

Interaction aspersion/fumées dans un tunnel en phase chantier

Rabah Mehaddi, Japhet Tellasamou, Zoubir Acem,
Anthony Collin et Pascal Boulet

Laboratoire LEMTA, UMR CNRS 7563
Université de Lorraine.
Journées du Groupe de Recherche CNRS Feux
Balma, octobre 2017



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Expériences
- 3 Simulations
- 4 Résultats
- 5 Conclusion

Contexte

- Partenariat Lemta - Société du Grand Paris.
- La Société du Grand Paris, créée en 2010, conçoit et réalise Le Grand Paris Express.

Le Grand Paris Express

- Extension de deux lignes existantes et construction de 4 nouvelles lignes du métro parisien.
- 200 km de tunnel, 68 gares.
- 24.7 milliards d'euros à horizon 2030.
- Début des travaux en 2015.

Contexte

Tunnel en phase chantier

- Galerie de section circulaire et de diamètre de 8.7 m .
- Tronçon de 2000 à 2500 m , fermé d'un côté.
- Puits de descente de 30 à 50 m de côté.



Contexte

Demande des sapeurs pompiers

- Installation d'un système d'aspersion tous les 500 *m*.
- Piquage sur la conduite d'alimentation du tunnelier (débit limité).
- Déclenchement manuel de l'aspersion par le dernier occupant.

Questions

- Peut-on cantonner les fumées avec une aspersion / un rideau d'eau?
- Quel est l'impact de l'aspersion sur la stratification et le mouvement des fumées dans le tunnel?
- Le rideau d'eau présente-t-il un intérêt au niveau radiatif vis-à-vis des personnes en situation d'évacuation?

Littérature

Blanchard *et al.* (Fire Tech, 2014),

- Expériences à moyenne échelle .
- Aspersion sur le foyer combinée avec une ventilation longitudinale.

Ingason *et al.* (Fire Tech, 2016)

- Expériences à grande échelle.
- Puissances variant entre 25 *MW* et 40 *MW*.
- Aspersion sur le foyer et utilisation d'une ventilation longitudinale.

Sun *et al.* (Tunn Undergr Sp Tech, 2016)

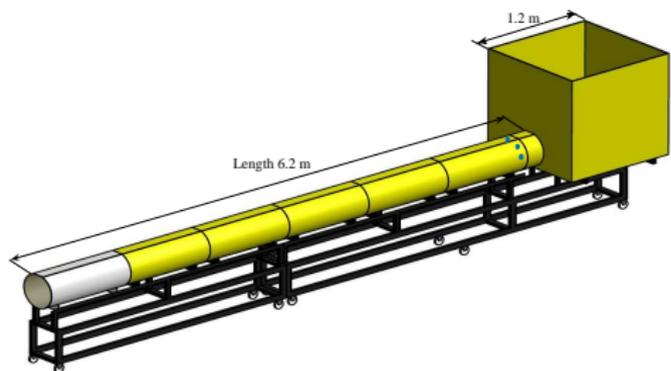
- Expériences à petite échelle.
- Aspersion sur la couche de fumées avec et sans ventilation.
- Tunnel ouvert des deux cotés.

Stratégie

Plan de travail

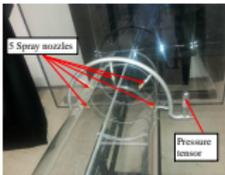
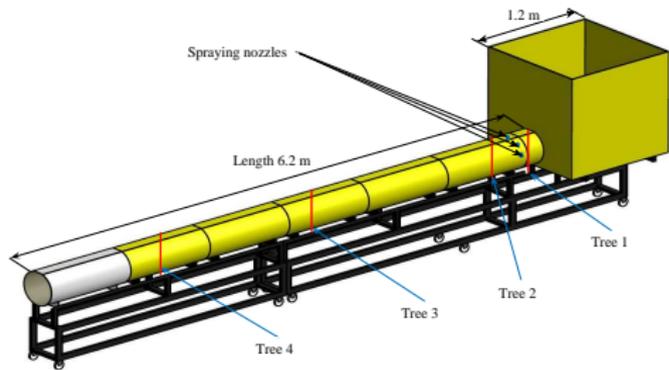
- Réalisation d'une maquette simulant un tronçon de tunnel, son puits de descente et un système d'aspersion, à échelle de l'ordre de $1/22^{\text{ème}}$.
- Validation du code de calcul numérique FDS (Fire Dynamics Simulator) par comparaison entre les simulations et les expérimentations.
- Simulation en vraie grandeur d'un tronçon de tunnel en phase chantier avec départ d'incendie et utilisation d'un dispositif de rideau d'eau.

Maquette expérimentale



- Maquette modulaire, tunnel de section circulaire.
- Paroi en polycarbonate.
- Tronçon foyer en acier.
- Diamètre 40 *cm*.
- Longueur 6.2 *m*.
- Un puits cubique de 1.2 *m*.
- Échelle 1/22^{ème} basée sur le diamètre.

