

ETUDE D'UN JET DE FAIBLE DENSITE DESTINE A REPRODUIRE UN PANACHE THERMIQUE POUR DES APPLICATIONS DE SIMULATION D'INCENDIE SUR MAQUETTE A ECHELLE REDUITE

Ghislain MICHAUX, Olivier VAUQUELIN

*IM2/UNIMECA, Aix-Marseille Université, Technopôle de Château-Gombert,
60 rue Joliot Curie, 13 453 Marseille cedex 13, France
ghislain.michaux@etumel.univmed.fr, olivier.vauquelin@univmed.fr*

Résumé : Par analogie aéraulique, un panache thermique d'incendie en tunnel peut être simulé sur maquette par le rejet continu d'un mélange d'air et d'hélium à température ambiante. Le débit d'hélium est fixé par la puissance de l'incendie simulé tandis que la masse volumique peut être déduite des niveaux de température simulés. Cet article présente des résultats expérimentaux pour un jet d'air et d'hélium axisymétrique impactant le plafond d'un canal. Des mesures de masse volumique ont été réalisées au point d'impact pour différents diamètres d'injection, débits d'hélium et masses volumique du fluide injecté. L'objectif est d'établir une "méthodologie" expérimentale permettant de reproduire des niveaux de température équivalente au point d'impact en jouant sur les conditions d'injection. On montre que ces niveaux de température peuvent être reproduits soit en ajoutant de l'air à l'injection, soit en augmentant le diamètre d'injection.

Mots clés : panache d'incendie ; jet d'hélium ; analogie aéraulique ; masse volumique

1. INTRODUCTION

L'étude expérimentale des incendies en milieux confinés (bâtiments et tunnels) est délicate à mettre en oeuvre en laboratoire, tant au niveau de la sécurité des expérimentateurs (toxicité des fumées) que de la maquette (forts niveaux de température) et des moyens d'investigation (opacité des fumées). Par analogie aéraulique, l'étude de la propagation des fumées chaudes produites par l'incendie peut être substituée par celle de la dispersion d'un panache de faible masse volumique. Les mouvements fluides engendrés par les fortes différences de température lors d'un incendie sont alors reproduits par le rejet, à température ambiante, d'un fluide à fortes différences de masse volumique. Bien que les phénomènes de combustion et de transferts thermiques ne puissent pas être reproduits, les panaches axisymétriques densimétriques et thermiques présentent de nombreuses similitudes tant dans leur modélisation mathématique [1, 2, 3, 4] que dans leur dynamique à proximité du foyer d'incendie ou de la source d'injection [5].

L'objectif de l'étude présentée dans cet article est d'établir une "méthodologie" permettant de reproduire sur maquette les niveaux de température d'un panache thermique au point d'impact, au droit du foyer de l'incendie. La première partie de l'article présente le principe de la simulation d'un panache d'incendie en tunnel par le rejet continu d'hélium à température ambiante dans un canal. Par la suite, des résultats expérimentaux obtenus pour différentes conditions d'injection (débit d'hélium et diamètre d'injection) sont présentés. Pour chacune d'elles, la masse volumique était mesurée au point d'impact, au plafond du canal, tandis que la masse volumique initiale du fluide injecté était augmentée par ajout d'air. Finalement, les valeurs de température équivalente déduites de ces mesures de masses

volumiques sont comparées aux valeurs de température données par une corrélation empirique.

