

Sujet de post-doctorat

1 CONTEXTE

Un incendie qui se déclare dans une installation nucléaire, dont une des caractéristiques est d'être fortement confinée et mécaniquement ventilée, conduit très souvent à des feux sous-ventilés. La quantité d'oxygène disponible pour la combustion va dépendre de son appauvrissement dû au feu, mais aussi de l'apport d'air par le système de ventilation et/ou les ouvertures ([1], [3], [11], [15]). Une baisse du niveau d'oxygène du mélange oxydant va conduire à une diminution du flux de chaleur provenant de la flamme vers la surface du combustible, ce qui, en retour, va entraîner une diminution du débit de pyrolyse ([1]-[15]). Ces phénomènes s'accompagnent de changements notables d'autres propriétés, comme la vitesse de régression de la surface du combustible en feu, la température et la composition des produits de combustion, ainsi que les flux de chaleur échangés.

La plupart des modèles utilisés à ce jour dans les codes de calcul (codes à zones et CFD) utilisent, comme paramètre d'entrée, des données expérimentales provenant de calorimètres à l'échelle du laboratoire (cônes calorimètres, Fire Propagation Apparatus (FPA)) et à l'échelle réelle (hotte de grande dimension comme SATURNE au LEF). D'un point de vue théorique, les mécanismes de pyrolyse sont gouvernés par les échanges de chaleur par rayonnement et par convection à l'interface de la surface du combustible (voir par exemple [11], [13]-[16]). Les mécanismes majoritaires sont les transferts convectifs pour les combustibles de faible dimension et radiatifs pour ceux de grande dimension. Pour les feux de nappe, la transition entre les deux régimes se situe en atmosphère libre autour d'un diamètre de 0.2 m. Pour les dimensions testées sur les calorimètres de laboratoire (diamètre de bac de l'ordre de 0.1 m), le régime de pyrolyse apparaît essentiellement géré par les transferts thermiques convectifs et un apport externe de rayonnement au moyen d'un panneau radiant est alors nécessaire pour entretenir la combustion. Pour les foyers réels, le régime radiatif principalement lié aux grandes échelles est requis pour étudier de manière pertinente les effets de la décroissance d'oxygène sur le foyer.

Pour ce faire, le LEF a conçu et réalisé un dispositif expérimental original nommé CADUCEE (Controlled Atmosphere Device for Unburnt and Carbon Emission Evaluation). Ce calorimètre en atmosphère contrôlée à moyenne échelle ([17]) mesure près de 3 m de diamètre, pour une chambre de combustion de l'ordre de 22 m³, et permet d'étudier un foyer à échelle réelle pouvant atteindre une puissance de 250 kW. Pour simuler la baisse d'oxygène dans l'environnement immédiat du foyer, le niveau en oxygène de l'air ambiant est piloté par un système de mélangeur air/azote permettant de passer de 21% d'oxygène à un niveau d'oxygène bas conduisant à l'extinction du foyer.

Une première thèse a été menée dans CADUCEE par D. Alibert sur la période 2014-2017. Le travail de qualité de D. Alibert ([17]-[21]) a notamment permis d'adapter CADUCEE pour le rendre totalement opérationnel, et de constituer une importante base de données sur un combustible solide (PMMA¹) et un combustible liquide (heptane). D. Alibert a également mis en évidence la difficulté de mesurer les flux de chaleur à la surface du combustible au moyen de fluxmètres classiques. Ces mesures de flux étant nécessaires à la validation des codes de calcul, le développement d'une métrologie spécifique, adaptée aux combustibles solide et liquide ainsi qu'aux conditions extrêmes, demeure donc indispensable pour la recherche en incendie.

Ce développement métrologique sur la fluxmétrie est notamment attendu à court terme pour les besoins de la thèse en cours de C. Nougier sur l'étude expérimentale, dans CADUCEE, de l'effet de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion de matériaux solides (PMMA et PC²) dans le cadre du programme FIGARO sur les feux de boîtes à gants.

2 OBJECTIF

L'objectif majeur du post-doctorat est de développer une métrologie adaptée, originale et maîtrisée pour accéder aux flux thermiques à la surface du combustible solide ou liquide en feu. Dans ce domaine, le laboratoire a déjà une certaine expérience puisqu'un fluxmètre auto-étalonné permettant la mesure du flux de chaleur transmis à une paroi a été développé en collaboration avec l'IUSTI de l'Université d'Aix-Marseille et a fait l'objet d'un brevet d'invention [22]. Cette métrologie innovante sera basée sur une approche de type *méthode inverse* ([23] [24]) qui l'une des spécialités de l'équipe Physique des transferts/Métrologie Thermique et Caractérisation (<https://iusti.cnrs.fr/la-recherche-a-liusti/physique-des-transferts-axe-pt/or-2-mct/>). Pour cette étude à caractère académique, la métrologie proposée devra être la moins intrusive possible de manière à limiter au maximum son influence sur les autres paramètres de combustion, d'où le concept de méthode inverse qui permet d'utiliser les informations de capteurs sensibles au phénomène mais déporté.

