

Etudes Expérimentale et Numérique de l'Interaction entre Fumée et Brouillard d'Eau

**R. Morlon, P. Boulet, G. Parent, S. Lechêne, E. Blanchard, C. Rebuffat, P. Fromy,
J.P. Vantelon**



1. Contexte général

1. Brouillard d'eau et fumée
2. Phénomènes
3. Objectifs de la recherche

2. Configuration expérimentale

1. Couloir
2. Métrologie
3. Cas étudié

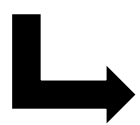
3. Résultats et Discussions

1. Effets thermiques du brouillard d'eau
2. Effets optiques du brouillard d'eau

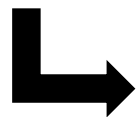
4. Conclusions et perspectives

Pourquoi s'intéresser aux interactions entre fumée et brouillard ?

- Stratégie de sécurité incendie en France : garder un espace libre de fumée près du sol (système de désenfumage)
- Toutefois, des systèmes d'aspersion d'eau peuvent être installés pour contribuer au contrôle du feu ou augmenter la charge calorifique acceptable



Mais quels effets sur les conditions de praticabilité pour les personnes et les services de secours ?



Mais quelle influence sur les autres systèmes de sécurité incendie mis en place (systèmes de désenfumage) ?

- **Les très petites gouttes favorisent l'évaporation de l'eau et causent :**
 - Un fort effet de refroidissement / **baisse de la température de gaz**
 - Un effet d'inertage autour de la zone de feu
- **Une forte capacité d'atténuation du rayonnement due aux phénomènes d'absorption et de diffusion des gouttelettes d'eau**
- **L'injection descendante des gouttes couplée au refroidissement du milieu induit également un entraînement de la couche de fumée vers le bas et donc une opacification de la zone proche du sol**

Objectifs

Etudier l'interaction entre aspersion d'eau (brouillard d'eau, sprinkler) et fumée (pas d'interaction avec le foyer)

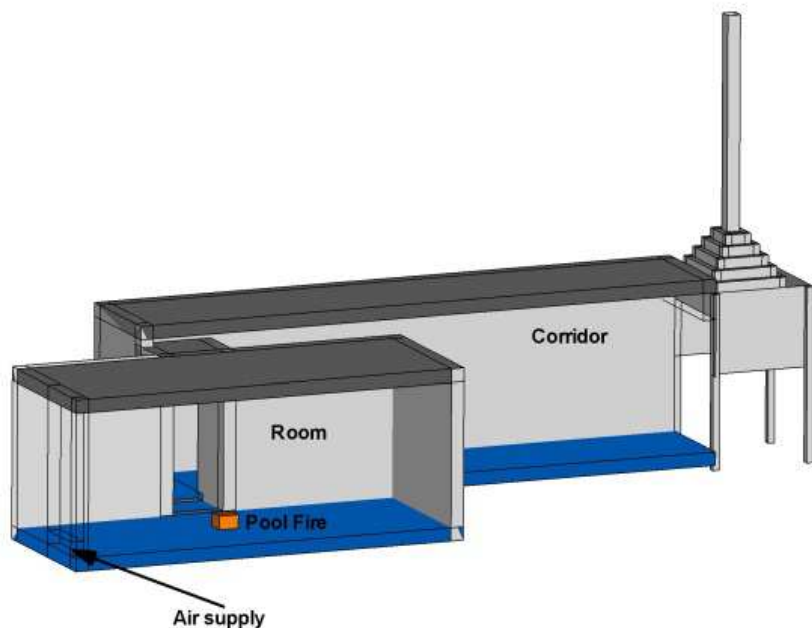
- Effets Thermiques (profils de température)
- Effets Optiques (mesures de transmission)
- Effets sur le rayonnement thermique (mesures d'atténuation de flux)

Outils

- **Installation expérimentale à échelle réelle**
- **Simulations numériques via FDS**

1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

Configuration



Pièce-couloir

- Pièce 12 m² et 2,15 m sous plafond
- Couloir 9 m de long et 2,35 m sous plafond
- Ouverture dans la pièce en partie basse
- Ventilation naturelle

