

Modélisations et Calculs de coefficients d'échange de chaleur et de masse pour des gaz en situation complexe

Vincent PAVAN *

Cette présentation traite des méthodes de calculs et de modélisation permettant de quantifier les coefficients de transport de chaleur et de masse pour les gaz dilués et/ou raréfiés en situation complexe. Plus précisément, nous nous focaliserons sur trois situations particulières :

1. ***les échanges de chaleur au sein d'un gaz raréfié en situation multi-thermostaté.*** Classiquement, la physique statistique sait modéliser trois types de situations thermodynamiques : le cas micro-canonique où le système est isolé, i.e. n'échange ni de chaleur ni de masse avec l'extérieur, le cas canonique où le système conserve sa masse mais échange de la chaleur avec réservoir de température, le cas grand-canonique où le système échange de la masse et de la chaleur avec un réservoir de potentiel chimique. Dans chacun de ces cas, l'existence d'un potentiel thermodynamique (entropie, énergie libre, enthalpie libre) permet de montrer la convergence en temps long du système vers un état d'équilibre. Dans cette présentation, nous montrons sur un système cinétique raréfié, comment on peut étudier la thermodynamique d'un système en contact avec plusieurs thermostats en même temps. A partir d'un modèle explicite de collision particule/paroi, nous montrons qu'un tel système obéit à une inégalité de Clausius généralisée. Nous montrons également qu'il ne présente pas de fonction de Lyapounov et que l'étude de la convergence en temps long, malgré la linéarité, ne peut pas s'obtenir par l'application d'un théorème de Weyl. En revanche en utilisant des résultats de convergence des semi-groupes sur les opérateurs ergodiques nous établissons l'unicité de la limite en temps long. Nous montrons finalement que l'état d'équilibre coïncide avec l'extremum du taux de création d'entropie. En appliquant le modèle au cas des cylindres co-axiaux à différentes températures séparés par un gaz raréfié, nous montrons la constistance de nos considérations avec les résultats expérimentaux et donnons de nouvelles interprétations physiques des écarts théoriques aux observations.
2. ***Transport de masse des gaz raréfiés en tube : diffusion de Knudsen et Thermal creep.*** Dans cette partie, nous donnons des formules analytiques de coefficient de diffusion de Knudsen et de Thermal creep pour les gaz raréfiés dont nous validons les valeurs sur des résultats expérimentaux. Nous interprétons le "paradoxe de Knudsen" des écoulements en tube comme une transition de type convection/diffusion. Nous montrons à partir de résultats expérimentaux que cette transition est obtenue dans les tubes grâce à la variation du rapport d'aspect de la section du tube que l'on sait définir pour n'importe quel type de sections.
3. ***Méthodes de calculs des coefficients de transports dans les mélanges de gaz non réactifs avec degré interne de liberté.*** Dans le cas le plus simple, i.e. celui du gaz pur monoatomique, la théorie cinétique peine à calculer exactement la forme des coefficients de transport. En cause : la difficulté pour la théorie cinétique de justifier proprement l'existence des "pseudos" fonctions propres, c'est à dire de la forme a priori des solutions de l'équation $\mathcal{L}(g) = RHS$ où \mathcal{L} est l'opérateur de Boltzmann linéarisé et g la fonction de perturbation. Dans cette partie nous montrons qu'il n'y a aucun besoin d'avoir une idée de la forme a priori des solutions sur la fonction de perturbation pour démontrer et calculer la forme des coefficients de transport. En rappelant des résultats de décomposition sur les tenseurs symétriques, nous présentons une méthode de calcul purement algébrique des coefficients qui permet d'exploiter au mieux la notion d'invariance galiléenne et qui permet d'établir de façon très simple et très direct la forme des coefficients de transports sur les mélanges de gaz non réactifs. Cette méthode utilise essentiellement les outils les plus simples de la théorie de la représentation. Nous montrons que notre formalisme s'applique dans le cas a priori le plus complexe : celui des mélanges de gaz non réactif avec degré interne de liberté. Au passage nous montrons que nous pouvons préciser la loi de Curie sur le couplage des phénomènes de transport dans les gaz dilués.

*Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels
5 rue Enrico Fermi
13453 Marseille cedex 13