r_d sont les coefficients d'adsorption et de desorption, F_s est la concentration des surfactants dans le liquide immédiatement adjacent à la surface, et f_∞ est la concentration des surfactants maximale à l'interface. Les équations (1-3) proviennent de [2] et sont résolues partout dans le domaine numérique; la méthode numérique employée ici est similaire à celle utilisée dans la Ref. [2].

3 Validation des résultats

Une fois le modèle de l'évolution des surfactants développé, une validation de celui-ci est nécessaire. Nous effectuons des tests en 2D de comparaison dans une géométrie simple: une goutte dans un écoulement cisailé entre deux plaques, une situation étudiée dans la Ref. [2] et schématisée sur la Figure 1:

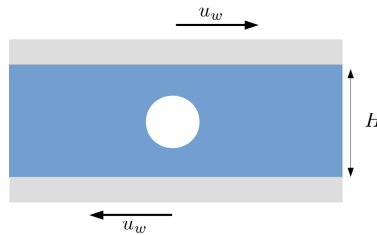


Figure 1: schéma de la goutte cisailée

Ces comparaisons sont présentées ci-dessous en fonction des paramètres de la simulation numérique, qui sont le nombre de Biot et le nombre de Péclet:

$$Bi \equiv \frac{r_d H}{u_w}, \quad Pe_F \equiv \frac{u_w H}{D_F}, \quad (4)$$

H correspond à la hauteur totale du domaine numérique et u_w est la vitesse au niveau des plaques.

Nous allons tout d'abord présenter les résultats en faisant varier le nombre de Biot; bien que les résultats présentés ici sont en 2D, la méthode a été implémentée en 3D. Pour un faible Bi nous obtenons les résultats suivants, concernant l'évolution de la concentration des surfactants dans le liquide pour la goutte qui se déforme, qui sont visibles sur la Figure 2. Avec une valeur de Bi plus élevée, les résultats toujours pour la goutte qui se déforme sont visibles sur la Figure 3.

Ensuite, nous allons faire varier le nombre de Péclet. Pour un nombre de Péclet

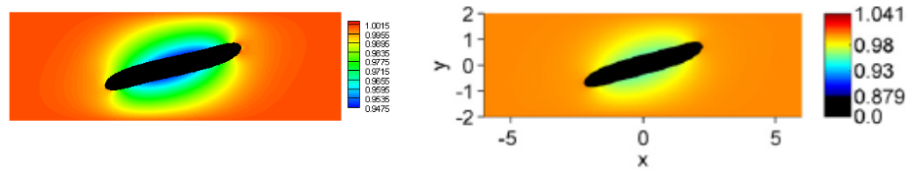


Figure 2: Concentration en surfactant dans le liquide F calculée avec notre méthode (gauche) et la méthode [2] (droite). Ici $Bi = 0.2$ et $Pe_F = 8$.

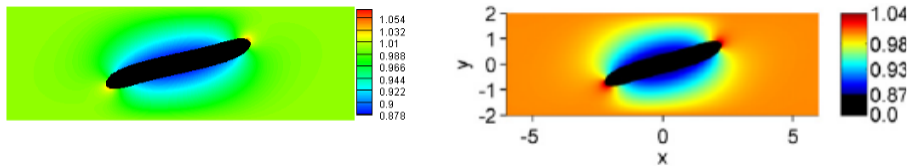


Figure 3: Comme dans la Figure 2 avec $Bi = 20$.

(Pe_F) élevé, l'évolution de la concentration des surfactants dans le liquide donne:

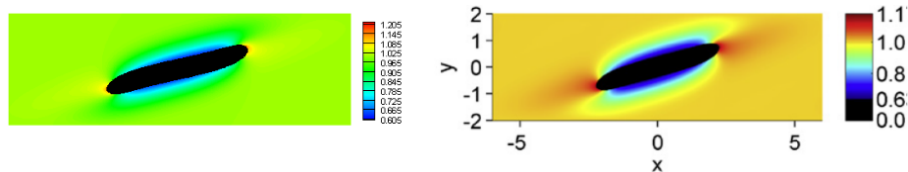


Figure 4: concentration en surfactants dans le liquide F calculée avec notre méthode (gauche) et la méthode [2] (droite). Ici $Pe_F = 80$ et $Bi = 2$.

D'après ces figures, nous pouvons constater un bon accord entre les résultats issus du travail de simulation numérique et les travaux de [2], ce qui est encourageant concernant la validation du modèle de l'évolution de la concentration en surfactants. Les résultats de ces tests en 3D et des résultats préliminaires de mousses cisillées seront présentés lors de la conférence.

4 Discussions

Afin de pouvoir renforcer les arguments concernant la validation de ce modèle, d'autres tests de comparaison avec des situations de référence de la littérature avec notamment l'ascension d'une bulle (voir [4] et [5]) seront réalisés. Une fois cette validation atteinte, le modèle de simulation numérique Level Set avec les surfactants sera utilisé dans le cas de la mousse (assemblée de bulles entourées par du liquide), afin de comprendre le mécanisme des surfactants sur la stabilité de la mousse.

Les remerciements vont à la région Rhône-Alpes concernant le financement ARC Én-

ergies mis à disposition pour ce projet.

References

- [1] A.L. Bianco, A. Delbos, O. Pitois, *How topological rearrangements and liquid fraction control liquid foam stability*, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 068301 1-4.
- [2] K. E. Teigen, P. Song, J. Lowengrub, A. Voigt, *A diffuse-interface method for two-phase flows with soluble surfactants*, J. Comput. Phys. 230 (2011) 375-393.
- [3] L. Ó Náraigh, P. Valluri, D. M. Scott, I. Bethune, Peter D. M. Spelt, *Linear instability, nonlinear instability, and ligament dynamics in three-dimensional laminar two-layer liquid/liquid flows*, J. Fluid Mech. 750 (2014) 464-506.
- [4] J. Li, *The effect of an insoluble surfactant on the skin friction of a bubble*, Eur. J. Mech. B/Fluids 25 (2006) 59-73.
- [5] B. Cuenot, J. Magnaudet and B. Spennato, *The effects of slightly soluble surfactants on the flow around a spherical bubble*, J. Fluid Mech. 339 (1997) 25-53.
- [6] H. Wong, D. Rumschitzki, C. Maldarelli, *On the surfactant mass balance at a deforming fluid interface*, Phys. Fluids 8 (1996) 3203-3204.