

# Etude expérimentale des interactions entre fumées et aspersion

**Romain MORLON<sup>1,2\*</sup>, Sullivan LECHÊNE<sup>1</sup>, Elizabeth BLANCHARD<sup>1</sup>, Philippe FROMY<sup>1</sup>, Pascal BOULET<sup>2</sup>, Gilles PARENT<sup>2</sup>, Jean-Pierre VANTELON<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

84 avenue Jean Jaurès - Champs sur Marne - 77447 Marne-La-Vallée Cedex 2 - France

<sup>2</sup> LEMTA, Université de Lorraine, CNRS

2 avenue de la Forêt de Haye - TSA 60604 - 54518 Vandoeuvre Cedex, France

<sup>3</sup> Institut P', UPR CNRS

3346 - Département Fluides, Thermique, Combustion ENSMA, BP 40109 - 86961 Futuroscope Chasseneuil, France

\*(auteur correspondant : romain.morlon@cstb.fr)

**Résumé** - Ce travail porte sur l'utilisation de systèmes d'aspersion en situation d'incendie, en particulier sur l'analyse quantitative des phénomènes physiques observés en phase d'aspersion en lien avec les interactions aspersion / fumées. Une technologie type brouillard d'eau est employée. La configuration étudiée à échelle réelle est celle d'une pièce et d'un couloir, avec foyer situé dans la pièce et écoulement des fumées analysé dans le couloir. La métrologie comprend un ensemble de thermocouples, des opacimètres, des analyseurs de gaz et un système de pesée (une centaine de capteurs au total). Le dispositif permet ici d'évaluer la stratification des fumées avant aspersion et les effets de la déstratification liée au brassage des fumées après déclenchement de l'aspersion, en utilisant des critères de stratification optique et thermique.

## 1. Introduction

La stratégie de sécurité incendie varie selon les pays et le type de bâtiment. En France, en cas d'incendie dans un ouvrage, elle consiste à conserver le plus longtemps possible un espace libre de fumée près du sol par le biais notamment de systèmes de ventilation. Dans un premier temps, cette stratégie vise à favoriser l'auto-évacuation des usagers et, dans un second temps, elle a pour objectif de faciliter l'intervention des services de secours et de lutte contre l'incendie. Bien que l'utilisation de systèmes de lutte active contre l'incendie puisse remettre en question cette stratégie, des systèmes de type sprinkler peuvent être installés en ERP (Etablissement Recevant du Public) et en IGH (Immeuble de Grande Hauteur) pour permettre l'augmentation de la charge calorifique en limitant l'extension d'un incendie, voire en l'éteignant. L'utilisation de tels systèmes peut en revanche induire des dommages collatéraux liés à la quantité importante d'eau utilisée. Les coûts directs et indirects d'un incendie et l'impact de l'installation d'un système sprinkler sont donc difficiles à évaluer.

À l'origine installée dans le domaine maritime, la technologie du brouillard d'eau apparaît aujourd'hui comme une alternative au système traditionnel sprinkler dans la protection des bâtiments. En effet, cette technologie produit des gouttes beaucoup plus petites (pulvérisation où 99 % du volume d'eau est constitué par des gouttes d'un diamètre inférieur à 1 mm) et implique des quantités d'eau moindres (facteur 10 au moins selon les industriels) que les systèmes sprinkler.