2. PRINCIPE DE LA SIMULATION

Le dispositif expérimental utilisé est un canal en Plexiglas de 0,25 m de large, 10 m de long et de hauteur $H = 0,25$ m, présenté schématiquement par la figure 1. Dans le cadre de la simulation d'incendie en tunnel, ce canal représente un tronçon de tunnel routier avec un facteur d'échelle géométrique $\alpha = 1/20$ [6]. Le principe de la simulation repose sur la conservation du nombre de Froude qui conduit à un rapport entre puissance réelle simulée et puissance maquette en $\alpha^{5/2}$. Le débit d'hélium injecté dans la maquette, q_{he} , permet de reproduire la puissance convectée par l'incendie, Q_c , et peut être lié à la puissance totale dégagée par l'incendie, Q , en supposant que $\chi = 70\%$ de la puissance est convectée [7] :

$$q_{he} = \frac{\chi \alpha^{5/2}}{(\rho_{air} - \rho_{he}) C_p T_{air}} Q \quad (1)$$

avec ρ_{he} la masse volumique de l'hélium injecté et C_p la capacité calorifique à pression constante. Par ailleurs, l'injection d'hélium dans de l'air à température ambiante doit permettre d'obtenir des champs de masse volumique représentatifs des champs de température du panache d'incendie simulé. Avec les hypothèses de non-distorsion de masse (facteur d'échelle massique - thermique unitaire) et des gaz parfaits, la masse volumique dans le panache densimétrique, ρ , est liée à la température du panache thermique simulé (température équivalente), T :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\rho_{air} - \rho}{\rho} = \frac{T - T_{air}}{T_{air}} = \frac{\Delta T}{T_{air}} \quad (2)$$

avec ρ_{air} la masse volumique de l'air ambiant à la température ambiante T_{air} . La faible masse volumique de l'hélium conduisant à des températures équivalentes élevées, Mégret propose d'augmenter la masse volumique du fluide injecté par ajout d'air. Considérant la combustion d'un bac d'heptane en excès d'air [8], l'auteur établit un modèle semi-empirique qui permet, pour une puissance d'incendie donnée (i.e. un débit d'hélium donné), de déterminer le diamètre d'injection, d , et la quantité d'air ajoutée, χ_{air} . Le diamètre d'injection est lié au diamètre du bac d'heptane considéré tandis que la quantité d'air ajoutée à l'injection est déterminée à partir de la proportion d'air entraînée dans le panache thermique [6].

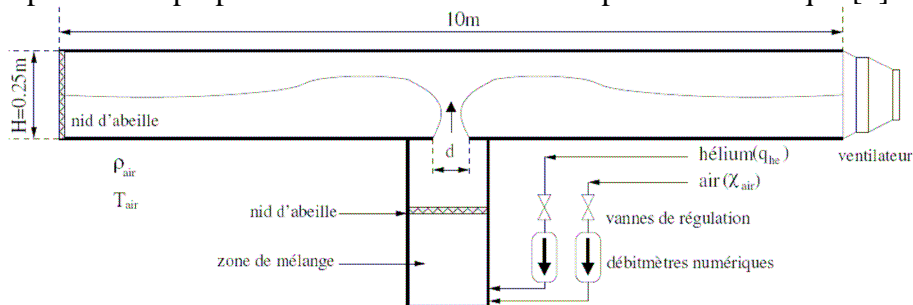


Figure 1 : Schéma de principe du dispositif expérimental utilisé

Bien que l'ajout d'air ne modifie pas la valeur de la puissance convective simulée, il induit un apport de masse qui peut modifier de façon significative l'écoulement. Les travaux présentés dans la suite de l'article ont pour objectif de déterminer s'il est possible de réduire la quantité d'air à ajouter, voire de travailler en hélium pur.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Des essais expérimentaux ont été réalisés afin d'étudier l'influence des conditions d'injection de l'hélium dans de l'air au repos sur la température équivalente au point d'impact, au plafond du canal. Des mesures de masse volumique ont été réalisées en ce point pour différentes valeurs du diamètre d'injection et du débit d'hélium injecté (i.e. de la puissance simulée) en faisant varier la masse volumique du fluide injecté par ajout progressif d'air [9]. La figure 2 présente les résultats obtenus pour deux valeurs du diamètre d'injection adimensionnel, d/H . Les écarts de température équivalente adimensionnels au point d'impact, $\Delta T_{imp}/T_{air}$, sont représentés en fonction de la fraction volumique d'air apportée à l'injection, χ_{air} . Lors de ces essais, cinq valeurs du débit d'hélium ont été considérées, permettant de couvrir une gamme de puissance convective simulée comprise entre 0,25 et 4 MW. On peut noter que l'écart de température adimensionnel n'évolue pas toujours de façon monotone avec la quantité d'air injectée. En effet, pour certaines valeurs de la puissance convective simulée (0,25, 0,5 et 1 MW) et pour de faibles valeurs de χ_{air} , l'apport d'air a pour effet d'augmenter la température équivalente au point d'impact. Dès lors, une valeur de la température équivalente au plafond peut être obtenue pour deux valeurs différentes de la fraction volumique d'air injecté.

