

ETUDE EXPERIMENTALE A ECHELLE REDUITE D'UN PANACHE DE FUMÉES DEVERSANT AU NIVEAU D'UNE OUVERTURE RELIANT DEUX LOCAUX

Caroline LUCCHESI¹, Olivier VAUQUELIN², Hugues PRETREL¹, Philippe BOURNOT²

¹Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Laboratoire d'Expérimentation des Feux, Centre de Cadarache, Bât 346, BP 3, 13115 St Paul Les Durance Cedex

²Institut de Mécanique de Marseille (IM2), Aix Marseille Université, Uniméca, Technopôle de Château-Gombert, 60 rue Joliot Curie, 13453 Marseille
*caroline.lucchesi@irsn.fr, hugues.pretrel@irsn.fr
olivier.vauquelin@univmed.fr, philippe.bournot@univmed.fr*

Résumé : Cet article rapporte les premiers résultats d'une étude expérimentale à échelle réduite sur la propagation des fumées d'incendie entre deux locaux de taille identique mis en communication par une porte. L'étude porte sur les caractéristiques de l'écoulement des fumées au niveau de la porte, du panache déversant ascensionnel dans le local adjacent et de la position de l'impact de ce panache avec le plafond. Des visualisations par tomographie laser ainsi que des mesures de température sont réalisées. Dans la gamme de puissances de feu testées, les résultats permettent de quantifier l'épaisseur de l'écoulement de fumée à la porte, la position de l'impact du panache déversant avec le plafond du local adjacent et d'évaluer l'influence de la puissance du feu sur ces deux grandeurs.

Mots clés : fumées, incendie, propagation, panache déversant

1 INTRODUCTION

Des recherches sur les mécanismes de propagation des fumées lors d'un incendie dans des locaux confinés et ventilés mécaniquement sont menées par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). Deux démarches sont définies : une approche expérimentale à échelle réelle et une à échelle réduite, initiée en collaboration avec l'Institut de Mécanique de Marseille (IM2) [1]. L'approche expérimentale à échelle réduite est entreprise sur des maquettes représentant une partie du dispositif réel de référence (dispositif DIVA de l'IRSN). Elle a pour objectif de décrire de manière détaillée les écoulements de fumées en s'appuyant sur une métrologie fine. Cet article concerne les premiers résultats d'une étude destinée à caractériser le comportement d'un panache de fumées déversant au niveau d'une ouverture dans une configuration mettant en œuvre deux locaux de taille identique. Deux zones caractérisent le panache déversant : l'écoulement au niveau de la porte et le panache s'élevant dans le local récepteur sous l'effet de la poussée d'Archimède. Dans la littérature, diverses études menées sur l'écoulement de fumées au niveau d'une ouverture sont rencontrées. Ces travaux ont pour objectif principal la description des écoulements de gaz entrant et sortant au niveau de la porte ainsi qu'à l'évolution de l'interface entre ces deux écoulements [2], ou encore à une estimation de l'entraînement d'air dans l'écoulement sortant [3][4] ou de son débit massique [5]. La plupart de ces études sont réalisées dans des configurations différentes de celle étudiée ici, le panache se déversant dans un local plus grand que le local où le feu se déclare (cas des atriums) ou à partir d'un balcon. Pour cette étude, le dispositif expérimental met en jeu deux locaux de même taille connectés par une porte. L'approche expérimentale s'attache à décrire les écoulements à la porte et sur la zone d'impact du panache déversant dans le local cible.

2 LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est constitué d'une maquette thermique, réplique à l'échelle 1/5^{ème} d'une partie du dispositif réel de référence DIVA comprenant deux compartiments de taille identique (longueur = 1 m, largeur = 1,2 m, hauteur = 0,79 m) connectés par une porte (largeur = 0,144 m, hauteur = 0,43 m notée H_p). Pour la configuration étudiée, aucune ventilation mécanique n'est mise en place. Le local adjacent est dit « semi-ouvert », une des faces est ouverte vers l'atmosphère (cf. Figure 1). La source de fumée est produite par un feu d'hydrocarbure liquide (Tétra Propylène Hydrogéné ou TPH, $C_{12}H_{26}$, PCI = 44467 kJ/kg) versé dans un bac circulaire et placé au centre du local dit « source ». La perte de masse du combustible est mesurée avec une balance électronique (de type Ohaus, modèle Balexus Explorer Pro, précision 0.1 g). La température des gaz est mesurée par des thermocouples de type K de diamètre 1,5 mm. Au niveau de la porte, ces thermocouples sont placés à 1 cm de l'axe de la porte et espacés de 5 à 8 cm suivant l'axe z. Au plafond, ils sont alignés dans l'axe de la porte et espacés de 2 à 5 cm suivant l'axe x. La visualisation du panache déversant est obtenue par tomographie laser à partir d'un laser Argon continu (puissance 7 W, $\lambda = 560$ nm) et d'un appareil photographique numérique standard. Une photo est prise toutes les 5 secondes. Les images ainsi obtenues sont traitées avec un logiciel de traitement adapté (IDL) afin de permettre une caractérisation géométrique du panache déversant. Pour trois diamètres de bac, 70, 100 et 130 mm, et donc pour trois puissances de foyer, les informations recherchées sont les profils de températures des gaz, $T_{dp}(z)$ au niveau de l'ouverture, les profils de températures des fumées au plafond du local cible dans l'axe de la porte $T_{pl}(x)$ et les caractéristiques géométriques du panache déversant dans ce même compartiment (épaisseur e_{dp} et position du point d'impact x_{imp}).

