

FireT

Caractérisation des feux sous-ventilés : Impact sur la structure de flamme et l'émission de polluants

Laboratoires d'accueil :

- CORIA, Rouen
- IRSN, Laboratoire d'Expérimentation des Feux, Cadarache

Encadrants : H. Prétrel, E. Varea, S. Suard, B. Patte-Rouland

Financement : Bourse régionale Haute Normandie 50%. IRSN 50%

Profil : Ingénieur/Master en Mécanique des Fluides/Energétique

Domaine d'expertise : Analyse expérimentale, Incendies

Contact : hugues.pretrel@irsn.fr , emilien.varea@coria.fr



Objet et objectifs

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des actions menées à l'IRSN et au CORIA sur le risque incendie dans le but d'améliorer les connaissances, d'enrichir les bases de données expérimentales et de développer et valider les outils de simulation SYVIA et CALIF3S-ISIS dédiés aux évaluations de sûreté impliquant le risque incendie.

Ce sujet se concentre sur les scénarios fréquemment identifiés impliquant un incendie dans des locaux confinés et ventilés et caractérisés par une faible teneur en oxygène. Dans ce cas de figure, l'état des connaissances et des modèles développés demeurent insuffisamment aboutis pour une évaluation précise du risque incendie de certains scénarios d'intérêt.

Pour les scénarios d'incendie en milieu confiné et faiblement ventilé largement rencontrés dans les installations nucléaires, plusieurs phénomènes sont identifiés : la réduction de la puissance de la source due à l'appauvrissement en oxygène du milieu environnant, des processus d'extinction locale du foyer et, dans certaines conditions proches des limites d'inflammabilité, l'apparition de régimes de combustion instables. La modélisation des mécanismes de combustion (incluant le mécanisme d'extinction) dans ces ambiances pauvres en oxygène demeure complexe et imparfaite. L'acquisition de nouvelles connaissances sur ces mécanismes physiques, ainsi que de nouvelles données expérimentales, sont nécessaires à l'adaptation des modèles physiques et à leur validation dans les codes de calcul CFD utilisés pour la prédiction de ces scénarios d'incendie.

La thèse proposée a pour objectif d'étendre la démarche expérimentale engagée dans les travaux en cours à l'IRSN sur la description détaillée des écoulements au processus de combustion, c'est-à-dire à la caractérisation de la zone de flamme. La démarche proposée consistera à coupler, de manière innovante, la caractérisation des écoulements (avec des mesures PIV) avec celle des zones réactives, en adaptant une métrologie basée sur des techniques d'imagerie.

Les verrous scientifiques et technologiques de cette thèse reposent sur :

- Observer et comprendre l'interaction de la source/foyer avec un environnement pauvre en oxygène.
- Analyser en termes de statistiques conditionnées à l'interface flamme/environnement les grandeurs physiques qui pilotent la combustion et le mélange.
- Mettre en œuvre des mesures couplées, locales et instantanées pour les champs de concentration et dynamique.

Descriptif opérationnel des travaux de recherche

Le travail de recherche sera effectué expérimentalement en deux temps :

- **Au laboratoire CORIA**

Dans cette partie, on se concentrera à étudier dans une installation académique la structure d'une flamme soumise à des taux de ventilations différents. On utilisera pour cette installation académique un brûleur de type McKenna qui permet de produire une flamme de diffusion gazeuse avec un écoulement maîtrisé à co-courant. Cet écoulement peut être modifié afin de fixer les taux de ventilation pour la flamme de diffusion différents. Des taux de CO₂ et d'O₂ venant du co-courant seront modifiés afin de reproduire les conditions de sous-ventilations caractéristiques des incendies. Par ailleurs, l'installation modulaire peut aussi produire des gaz chauds qui interagiront avec la flamme de diffusion. L'influence de la température et des espèces polluantes – CO-NO_x,...- sera évalué.

Les dispositifs expérimentaux mis en œuvre seront :

1. La visualisation de flamme par imagerie laser PLIF sur traceur OH ou CH.
2. La mesure des champs de vitesse dans et autour de la flamme par PIV

Pour chaque cas d'étude, on s'intéressera à :

1. Comprendre les mécanismes d'interaction entre le co-courant et la flamme : entrainement, zone de mélange, zone de combustion
2. Analyser la dynamique de l'interface entre la flamme et le co-courant : courbure locale, courbure globale.
3. Emissions des polluants : CO, NO_x en fonction de la richesse globale (GER)

Des corrélations GER-émissions-structure seront proposées.

- **A l'IRSN**

L'étude s'effectuera à petite échelle dans le caisson NYX, afin de faciliter la mise en place d'une métrologie avancée, non-intrusive et innovante, au vu de la configuration étudiée. En se basant sur les acquis du laboratoire dans ce type d'approche expérimentale, la technique de Vélocimétrie laser par Image de Particule (PIV) sera déployée afin de caractériser le champ de vitesses en plusieurs zones de l'écoulement. Cette technique sera couplée à des mesures d'imagerie de flamme permettant de localiser les zones réactives. La technique d'imagerie de flamme visée est celle exploitant la chimiluminescence des radicaux émis lors de la réaction de combustion. Cette approche rarement proposée sur des applications incendie présente un caractère très innovant pour la communauté. Ces diagnostics avancés seront complétés par des mesures conventionnelles de température, de concentration d'espèce et de flux de chaleur ainsi que sur des mesures globales de débit de pyrolyse et de puissance de foyer.

Cette approche expérimentale sera menée en parallèle d'une approche numérique réalisée avec le logiciel CALIF3S-ISIS de l'IRSN, en mettant en œuvre le modèle de turbulence des simulations aux grandes échelles (SGE). Ces simulations ont pour objectif d'évaluer la performance des codes de calcul, mais également de fournir des informations complémentaires (notamment les champs de concentration d'espèces chimiques non résolus spatialement avec les techniques expérimentales) permettant l'interprétation des régimes de combustion observés. A l'issue de ce travail, le domaine de validation de l'outil sera significativement plus étendu, en particulier concernant la prédiction spatiale des zones réactives (dimension de la zone de flamme).

Articles sur le sujet

Y. Utiskul, J. G. Quintiere, A. S. Rangwala, B. A. Ringwelski, K. Wakatsuki, and T. Naruse, "Compartment fire phenomena under limited ventilation," *Fire Saf. J.*, vol. 40, no. 4, pp. 367–390, 2005, doi: 10.1016/j.firesaf.2005.02.002.

M. J. Peatross and G. L. Beyler, "Ventilation effects on compartment fire characterization," in *Fire Safety Science, Proceeding of the Fifth International Symposium*, 1997, pp. 403–414.

H. Prêtre, W. Le Saux, and J. M. Such, "Experimental study of the burning rate behaviour of a pool fire in confined and ventilated compartment," in *Proceeding of the 9th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants And Installations (SMIRT 18 - Post Conference)*, 2005.

M. Mense, Y. Pizzo, H. Prêtre, C. Lallemand, and B. Porterie, "Experimental and numerical study on low-frequency oscillating behaviour of liquid pool fires in a small-scale mechanically-ventilated compartment," *Fire Saf. J.*, 2019, doi: 10.1016/j.firesaf.2019.102824.

H. Prêtre, S. Suard, and L. Audouin, "Experimental and numerical study of low frequency oscillatory behaviour of a large-scale hydrocarbon pool fire in a mechanically ventilated compartment," *Fire Saf. J.*, vol. 83, pp. 38–53, 2016, doi: 10.1016/j.firesaf.2016.04.001.