
Écoulement de convection naturelle stationnaire dans un thermosiphon incliné

Elisa Goulliart^{*1}, Nora Aïssiouene², Diana Baltean-Carlès¹, Yann Fraigneau³,
Pierre-Yves Lagrée¹, and Catherine Weisman¹

¹Institut Jean Le Rond d'Alembert – Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7190 – France

²Sorbonne Université Maison des Modélisations Ingénieries et Technologies – Sorbonne Université – France

³Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique – Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, Centre National de la Recherche Scientifique – France

Résumé

Nous étudions des écoulements de convection naturelle dans un circuit de canaux fermé soumis à un fort gradient de température. Ce type d'écoulement peut être rencontré dans des applications industrielles telles que le transport de gaz à travers des gazoducs, ou dans des applications en géothermie ou en génie civil dans les régions subarctiques. Le circuit fermé est constitué de quatre canaux perpendiculaires entre eux. Les parois de deux canaux parallèles sont maintenues à deux températures constantes et différentes (température chaude et température froide), les parois des deux autres canaux sont adiabatiques. La différence de température engendre un écoulement de convection naturelle dont l'intensité dépend de l'inclinaison de la structure par rapport à la gravité.

Lorsque la différence de température est importante, des modèles hors-Boussinesq de type faible nombre de Mach (1) sont nécessaires pour décrire l'écoulement et les transferts de chaleur. Des simulations 2D instationnaires sont menées en utilisant un code volumes finis (2) permettant de résoudre les équations dans une cavité fluide avec un corps immergé en son centre. Plusieurs angles d'inclinaison de la structure sont considérés et les mécanismes de transfert de chaleur dominants sont présentés et analysés.

Dans le cas où l'épaisseur de chaque canal est très petite devant sa longueur, un modèle quasi-unidimensionnel (3) dérivé à partir de l'approximation faible mach peut s'avérer pertinent par rapport à l'utilisation de la CFD pour réduire les temps de calcul. Le modèle développé dans (3) a été enrichi avec la prise en compte de la conduction de la chaleur selon l'axe des canaux, ce qui permet de modéliser toutes les inclinaisons.

Pour un écoulement stationnaire, une solution pseudo-analytique est proposée pour ce modèle enrichi. Les solutions obtenues sont en adéquation avec les simulations numériques 2D et permettent de décrire l'écoulement et les transferts de chaleurs pour toutes les configurations considérées, qui varient de la conduction dominante à une cavité différentiellement chauffée

*Intervenant

en passant par une configuration de type Rayleigh-Bénard. Ce modèle peut être utilisé pour simuler des géométries plus complexes.

Références :

- (1) S. Paolucci. On the filtering of sound from the Navier-Stokes equations. Tech.rep.SAND82-8257. Sandia National Laboratories, 1982.
- (2) Y. Fraigneau: SUNFLUIDH : A software for computational fluid dynamics, User guide. <https://sunfluidh.lisn.upsaclay.fr/>, 2025.
- (3) G. Parasiliti Rantone, N. Aïssiouene, Y. Penel and P.-Y. Lagrée, "Modeling gas flow in a looped thermosyphon with a 1 D low-Mach number expansion", Int. J. Thermal Sciences 220, p 110323, 2026.