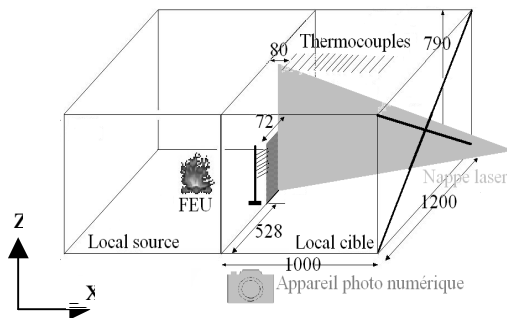


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental

Essais	D (mm)	Masse initiale de combustible (g)
D70_1	70	16,9
D70_2	70	15,4
D100_1	100	31,8
D100_2	100	29,1
D130_1	130	59,9

Tableau 1 : Récapitulatif des essais avec conditions initiales

3 RESULTATS DES ESSAIS

3.1 Description générale

Le déroulement des essais est le suivant. Le bac de combustible est enflammé dans le local « source ». Le panache thermique s'élève au dessus du bac et la partie haute du local se remplit de fumée. Après remplissage, les fumées atteignent la porte et s'écoulent dans le local adjacent, formant un panache de fumées déversant dans celui-ci. L'écoulement au niveau de la porte comprend un flux de fumées sortant et un flux d'air frais entrant. Pour l'ensemble des essais, les mêmes observations sont faites sur le comportement du panache de fumées dans le local cible. Les visualisations par tomographie laser, dont un exemple est montré Figure 2, mettent en évidence l'existence de trois zones : l'écoulement de fumées au niveau de la porte, le panache s'élevant dans le local cible jusqu'à un point d'impact au plafond, puis l'écoulement horizontal sous le plafond.

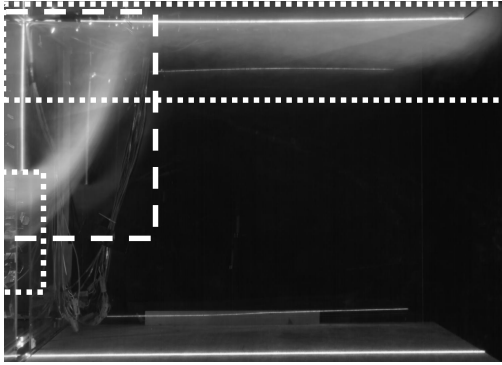


Figure 2 : Image moyenne obtenue par tomographie laser dans le local cible (essai D70_1)

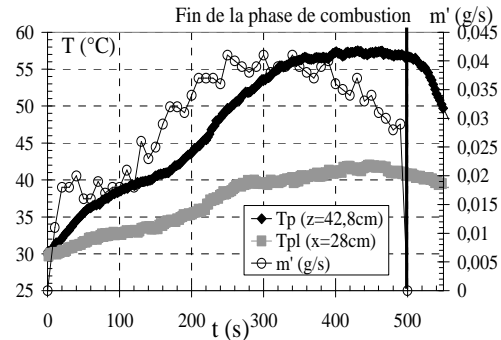


Figure 3 : Evolutions temporelles de m' , de T_{dp} à $H_p=43\text{cm}$ et de T_{pl} à $x=28\text{cm}$ (essai D70_2)

Un exemple d'évolution temporelle du débit de perte de masse du combustible, de la température à la porte à la hauteur $z = 42,8\text{ cm}$ et de la température au plafond du local cible à la distance du mur $x=28\text{ cm}$ est donné pour l'essai D70_1 sur la Figure 3. Sur une période quasi-stationnaire, l'écoulement de fumées à la porte puis la position du point d'impact du panache au plafond sont analysés. Dans le Tableau 2, le débit de perte de masse moyen m'_{moy} ainsi que la puissance totale de feu moyenne Q_{moy} sont calculés à partir de la masse initiale de combustible (Tableau 1) et de la durée totale de la phase de combustion. Les rapports e_{dp}/H_p et $x_{\text{imp}}/H_{\text{lint}}$ sont mesurés sur les images moyennées sur la période totale de la phase de combustion (H_p est la hauteur de la porte, H_{lint} la distance entre le haut de la porte et le plafond).

