
Modélisation des interactions combustion-turbulence pour la simulation des incendies en milieux confinés et ventilés

Description du sujet

Les flammes rencontrées en incendie sont des flammes non-prémélangées au sein desquelles les effets de flottabilité sont dominants par rapport aux effets inertiels, et sont donc plus proches de panaches réactifs (Tieszen *et al.* (2004)) que de flammes-jets (Barlow *et al.* (2005)). Le plus souvent, ces flammes sont caractérisées par une échelle de temps chimique beaucoup plus courte que l'échelle de temps du mélange turbulent. C'est pourquoi la plupart des logiciels de simulation numérique pour la mécanique des fluides appliquée à l'incendie (Brown *et al.* (2018)) utilisent des modèles de combustion turbulente de type EDM (Eddy Dissipation Model, Magnussen & Hjertager (1976)) qui suppose que le temps caractéristique des réactions chimiques est infiniment petit devant celui des structures turbulentes, et que le taux de combustion est essentiellement déterminé par le temps caractéristique de mélange turbulent.

Néanmoins, si elles sont bien validées lorsque l'incendie se développe en milieu libre ou bien oxygéné, les modélisations de type EDM souffrent de plusieurs lacunes : i) Compte tenu du fait qu'elles ne tiennent pas compte des aspects cinétiques de la réaction chimique, elles sont inaptes à prédire la production d'un certain nombre de sous-produits de la combustion, et notamment celle des suies, qui jouent un rôle très important dans la dissipation d'énergie par rayonnement au sein de la flamme, et ce d'autant plus qu'on s'intéresse à des combustibles complexes (par exemple issus de la pyrolyse de matériaux solides) et/ou au cas d'incendies en milieu confiné-ventilé. ii) Ce type d'approche suppose que le taux de combustion sera le même si le mélange turbulent est le même. Malheureusement, certains scénarios d'incendie semblent présenter des régimes de combustion où cette hypothèse n'est pas nécessairement vérifiée. Typiquement, dans certaines configurations confinées-ventilées en compartiment chaud, la déplétion d'oxygène due à la sous-ventilation conduit à l'apparition de cycles d'extinction et de réallumage et donc à la présence de zones partiellement pré-mélangées (Pretrel *et al.* (2016)). De même, certains foyers particuliers comme les feux de boîtes à gants atteignent des puissances et des températures plus élevées que dans le cas des foyers usuels de charge calorifique équivalente (Coutin & Audouin (2017)), et peuvent faire intervenir des phénomènes d'étirement de flamme et de pré-mélange partiel.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est de développer — de manière graduelle — dans le code CALIF^{3S}-ISIS une modélisation de la combustion turbulente se basant sur un formalisme unifié permettant de simuler des conditions et des régimes variés dans des modes de combustion pré-mélangé ou non. Pour cela, on s'intéressera aux modèles basés sur l'emploi de densités de probabilité (PDF) présumées, voir par exemple les travaux de Wang *et al.* (2011) pour une application en incendie. Ces modèles consistent à pondérer, par le biais de PDFs présumées, la concentration des différentes espèces à partir d'une structure de flamme laminaire elle-même paramétrée à partir d'un nombre réduit de variables telle que la fraction de mélange. Il s'agira dans un premier temps d'implémenter une modélisation de ce type dans le cas simplifié d'une chimie infiniment rapide et irréversible en utilisant une PDF présumée simplifiée. Par rapport au modèle EDM, cette approche est susceptible i) de conduire à une amélioration de la prédiction de niveaux de température et de taux de production de suies, et ii) de mieux prendre en compte la dépendance de la combustion à la sous-oxygénation. Dans un second temps, cette approche pourra être étendue au cas de régimes partiellement pré-mélangés, en introduisant une PDF jointe dépendant de la fraction de mélange et d'une variable d'avancement indiquant la présence de gaz brûlés ou de gaz frais (Mura, 2007, Robin *et al.*, 2008). On pourra supposer dans un premier temps l'indépendance statistique des deux quantités et ensuite proposer des modèles plus complexes de PDF conditionnelles pour la variable d'avancement (Mura *et al.*, 2007, Mouangué *et al.*, 2014, Gomet *et al.*, 2015).