Néanmoins, la technologie du brouillard d'eau soulève de nouvelles questions concernant son effet sur l'activité du foyer et la fumée. L'action directe de l'aspersion sur le foyer n'est pas étudiée dans le cadre de cette recherche. On s'intéresse uniquement à l'interaction entre

l'eau pulvérisée et la fumée. L'aspersion d'eau sous forme finement pulvérisée permet d'augmenter la capacité d'évaporation, engendrant ainsi un fort refroidissement des gaz chauds. Ce phénomène couplé à l'injection descendante des gouttelettes d'eau provoque un rabattement de la fumée pouvant altérer la visibilité. Sur un autre plan, le caractère absorbant-diffusant des fines gouttelettes d'eau leur permet d'interagir très fortement avec le rayonnement infrarouge. De nombreux travaux ont déjà été menés sur le sujet et montrent la bonne capacité d'un rideau d'eau à atténuer le rayonnement issu d'une source (voir [1], [2], [3] pour les plus récentes) permettant ainsi de protéger une structure ou des personnes. En configuration réelle, tous ces phénomènes coexistent et leur degré d'importance dépend de nombreux paramètres tels que la taille des gouttes, le débit d'aspersion, la nature du combustible. Par exemple, Blanchard [4] a évalué l'importance de ces phénomènes pour une configuration spécifique d'un tunnel à échelle intermédiaire. On retrouve ici des similarités avec cette étude qui propose un écoulement de fumées longitudinal. L'instrumentation mise en place permettra d'étudier l'écoulement de la fumée dans le couloir aussi bien avec que sans aspersion.

On trouve relativement peu d'études sur ces effets de stratification et déstratification en présence d'aspersion. On peut citer par exemple [5], [6] et [7].

L'objectif de notre étude est de quantifier les effets de l'aspersion sur la stratification des fumées, en évaluant celle-ci sur des critères thermiques (profil de température) ou optique (opacité des fumées définie sur la base de mesures de transmittance dans le visible). Le dispositif métrologique est d'abord décrit en section 2, puis les résultats sont analysés en section 3.

## **2. Dispositif expérimental et métrologie**

### **2.1. Configuration d'essai**

L'installation expérimentale échelle 1 représente une pièce donnant sur un couloir. La pièce est située en extrémité de couloir comme le montre la figure 1. La pièce mesure environ 12 m<sup>2</sup> pour une hauteur de 2,15 m. Le couloir mesure 9 m de long pour une largeur de passage de 1,40 m et une hauteur de 2,35 m. Un bac contenant de l'heptane est situé au milieu de la pièce et va permettre la production de fumées circulant dans la pièce puis le couloir. Le point d'injection de l'aspersion se trouve dans le couloir à 2,50 m du mur au droit du passage. L'objectif d'une telle installation est de limiter l'effet de l'aspersion sur l'activité du foyer afin de n'étudier que les phénomènes d'interactions entre l'eau et la fumée.

La pièce comporte une ouverture en partie basse de 90 cm de large sur 40 cm de haut. Cette ouverture permet une arrivée d'air vers le foyer pour entretenir la combustion, de manière à privilégier un régime de combustion contrôlé par la vaporisation de l'heptane. De plus, cette ouverture permet de limiter le tirage en partie basse dans le couloir, favorisant une couche de fumée en partie haute moins perturbée par le contre-courant.

A la sortie du couloir un linteau d'une hauteur de 40 cm favorise le maintien d'une épaisseur de fumée uniforme sur la longueur du couloir.

Ces éléments géométriques servent à favoriser la stratification de l'environnement enfumé.

### **2.2. Dispositifs de mesure**

#### **Mesure de la puissance du feu**

La puissance du feu au cours du temps est mesurée. La méthode, par pesée, puis par application d'une moyenne mobile sur les données de pertes en masse, permet de calculer la puissance ou

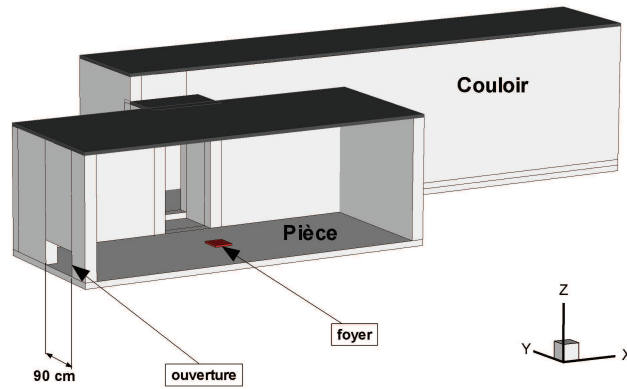


Figure 1 : Vue en 3D de la configuration pièce couloir

HRR (Heat Release Rate) au cours du temps d'après la formule suivante [8] :