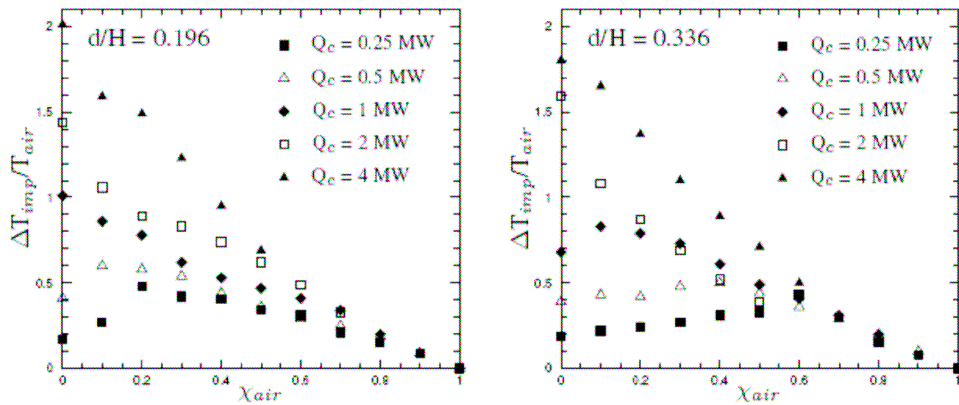


Figure 2 : Ecart de température équivalente adimensionnel mesuré au point d'impact en fonction de la fraction volumique d'air apportée à l'injection

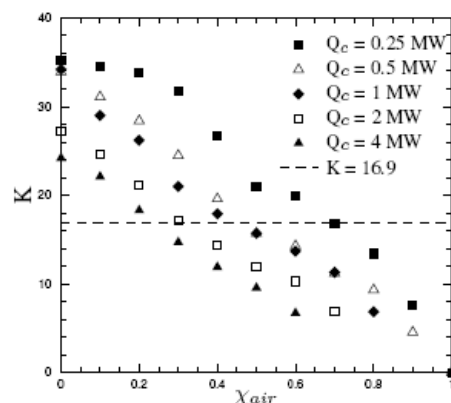


Figure 3 : Résultats obtenus en adoptant la modélisation proposée par Mégret [6]. Trait en pointillé : valeur de la grandeur K déterminée expérimentalement par Alpert [10]

La figure 3 présente les résultats obtenus pour des couples débit d'hélium et diamètre d'injection associés à des valeurs de puissance convective simulée d'après la modélisation de Mégret [6]. La grandeur K introduite dans cette figure est définie comme suit :

