

21<sup>ème</sup> CFM

## SIMULATION D'UN ESSAI À ÉCHELLE 1 DE SUPPRESSION PAR L'ASPERSION D'UN FOYER DE TYPE POIDS-LOURD EN TUNNEL

26 au 30 août 2013, Bordeaux

Virginie DRÉAN  
Christiane ROTTIER  
Gildas AUGUIN

## ○ Contexte, objectifs et méthodologie

## ○ Présentation des essais

- Galerie d'essai
- Foyer
- Système d'aspersion

## ○ Simulations numériques

- Essai sans sprinklage
- Essai avec sprinklage
  - Débit calorifique (HRR) expérimental prescrit ou calculé
  - Prise en compte du modèle d'aspersion

## ○ Synthèse

## ○ Problématiques

- Mise en sécurité des tunnels routiers
  - Systèmes de lutte active contre l'incendie
  - Sprinklage
- Difficultés pour dimensionner le système
  - Phénomènes physiques multiples dépendants du foyer, du tunnel, de l'aspersion ...
  - Basé sur essais à échelle réelle -> Coût important des essais

## ○ Recours à la simulation numérique

- Outil complémentaire aux essais
- Mais ne peut reproduire tous les phénomènes physiques en jeu
  - Influence du sprinklage sur le foyer (HRR, développement, propagation)

## ○ Objectifs

- Evaluation de l'outil numérique (FDS V5)
  - Modélisation de l'aspersion par sprinklage
  - Interaction eau/ environnement du feu (phase gazeuse)
  - Basée sur résultats expérimentaux
- Analyse et compréhension des résultats expérimentaux
  - Aide au dimensionnement des systèmes de lutte contre l'incendie en tunnel

# ESSAIS DE SUPPRESSION À ÉCHELLE 1:1 EN TUNNEL

# DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

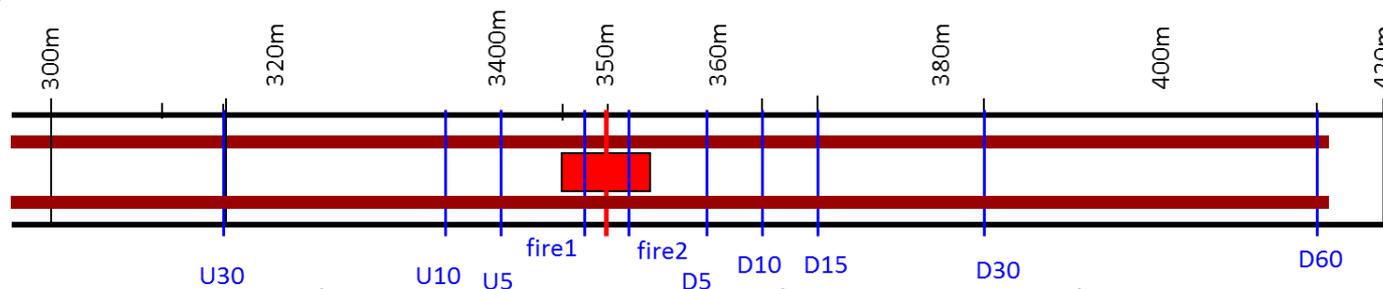
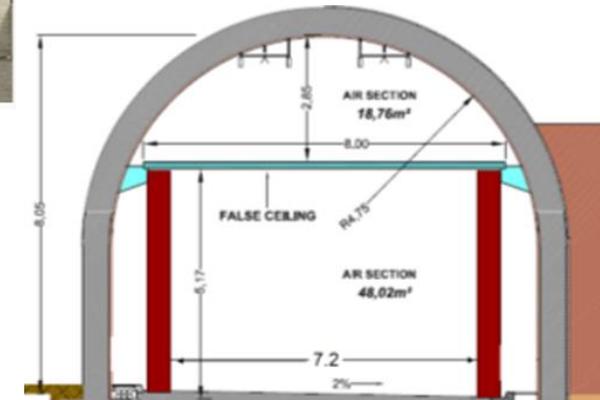
## ○ Tunnel d'essai de San Pedro de Ñanes (Espagne)

- Galerie béton 600 x 9,5 x 8,12 m (L x l x h)
- Section protégée
  - Plafond, parois (flocage)
  - 48 m<sup>2</sup> sur 50 m (zone foyer)
- Ventilation longitudinale
  - $V = 3$  m/s initialement en entrée ( $> V_{crit}$ )



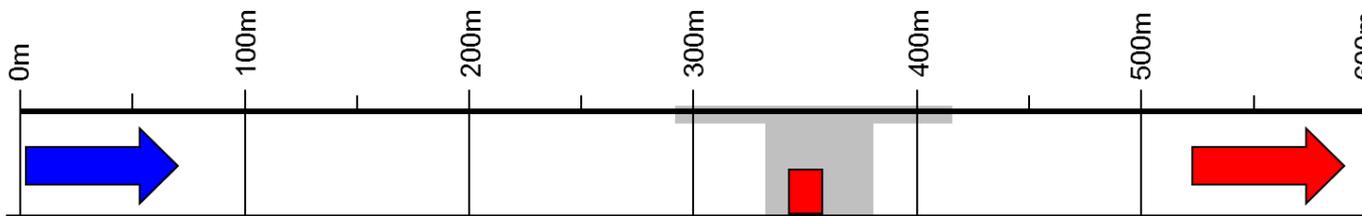
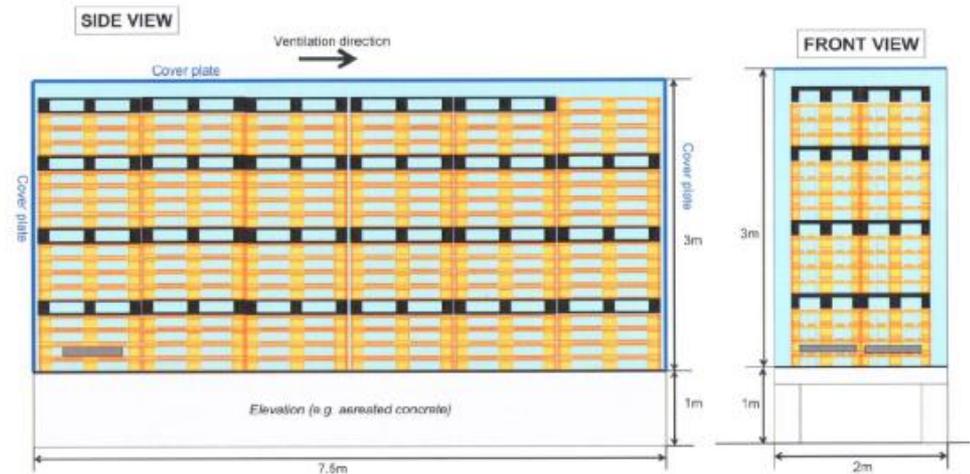
## ○ Instrumentation