$$HRR = \Delta h_c \times \dot{m}_{comb} \quad (1)$$

où  $\Delta h_c$  est l'enthalpie de combustion en kJ/kg et  $\dot{m}_{comb}$  la perte en masse en kg/s. L'enthalpie de combustion est référencée dans la littérature pour tout type de combustible et la valeur utilisée ici pour l'heptane est 44600 kJ/kg.

### Mesure des températures

Afin de caractériser la stratification thermique, nous utilisons des profils de températures à plusieurs positions dans le couloir. Les profils de température sont mesurés par des échelles de thermocouples de type K disposés tous les 20 cm à partir du sol jusqu'à 1 m ; puis tous les 10 cm jusqu'au plafond, comme le montre la figure 2. Trois profils de température sont mesurés dans le couloir grâce à 54 thermocouples (18 sur chaque section) et un profil au droit de l'ouverture, face au foyer, avec 14 thermocouples. Dans le couloir, les profils sont mesurés tous les trois mètres à partir du mur jusqu'à l'ouverture, ce qui permettra de connaître la hauteur de stratification thermique dans le plan médian du couloir.

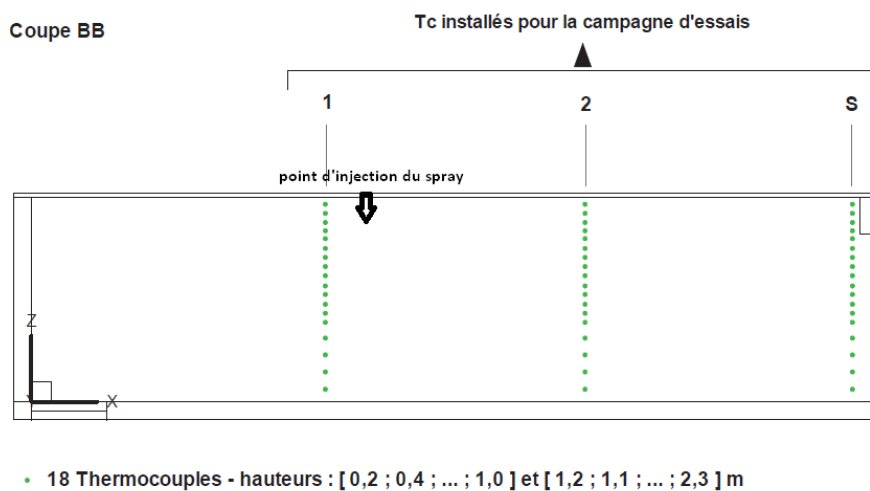


Figure 2 : Coupe illustrant la position des échelles de mesures dans le couloir

### Mesure des transmittances (visibilité)

Il est également possible de mesurer la hauteur de fumée grâce à l'opacification de l'environnement. Pour cela, nous utilisons des opacimètres laser, constitués d'un émetteur à diode laser rouge (635 nm) et d'un récepteur placés chacun de part et d'autre du couloir. Le signal lumineux obtenu au niveau du récepteur est converti en tension. Le rapport entre le signal reçu pendant l'essai (atténué par la présence de particules et de gaz de combustion) et le signal à l'instant 0 en l'absence de fumées est la transmittance à travers la fumée évaluée à 635 nm :

$$\tau = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

où  $I$  et  $I_0$  désignent l'intensité du signal en présence et en l'absence de fumées.

La figure 2 montre également la disposition des opacimètres, les transmittances sont mesurées sur deux sections, à 3 m et 6 m du mur et sur 6 hauteurs : 0,60 m ; 1,00 m ; 1,20 m ; 1,40 m ; 1,60 m et 1,80 m.