Essais	D (mm)	t_f (s)	m'_{moy} ($g \cdot s^{-1}$)	Q_{moy} (kW)	e_{dp}/H_p	$x_{\text{imp}}/H_{\text{lint}}$
D70_1	70	495	0,034	1,52	0,18	0,66
D70_2		502	0,030	1,35	0,16	0,71
D100_1	100	598	0,053	2,36	0,17	0,76
D100_2		622	0,055	2,44	0,20	0,69
D130_1	130	494	0,12	5,4	0,29	0,76

Tableau 2 : Résultats de l'étude paramétrique menée sur l'influence de la puissance du foyer

3.2 Ecoulement à la porte

L'écoulement de fumées à la porte est caractérisé par un profil vertical de température permettant d'identifier l'interface entre le flux sortant et celui entrant : l'épaisseur de la couche de gaz chaud e_{dp} (Figure 4). Les visualisations par tomographie laser réalisées dans le local cible permettent également de déterminer cette épaisseur. Cette méthode consiste à relever un profil d'intensité au niveau de la porte (Figure 5). Les extremums de la dérivée du profil sont les limites permettant de localiser le contour géométrique du flux de gaz chaud sortant. Cet écoulement sortant occupe environ 20% de la hauteur de la porte pour les essais à 1 kW de puissance (D70_1, D70_2). Le même ordre de grandeur est observé pour les essais réalisés à 2 kW (D100_1, D100_2). Pour une puissance de feu de 5,4 kW (essai D130_1), l'épaisseur des fumées atteint alors 30%. Dans la gamme de puissances testées, l'épaisseur de la couche de fumées à la porte augmente avec la puissance du foyer (Tableau 2 et Figure 6). La comparaison entre les deux techniques de mesure montre que les épaisseurs obtenues à partir des profils de températures sont plus importantes que celles mesurées par traitement d'images (Figure 6). Ceci s'explique par la présence de poches de gaz frais dans le flux sortant non détecté par la technique de traitement d'images. Cette poche entraîne une

séparation de l'écoulement en deux strates, une très chargée en suies, l'autre plus claire peu visible sur une image moyenne (Figure 5).

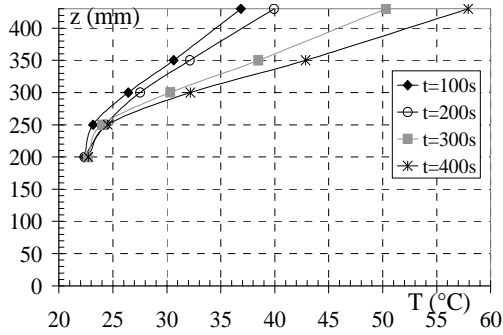


Figure 4 : Profils verticaux de températures à la porte (essai D70_1)

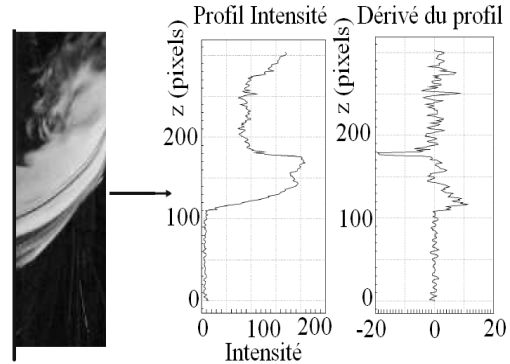


Figure 5 : Principe de mesure de l'épaisseur du panache par profil d'intensité

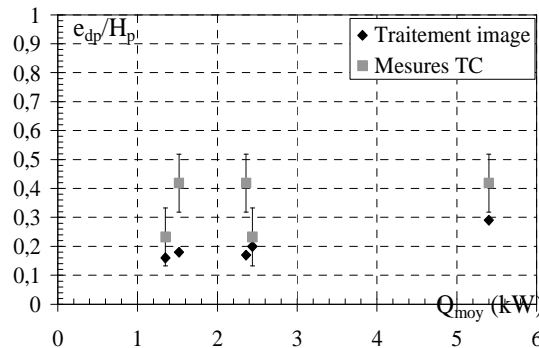


Figure 6 : Comparaison des méthodes de mesure de l'épaisseur du panache à la porte

3.3 Impact du panache déversant au plafond.

Les profils horizontaux de températures mesurées au plafond du local cible montrent l'existence d'une région où la température est maximale. Cette zone définit la position de l'impact des fumées et donc du panache déversant avec le plafond. Un exemple de profil de température est présenté Figure 7. A chaque instant, la position de la température maximale est déterminée. La position du point d'impact est également déterminée à partir des profils d'intensité des images. Les deux techniques de mesure donnent des résultats identiques (Figure 8). La position du point d'impact des fumées au plafond se situe à environ 0,7 fois la hauteur du linteau au-dessus de la porte et ceci sur l'ensemble des tests. Elle semble augmenter légèrement avec la puissance du foyer (Tableau 2 et Figure 8_[p1]).