- Thermocouples, fluxmètres, sondes de vitesse
- Analyseurs de concentration gazeuse (aval)
  - CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>
  - Estimation du débit calorifique
- Différentes hauteurs, en amont et aval du foyer



# GÉOMÉTRIE ET CARACTÉRISTIQUES DU FOYER

- Foyer de palettes représentatif d'un feu de poids-lourd
  - 228 palettes EURO
    - 180 bois + 48 plastique PE
  - 12 piles de 19 palettes
  - Positionné à  $x = 350$  m de l'entrée de la galerie
  - Allumage par bacs d'essence
- Protection du foyer
  - Tôles acier (dessus et faces avant/arrière)
- Propagation du foyer
  - 2 piles de palettes cibles
  - 5 m en aval du foyer



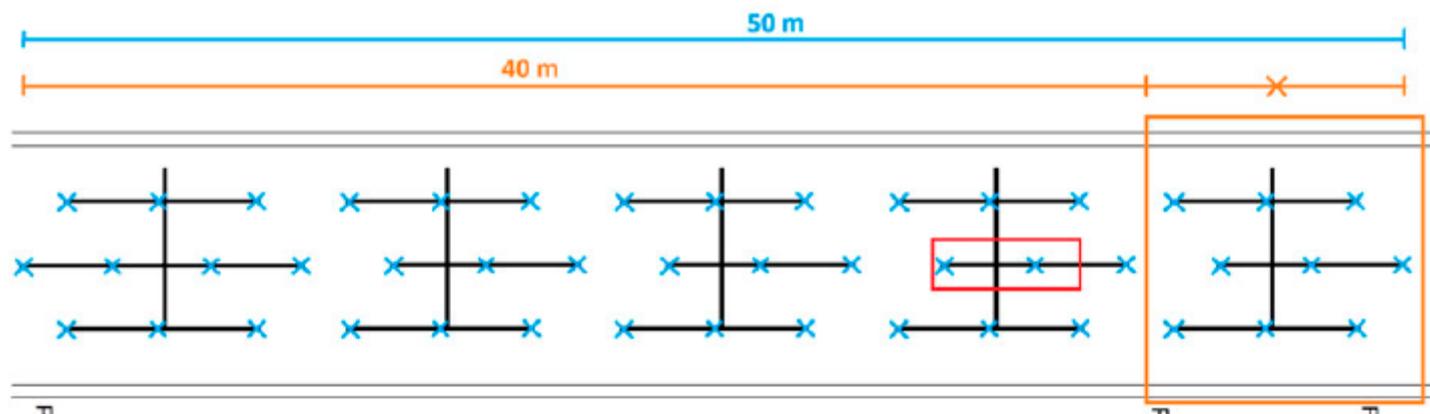
# ESSAIS ET SYSTÈME D'ASPERSION

## ○ 7 essais réalisés en 2012

- 1 cas sans sprinklage (free burning)
  - Refroidissement fumées en aval du foyer (endommagement structure)
- 6 cas avec sprinklage
  - Type de tête, nombre, débit, temps d'activation

## ○ Système d'aspersion de type déluge

- 46 sprinklers sur deux sections de 25 m
- Couverture  $\sim 9 \text{ m}^2/\text{sprinkler}$
- Débit = 8-12 mm/min - P = 1,8 bar - K factor = 80 lpm/bar<sup>0.5</sup>
- Détection : groupe de 10 thermocouples -  $T_{\text{critique}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Activation  $\sim 4 \text{ min}$  après la détection

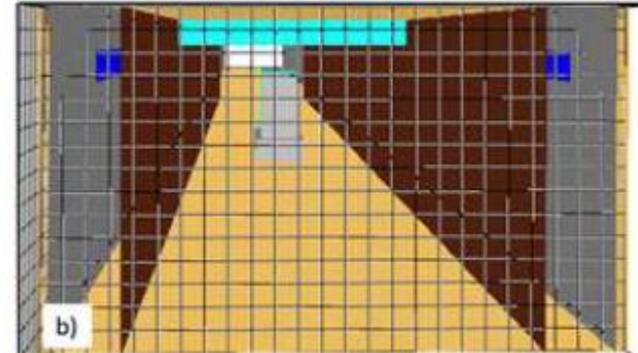
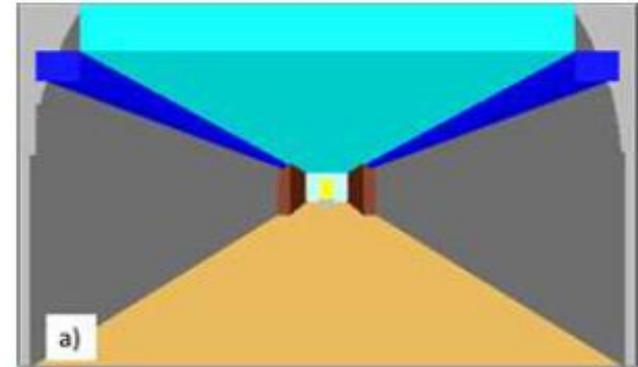


