

Modélisation des transferts couplés rayonnement – conduction dans des matériaux hétérogènes à haute température. Application aux barrières thermiques

Porteur : Maxime Roger maxime.roger@insa-lyon.fr

Laboratoire : CETHIL UMR 5008,

Partenaires : (si applicable)

Nature du financement demandé : Stage de M2 (6 mois)

Montant de la demande de financement : 3600 €

Résumé : Dans le contexte du développement de méthodes d'identification expérimentale de propriétés thermo-physiques de matériaux hétérogènes (tel que des milieux poreux, fibreux, céramiques ou métalliques) à haute-température pour des applications de type barrières thermiques, l'objectif de ce stage sera de modéliser le couplage des transferts conductifs et radiatifs au sein de ce type de milieux semi-transparentes. Cette modélisation aidera à quantifier l'impact des transferts radiatifs et des transferts conductifs sur la fonctionnalité des matériaux, et d'étudier l'influence des tailles des hétérogénéités sur ces transferts thermiques. Des méthodes de Monte-Carlo symboliques ont été récemment développées pour exprimer les flux radiatifs sous la forme de fonctions polynômiales des propriétés radiatives. L'utilisation de ces méthodes dans ce contexte, en s'appuyant sur les équations de transfert radiatif et l'équation de la chaleur, permettra de proposer des expressions de flux radiatifs en fonction de la température pour faciliter le couplage avec la conduction, et des expressions polynomiales des flux thermiques en fonction des paramètres de taille des hétérogénéités pour analyser leur influence sur la performance thermique des matériaux.

Sujet développé :

La connaissance des propriétés thermo-radiatives (conductivité thermique et propriétés radiatives d'absorption et de diffusion) de matériaux hétérogènes (milieux poreux, fibreux, céramiques ou métalliques etc.) est primordiale pour la prédiction des transferts thermiques dans de tels milieux semi-transparentes. La modélisation des transferts couplés conduction – rayonnement est importante par exemple pour la conception de nouveaux matériaux pour l'isolation, de barrières thermiques ou d'absorbeurs solaires entre autres applications.

Ce travail s'inscrit dans le contexte général du développement de méthodes d'identification expérimentale des propriétés radiatives et conductives s'appuyant sur des développements métrologiques associés à une modélisation des transferts radiatifs et conductifs dans des matériaux hétérogènes. Dans le cadre de la thèse de Yassine Maanane au CETHIL [1], une méthodologie permettant d'identifier les propriétés radiatives de matériaux fibreux a été développée. Celle-ci s'appuie sur des bancs de spectrométrie Infra Rouge (à température ambiante et à haute température) ainsi que sur le développement de méthodes de Monte-Carlo symbolique. Cette méthodologie a permis d'identifier les coefficients d'absorption et de diffusion de matériaux hétérogènes fibreux. Les méthodes de Monte Carlo symbolique permettent d'exprimer les flux radiatifs sous la forme de fonctions polynômiales des propriétés radiatives. Ces méthodes s'avèrent

être un outil très pratique pour la modélisation et l'inversion, offrant un modèle direct simple (un polynôme) dans la procédure d'inversion et permettant de déterminer la nature du problème (bien posé avec une solution unique et stable). De récents développements [2] permettent d'appliquer les méthodes de Monte-Carlo symboliques à d'autres types de paramètres (géométriques par exemple). Un des objectifs sera d'étendre les développements réalisés précédemment, au problème de transferts de chaleurs couplés conduction/rayonnement dans des matériaux hétérogènes semi-transparents.

Objectifs et travail attendus :

- Travail de recherche et analyse bibliographique sur les modèles existants de conduction thermique, sur les méthodes d'homogénéisation en conduction et sur les méthodes de couplages. Plus généralement une étude bibliographique des travaux portant sur les transferts couplés conduction-rayonnement dans les matériaux participants sera réalisée.
- Dans ce stage, on étudiera des matériaux poreux avec des hétérogénéités sphériques ou cylindriques ayant une distribution de tailles définie. Des calculs s'appuyant sur des méthodes de Monte-Carlo standard et des méthodes de Monte-Carlo symboliques seront développées afin de résoudre les équations de transfert radiatif et l'équation de la chaleur dans ces matériaux.
- L'utilisation des méthodes de Monte-Carlo symbolique permettra :
 - de proposer des modèles de flux radiatifs en fonction de la température afin de faciliter le couplage avec les transferts conductifs pour la résolution de l'équation de la chaleur.
 - de proposer des expressions des flux thermiques en fonction des paramètres décrivant la distribution des hétérogénéités (paramètres de description de la distribution des rayons des pores, fractions volumiques etc.) et d'étudier l'influence de ces paramètres sur les performances thermiques du matériau.
- Enfin la résolution de l'équation de la chaleur en tenant compte du couplage conduction-rayonnement dans des milieux poreux permettra, de déterminer quelle influence chacun des deux modes de transfert de chaleur peut avoir au sein des matériaux étudiés, et de déterminer en particulier quel est l'impact des transferts radiatifs sur les performances thermiques de ces matériaux dans des procédés à haute-température.

Références

[1] Y. Maanane, M. Roger, A. Delmas, M. Galtier, F. André, Symbolic Monte Carlo method applied to the identification of radiative properties of a heterogeneous material. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 2020. (<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107019>).

[2] M. Roger, Y. Maanane, M. Galtier, F. André, A. Delmas, Symbolic Monte Carlo based on orthogonal polynomial series : application to phase function, *Proceedings 9th Int. Symposium on Radiative Transfer, RAD-19, Athens, Greece*.