
Modélisation de la combustion turbulente pour les incendies en milieu confiné et ventilé

Description du sujet

La problématique des incendies en sûreté nucléaire présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques par comparaison 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 (Pretrell *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 le cas de feux académiques impliquant par exemple des bacs de combustible. En particulier, il a été constaté que les Boîtes À Gants (BAG), composées de PolyCarbonate et de PolyMétacrylate de Méthyle, peuvent conduire à des puissances de feu bien supérieures que celles mesurées pour des 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 développée en sûreté incendie. Dans de nombreux cas, les flammes reconstruites sont des flammes non-prémélangées turbulentes dominées par les effets de gravité et de transport par convection naturelle. Elles correspondent à un régime de flamme où la combustion a lieu dans une fine zone de diffusion où interagissent combustible et oxygène, selon un temps caractéristique infiniment court devant le temps caractéristique du mélange turbulent. Ainsi, on peut considérer que le taux de combustion est déterminé par le temps caractéristique du mélange turbulent, ce qui est à la base du modèle EDM (Eddy Dissipation Model) de Magnussen & Hjertager (1976) couramment utilisé dans de nombreux codes de calcul, en particulier le code ISIS développé à l'IRSN¹.

Or, ce modèle est bien validé lorsque le feu se déroule en milieu libre ou bien oxygéné, mais il souffre de plusieurs lacunes. i) Faisant l'impasse sur la chimie détaillée de la réaction, il est inapte à prédire la production d'un certain nombre de sous-produits de la combustion, et notamment des suies, qui jouent un rôle très important dans la dissipation d'énergie par rayonnement au sein de la flamme. ii) Il 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 réinflammation, ou dans le cas de régimes de réacteurs bien mélangés identifiés dans les feux de Boîtes À Gants, la présence potentielle de zones de pré-mélange partiel contredit cette hypothèse. Dans ce contexte, le but de cette thèse est de développer de manière graduelle dans le code ISIS des modèles de combustion turbulente se basant sur un formalisme commun et permettant de simuler ces régimes particuliers allant de la flamme de diffusion au régime de flamme de prémélange.

Pour cela, on s'intéressera aux modèles à densité de probabilité (PDF) présumée (voir par exemple Wang *et al.* (2011)) pour une application en incendie). Pour des flammes de diffusion, ces modèles consistent à déduire la concentration des différentes espèces présentes d'une structure de flamme laminaire théorique liant la fraction de mélange au sein de la flamme aux différentes fractions massiques, *via* l'utilisation d'une PDF. Il s'agira donc dans un premier temps de développer ce modèle pour une chimie infiniment rapide et irréversible en utilisant une PDF relativement simple (Borghini & Moreau (1977)). Dans un second temps, on pourra utiliser la fonction β , largement utilisée dans les codes industriels, en veillant en particulier à mettre en place un calcul pertinent de la PDF (Yun *et al.* (2005)). Cette approche présenterait l'intérêt d'améliorer la prédiction de certaines grandeurs telles que la température de flamme ou le taux de production de suies, et mieux prendre en compte la dépendance de la combustion vis-à-vis de la sous-oxygénation (production et combustion de CO, etc.). Dans un second temps, cette approche pourra être étendue au cas de régimes de pré-mélange partiel, 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 (Bray *et al.* (2005)). On pourra supposer dans un premier temps l'indépendance statistique des deux variables, pour ensuite proposer des modèles plus complexes de PDF conditionnelles de la fraction de mélange vis-à-vis de la fonction d'avancement (Gomet *et al.* (2012)).

1. <https://gforge.irsn.fr/gf/project/isis>

Divers

Domaine d'études - Incendie, transferts thermiques, combustion turbulente

Techniques utilisées - Volumes finis,

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

Divers - Lieu de la thèse : Centre d'Études Nucléaires de Cadarache - Contact : 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.
- Borghi, R., & Moreau, P. 1977. Turbulent combustion in a premixed flow. *Acta Astronautica*, **4**(3), 321 – 341.
- Bray, Ken, Domingo, Pascale, & Vervisch, Luc. 2005. Role of the progress variable in models for partially premixed turbulent combustion. *Combustion and Flame*, **141**(4), 431 – 437.
- Coutin, Mickaël, & Audouin, Laurent. 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, Laurent, Robin, Vincent, & Mura, Arnaud. 2012. Influence of Residence and Scalar Mixing Time Scales in Non-Premixed Combustion in Supersonic Turbulent Flows. *Combustion Science and Technology*, **184**(10-11), 1471–1501.
- Magnussen, B. F., & Hjertager, B. H. 1976. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. *Pages 719–729 of : Institute, Combustion (ed), Symposium International on Combustion*, vol. 16.
- Pretrel, Hugues, Suard, Sylvain, & Audouin, Laurent. 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*, apr.
- Wang, Yi, Chatterjee, Prateep, & De Ris, John L. 2011. Large eddy simulation of fire plumes. *Proceedings of the Combustion Institute*, **33**(2), 2473–2480.
- Yun, S., Lightstone, M.F., & Thomson, M.J. 2005. An evaluation of beta PDF integration using the density-weighted PDF and the un-weighted PDF. *International Journal of Thermal Sciences*, **44**(5), 421 – 428.