# SIMULATION NUMÉRIQUE AVEC FDS

---

# GÉOMÉTRIE ET CONDITIONS AUX LIMITES

- Modélisation d'une partie seulement de la galerie
  - Entre  $x = 300$  et  $540$  m (Foyer en  $x = 350$  m)
  - Voûte et parois protégées => section rectangulaire
  - Parois: propriétés thermiques (EC2), rugosité (flocage)
- Maillage cartésien régulier sur 3 domaines
  - Amont - foyer - aval
- Conditions aux limites
  - Extrémités de la galerie « ouvertes » vers l'extérieur
  - Vitesse écoulement 3 m/s imposée en amont
- Instrumentation selon cahier des charges expérimental



## ○ Géométrie du foyer

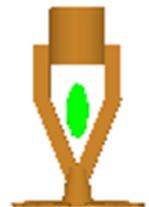
- Volume équivalent aux piles de palettes (S débitante ~ 70 m<sup>2</sup>)
- Tôles de protection modélisées (faces supérieure et amont/aval)

## ○ Conditions aux limites du foyer

- Potentiel calorifique représentatif des 240 palettes
- Combustible : propriétés fonction de la proportion de palettes bois/PE (80% - 20%)

## ○ Système d'aspersion

- 46 têtes de sprinklers modélisées ( $d_{\text{moyen}} > 1000 \mu\text{m}$ )
- Positions et caractéristiques
  - Selon cahier des charges expérimental et données constructeur
- Eau libérée par toutes les têtes (déluge)
  - 4 minutes après la détection d'une température de 60°C



## ○ Calcul fluide

Processus	Modèle
Combustion	Chimie infiniment rapide
	Fraction de mélange
Turbulence	LES
Rayonnement	ETR pour un gaz gris

## ○ Aspersion

Particules	Modèle
Description - transport	Lagrangien
Interaction eau/environnement	Production de vapeur d'eau

## ○ Simulation de l'essai sans sprinklage (free burning)

- Foyer non impacté par l'aspersion
  - HRR expérimental prescrit au niveau du foyer
- Vérification et validation
  - Géométrie et conditions aux limites (foyer, ventilation, ...)
  - Sur la base des résultats expérimentaux



13:27



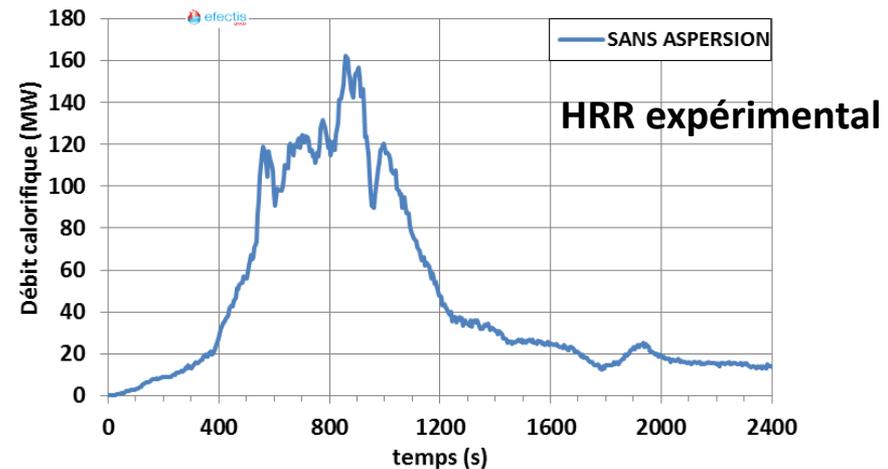
17:13



21:51

ZI... CFM - Bordeaux

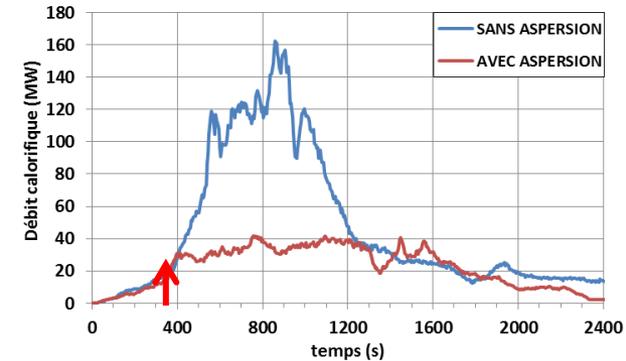
www.ejectis.com



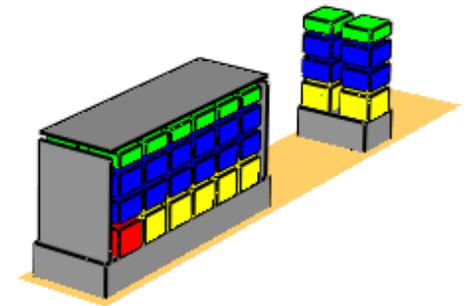
27 août 2013

## ○ Simulation d'un essai avec sprinklage

- Réduction du HRR de ~ 66% observée par rapport au free burning
- Interaction eau / environnement du foyer
  - HRR expérimental imposé
    - Tient déjà compte de l'interaction eau / foyer
  - 1er cas : HRR évalué expérimentalement sous sprinklage suffisant?
    - Aspersion non modélisée
  - 2ème cas : Nécessité de simuler le sprinklage?
    - Modélisation des 46 sprinklers
- Interaction eau / foyer
  - HRR calculé selon dégradation thermique du combustible (pyrolyse - Arrhenius)
  - Représentation du foyer pour simulation de la propagation
  - Sprinklage modélisé



