

Un schéma de correction de pression pour les écoulements compressibles avec un front de flamme qui se propage

Dionysios GRAPSAS, Université d'Aix-Marseille

Nous étudions ici un schéma numérique pour le calcul des écoulements réactifs partiellement prémélangés régis par les équations d'Euler. Quatre espèces chimiques sont présentes dans l'écoulement : le carburant (F), l'oxydant (O), le produit (P) et un gaz neutre (N), qui forment l'ensemble $\mathcal{I} = \{F, O, N, P\}$.

Le modèle est basé sur un calcul explicite de l'emplacement du front de flamme par une équation aux dérivées partielles de type level-set, appelée G -équation:

$$\partial_t(\rho G) + \operatorname{div}(\rho G \mathbf{u}) + u_f |\nabla G| = 0,$$

où ρ est la masse volumique, \mathbf{u} la vitesse de l'écoulement, u_f la vitesse de flamme, et dont l'inconnue est la "fonction couleur" G , associée à la position du front de flamme. Dans le cas des écoulements parfaitement prémélangés (composition initiale constante), l'état chimique du mélange est déduite par la valeur de G : $G \geq 0,5$ correspond à l'état frais (état initial) et $G < 0,5$ à l'état brûlé.

Dans le cas d'écoulements partiellement prémélangés turbulents, on ne peut plus déduire la composition du mélange de la valeur de G . Un modèle est proposé dans [1] dans le cas non visqueux. Ce modèle dit "asymptotique" est obtenu en écrivant les équations de transport pour les fractions chimiques, $\{\tilde{y}_i, i \in \mathcal{I}\}$, initialement présentes dans l'écoulement, comme si aucune réaction chimique n'avait lieu :

$$\partial_t(\rho \tilde{y}_i) + \operatorname{div}(\rho \tilde{y}_i \mathbf{u}) = 0, \quad \tilde{y}_i(\mathbf{x}, 0) = y_{i,0}(\mathbf{x}), \quad \text{pour } i \in \mathcal{I}.$$

La composition réelle dans la zone brûlée est calculée comme la composition d'équilibre chimique (une vitesse de réaction infinie est supposée). On propose ici une autre extension qui permet en outre de traiter le cas visqueux, et qui consiste à introduire un terme réactif $\dot{\omega}_i$, fonction de G et des fractions massiques $\{y_i, i \in \mathcal{I}\}$, dans les bilans de fractions massiques :

$$\partial_t(\rho y_i) + \operatorname{div}(\rho y_i \mathbf{u}) = \dot{\omega}_i, \quad y_i(\mathbf{x}, 0) = y_{i,0}(\mathbf{x}), \quad \text{pour } i \in \mathcal{I}.$$

Le but de ce travail est de construire un schéma pour la solution du système d'EDP constitué des équations d'Euler, de la G -équation et des bilans de masse pour les espèces chimiques, et d'étudier ses propriétés théoriquement et numériquement. La résolution numérique du problème relaxé est basée sur une discrétisation sur maillage décalé et sur un algorithme de pas fractionnaire de type correction de pression. On démontre que le système conserve les limites physiques des inconnues scalaires et l'intégrale de l'énergie totale, maintient la pression et la vitesse constantes sur les discontinuités de contact (pour une pression fonction de la densité et de l'énergie interne), et que la méthode est consistante, au sens de Lax-Wendroff, avec une formulation faible du modèle (qui implique les conditions de Rankine-Hugoniot).

On prouve la convergence numérique du modèle relaxé vers le modèle asymptotique quand la vitesse de réaction tend vers l'infini. Comme on ne connaît la solution du problème de Riemann que pour le modèle asymptotique [1], on vérifie à la fois la convergence numérique du schéma et du modèle relaxé vers le modèle asymptotique quand les pas de temps et d'espace tendent vers zéro et la vitesse de réaction vers l'infini. Le schéma upwind pour l'opérateur convectif dans les bilans de fractions massiques, donne une convergence lente ; les résultats sont nettement améliorés avec un schéma moins diffusif, de type MUSCL.

Références

- [1] A. BECCANTINI AND E. STUDER, *The reactive Riemann problem for thermally perfect gases at all combustion regimes*, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2010.

Dionysios GRAPSAS, I2M, Université d'Aix-Marseille, 39 rue Frédéric Joliot Curie, 13013 Marseille
dionysios.grapsas@univ-amu.fr

Laura GASTALDO, IRSN, BP 3, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance
laura.gastaldo@irsn.fr

Raphaële HERBIN, I2M, Université d'Aix-Marseille, 39 rue Frédéric Joliot Curie, 13013 Marseille
raphaele.herbin@univ-amu.fr

Jean-Claude LATCHÉ, IRSN, BP 3, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance
jean-claude.latche@irsn.fr