

## L’Institut

L’IRSN, Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), organisme de recherche et d’expertise, est l’expert public national des risques nucléaires et radiologiques. Il concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l’environnement au regard des rayonnements ionisants.

## Contexte scientifique

Le Service des Agressions Internes et des risques Industriels (SA2I) de l’IRSN est chargé de l’analyse du risque incendie dans le cadre des études en sûreté des installations nucléaires. Le laboratoire d’Expérimentation des Feux (SA2I/LEF) dispose ainsi de dispositifs d’étude de feux de compartiments mécaniquement ventilés dans lesquels ont été caractérisés à grande échelle les effets joints du confinement et de la ventilation (baisse de puissance et extinction globale par sous-oxygénation, oscillations de pression par couplage à basse fréquence de la combustion avec la ventilation, modulation de la puissance dans le cas de foyers en hauteur, etc.). En parallèle, le Laboratoire de l’Incendie et de l’Explosion (SA2I/LIE) développe un logiciel de simulation numérique CALIF<sup>3</sup>S-Isis dédié à la simulation d’incendies en milieu confiné-ventilé.

## Sujet de thèse

Dans ce contexte, l’objectif de la thèse est de développer des modèles de combustion turbulente pour la simulation d’incendies en milieu confiné-ventilé, où interviennent des phénomènes tels que la ré-ignition d’imbrûlés et la combustion en milieu chaud et vicié, étudiés notamment dans le cadre du projet OCDE FAIR. En effet, le modèle de Magnussen (“mixed is burnt”) utilisé jusqu’à présent dans CALIF<sup>3</sup>S-Isis de l’IRSN suppose que la chimie est infiniment rapide, et donc que le taux de réaction est essentiellement déterminé par le temps caractéristique de mélange turbulent (Boyer *et al.* (2024)). Cette approximation ne permet pas de prédire les taux de production de sous-produits de combustion (CO, suies), importants dans la modélisation des incendies (Wen (2024)) et conduit à négliger l’influence de plusieurs phénomènes (étirement de la flamme, pertes radiatives, avancement des réactions chimiques) sur les taux de réaction de combustion. C’est la raison pour laquelle des modèles de flammelles sont actuellement développés dans le code CALIF<sup>3</sup>S-Isis. Cette représentation permet de découpler le calcul de la structure interne de la flamme de celui de l’écoulement. L’influence des fluctuations induites par la turbulence est restituée par le biais d’une superposition d’états caractéristiques de flammelles laminaires, pondérée par une fonction de densité de probabilité (Peters (2000)). Cette dernière rend compte des fluctuations (non résolues) de localisation de la flamme ainsi que de sa possible extinction. Jusqu’à présent, le modèle SLFM (Steady Laminar Flamelet Model) développé a permis d’estimer la présence de sous-produits de combustion et d’apporter une première modélisation de l’extinction locale de la flamme sous l’effet de l’étirement à l’échelle des flammelles. On se propose maintenant d’étendre le modèle de flammelles développé précédemment à la prise en compte de l’effet des transferts radiatifs et de l’avancement des réactions chimiques (Pierce & Moin (2004)) sur la structure de la flamme. En effet, en incendie, les pertes radiatives ont une influence majeure non seulement sur les transferts thermiques globaux à l’échelle d’un compartiment, sur la structure de la flamme (température, effets de flottabilité), mais également sur les limites d’extinction.

Dans un premier temps, on analysera l’effet de ces deux phénomènes par la simulation de flammelles étirées avec le code CANTERA. En particulier, on s’attachera à calculer des solutions de flammelles prenant en compte les pertes radiatives et à étudier l’effet de ces dernières sur les structures de flamme obtenues et sur les limites d’extinction. Également, on considèrera l’existence de solutions de flammelles instationnaires instables, correspondant à des états d’avancement chimique qui présentent des écarts significatifs par rapport à la situation d’équilibre chimique. Cette étape permettra de déterminer les phénomènes prédominants dans le cas de conditions viciées, mais également de

générer une base de données de solutions de flammelettes qui pourra être utilisée dans les modèles de combustion turbulente à chimie tabulée du code CALIF<sup>3</sup>S-Isis.

Dans un second temps, on pourra procéder à l'amélioration de l'approche SLFM. D'une part, on prendra en compte de l'effet des pertes radiatives sur l'évolution des scalaires réactifs turbulents. Le couplage combustion-rayonnement sera alors décrit à l'échelle des grandes structures en se basant sur les solutions de flammelettes intégrant les effets locaux des pertes radiatives. D'autre part, on introduira une variable de progrès afin de prendre en compte les effets de combustion incomplète (Pierce & Moin (2004)). Les modèles ainsi développés seront validés sur des cas académiques issus de la base de données MaCFP dédiée aux codes incendie, et sur des cas expérimentaux étudiés dans le dispositif NYX de l'IRSN dans le cadre du projet OCDE FAIR.

## Références

- Boyer, G., Chikkabikkodu, U., Mura, A., & Richard, F. 2024. Large-eddy simulation of a full-scale glove box fire. *Fire Safety Journal*, **144**, 104101.
- Peters, N. 2000. *Turbulent combustion*. Cambridge University Press.
- Pierce, C.D., & Moin, P. 2004. Progress-variable approach for large-eddy simulation of non-premixed turbulent combustion. *Journal of Fluid Mechanics*, **504**, 72–97.
- Wen, J.X. 2024. Fire modelling : The success, the challenges, and the dilemma from a modeller's perspective. *Fire Safety Journal*, **144**, 104087.

## Informations complémentaires

Mots-clés	incendies, viciation, simulation numérique, combustion, flammelettes, pertes radiatives, avancement
Profil du candidat	Ecole d'ingénieur et/ou M2R en mathématiques appliquées, aérodynamique ou énergétique et transferts
Début de thèse	octobre 2024
Lieu de la thèse	première année : IRSN, Cadarache deuxième et troisième années : Institut P', Poitiers
Contacts pour postuler	Germain Boyer, IRSN/PSN-RES/SA2I/LIE, Cadarache — germain.boyer@irsn.fr Arnaud Mura, ENSMA/Institut P', Poitiers — arnaud.mura@ensma.fr Franck Richard, Univ. Poitiers/Institut P', Poitiers — franck.richard@univ-poitiers.fr