### **Système d'aspersion**

Le système d'aspersion utilisé est fourni par les industriels DEF-PROFOG et SONATECH. Une seule buse est utilisée dans cette étude et le point d'injection est situé dans le couloir entre les sections 1 et 2 sur la figure 2, à 2,50 m en amont de la section 2. La buse est une buse brouillard d'eau type CEN OH1, sous une pression d'alimentation de bar. Le débit de la buse est de 27,5 L/min. Les caractéristiques granulométriques sont données par le fournisseur et le diamètre de Sauter ( $D_{32}$ ) est de 23,5  $\mu\text{m}$ .

## **3. Résultats des essais**

### **3.1. Répétabilité des essais**

Plusieurs essais d'enfumage, dans la même configuration, ont été réalisés pour l'observation de la stratification. Les figures 3 a- et c- montrent la répétabilité des essais à travers l'évolution du HRR pour différents essais avec et sans aspersion (en rappelant que l'aspersion, située dans le couloir, perturbe l'écoulement des fumées mais pas le foyer lui-même : on étudie l'interaction eau-fumées, et non l'extinction du foyer). On constate une augmentation constante de la puissance du feu entre 0 et 200 s pour atteindre une puissance d'environ 700 kW sur les trois essais de la figure 3 a-. L'augmentation du HRR sur la figure 3 c- est comparable et la durée de combustion est légèrement plus longue, le pic étant atteint après 200 s et égal à 600 kW.

La répétabilité est également confirmée par le niveau des températures à la section 1 pour chaque essai, avec et sans aspersion (figure 3 b- et d-). Au bout de 120 s d'essai, lorsque la puissance atteint 300 kW les profils en section 1, pour chaque essai, montrent une hauteur libre de fumée à 1 m (cf figure 3 b-). Ce phénomène sera étudié dans le paragraphe suivant, on s'attache ici à vérifier le bon accord entre les valeurs mesurées sur 3 essais. Les mêmes essais avec aspersion montrent, à un instant donné (120 s après la mise à feu), un milieu plus homogène thermiquement, suite au phénomène de rabattement des fumées (confirmé par simple observation visuelle de l'essai). On observe alors une augmentation de la température en partie basse (signe de la présence de fumée) et une baisse de la température en partie haute. Le phénomène est mis en évidence de façon répétable compte tenu de la bonne concordance des résultats des deux essais.

Des essais ont été réalisés dans des conditions semblables et montrent une bonne concordance entre les résultats des différents essais. La combustion et l'environnement thermique présentent une bonne répétabilité.

