

Évaluation de modèles aux tensions de Reynolds pour l'interaction de mélanges turbulents avec des chocs

■ J. GRIFFOND - O. SOULARD / CEA – DAM Île-de-France

L'interaction de chocs avec des mélanges homogènes est un problème difficile pour les modèles de turbulence. On résume ici une démarche menée à la DAM et développée dans deux articles successifs. Le premier [1] montre comment les résultats tirés de l'analyse d'interaction linéaire (LIA) peuvent être synthétisés en matrices de transfert reliant les valeurs amont et aval des corrélations turbulentes du second ordre. Ces résultats sont obtenus dans la limite des mélanges faiblement turbulents. Le second [2] est dédié à l'évaluation de trois modèles aux tensions de Reynolds augmentés (RSM) pour le même type d'interaction avec des mélanges faiblement turbulents. Celui-ci montre comment dériver des matrices de transfert pour les RSM analogues à celles de la LIA puis comment comparer les matrices ainsi obtenues à la référence donnée par la LIA. Des corrections destinées à améliorer la compatibilité avec la LIA sont finalement proposées pour l'un de ces RSM.

Le mélange turbulent aux interfaces entre fluides joue un rôle majeur dans des domaines variés. Sa prévision est généralement réalisée à l'aide de modèles de turbulence dérivés dans des limites asymptotiques simplificatrices reposant entre autres sur l'hypothèse de continuité des champs moyens, hypothèse invalide en présence de chocs. Prédire la turbulence produite lors d'interaction avec des chocs est de ce fait délicat alors qu'il s'agit du principal moteur du mélange aux interfaces dans les expériences en tube à chocs par exemple [3]. Une autre difficulté tient à ce que très peu de résultats de référence existent concernant le passage d'un choc dans un mélange turbulent. Une des rares théories fournissant des informations de ce type est la LIA. C'est donc la compatibilité des modèles de turbulence avec la LIA que nous cherchons à évaluer et à améliorer.

Matrices de transfert de la LIA

La LIA est une théorie prédisant l'évolution d'un champ de petites perturbations au passage d'un choc. Elle est basée sur la décomposition des fluctuations en ondes d'entropie, de vorticités et acoustiques. Chaque onde incidente, interagissant avec un choc, produit à l'aval tous les types d'ondes avec des amplitudes données par des fonctions de transfert dépendant de son angle d'incidence et de l'intensité du choc. Cette information est trop riche pour être directement exploitée en modélisa-

tion de la turbulence. Le problème est restreint au cas des configurations statistiquement axisymétriques, telles que les tubes à chocs. Celles-ci sont décrites par les modèles RSM à l'aide de vecteurs d'états, notés X , constitués de 4 scalaires impliquant les corrélations des fluctuations de vitesse longitudinale, vitesse transverse et densité. Pour un champ amont libre de fluctuations acoustiques, à l'ordre dominant, un lien univoque peut être établi entre cette classe de champs et le vecteur d'état des modèles. La prévision du champ aval par la LIA autorise alors la définition d'une matrice de transfert S_{lia} reliant les vecteurs d'état amont X_{am} et aval X_{av} selon l'expression $X_{av} = S_{lia} X_{am}$, la matrice S_{lia} étant de dimension 4×4 .

Matrices de transfert des RSM augmentés

La deuxième étape consiste à obtenir les matrices de transfert S_{rsm} synthétisant l'évolution prédite par un RSM de manière analogue à S_{lia} . La difficulté tient ici à ce que l'implantation numérique et le modèle de turbulence ne peuvent être considérés séparément lors du passage des chocs du fait des propriétés particulières de ces derniers. Une formulation spécifique est retenue ici : celle basée sur l'utilisation d'une pseudo-pression ajoutée à la pression et imposant au front de choc de s'étaler sur une largeur finie. Les équations continues ne peuvent plus former de discontinuité de sorte que les difficultés sont levées indépendamment de l'étape de discrétisation.