Combustion

- Bac d'heptane
- Surface = 0,09 m²
- HRR = 275 kW



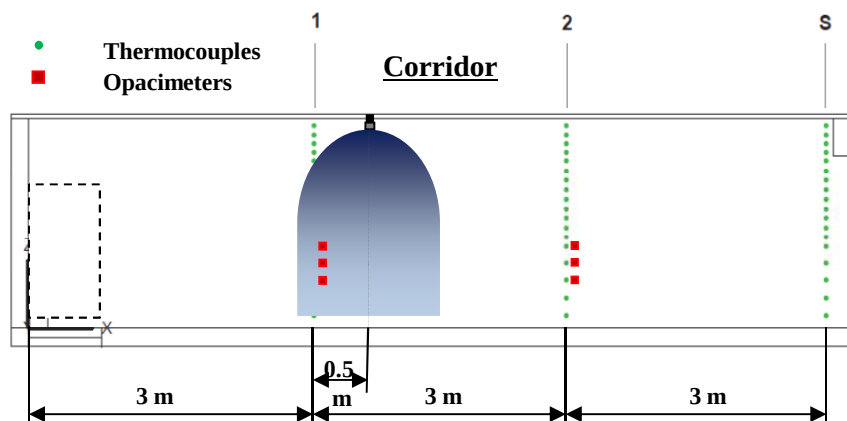
Système brouillard d'eau

- $d_{32} = 23,5 \mu\text{m}$
- Pression alimentation = 110 bars
- Débit = 27,5 l/min
- De 360 s à 660 s durant le test



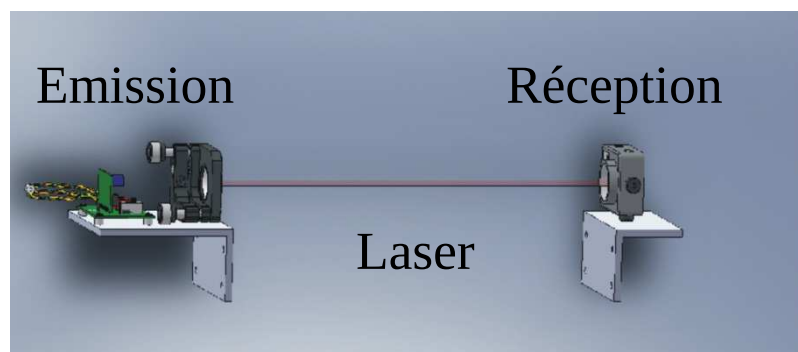
1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

Dispositif de mesure



Métrologie

- Perte de masse mesurée pour évaluer HRR
- 18 Tc sur 3 sections (1, 2 & S) pour les températures
- 6 opacimètres laser sur 2 sections (1 & 2) sous 1 m pour évaluer l'opacité



Longueur optique de 10 cm

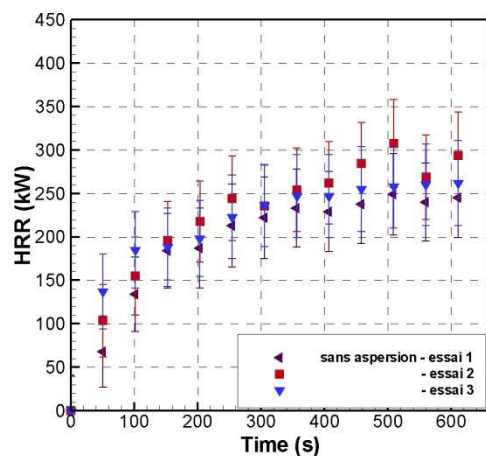
L'utilisation des opacimètres est limitée à la couche libre de fumée (ou durant aspersion) à cause de leur sensibilité à la température (50 °C)
Nous développons actuellement un système pouvant être utilisé dans la fumée

$$\text{Transmittance} = \frac{\Phi \text{ reçu durant l'essai}}{\Phi \text{ reçu avant le passage des fumées}}$$