$$K = \frac{\Delta T_{imp}}{Q^{2/3} H^{-5/3}} \quad (3)$$

où Q est la puissance totale simulée exprimée en kW et H la hauteur du tunnel à échelle réelle ($H = 5$ m). Le trait en pointillé correspond à la valeur $K = 16,9$ déterminée expérimentalement par Alpert [10] pour des puissances d'incendies comprises entre 668 kW et 98 MW et des hauteurs de plafond comprises entre 4,6 et 15,5 m. A l'aide de cette figure, on peut déterminer la valeur de χ_{air} permettant de reproduire les niveaux de température au point d'impact prédits par l'auteur pour chaque puissance convective simulée. Le modèle proposé par Mégret ainsi modifié est comparé au modèle original par la figure 4. On peut remarquer que les niveaux de température obtenus à l'aide du modèle modifié ("Mégret modifié") sont plus élevés que ceux obtenus à l'aide du modèle original ("Mégret") tout en restant plus faible que lorsque de l'hélium pur est injecté ("hélium pur"). L'intérêt principal de ce modèle modifié est qu'il permet de réduire de façon significative la quantité d'air à ajouter à l'injection (excepté pour 0.25 MW).

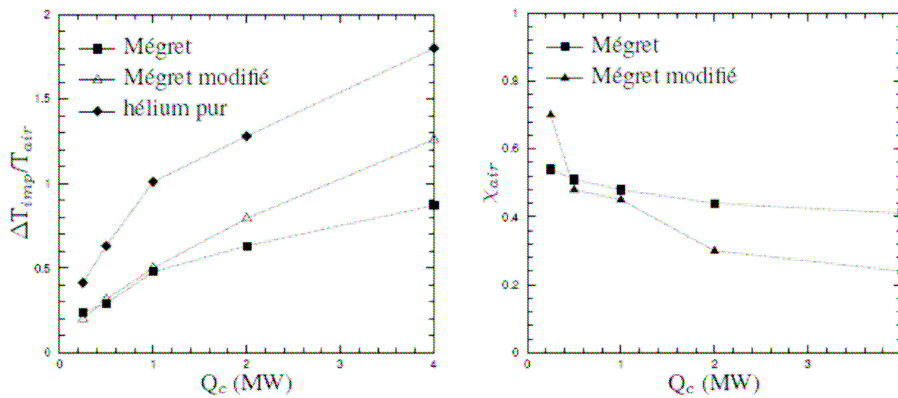


Figure 4 : Comparaison des modèles en terme de température équivalente au point d'impact et de fraction volumique d'air injecté en fonction de la puissance convective simulée

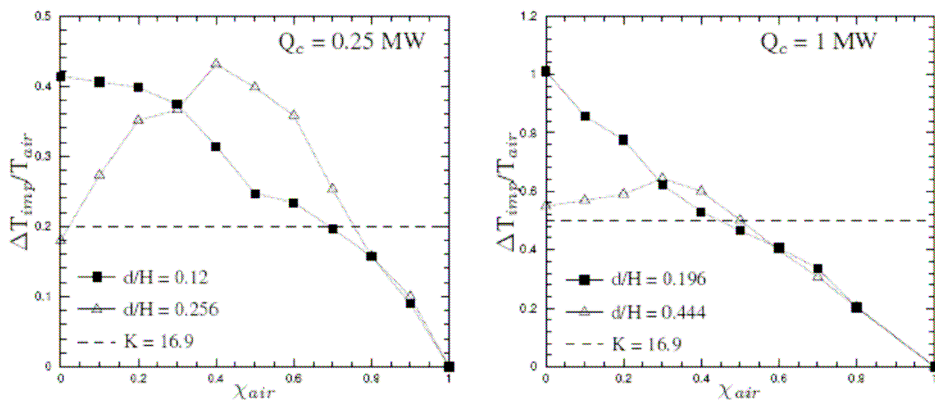


Figure 5 : Effet de l'augmentation du diamètre d'injection sur la température équivalente mesurée au point d'impact en fonction de la quantité d'air injectée

La figure 5 présente les résultats obtenus pour deux valeurs du débit d'hélium associée aux puissances convectives simulées de 0,25 et 1 MW. La modélisation de Mégret associée à ces puissances les valeurs $d/H = 0,12$ et $0,196$ respectivement. On remarque sur les graphes que l'augmentation du diamètre d'injection permet d'obtenir le comportement non monotone des courbes observé sur la figure 2. Dès lors, pour chaque puissance, la valeur de la température souhaitée au point d'impact (trait en pointillés) peut être obtenue pour une valeur de χ_{air} proche de 0. En d'autres termes, les valeurs de température souhaitées peuvent être obtenus par l'injection d'hélium pur en augmentant le diamètre d'injection.