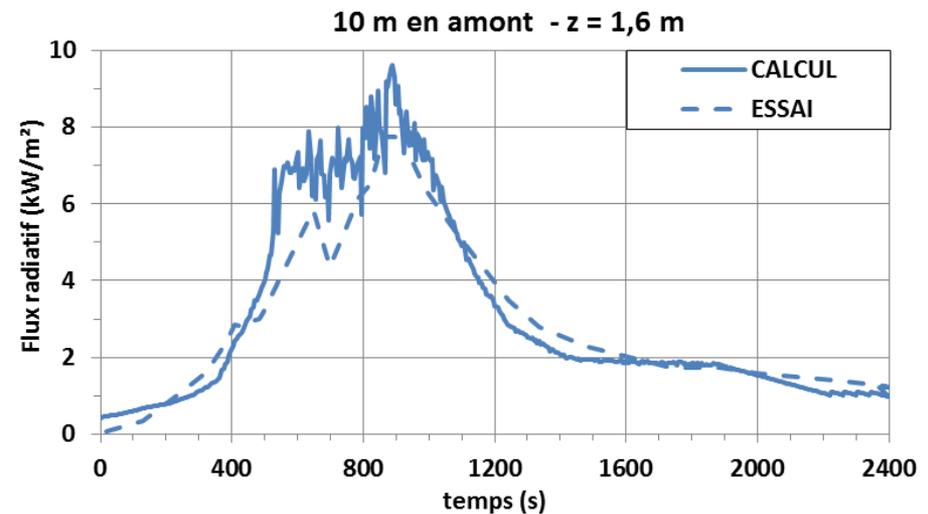
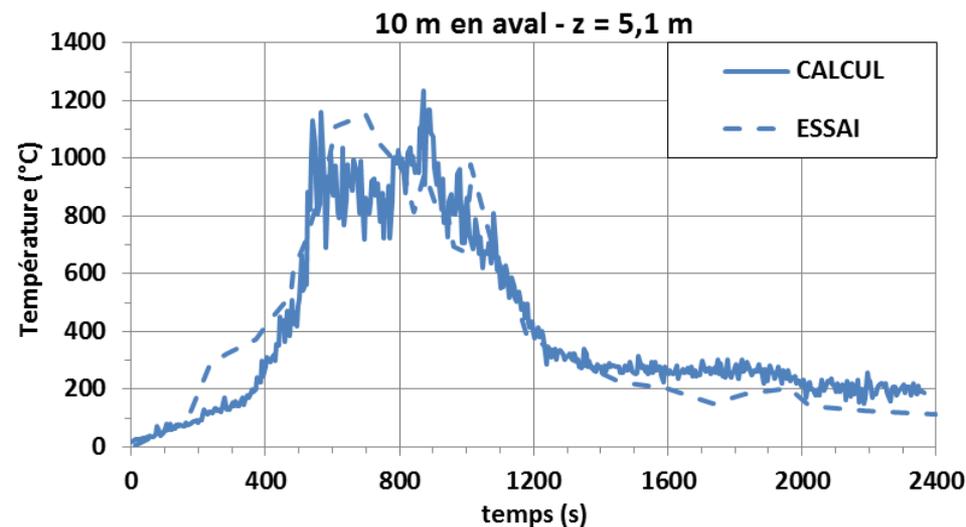
**HRR expérimental**



# RÉSULTATS DES SIMULATIONS

## ○ Températures, flux radiatifs

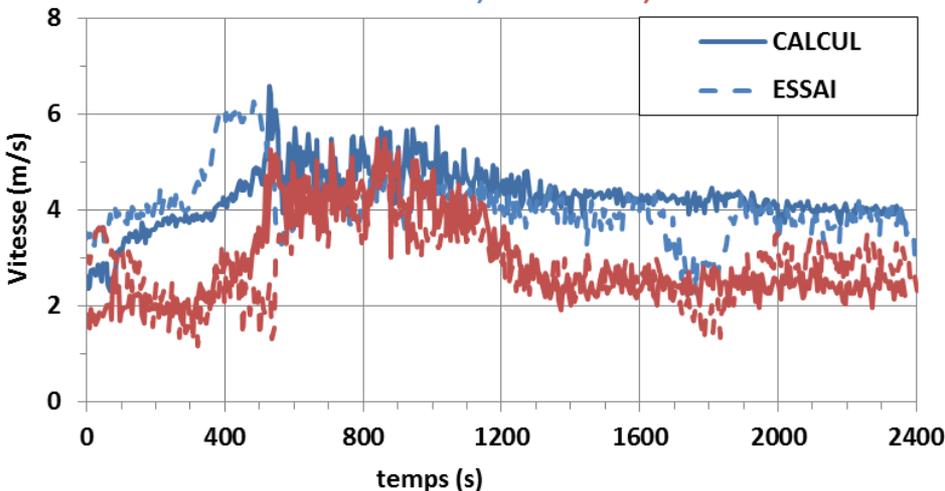
- Bon accord avec les mesures expérimentales
- Vérification
  - Conditions aux limites (foyer, ventilation, parois)
  - Modèles (rayonnement, réaction)



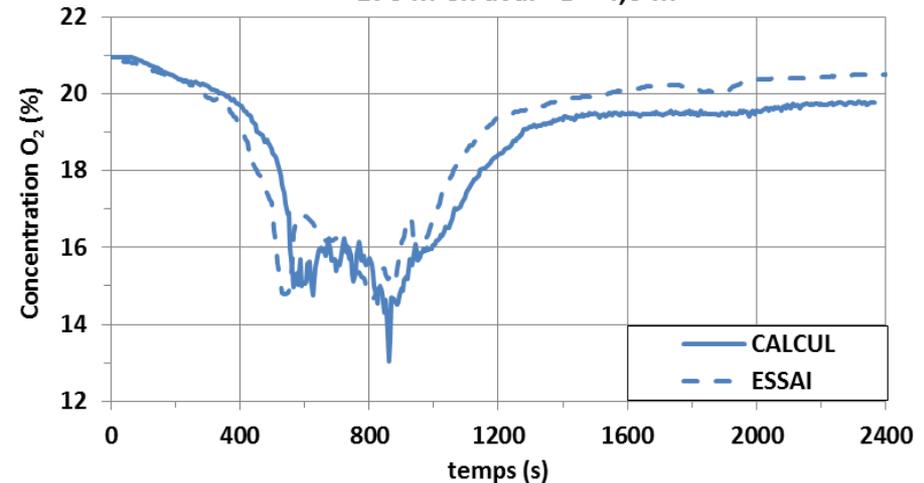
## ○ Vitesses, concentration [O<sub>2</sub>]