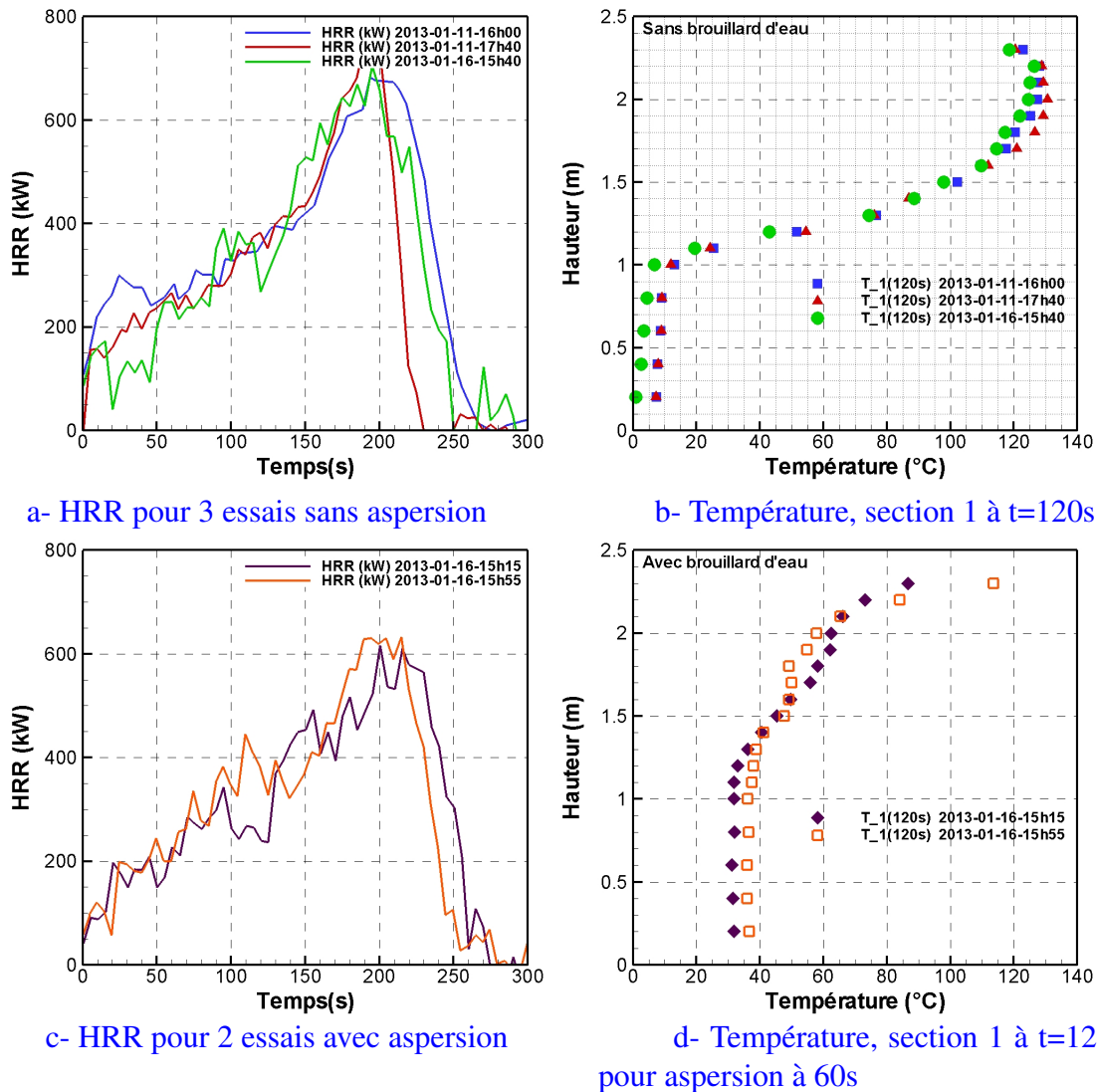


Figure 3 : Illustration de la répétabilité évaluée sur la puissance du feu (HRR) en fonction du temps et les profils verticaux de température dans la section 1, 120s après allumage. Trois essais sans aspersion (en haut) et 2 essais avec aspersion déclenchée au bout de 60s (en bas).

### 3.2. Effet de l'aspersion sur l'environnement stratifié

Lorsque le feu se déclare dans la pièce, la fumée produite remplit progressivement le couloir en partie haute en s'écoulant vers la sortie. On peut caractériser l'environnement enfumé grâce aux critères de stratification thermique (températures) ou optique (transmittance) comme le montre la figure 4. Au bout de 120 s d'essai, dans le cas sans aspersion, on observe d'après les profils de température une épaisseur de la couche de fumée jusqu'à une hauteur entre 1 m et 1,10 m du sol (figure 4 a-) selon la position longitudinale dans le couloir. On note toutefois assez peu de variation entre les profils verticaux de température (étant donné ici pour les sections 1, 2 et S en sortie). Cette hauteur peut également être déduite à partir des profils de transmittance présentés ici pour la section 2 au même instant (figure 4 a-). La zone de transmittance égale à 1, ou quasiment égale à 1, est située jusqu'à 1,20 m du sol. La zone supérieure présentant des niveaux d'atténuation entre 70 et 80% en raison de l'atténuation par les fumées, avec une zone de transition clairement marquée entre 1,20 m et 1,60 m par rapport au sol. Les observations de la couche de fumée dans le domaine optique et thermique apparaissent concordantes.