CONCLUSION

Par analogie aéraulique, un panache thermique d'incendie en tunnel peut être simulé sur maquette par le rejet continu d'hélium à température ambiante. Le débit d'hélium est fixé par la puissance de l'incendie simulé tandis que la masse volumique du jet peut être déterminée à partir des niveaux de température du panache thermique calculés à l'aide de corrélations empiriques (température équivalente).

Dans cet article nous proposons de déterminer les conditions d'injection du panache densimétrique permettant de reproduire des niveaux de température équivalente au point d'impact du panache thermique, au plafond du tunnel. L'étude de l'évolution de la masse volumique en ce point en fonction du débit d'hélium, du diamètre d'injection et de la masse volumique du fluide injecté (modifiée par ajout d'air) a donc été réalisée expérimentalement. Les résultats obtenus mettent en évidence que les niveaux de température équivalente souhaités peuvent être obtenus par deux méthodes. La première méthode consiste à ajouter de l'air à l'injection pour un diamètre d'injection donné (fixé par la puissance de l'incendie simulé). Bien que cet ajout d'air ne modifie pas la valeur de la puissance convective simulée, il induit un apport de masse qui peut modifier de façon significative l'écoulement. La seconde méthode consiste, elle, à injecter de l'hélium pur en augmentant le diamètre d'injection. Cette méthode permet de limiter l'apport de masse à l'injection mais nécessite la réalisation d'essais complémentaires pour déterminer, pour chaque puissance d'incendie simulée, le diamètre d'injection associé.

D'autres modifications des conditions d'injection sont envisagées pour augmenter la masse volumique dans le panache densimétrique sans apport de masse supplémentaire. Afin d'accroître les effets de dilution entre le jet d'hélium et l'air ambiant, des modifications du mode d'injection (jet pulsé) ou de la nature du jet (jet annulaire) sont à l'étude.

Références

- [1] B.R. Morton, G.I. Taylor et J.S. Turner, Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources, *Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 234, 1196, pp1-23, 1956.
- [2] G.G. Rooney et P.F. Linden, Similarity considerations for non-Boussinesq plumes in an unstratified environment, *J. Fluid Mech.*, 318, pp237-250, 1996.
- [3] E.E. Zukoski, T. Kubota et B.M. Cetegen, Entrainment in fire plumes, *Fire Saf. J.*, 3, pp107-121, 1980.
- [4] G. Heskestad, Engineering relations for fire plumes, *Fire Saf. J.*, 7, pp25-32, 1984.
- [5] B.M. Cetegen et T.A. Ahmed, Experiments on the periodic instability of buoyant plumes and pool fires, *Comb. Flame*, 93, pp157-184, 1993.
- [6] O. Mégret, Etude expérimentale de la propagation des fumées d'incendie en tunnel pour différents systèmes de ventilation, *Thèse, UVHC, Valenciennes*, 1999.
- [7] H. Koseki et T. Yumoto, Air entrainment and thermal radiation from heptane pool fires, *Fire Tech.*, 24, pp33-47, 1988.
- [8] O. Mégret et O. Vauquelin, A model to evaluate tunnel fire characteristics, *Fire Saf. J.*, 34, pp393-401, 2000.
- [9] G. Michaux et O. Vauquelin, Effet des variations massique et dynamique d'un jet vertical à flux de gravité fixé sur la masse volumique mesurée au point d'impact sur une paroi horizontale, *18^{ème} Congrès Français de Mécanique*, 2007.
- [10] R.L. Alpert, Calculation of response time of ceiling-mounted fire detectors, *Fire Tech.*, 8, pp181-195, 1972.