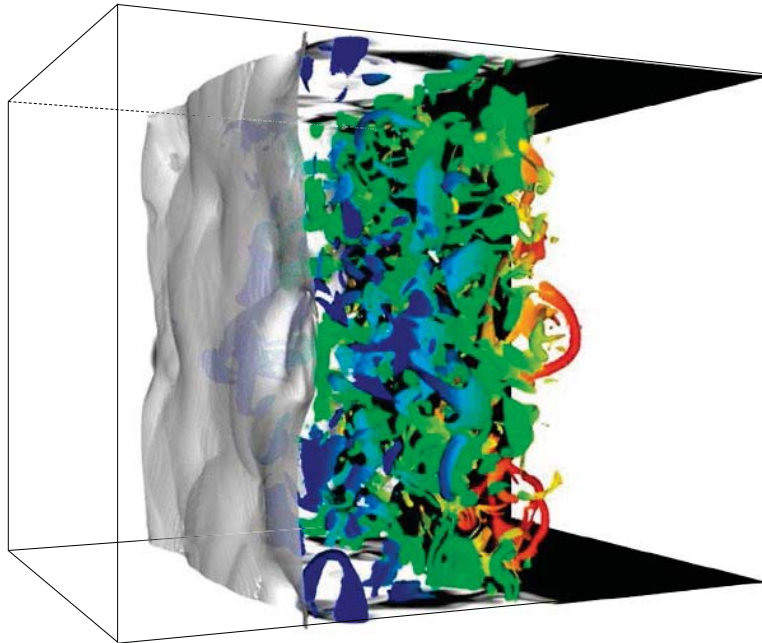


Figure 1.
Passage d'un choc à travers une zone de mélange turbulent.

sation. Elle se prête donc à des développements analytiques simplifiés pour notre problème permettant d'aboutir à l'expression recherchée de la matrice reliant l'état aval prédit par le modèle à l'état amont du choc selon $X_{av} = S_{rsm} \cdot X_{am}$. Bien que le passage par une formulation continue en pseudopression soit nécessaire à sa dérivation, S_{rsm} est indépendante de la forme particulière de pseudopression retenue.

Évaluation de la compatibilité de RSM avec la LIA et amélioration

Cette démarche est applicable aux différents RSM proposant une équation d'évolution pour les tensions de Reynolds, le flux de masse turbulent et la variance de densité. La matrice S_{rsm} synthétise le comportement du modèle lors du passage d'un choc sur un mélange turbulent. Si elle est identique à S_{lia} pour un nombre de Mach de choc donné, alors le résultat de l'interaction selon le modèle sera toujours celui de la LIA pour ce Mach. Comparer les matrices obtenues pour différents RSM entre elles et à la matrice S_{lia} permet donc d'estimer la compatibilité des modèles avec la référence et d'anticiper les types de mélange qui seront plus ou moins bien prédits. On constate ainsi que les modèles testés dans la référence [2] traitent mieux

les turbulences à faible variance de densité que les mélanges issus du passage d'un précédent choc.

Enfin, disposer de la matrice S_{lia} comme cible pour un RSM permet de mettre en œuvre des modifications ad hoc visant à améliorer la compatibilité avec la référence.

Références

- [1] J. GRIFFOND, O. SOULARD, "Evolution of axisymmetric weakly turbulent mixtures interacting with shock or rarefaction waves", *Phys. Fluids*, **24**, 115108 (2012).
- [2] J. GRIFFOND, O. SOULARD, "Evaluation of augmented RSM for interaction of homogeneous turbulent mixture with shock and rarefaction waves", *J. Turbulence*, **15**, p. 569-595 (2014).
- [3] F. POGGI, M.H. THOREMBEY, G. RODRIGUEZ, "Velocity measurements in turbulent gaseous mixtures induced by Richtmyer-Meshkov instability", *Phys. Fluids*, **10**, p. 2698-2700 (1998).