- Bon accord avec mesures expérimentales
  - Profil vertical de vitesse (validation géométrie)
  - Concentrations espèces (validation réaction de combustion)
- Géométrie et conditions aux limites (foyer, ventilation) cohérentes

170 m en aval - z = 1,6 m et z = 4,6 m



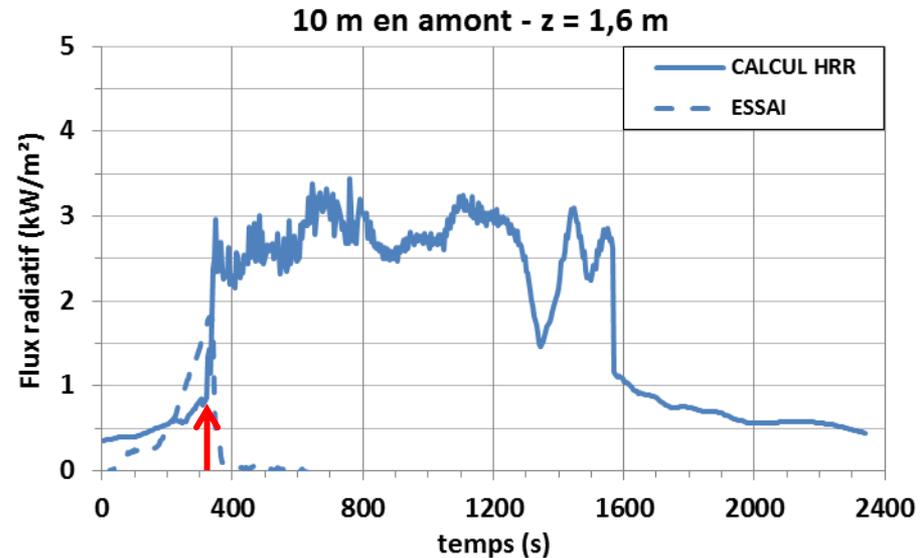
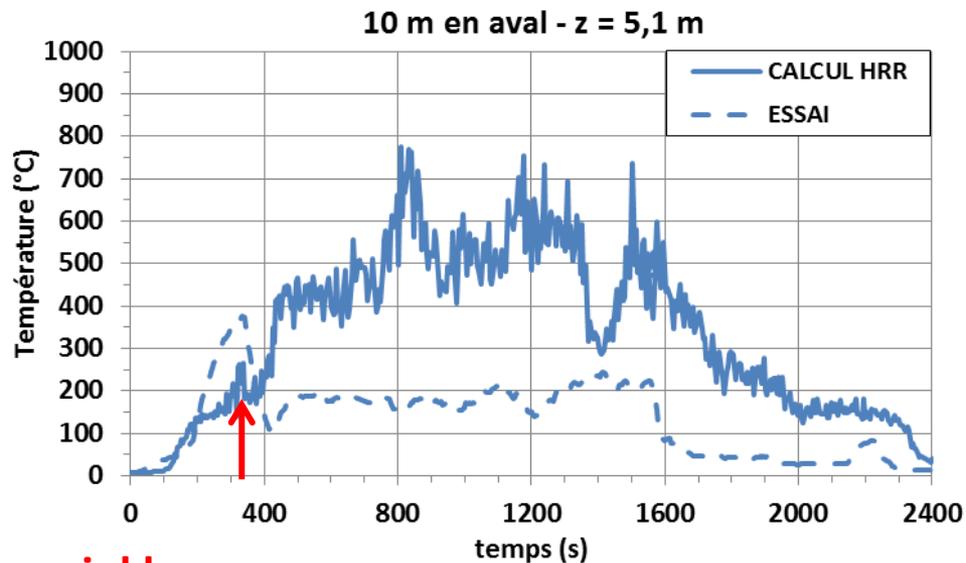
170 m en aval - z = 4,6 m



## ○ HRR expérimental prescrit

- Prend en compte l'interaction eau/foyer
- Abaissement des actions thermiques pas aussi marqué numériquement

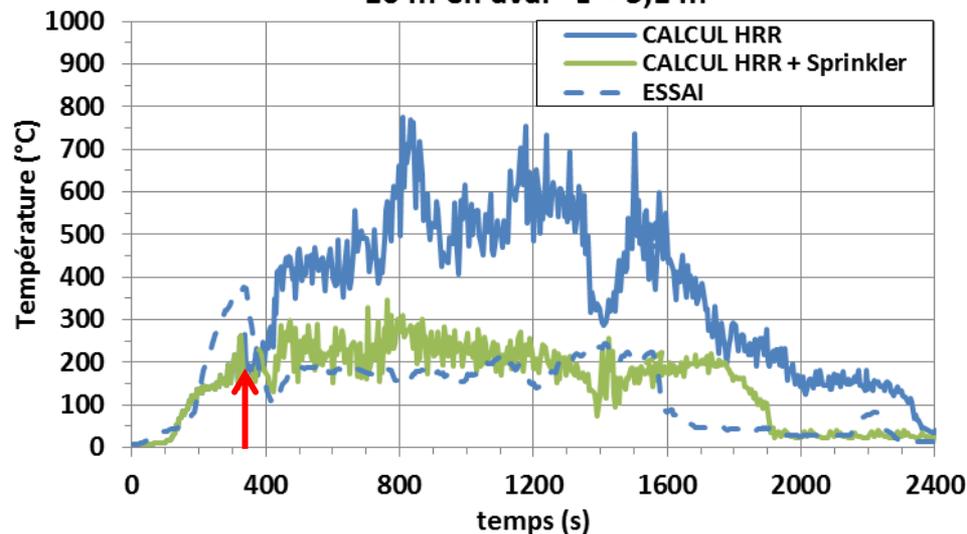
=> nécessité de prendre en compte l'interaction eau / écoulement