Le même essai a été reproduit en déclenchant l'aspersion à partir de 60 s après le départ du feu et en maintenant l'aspersion pendant 60 s. Les profils de température et de transmittance sont représentés au même instant que pour le cas sans aspersion, à  $t=120$  s (cf figure 4 b-).

Au niveau thermique, on remarque que l'environnement est plus homogène, suite au rabattement des fumées induit par l'injection des gouttes et le refroidissement du milieu (cf figure 4 b-). Le niveau de température de la section 2, située 2,50 m en aval de l'aspersion est même uniforme, à 40 °C. La section 1, légèrement en amont de l'injection d'eau conserve encore une légère stratification. De même, la section S en sortie conserve une légère stratification thermique sous l'influence d'un écoulement d'air plus frais entrant en partie basse. Néanmoins, le brassage des fumées est évident sur l'ensemble des profils par comparaison avec le cas sans aspersion.

Au niveau optique, à la fin de la phase d'aspersion, on observe sur la section 2 (2,50 m en aval de l'aspersion) une altération de la visibilité sur l'ensemble du profil traduite par des niveaux de transmittance perturbés et variables suivant la hauteur, entre 10 et 70%. Le profil vertical n'est donc pas homogène comme observé précédemment sur les températures. Une explication possible viendrait du rôle des gouttes d'eau, qui peuvent diffuser le rayonnement incident et dont la répartition ne serait pas homogène en fonction de la hauteur. Le travail à venir visera à confirmer ces données et à en déduire des informations quantitatives sur les concentrations en particules (présence simultanée des suies et de gouttes d'eau). La simulation numérique de l'écoulement de fumées sous aspersion pourrait également permettre de vérifier l'hypothèse ci-dessus (travail en cours).

Pour donner un aperçu de l'évolution de ces profils dans le temps, la figure 5 présente l'enregistrement des températures et transmittances dans la section 2 pendant un essai avec aspersion. La figure 5 a-, qui présente l'évolution des températures au cours de l'essai, montre que le milieu enfumé commence à stratifier jusqu'au déclenchement de l'aspersion à  $t=60$  s. Le milieu est alors brassé et les niveaux de température de la couche chaude et de la couche froide se confondent. Sur la durée de l'aspersion, la température du milieu continue à augmenter car le foyer, non sujet aux effets de l'aspersion continue à produire de la fumée (cf figure 3 c-). Pendant l'aspersion, la température évolue de façon similaire.

D'après l'analyse des transmittances, la fumée est détectée par l'opacimètre situé à 1,60 m (cf figure 5 b-) au bout de 20 s. Les opacimètres situés en-dessous de 1,60 m ne sont pas encore affectés par la présence de fumée avant le déclenchement de l'aspersion, leur transmittance est égale à 1. Au déclenchement de l'aspersion, la transmittance à tous les niveaux subit une forte baisse mais la décroissance de la transmittance ne se fait pas de façon homogène contrairement à ce que l'on observe sur les températures. Les niveaux de transmittances ne chutent pas à la même valeur et conservent une variation d'opacité suivant la hauteur. La fin de l'aspersion (après 120s) semble à nouveau perturber l'écoulement avec une transmittance à 0,6 m du sol qui présente une nouvelle chute, avant une remontée sous l'effet de la re-stratification, d'autant qu'on continue à produire des fumées. L'ensemble des phénomènes de brassage, de refroidissement par aspersion et de réchauffement après aspersion nécessitera un volet numérique pour une meilleure appréhension de l'écoulement des fumées sous influence de l'aspersion. Il apparaît en tout cas qu'avec l'aspersion, l'analyse de la stratification des fumées par critère thermique ou optique.