1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

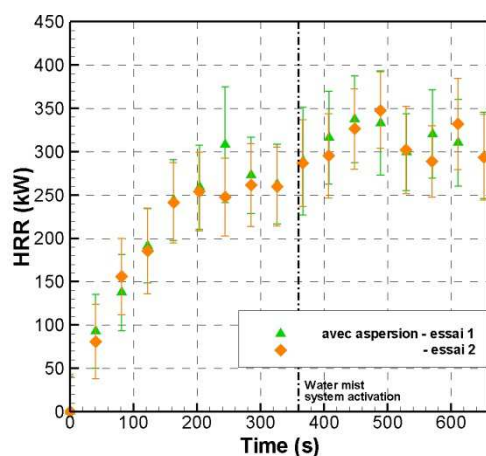
Résultats et discussions

Tests de répétabilité

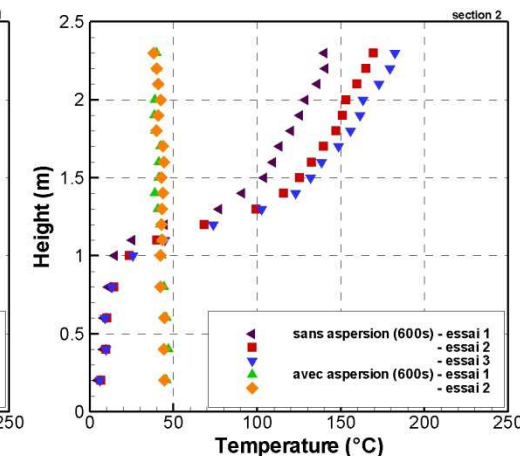
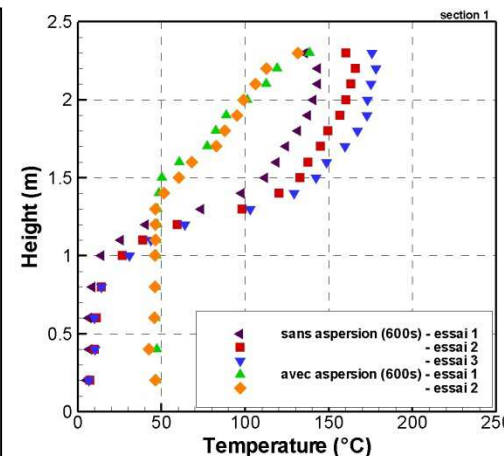
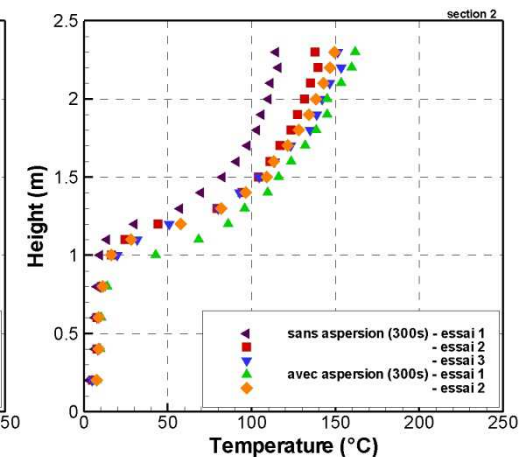
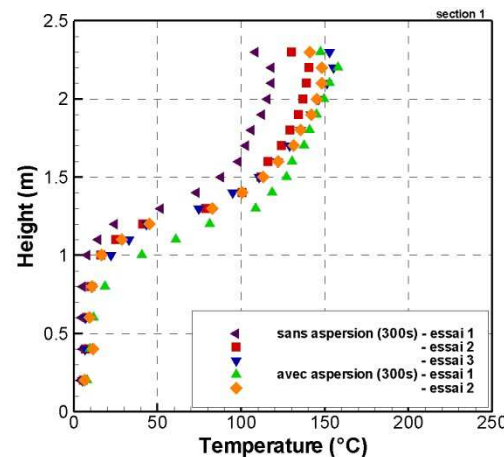


Tests de répétabilité :
3 sans aspersion (en haut)
2 avec aspersion (en bas)