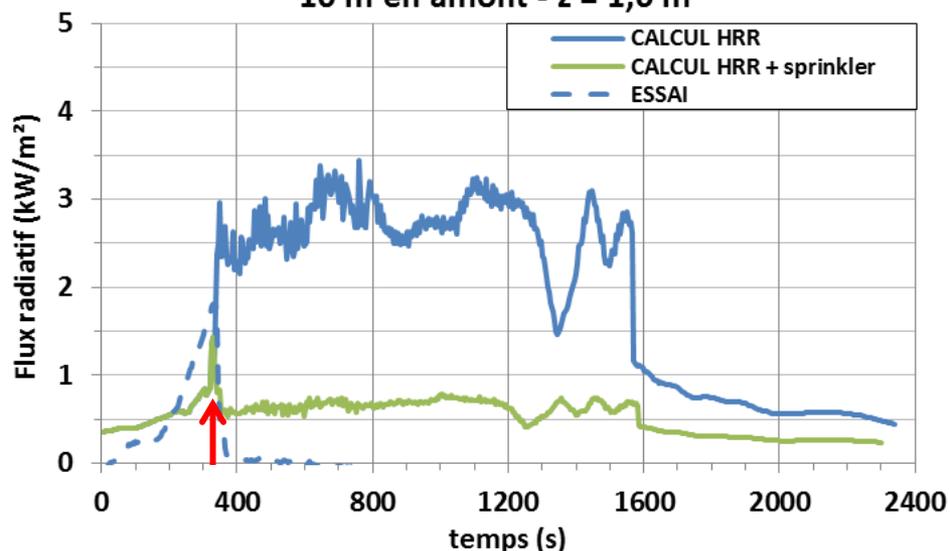
sprinklage

- HRR expérimental prescrit et aspersion simulée
- Températures et flux radiatifs
  - Bon accord avec mesures expérimentales
- Vérification conditions aux limites (foyer, sprinkler) et modèles (rayonnement, aspersion)

10 m en aval - z = 5,1 m

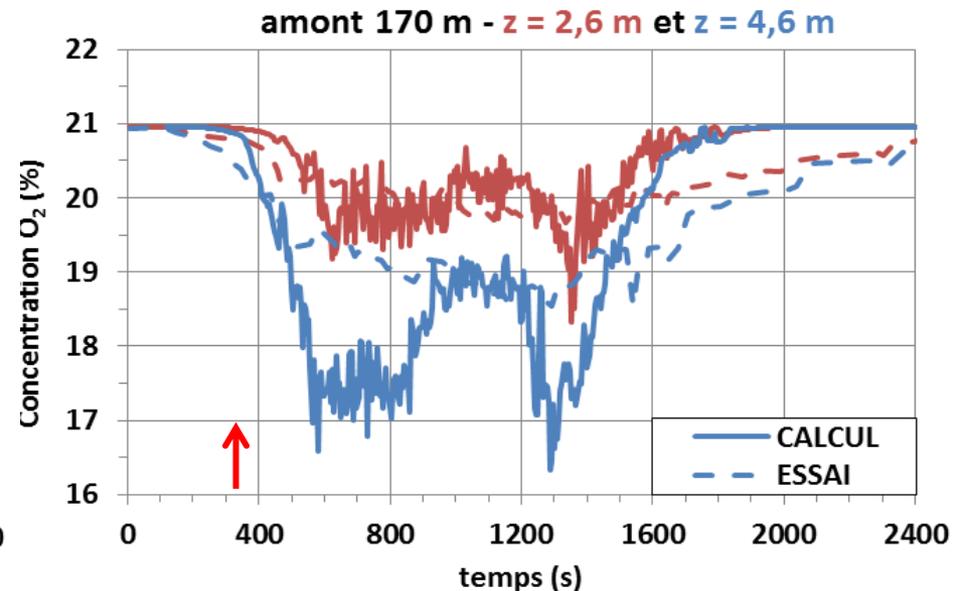
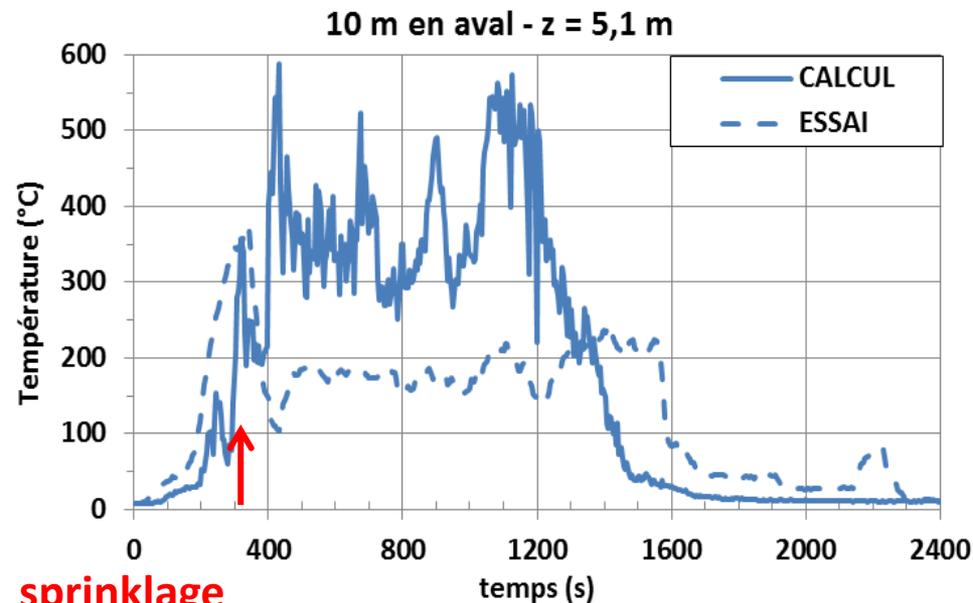
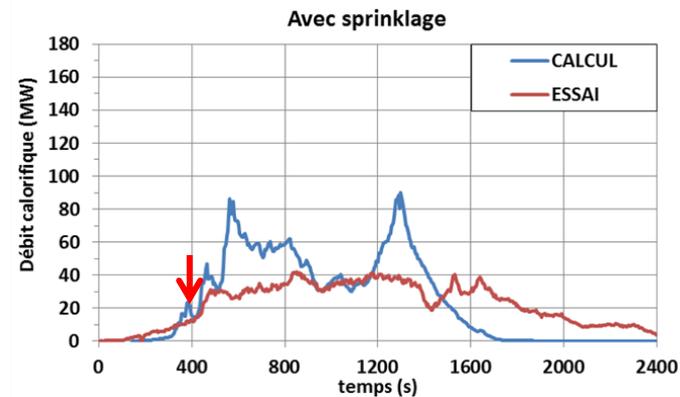


