

Invitation à la soutenance de thèse

Développement d'un modèle intégral avec transport d'une fonction couleur pour la simulation d'écoulements de films minces partiellement mouillants

Bastien Delacroix

22 janvier 2024 - 14h
Auditorium ONERA Toulouse

Devant le jury composé de :

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Christian Ruyer-Quil | LOCIE, Université Savoie Mont Blanc | Rapporteur |
| Arnaud Antkowiak | FCIH, Sorbonne Université | Rapporteur |
| Raphaël Loubère | IMB, Université de Bordeaux | Examinateur |
| Anne Gosset | Université de La Corogne | Examinatrice |
| Philippe Villedieu | DMPE, ONERA | Directeur de thèse |
| Claire Laurent | DMPE, ONERA | Co-directrice de thèse |
| Maxime Bouyges | DMPE, ONERA | Encadrant |
| Ghislain Blanchard | DMPE, ONERA | Encadrant |

Résumé

Pourquoi une goutte d'eau a tendance à prendre la forme d'une sphère ? Pourquoi reste-t-elle accrochée sur sa feuille lors de la rosée du matin ? Pourquoi, au contraire, ruisselle-t-elle jusque sur le sol ? Toutes ces questions en apparence simplistes font appel à des phénomènes microscopiques très complexes dont la nature physique est encore aujourd'hui sujet à débat. Leur compréhension est cependant un enjeu majeur pour de nombreuses applications industrielles. C'est notamment le cas en aéronautique où un film mince se forme sur l'aile suite au passage d'un aéronef au travers d'un nuage ou après une opération de dégivrage. L'évolution de la surface mouillée du film modifie directement les transferts thermiques à la paroi qui sont dimensionnants pour les dégivreurs thermiques et joue également sur les formes de , regel un peu plus loin en dehors des zones de protection lorsque le film transitionne en ruisselets en amont. Or, le mouillage n'est classiquement pas pris en compte dans les outils de simulations ; ou alors de manière rudimentaire via des corrélations empiriques. C'est pourquoi, il est nécessaire d'améliorer les outils existants en développant de nouveaux modèles capables de prendre en compte l'influence des forces capillaires à l'échelle macroscopique, notamment au niveau de la ligne triple

L'objectif général de cette étude est donc le développement d'un modèle adapté à la simulation à grande échelle d'écoulements de films minces partiellement mouillants.

Dans cette optique, une approche basée sur un système d'équations de type Saint-Venant a été adoptée. Cependant, ce système sous sa forme classique ne permet pas la simulation de films minces avec effet de mouillage partiel. Une solution pour prendre en compte ces effets est d'ajouter une force macroscopique concentrée au niveau de la ligne de contact. Cette force singulière permet de vérifier

localement la loi macroscopique de Young-Dupré mais la difficulté est de localiser précisément la ligne triple pour que la force s'applique au bon endroit. Contrairement aux modèles rencontrés dans la littérature qui se basent tous sur l'utilisation d'un paramètre ajustable, permettant de faire la distinction entre zone sèche et zone mouillée, nous proposons ici une approche avec transport d'une fonction couleur. Cette fonction, définie, dans le cas idéal, comme égale à l'unité dans les zones mouillées et nulle dans les zones sèches, présente l'intérêt d'avoir un gradient identiquement nul, sauf au niveau de la ligne triple, ce qui permet de localiser et de régulariser la force lorsque la fonction couleur varie continument de 0 à 1 entre les zones sèches et les zones mouillées.

L'introduction de cette fonction couleur oblige à reformuler en partie le système d'équations de Saint-Venant afin de tenir compte de cette nouvelle fonction dans l'expression des différents termes de forces agissant sur le film. Pour justifier le choix de cette nouvelle formulation, une méthode basée sur une formulation eulérienne du principe de Hamilton a été utilisée. Cette méthode permet d'obtenir une équation de quantité de mouvement avec comme unique point de départ une expression de la densité d'énergie du système en fonction des variables utilisées.

Ce nouveau système d'équations, en plus d'être complètement affranchi d'un paramètre de calibration, présente l'avantage d'être complètement hyperbolique dans le cas où les effets de courbure ne sont pas pris en compte. Cela a permis le développement d'un solveur de Riemann de type HLLC pour résoudre numériquement ce système d'équations. Afin de tester la robustesse des modèles physiques et numériques, un ensemble de cas de validation a été mis en place.

Enfin, les termes de courbure ont été pris en compte dans le schéma numérique final permettant d'étendre considérablement le champ d'application de ce nouveau modèle avec fonction couleur. Ainsi des problèmes où les effets capillaires sont prédominants ont pu être simulés.

Mots clés : Mécanique des fluides, CFD, solveur de Riemann, fonction couleur, films minces, ruissellement