Les niveaux de température
de la couche chaude
sensiblement identiques



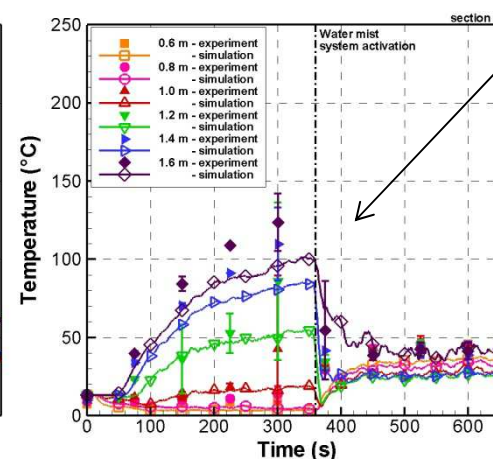
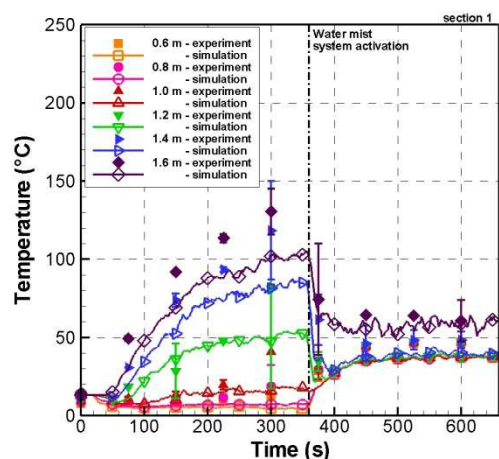
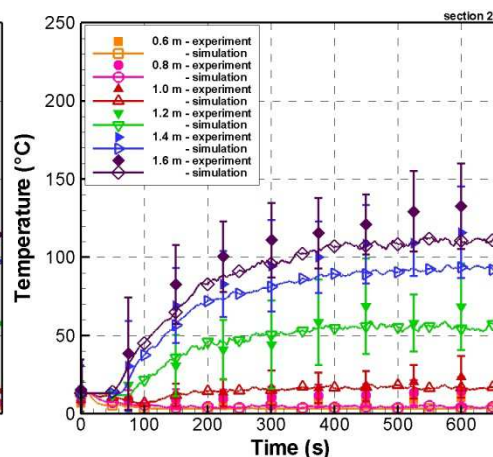
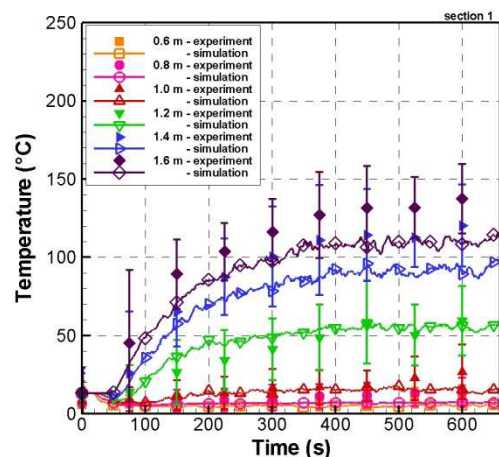
Essai 1 sans aspersion : les
parois sont plus froides que
pour les autres essais
présentés, cela explique la
température plus froide pour
la couche chaude car il y a
plus de dissipation de
chaleur



1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

Résultats et discussions

Stratification thermique (1/2)



Sans brouillard d'eau

- Les températures suivent l'évolution du HRR
- Bon accord entre résultats expérimentaux et numériques (considérant les barres d'erreur)