10 m en amont - z = 1,6 m



# SIMULATION DE L'ESSAI AVEC SPRINKLAGE - HRR CALCULÉ

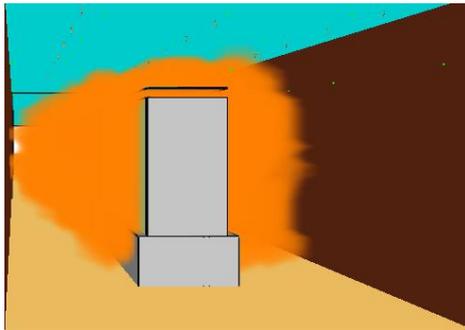
- Dégradation thermique du combustible (pyrolyse)
- Prise en compte de l'aspersion par sprinklage
  - Interaction eau / foyer ET eau / écoulement
- Températures, flux radiatifs, vitesses, concentrations
  - Bon accord avec mesures expérimentales bien que pas autant abaissés
  - Modèle de pyrolyse utilisé (réactions, paramètres) et géométrie du foyer cohérents



sprinklage

## ○ Limites des simulations

- Géométrie du foyer
- Rayonnement
  - Interaction eau/foyer
- Pyrolyse



# SYNTHÈSE

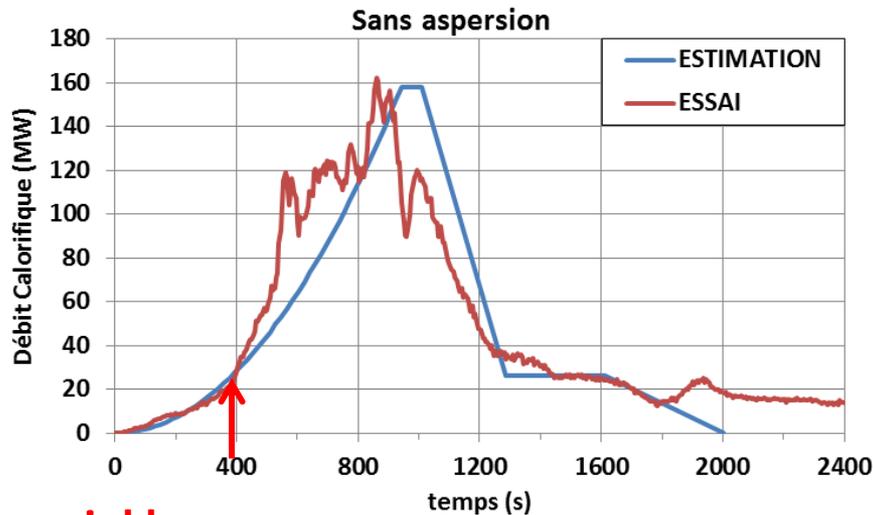
---

- Simulation de 2 essais à échelle 1 de feu de type poids-lourd en tunnel
- Avec et sans sprinklage modélisé
  - Reproduction correcte des grandeurs caractéristiques en amont et aval du foyer
  - Permet de vérifier la cohérence des hypothèses numériques
    - Géométrie, ventilation, foyer, rayonnement, propriétés des parois ...
    - Sprinklers, modèle d'aspersion
- Débits calorifiques évalués expérimentalement prescrits au niveau du foyer
  - Pas d'interaction eau/foyer modélisée avec FDS
  - Sauf prise en compte pyrolyse (régie par température de surface)
- Prise en compte du sprinklage nécessaire dans les simulations
  - Interaction eau / phase gazeuse
- Limites des simulations numériques
  - Géométrie du foyer (chute de combustible)
  - Modèles physiques : phénomènes complexes, multiples et couplés
  - Mise en œuvre de la pyrolyse
    - Nombre de paramètres nécessaires, forte influence de la géométrie du foyer + maillage

