

Etude du modèle SLWSSG avec optimisation des gaz gris dans le cadre de la modélisation de l'absorption des fumées de combustion (H_2O , CO_2)

Nom : | Evrard Patricia
Adresse : | Laboratoire de Thermique et Combustion
| Faculté Polytechnique de Mons - Université de Mons
| Rue de L'Épargne, 56 7000 Mons, Belgique
Tél. : | 0032 65 37 44 65
Courriel : | patricia.evrard@umons.ac.be

1 Objectif

Le but de la recherche est de sélectionner et d'évaluer un modèle de rayonnement de gaz présentant un bon compromis entre précision et temps de calcul et qui autorise l'utilisation de n'importe quelle méthode de résolution de l'équation de transfert radiatif (ETR). Ce modèle sera donc basé sur le calcul du coefficient d'absorption. Le modèle doit également être compatible avec le traitement des parois non grises et donc intégrer les caractéristiques spectrales du rayonnement. Le modèle SLWSSG réduit à 3 gaz gris optimisés de Denison & Webb [1,2,3] répond, a priori, à ces différents critères. Il est également décliné avec une fonction cumulative "g" qui introduit une segmentation du spectre d'émission des gaz selon la longueur d'onde. Il permet donc la prise en compte de parois non grises et un calcul radiatif par plages spectrales. Ce modèle est appliqué aux mélanges $CO_2 - H_2O - air$, les gaz "simples" ($CO_2 - air$, $H_2O - air$) font également partie de l'étude.

2 Principe du modèle SLWSSG à 3 gaz gris optimisés

Chaque gaz absorbant est représenté par la somme pondérée de 3 gaz gris optimisés pour un état thermophysique de référence (T_{ref} , P_{atm} , $y_{i,ref}$) et une série de "n" longueurs caractéristiques L_n du domaine gazeux étudié. L'état de référence correspond à l'état moyen du domaine. L'objectif de l'optimisation est de déterminer, pour chaque espèce absorbante, les 3 couples (ω_j , k_j) qui permettent de reproduire au mieux l'émissivité du gaz (1) dans l'état de référence pour toute la gamme de longueurs caractéristiques couvrant le domaine :

$$\text{Fonction à minimiser} = \sum_{L_n} \left(1 - \frac{\epsilon_{SLWL}}{\epsilon_{vraieL}} \right)^2 \quad \text{avec} \quad \epsilon_{SLWL} = \sum_{j=1}^3 \left(1 - e^{-k_j \cdot L} \right) \quad (1)$$

Dans le modèle SLWSSG, les poids (ω_j) associés aux gaz gris sont déterminés via la fonction de distribution (ALBDF) du coefficient d'absorption molaire (C_{abs} , $\eta = k_\eta/N$) pondérée par la fonction de Planck. L'ALBDF (2), notée F, est établie, pour chaque espèce gazeuse, sur

base du spectre haute résolution du coefficient d'absorption :

$$F(C_{abs}, T_b, T_g, P, Y_i) = \frac{1}{\sigma \cdot T_b^4} \sum_m \int_{\Delta_{\eta_m}(C_{abs}, T_g, P, Y_i)} E_{b,\eta}(\eta, T_b) d\eta \quad (2)$$

La fonction de distribution F permet également de déduire les 3 poids et les 3 coefficients d'absorption des gaz gris associés à un autre état thermophysique (T_g, Y_i) et ce à partir des valeurs optimisées à l'état de référence. L'ETR sera résolue pour chaque gaz gris :

$$\frac{dI_j}{ds} = -k_j \cdot I_j + \omega_j \cdot k_j \cdot I_b \quad \text{avec} \quad I = \sum_{j=1}^4 I_j \quad (3)$$

Pour modéliser les mélanges de 2 gaz absorbants, l'approche "directe" développée par Denison & Webb en 1995 [4,5] a été choisie. Les poids et coefficients d'absorption des gaz gris du mélange des 2 espèces sont obtenus en combinant leurs modèles individuels (spectres supposés non corrélés). Les coefficients d'absorption du mélange s'exprimeront par : $k_{jk} = N_d \cdot C_{d,j} + N_e \cdot C_{e,k}$ et leurs poids par $\omega_{jk} = \omega_{d,j} \cdot \omega_{e,k}$. Le mélange est ainsi représenté par 16 poids et 16 coefficients d'absorption (3 gaz gris + 1 gaz clair)². L'ETR est donc, dans ce cas, résolue 16 fois par direction.

$$\frac{dI_{jk}}{ds} = -k_{jk} \cdot I_{jk} + \omega_{jk} \cdot k_{jk} \cdot I_b \quad \text{avec} \quad I = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 I_{jk} \quad (4)$$

Il est possible de réduire ce nombre en utilisant une autre approche pour le traitement des mélanges : l'approche multiplicative, de superposition ou hybride [4,5]. Ces dernières permettent de traiter un mélange de 2 gaz comme un gaz "simple" : 3 gaz gris + 1 gaz clair.

3 Etablir une procédure d'optimisation détaillée

Le choix de la série de longueurs caractéristiques n'est pas évident, des tests sont effectués pour mettre en place une marche à suivre systématique. De même, pour déterminer l'état de référence du domaine, la température tirée de la moyenne du champ en T^4 donne de meilleurs résultats. L'optimisation des gaz gris pour les mélanges (10 paramètres) est plus délicate car la fonction à minimiser présente de multiples minima locaux.

4 Déclinaison du modèle SLWSGG : SLW-1

Récemment, V. Solovjov, D.Lemonnier et B.Webb ont développé une version "allégée" et dérivée du modèle SLWSGG : le modèle SLW-1 [6,7]. SLW-1 modélise l'absorption d'une espèce gazeuse par un seul gaz gris (et un gaz clair) minimisant de ce fait le nombre de résolutions de l'ETR. Les mélanges sont traités de la même façon que dans le modèle SLWSGG. Les quelques résultats publiés [6,7] semblent prometteurs.

5 Références bibliographiques

1. Denison M., Webb B., The spectral line weighted-sum-of-gray-gases model. A review. Proceedings of the First International Symposium on Radiative Heat Transfer, Kusadasi, Turkey, August 14-18, 1995
2. Denison M., Webb B., A spectral line-based weighted-sum-of-gray-gases model for arbitrary RTE solvers, Transactions of the ASME vol 115, November 1993, pp 1004-1012
3. Denison M., Webb B., The spectral line-based weighted-sum-of-gray-gases model in non-isothermal nonhomogeneous media, ASME Journal of Heat Transfer May 1995, vol 117 /359-365
4. Denison M., Webb B., The spectral-line weighted-sum-of-gray-gases model for H₂O/CO₂ mixtures, Transactions of the ASME, Vol.117 August 1995, pp. 788-792
5. Solovjov V.,Webb B., SLW modeling of radiative transfer in multicomponent gas mixtures, Journal of quantitative spectroscopy & radiative transfer vol 65 (2000), pp.655-672
6. Solovjov V, Lemonnier D., Webb B., The SLW-1 model for efficient prediction of radiative transfer in high temperature gases, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Article in Press
7. Solovjov V, Lemonnier D., Webb B., SLW-1 modeling of radiative heat transfer in non-isothermal non-homogeneous gas mixtures with soot. Proceedings of the International Heat Transfer Conference, ICHTC14, August 8-13, 2010, Washington, DC, USA. ICHTC14-22299