Instrumentation



- Foyer au bout du tunnel.
- 2 bacs d'heptane de 81 mm et 68 mm de diamètre.
- Balance de précision pour la mesure de la perte de masse.
- 5 sprinklers montés en série, alimentés avec 1.5 et 4 bars.
- Sprinklers de type TP400067, Lechêne *et al.* (IJHMT, 2011).
- 4 arbres de thermocouples.
- 19 thermocouples par arbre.

Simulations à petite échelle

Code de calcul

- Fire Dynamics Simulator version 6 (FDS6).

Géométrie et maillage

- Reproduction identique de la maquette expérimentale.
- Mailles cubiques de dimensions $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$.
- Nombre total de cellules : 2.7 millions.

Aspersion

- Loi de distribution Rosin-Rammler-log normal.
- Diamètres moyens des gouttes : $123 \mu\text{m}$ pour 4 bars et $254 \mu\text{m}$ pour 1.5 bars.
- Débit d'eau par sprinkler : 0.32 L/min pour 4 bars et 0.2 L/min pour 1.5 bars.

Simulations à grande échelle

Géométrie et maillage

- Tunnel circulaire de 8.7 m de diamètre, 500 m de long.
- Puits de descente de dimension $30 \times 30 \times 30 \text{ m}^3$.
- Mailles cubiques de dimensions $0.2 \times 0.2 \times 0.2 \text{ m}^3$.
- Foyer placé au centre du tunnel avec une puissance de 10 MW.
- Nombre total de cellules : 9.7 millions.

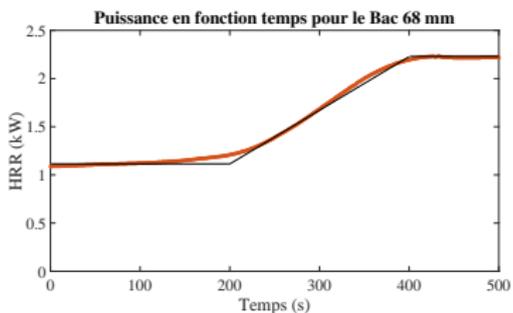
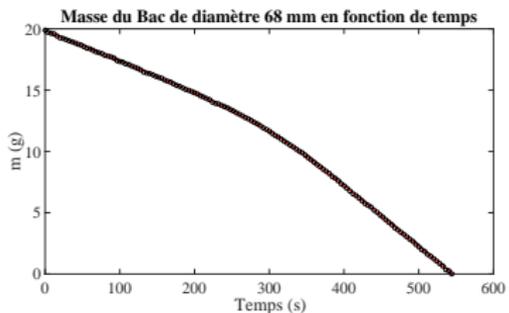
Aspersion

- Loi de distribution uniforme.
- Diamètre moyen des gouttes testés: 100 μm , 500 μm et 1000 μm .
- Débit d'eau par sprinkler : 2.8 m^3/h et 14 m^3/h .
- Positions de l'aspersion: à 10 m, à 150 m et à 240 m de l'embouchure du tunnel.
- Déclenchement de l'aspersion à $t=300 \text{ s}$.

Résultats expérimentaux

Puissance

- Puissance maximum 3.5 kW pour 81 mm et 2.2 kW pour 68 mm .
- Similitude en Froude \rightarrow échelle réelle 9 MW et 5 MW .



Résultats expérimentaux

Effets de l'aspersion sur la stratification des fumées

- Refroidissement et brassage des fumées au droit de l'aspersion.
- Pas d'effet notable en amont de l'aspersion (coté foyer).
- Effets plus intenses pour une pression de 4 bars.

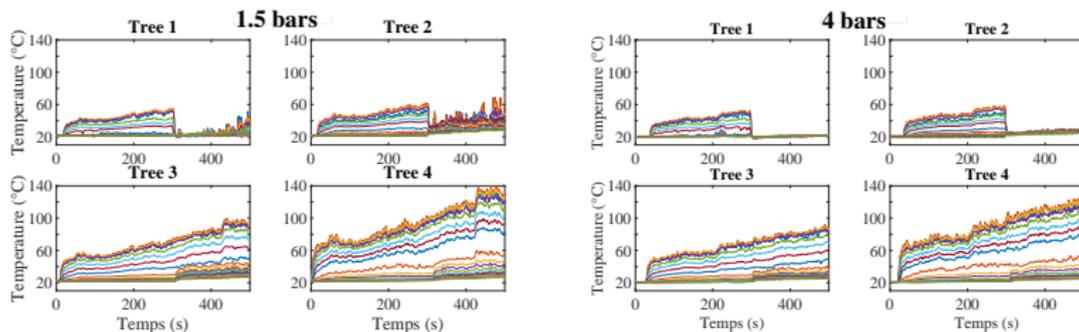
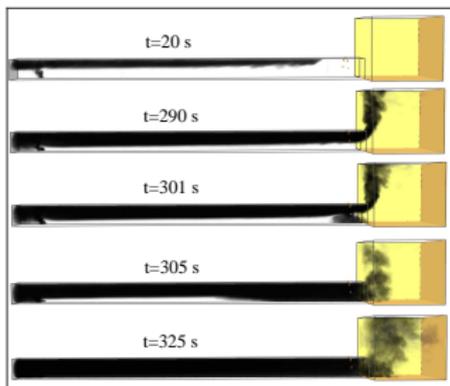