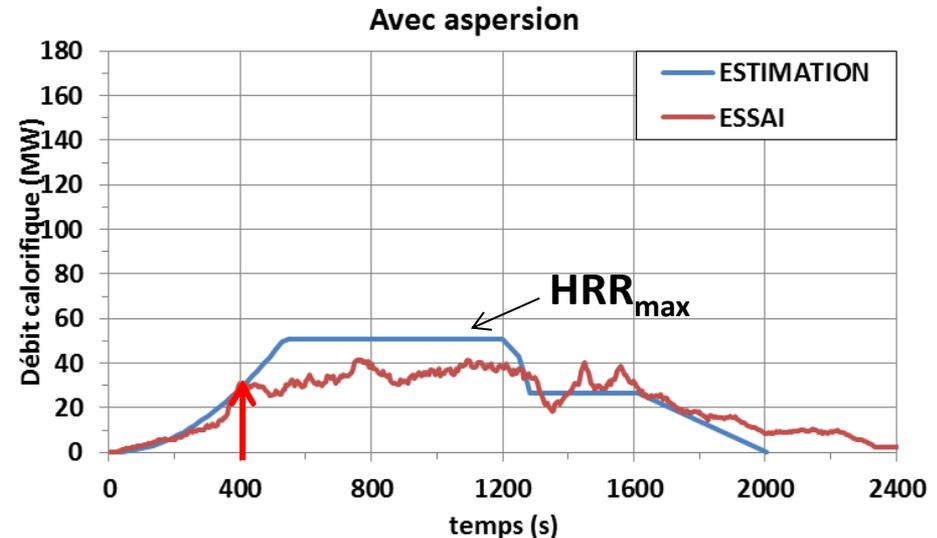
# SOLUTION ENVISAGÉE

- Simplification pour application à étude ingénierie de la sécurité incendie
- Méthode d'estimation préliminaire de réduction du HRR lors de l'aspersion
  - Sans sprinklage :  $HRR_{free}$  estimé selon potentiel calorifique et caractéristiques du combustible
  - Avec sprinklage :  $HRR_{asp}$  estimé à partir de  $HRR_{free}$  et de la valeur max de HRR lors du sprinklage

$$HRR_{max} = \Delta H_c \frac{m_{combustible\ restant\ aspersion}}{\Delta t_{aspersion}}$$



sprinklage



○ Merci pour votre attention

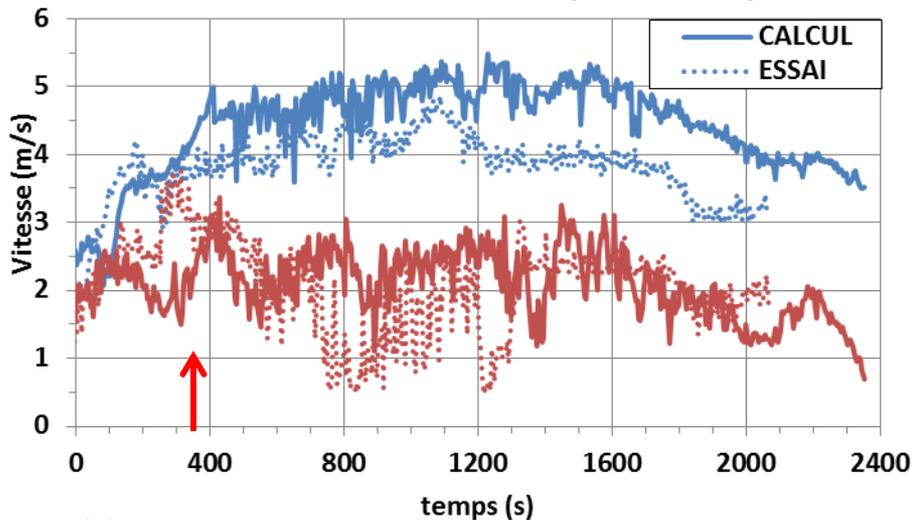
*Merci à Peter Reijman, Leander Noordijk (Efectis Nederland) et Mercédès Lago (Efectis Iberica) pour leur contribution et la réalisation de la campagne d'essais*

- NIST Special Publication 1019-5 et 1018-5, Fire Dynamic Simulator (Version 5), 2010
- Rapport 2012 LTA Phase 2 Tunnel tests, Efectis
- SFPE Handbook of fire protection engineering, Third Edition, 2002
- Fire suppression by water sprays, G.Grant, J.Brenton, D.Drysdale, Progress in energy and combustion science, Vol 26 (2000)
- Experimental and numerical study of fire in a midscale test tunnel, E.Blanchard, P.Boulet, S.Desanghere, E.Cesmat, R.Meyrand, J.P.Garo, J.P.Vantelon, Fire Safety Journal Vol 47, 18-31, 2012
- Contribution à l'étude de l'usage du brouillard d'eau dans la lutte contre les incendies en tunnels ventilés longitudinalement, R.Meyrand, thèse ENSMA, décembre 2009
- EN 1992-1-2:2005, Eurocode 2, calcul des structures en béton, partie 1-2 : règles générales - calcul du comportement au feu, 2005
- Les dossiers pilotes du CETU, Centre d'Etude des Tunnels, 2002

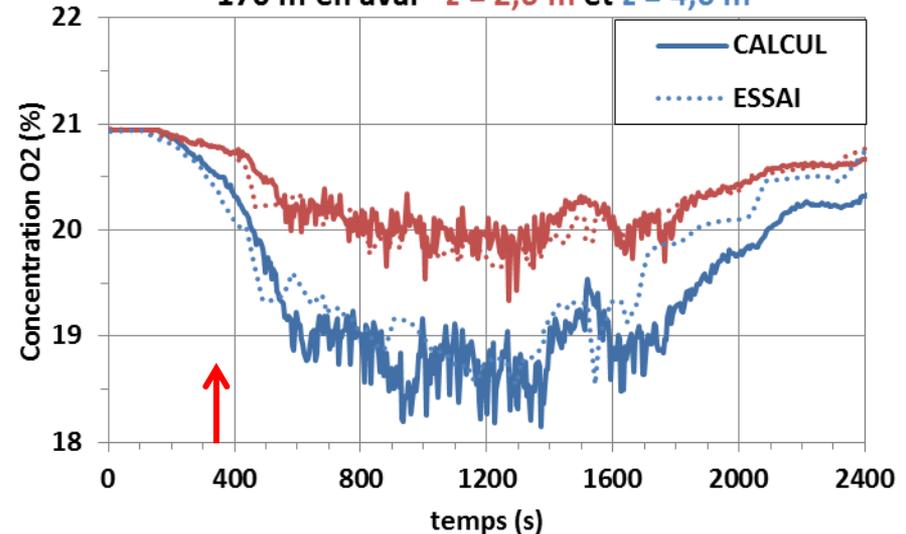
## ○ Vitesses, concentration [O<sub>2</sub>]

- Bon accord avec mesures expérimentales
  - Profil vertical de vitesse
  - Concentrations des espèces

170 m en aval - z = 1,6 m et z = 4,6 m



170 m en aval - z = 2,6 m et z = 4,6 m



sprinklage