
Modélisation des interactions combustion turbulence pour les incendies en milieux confinés et ventilés

Description du sujet

La problématique des incendies en sûreté nucléaire présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques par rapport à d'autres domaines industriels. D'une part, la nécessité de garantir une cascade de dépression dans les bâtiments contenant des matières radioactives implique de conserver le confinement des différentes pièces et peut conduire à un large spectre de feux en atmosphère sous-ventilée en cas de départ d'incendie. La sous-oxygénation a évidemment un impact sur la puissance du feu (Alibert *et al.*, 2017) mais elle peut également conduire à l'apparition de régimes de combustion oscillatoires à basse fréquence (Pretrel *et al.*, 2016). D'autre part, certains foyers potentiels se trouvant dans les installations nucléaires peuvent présenter des comportements au feu s'éloignant de ceux observés dans des conditions plus académiques telles que celles rencontrées dans les feux de bacs de combustible. En particulier, il a été constaté que les boîtes à gants (BAG)¹, composées de polycarbonate et de polyméthacrylate de méthyle, peuvent conduire à des puissances de feu bien supérieures à celles mesurées dans le cas de feux de bacs de charge calorifique équivalente (Coutin & Audouin, 2017).

Ces dernières années, l'utilisation de logiciels de simulation numérique pour la mécanique des fluides s'est particulièrement développée dans le domaine de la sûreté incendie. Dans de nombreux cas, les écoulements réactifs rencontrés peuvent être assimilés à des flammes non pré-mélangées turbulentes dominées par les effets de la gravité et du transport par convection naturelle. Dans les régimes de combustion rencontrés, les temps caractéristiques chimiques restent assez faibles devant les temps caractéristiques de mélange si bien que la structure de la zone réactive reste similaire à celle d'une flamme de diffusion laminaire. Ainsi, le taux de combustion est essentiellement déterminé par le temps caractéristique de mélange turbulent. Les modélisations physiques basées sur cette hypothèse, telles que le modèle EDM ou Eddy Dissipation Model (Magnussen & Hjertager, 1976), sont donc retenues dans la plupart de logiciels de simulation numérique et, en particulier, dans le code ISIS développé à l'IRSN2. Une autre alternative courante consiste à utiliser des modélisations basées sur l'emploi d'une PDF présumée pour la fraction de mélange combinée avec la composition chimique à l'équilibre chimique ou bien issue d'une structure de flamme de diffusion laminaire. 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 qu'elle ne tient 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. ii) Ce type d'approche suppose que le taux de combustion sera le même si le mélange turbulent est le même. Malheureusement, que ce soit dans le cas de cycles de quasi-extinction puis de ré-inflammation, ou dans le cas de régimes de combustion identifiés dans les feux de boîtes à gants, la présence potentielle de zones partiellement pré-mélangées contredit cette hypothèse. Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est de développer – de manière graduelle – dans le code 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 variable 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, Mouangue *et al.*, 2014, Gomet *et al.*, 2015).

1. Enceinte étanche permettant la manipulation de substances dangereuses (e.g., radioactives).

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

Thèse réalisée sur le site du Centre d'Études Nucléaires de Cadarache

Déplacements réguliers à prévoir sur le site de l'Institut Pprime (Poitiers)

Contact - Germain Boyer (germain.boyer@irsn.fr)

Références

- Alibert, D., Coutin, M., Mense, M., Pizzo, Y., & Porterie, B. 2017. Effect of oxygen concentration on the combustion of horizontally-oriented slabs of PMMA. *In : 11th International Symposium on Fire Safety Science*. IAFSS.
- 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.
- Wang, Yi, Chatterjee, Prateep, & De Ris, John L. 2011. Large eddy simulation of fire plumes. *Proceedings of the Combustion Institute*, **33**(2), 2473–2480.