Effet de l'injection du brouillard d'eau

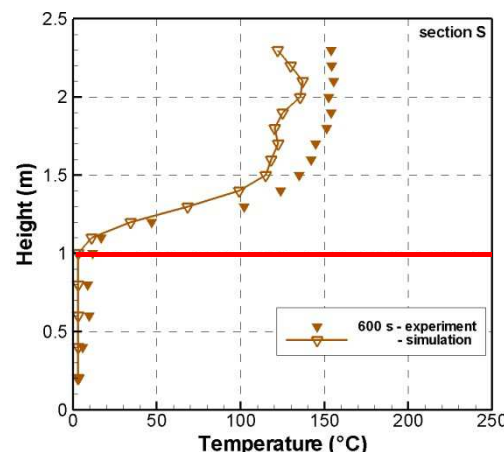
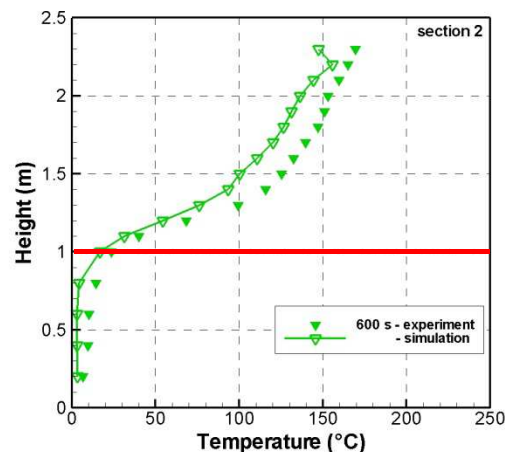
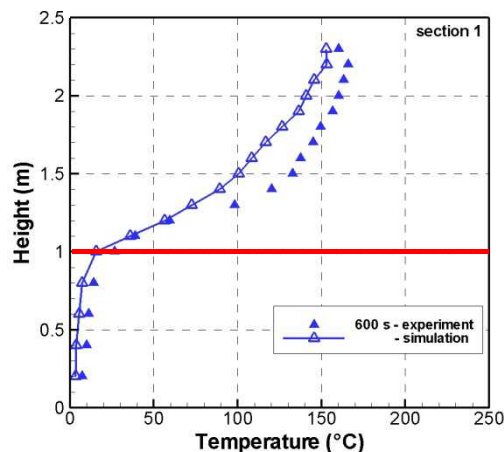
Avec brouillard d'eau

- Chute de la température dès déclenchement
- Homogénéisation de la température
- Bon accord entre résultats expérimentaux et numériques

1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

Résultats et discussions

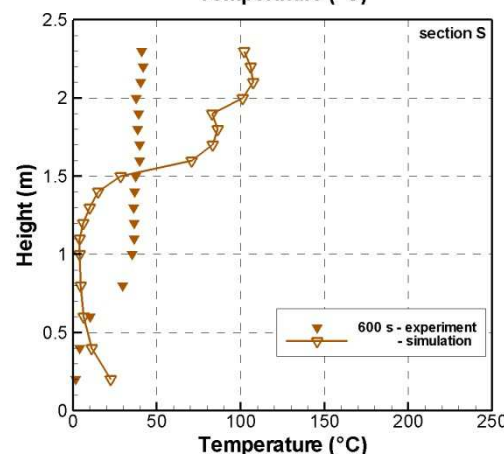
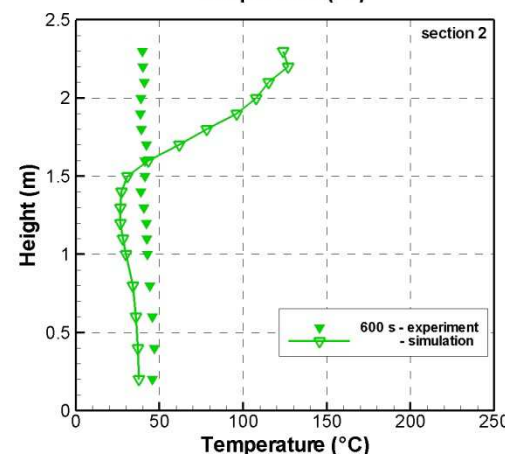
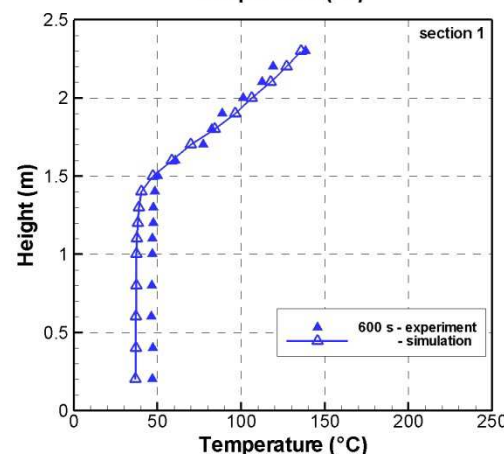
Stratification thermique (2/2)