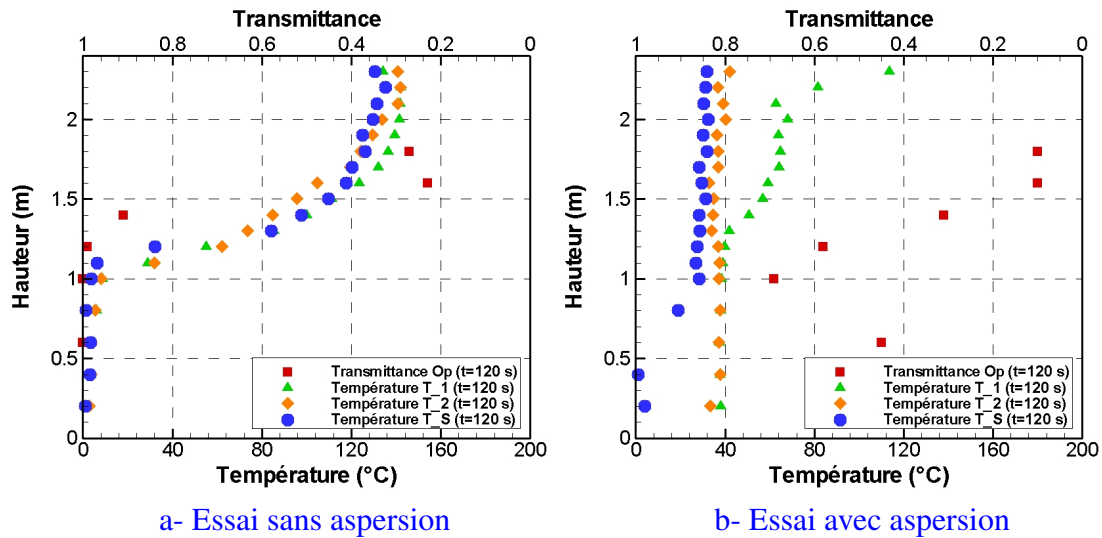


Figure 4 : Profils verticaux de température et de transmittance après 120s, sans et avec aspersion

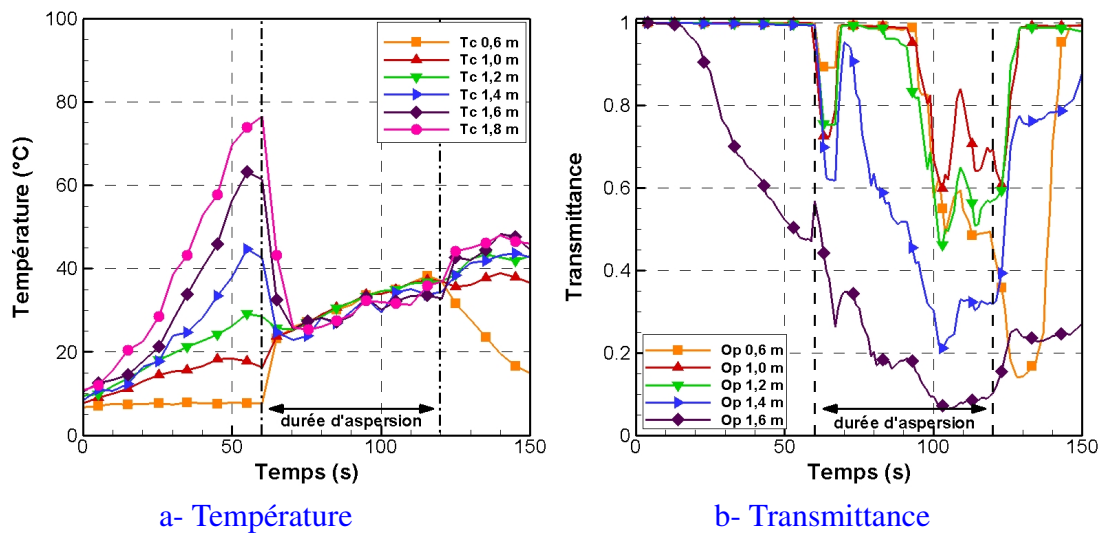


Figure 5 : Evolutions temporelles des températures et des transmittances à la section 2 pour l'essai avec aspersion