Informations diverses

Domaines thématiques - Incendie, Combustion, Turbulence, Transferts Thermiques

Mots clés - RANS, LES, Combustion, Turbulence, PDF, Modélisation, Simulation, Volumes Finis, Low Mach

Direction et encadrement de thèse

Germain Boyer, IRSN/PSN-RES/SA2I/LIE Cadarache

Arnaud Mura, Institut Pprime UPR3346 CNRS, ENSMA et Université de Poitiers

Franck Richard, Institut Pprime UPR3346 CNRS, ENSMA et Université de Poitiers

Déroulement de la thèse

Période de 6 mois sur le site de Cadarache

Période suivante de 30 mois sur le site l'Institut Pprime

Déplacements réguliers à prévoir entre les deux sites

Contacts - Germain Boyer (germain.boyer@irsn.fr) Arnaud Mura (arnaud.mura@ensma.fr) — Franck Richard (franck.richard@ensma.fr)

Références

- Barlow, R.S., Frank, J.H., Karpetis, A.N., & Chen, J.-Y. 2005. Piloted methane/air jet flames : Transport effects and aspects of scalar structure. *Combustion and Flame*, **143**(4), 433 – 449. Special Issue to Honor Professor Robert W. Bilger on the Occasion of His Seventieth Birthday.
- Brown, A., Bruns, M., Gollner, M., Hewson, J., Maragkos, G., Marshall, A., McDermott, R., Merci, B., Rogaume, T., Stoliarov, S., Torero, J., Trouvé, A., Wang, Y., & Weckman, E. 2018. Proceedings of the first workshop organized by the IAFSS Working Group on Measurement and Computation of Fire Phenomena (MaCFP). *Fire Safety Journal*, **101**, 1 – 17.
- Coutin, M., & Audouin, L. 2017. Glove box fire behaviour in free atmosphere. *In : SMIRT 24 15th International Post-Conference Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations*.
- Gomet, L., Robin, V., & Mura, A. 2015. A multiple-inlet mixture fraction model for nonpremixed combustion. *Combustion Flame*, **162**(3), 668–687.
- Magnussen, B. F., & Hjertager, B. H. 1976. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. *Symposium International on Combustion*, **16**, 719–729.
- Mouangue, R., Obounou, M., Gomet, L., & Mura, A. 2014. Lagrangian intermittent modelling of a turbulent lifted methane-air jet flame stabilized in a vitiated air coflow. *Flow, Turbulence and Combustion*, **92**(3), 731–765.
- Mura, A., Robin, V., & Champion, M. 2007. Modeling of scalar dissipation in partially premixed turbulent flames. *Combustion Flame*, **149**(1-2), 217–224.
- Mura, A., Demoulin F.X. 2007. Lagrangian intermittent modelling of turbulent lifted flames. *Combustion Theory and Modelling*, **11**(2), 227–257.
- Pretrel, H., Suard, S., & Audouin, L. 2016. Experimental and numerical study of low frequency oscillatory behaviour of a large-scale hydrocarbon pool fire in a mechanically ventilated compartment. *Fire Safety Journal*, **83**, 38–53.
- Robin, V., Mura, A., & Champion, M. 2008. Experimental and numerical analysis of stratified turbulent V-shaped flames. *Combustion Flame*, **153**(1-2), 288–315.
- Tieszen, S. R., O'Hern, T.J., Weckman, E. J., & Schefer, R. W. 2004. Experimental study of the effect of fuel mass flux on a 1-m-diameter methane fire and comparison with a hydrogen fire. *Combustion and Flame*, **139**, 126–141.
- Wang, Yi, Chatterjee, Prateep, & De Ris, John L. 2011. Large eddy simulation of fire plumes. *Proceedings of the Combustion Institute*, **33**(2), 2473–2480.