Sans aspersion (en haut)

Hauteur libre de fumée
évaluée à 1m

Nappe de fumée stable
dans la longueur du
couloir



Avec aspersion (en haut)

Section 1 : zone chaude
en partie haute

Section 2 : totalement
homogénéisé en
température

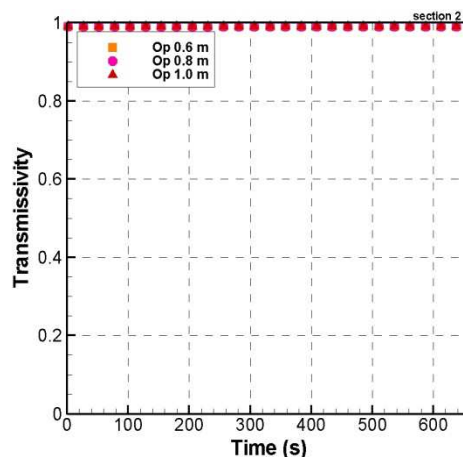
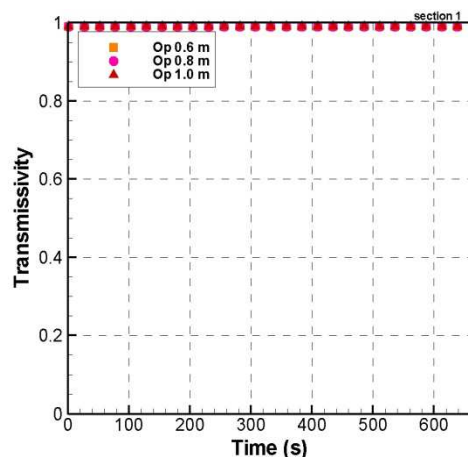
Section 3 : arrivée de
l'air en partie basse

Les prédictions numériques en section 2 et S sont moins satisfaisantes / l'angle d'injection et la taille des gouttes pulvérisées ne sont pas encore bien connus

1. Contexte général
2. Configuration expérimentale
3. Résultats et discussions
4. Conclusions et perspectives

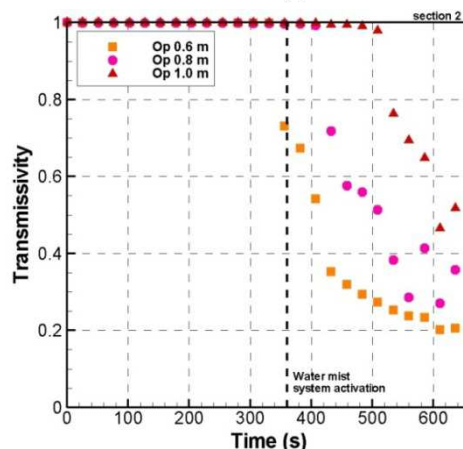
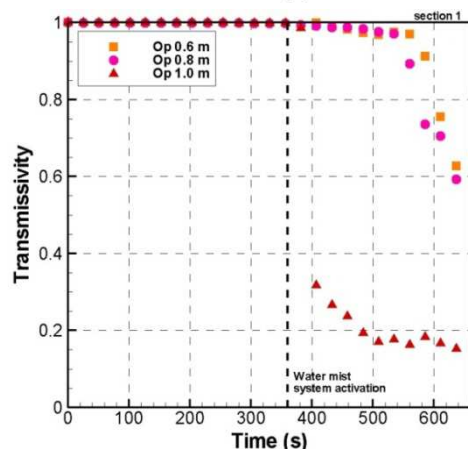
Résultats et discussions