#### 4. Conclusion

Les essais ont permis d'observer une stratification de l'environnement, c'est-à-dire une couche chaude et opaque en partie haute et une couche froide et transparente en partie basse. Il y a plusieurs moyens de caractériser cette stratification : par analyse thermique, optique, voire toxique (voie non explorée ici, mais constituant une de nos perspectives de travail). Dans notre étude, les aspects thermiques et optiques ont été analysés. Le dispositif utilisé comprend un foyer dans une pièce attenante à un couloir où l'on étudie l'écoulement des fumées.

On a pu observer grâce aux mesures de température et de transmittance l'épaisseur de la couche de fumée en écoulement libre (autrement dit en l'absence d'aspersion) et des phénomènes de stratifications thermique et optique. La hauteur libre de fumée au bout de 120 s d'essai, pour un feu de puissance maximale 700 kW, se situe à 1,10 m pour une hauteur de couloir de 2,35 m. La concordance entre l'opacité des fumées et la température de la couche chaude a été montrée en mettant en parallèle les profils de transmittance et de température à un instant donné.

Au déclenchement de l'aspersion, on observe une destratification, sur le plan optique et sur le plan thermique. Il y a brassage de l'environnement thermique avec une homogénéisation de la température en aval de l'aspersion. La visibilité est également altérée par l'injection des gouttelettes d'eau et on observe une baisse de la transmittance sur l'ensemble des points de mesure. Par ailleurs, la transmittance n'est pas homogène en fonction de la hauteur et demandera une analyse numérique des profils de concentration en gouttes et particules pour expliquer les inhomogénéités observées. De plus une comparaison avec des résultats de simulation numérique est prévue.

## Références

- [1] A. Collin, S. Lechene, P. Boulet, G. Parent, Water mist and radiation interactions - application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A*, 57, 537-553, 2010.
- [2] S. Lechêne, Z. Acem, G. Parent, G. Jeandel, P. Boulet, Upward vs downward injection of droplets for the optimization of a radiative shield. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, pp. 1689-1697, 2011.
- [3] S Lechêne, Z Acem, G Parent, A Collin and P Boulet, Radiative shielding by water mist : comparisons between downward, upward and impacting injection of droplets, *J. Phys. : Conf. Ser.*, Vol. 369, 012027 (2012)
- [4] E. Blanchard, P. Boulet, P. Fromy, S. Desanghere, P. Carlotti, J.P. Vantelon and J.P. Garo, Experimental and numerical study of the interaction between water mist and fire in an intermediate test tunnel dans la revue *Fire Technology*, (2013)
- [5] Z. Tang, Z. Fang, J.P. Yuan, B. Merci, Experimental study of the downward displacement of fire-induced smoke by water sprays. *Fire Safety Journal*, 55, pp. 35-49, 2013
- [6] Z. Tang, J. Vierendeels, Z. Fang, B. Merci, Description and application of an analytical model to quantify downward smoke displacement caused by water spray. *Fire Safety Journal*, 55, pp. 50-60, 2013
- [7] E. Blanchard, Modélisation de l'interaction entre brouillard d'eau et feu en tunnel, Thèse de l'Université Henri Poincaré Nancy 1, 2011.
- [8] V. Babrauskas, Chapter 3 : Heat Release Rates. *SFPE Handbook of fire protection engineering*, Third Edition : 3-1 : 3-37, 2002.