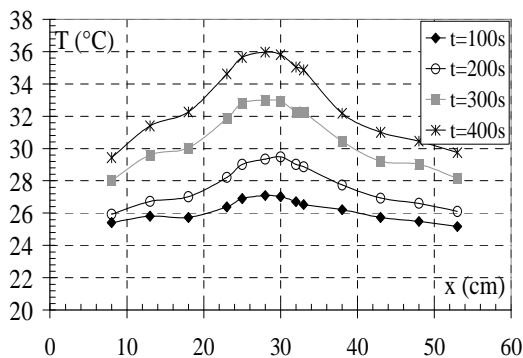


Figure 7 : Profils horizontaux de température au plafond dans l'axe de la porte (essai D70_1)

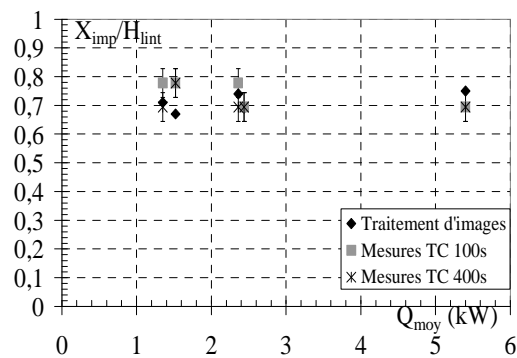


Figure 8 : Comparaison des méthodes de mesure de la position du point d'impact

CONCLUSION

Une approche expérimentale à échelle réduite sur le panache de fumées déversant au niveau d'une porte reliant deux locaux de taille identique est présentée. Cette étude concerne la caractérisation du panache déversant et notamment l'épaisseur du flux de fumée à la porte et la localisation de l'impact entre le panache déversant et le plafond du local adjacent. Une étude paramétrique sur l'influence de la puissance du foyer est menée. L'épaisseur du panache à la porte augmente avec la puissance. Pour des puissances totales de feu de 1 à 5 kW, le flux de fumées sortant se situe en partie haute de la porte et occupe environ 20% à 30% de la hauteur. La position du point d'impact des fumées avec le plafond dans le local adjacent augmente légèrement avec la puissance du feu. Pour les essais réalisés, l'impact se situe à environ 0.7 fois la hauteur du linteau. Ces caractéristiques géométriques sont quantifiées par deux méthodes différentes : mesure de températures par thermocouples au plafond du local cible et à la porte, ou traitement d'images obtenues par tomographie laser. Une analyse comparative entre les deux techniques montre un bon accord en ce qui concerne la position du point d'impact des fumées au plafond, en revanche des différences apparaissent pour la mesure de l'épaisseur du panache à la porte.

Nomenclature

D	Diamètre du bac de combustible, m	λ	Longueur d'onde, nm
e	Epaisseur, m		Exposant, Indices
H	Hauteur, m	dp	Panache à la porte
m	Masse du combustible, g	f	Phase de combustion
m'	Débit de perte de masse, $g.s^{-1}$	imp	Impact
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur, kJ/kg	lint	Linteau au-dessus de la porte
T	Température, $^{\circ}C$	p	Porte
t	temps, s	pl	Plafond
Q	Puissance totale du foyer, kW	moy	Moyenne calculée sur la durée totale de la phase de combustion
x	Position thermocouple au plafond, m		
z	Position thermocouple à la porte, m		

Références

- [1] O. Vauquelin, Ph. Bournot, C. Lucchesi, H. Pretrel, J.M. Such, Smoke propagation between rooms in forced Ventilated and Confined Multi-enclosures Fire Scenario—Preliminary investigations on reduced scale models, *Workshop on Fires in Enclosures*, University of Ulster, 30th-31st May 2006.
- [2] E.E. Zukoski and T. Kubota, Two layer modelling of smoke movement in buiding fires, *Fire and Materials*, Volume 4, n°1, 1980.
- [3] M. Poreh, H.P. Morgan, N.R. Marshall and R. Harrison, Entrainment by two dimensional spill plumes, *Fire Safety Journal*, Volume 30, Issue 1, pp1-19, 1998
- [4] S. Kumar, P.H. Thomas and G. Cox, The spill plume revisited, *Second International Conference, Fire Bridge 2005*, 9th -11th May 2005.
- [5] P.H. Thomas, H.P. Morgan and N. Marshall, The spill plume in smoke control design, *Fire Safety Journal*, Volume 30, Issue 1, pp21-46, 1998.