Stratification optique



- Sous 1 m, transmittance = 1
- Zone libre de fumée sous 1 m

Sortie de la fumée au bout du couloir



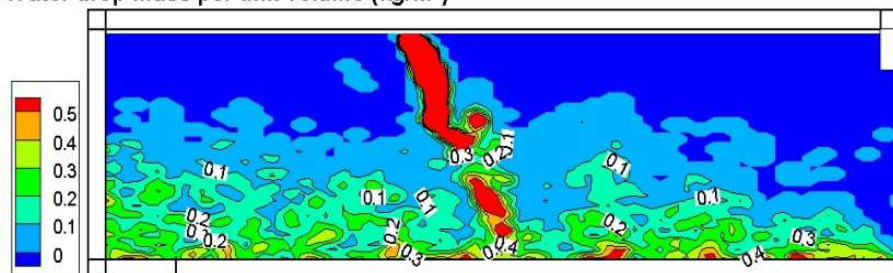
- Chute de la transmittance dès déclenchement du brouillard d'eau / la zone libre de fumée disparaît
- Effet de brassage dû à l'injection descendante des gouttelettes
- Les sections 1 et 2 sont affectées différemment / Pourquoi ? Brassage, recirculation... en attente d'une analyse de la dynamique grâce à FDS

L'accord entre résultats des mesures thermiques et optiques observée en l'absence d'aspersion disparaît lorsque le brouillard d'eau est activé

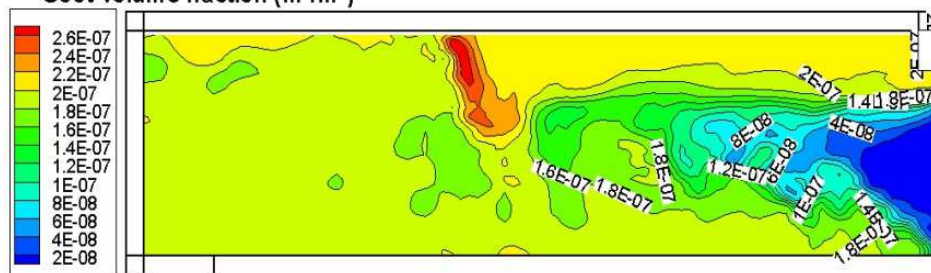
Pendant aspersion, atténuation du rayonnement due à :

- La concentration en suies
- La présence de gouttelettes d'eau en suspension dans le couloir (concentration et diamètre de goutte).

Water drop mass per unit volume (kg/m^3)



Soot volume fraction (m^3/m^3)



Numériquement on observe :

- un gradient de concentration en gouttelettes d'eau, la quantité d'eau est plus importante en partie basse
- un brassage des suies :
 - En amont du spray, la concentration en suies est uniforme (effet de barrière)
 - En aval du spray, inhomogénéité

Ces résultats sont provisoires, une étude de sensibilité est menée sur le diamètre des gouttes et l'angle d'injection du spray afin de s'approcher au plus près des conditions d'expérience

La perturbation optique est différente de la perturbation thermique, c'est en partie à cause de la répartition en gouttelettes d'eau dans le couloir.

- Etudes des interactions brouillard-fumée dans les conditions où le feu n'est pas directement atteint par le spray
- Observation et mesure des phénomènes de stratification à travers les températures et l'opacité (zone libre de fumée à 1m sans aspersion quel que soit le critère choisi)
- Homogénéisation de la température expliquée par des effets de mélange et de refroidissement dus à l'injection descendante d'eau
- Non-homogénéisation de l'opacité à cause des concentrations en espèces gazeuses notamment les suies et les gouttelettes en suspension
- Les accords entre résultats numériques et expérimentaux peuvent être améliorés avec une étude de sensibilité sur l'angle d'injection et la taille des gouttes du brouillard d'eau

Expérimentalement

- Mise en place du nouveau système de mesure de transmittance par fibre optique (pour s'affranchir de la dérive du signal lumineux et des problèmes liés à l'environnement thermique agressif pour la métrologie)
- Variations des conditions aux limites pour l'étude des interactions aspersion-fumée :
 - Caractéristiques du spray (sprinkler, brouillard haute et basse pression)
 - Différentes longueurs d'ondes pour le système optique
 - HRR plus puissant (effet du spray sur des gaz de combustion plus chauds)

Numériquement

- Sensibilité numérique, notamment sur le diamètre des gouttes et l'angle d'injection du spray mais aussi sur les conditions limites
- Etude numérique par MMC de l'opacité et de la visibilité de l'environnement enfumé durant aspersion