¹ PMMA : Polyméthacrylate de méthyle.

² PC : Polycarbonate.

La métrologie proposée devra également être adaptée à la nature du combustible. Pour les combustibles solides en feu, la surface peut soit régresser rapidement sans résidus charbonneux (cas du PMMA par exemple), soit régresser lentement avec résidus charbonneux, soit gonfler (cas des combustibles intumescents tel le PC). Pour les combustibles liquides en feu, le niveau baisse plus ou moins rapidement dans le bac selon les caractéristiques du combustible, excepté dans le cas où un système à niveau constant est utilisé. Plusieurs déclinaisons de la métrologie seront dès lors peut-être nécessaires selon la nature du combustible.

Celle-ci devra à minima permettre une mesure ponctuelle des flux total et radiatif à la surface du combustible en feu ; l'objectif à terme étant de pouvoir déterminer une cartographie de flux sur l'intégralité de la surface combustible.

La métrologie proposée devra être adaptée à l'environnement contraint de CADUCEE, à savoir un milieu fermé avec impossibilité d'accès durant le feu. La mesure du flux total peut être découplée de celle du flux radiatif, les essais dans CADUCEE pouvant être reproduits à l'identique.

3 DEROULEMENT DU POST-DOCTORAT

Le travail de post-doctorat consistera tout d'abord à concevoir et à valider au laboratoire IUSTI une métrologie spécifique pour accéder aux flux thermiques de la flamme vers un combustible (solide ou liquide) en intégrant une estimation des incertitudes sur les valeurs obtenues et avec les contraintes précisées au paragraphe précédent.

A l'issue de cette phase de développement numérique intégrant la modélisation des phénomènes et leur effet sur la métrologie de l'installation CADUCEE, le (ou les) dispositif(s) sera (seront) mis en place dans CADUCEE à IRSN établissement Cadarache (80km au nord de Marseille).

Une série de tests sera alors réalisée dans le calorimètre à atmosphère contrôlée afin de valider la métrologie retenue sur différents matériaux (solides et liquides) et sur l'ensemble de la plage d'utilisation de CADUCEE. Les résultats seront post traités au laboratoire IUSTI.

Le déroulé de ce post doc impose donc une localisation du post doctorant lui permettant de rejoindre aisément le site de Château Gombert (Marseille) ou de Cadarache.

Contrat : CDD 12 mois renouvelable 6 mois

Rémunération : environ 36k€/an (brut) à valider en fonction du diplôme

Localisation : Laboratoire IUSTI, 5 Rue E. Fermi, 13013 Marseille et IRSN/PSN-RES/SA21/LEF, Bât. 346 - BP 3 - 13115 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex

Personnes à contacter :

Pour IUSTI	Pour IRSN
Christophe LE NILIOT, Professeur à Aix Marseille Université Laboratoire IUSTI Tel. : +33 (0)491106883/+33 (0)687135275 e.mail : christophe.leniliot@univ-amu.fr	Mickaël COUTIN, Docteur - Ingénieur-Chercheur IRSN/PSN-RES/SA21/LEF Tel. : +33 (0)4 42 19 94 80 e.mail : mickael.coutin@irsrn.fr

4 REFERENCES

- [1] Audouin L., Rigollet L., Pretrel H., Le Saux W. and Röwekamp M., OECD PRISME project: Fires in confined and ventilated nuclear-type multi-compartments - Overview and main experimental results, Fire Safety Journal (Special Issue - Fire in Nuclear Facilities), 62, part B, pp.80-101 (2013).
- [2] Brohez S., Etude des Feux de Substances Chimiques en Milieu Confiné, Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées de la Faculté Polytechnique de Mons (2002).
- [3] Peatross, M. J. and Beyler, C. L., Ventilation Effects on Compartment Fire Characterization, Fire Safety Science - Proceedings of the Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, pp. 403-414 (1997).
- [4] Tewarson A., Lee J.L. and Pion R.F., The Influence of Oxygen Concentration on Fuel Parameters for Fire Modeling, Proceedings of the 18th Symposium on Combustion, pp. 563-570 (1981).
- [5] Babrauskas V., Estimating Large Pool Fire Burning Rates, Fire Technology, pp. 251-261 (1983).
- [6] Babrauskas V., Twilley W.H., Janssens M. and Yusa S., A Cone Calorimeter for Controlled-Atmospheres Studies, Fire and Materials, 16, pp. 37-43 (1992).