Figure: Mesure des températures en fonction du temps à divers positions pour un bac de 68 mm de diamètre et des pressions de 1.5 bars et 4 bars.

Résultats numériques à petite échelle

Visualisation de l'écoulement

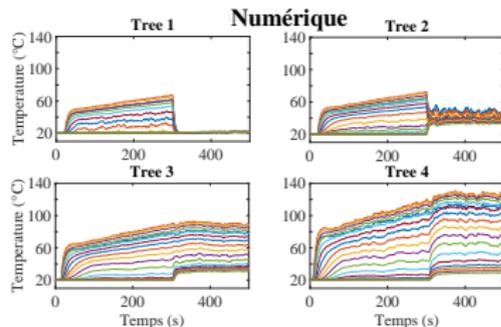
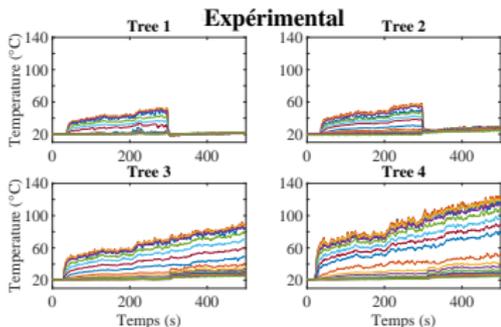
- Brassage et dé-stratification des fumées au droit de l'aspersion.
- Entraînement des fumées froides par le courant d'air induit par le feu.
- Dé-stratification "optique" en amont de l'aspersion.



Résultats numériques à petite échelle

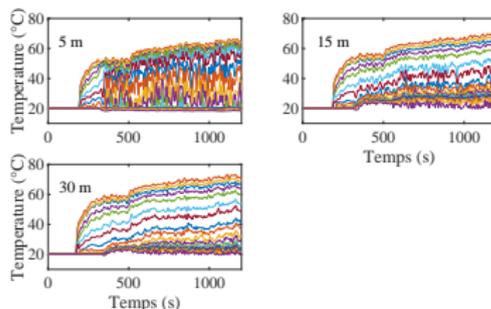
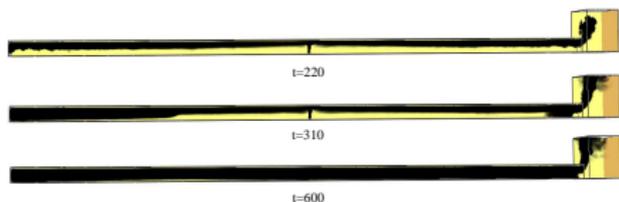
Comparaisons

- Bonne reproduction de la dé-stratification.
- Niveaux des températures plutôt bien reproduits.
- Stratification thermique persistante en amont de l'aspersion malgré une dé-stratification "optique".



Résultats numériques à grande échelle

- Pas de cantonnement des fumées par l'aspersion.
- Faible dé-stratification thermique à cause des débits plus faibles.
- Entrainement d'une partie des fumées froides par le feu.
- Remplissage du tunnel en amont de l'aspersion par des fumées froides proches du sol et chaudes au plafond.
- Influence marginal de la taille des gouttes (brassage plus intense pour des gouttes plus petites).



Résultats numériques à grande échelle

Influence de la position de l'aspersion

- Re-stratification des fumées en aval de l'aspersion (coté puits de descente).
- Dé-stratification "optique" en amont de l'aspersion (coté feu).
- Stratification thermique persistante en amont de l'aspersion (coté feu).



Conclusion

- Pas de cantonnement des fumées par le système d'aspersion.
- Dé-stratification totale des fumées au droit de l'aspersion à l'échelle maquette.
- Dé-stratification thermique moins intense pour la grande échelle à cause des faibles débits.
- Brassage et dé-stratification optique en amont de l'aspersion.
- Persistance de la stratification thermique en amont de l'aspersion.
- Re-stratification des fumées en aval de l'aspersion.

Remerciement

- Lemta : Japhet Tellasamou, Samia Haouarih-harrak, Simon Becker, Zoubir Acem, Anthony Collin, Pascal Boulet.
- Société du Grand Paris : Bertrand Masselin.