- [7] Hamins A., Fischer S.J., Kashiwagi T., Klassen M.E. and Gore J.P., Heat Feedback to the Fuel Surface in Pool Fires, *Combustion Science and Technology*, Vol. 97, pp 37-62 (1994).
- [8] Quintiere J.G., *Fundamentals of Fire Phenomena*, Wiley and Sons (2006).
- [9] Pitts W.M., Reactivity of Product Gases Generated in Idealized Enclosure Fire Environment, *Proceedings of the 24th International Symposium on Combustion*, pp. 1737-1746 (1992).
- [10] Beaulieu P.A., Flammability characteristics at heat flux levels up to 200 kW/m² and the effect of oxygen on flame heat flux, PhD in Fire Protection Engineering, Worcester Polytechnic Institute, USA (2005).
- [11] Utiskul Y., Theoretical and experimental study on fully developed compartment fires”, PhD in Fire Protection Engineering, University of Maryland, USA (2006).
- [12] Beaulieu P.A. and Dembsey N.A., Effect of Oxygen Concentration on Flame Heat Flux in Horizontal and Vertical Orientations, *Fire Safety Journal*, 43, pp. 410-428 (2007).
- [13] Nasr A., Détermination par un code CFD de l'évolution de la puissance d'un feu en régime de sous-ventilation dans un milieu confiné et mécaniquement ventilé, Thèse de Doctorat en Energétique, Université de Poitiers (2011).
- [14] Nasr A, Suard S., El-Rabii H., Gay L. and Garo J.P., Fuel Mass-Loss Rate Determination in a Confined and Mechanically Ventilated Compartment Fire Using a Global Approach, *Combustion Science and Technology*, 183 (12), pp.1342-1359 (2011).
- [15] Suard S., Nasr A., Melis S., Garo J. P., El-Rabii H., Gay L., Rigollet L., Audouin L., Analytical Approach for Predicting Effects of Vitiated Air on the Mass Loss Rate of Large Pool Fire in Confined Compartments, 10th Symposium of IAFSS, pp.1513-1524 (2011).
- [16] Nasr A, Suard S., El-Rabii H., Garo J.P., Gay L. and Rigollet L., Heat feedback to the fuel surface of a pool fire in an enclosure, *Fire Safety Journal*, 60, pp.56-63 (2013).
- [17] Coutin M., Alibert D., Porterie B., Intermediate-scale controlled-atmosphere calorimeter CADUCEE, 14th International Conference on Fire Science and Engineering, INTERFLAM, Proceedings pp. 1433-1444, University of London, Royal Holloway College, UK, July 4-6 (2016).
- [18] Alibert D., Coutin M., Mense M., Pizzo Y., Porterie B., Etude expérimentale de la combustion de PMMA en atmosphères normalement oxygénée et sous-oxygénée - Effet d'échelle, 25ème Congrès Français de Thermique, Actes pp. 901-908, Marseille, France, 30 mai - 2 juin (2017).
- [19] Alibert D., Coutin M., Mense M., Pizzo Y., Porterie B., Effect of oxygen concentration on the combustion of horizontally-oriented slabs of PMMA, 12th International Symposium on Fire Safety Science, Lund University, Sweden, June 12-16, Proceedings: *Fire Safety Journal*, 91:182-190 (2017).
- [20] Alibert D., Coutin M., Mense M., Pizzo Y., Porterie B., Effet de la sous-oxygénation sur la combustion de matériaux liquide et solide dans le dispositif expérimental CADUCEE, 18èmes Journées Internationales de Thermique, Monastir, Tunisie, 25-27 octobre (2017).
- [21] Alibert D., Effet de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion, Thèse de Doctorat en Energétique, Aix-Marseille Université (2017).
- [22] Luciani S., Coutin M., Pons S., Le Niliot C., Rigollet F., Fluxmètre auto-étalonné, Brevet d'invention (2014).
- [23] 6th Advanced Spring School METTI (Eurotherm Seminar 104) : Thermal Measurements & Inverse Techniques, Biarritz (FRANCE), March 1-6, 2015 Web site : <https://www.sft.asso.fr/metti-6.html>
- [24] 7th Advanced Spring School METTI (Eurotherm Seminar 113) : Thermal Measurements & Inverse Techniques, Porquerolles Island (Hyères, FRANCE), Sept. 29th - Oct. 4th, 2019 Web site : <http://iusti.cnrs.fr/metti7>