Etude numérique de l'influence des caractéristiques géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures

30/01/2015

M. DUNY, J.P. GARO, H.Y. WANG, D. DHIMA

Contexte

- Identifier les paramètres influents sur le risque de propagation du feu via la façade :
  - Composition de la façade
  - Géométrie de la façade (« U », « L », Double-Peau)
  - Vent

- Sommes-nous capable de modéliser correctement les différents phénomènes du développement du feu sur une façade et quelles sont les limites de cette modélisation ?

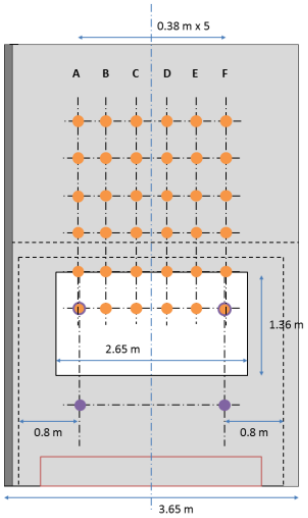
- Le travail présenté ici vise à recueillir et évaluer numériquement l'influence des paramètres géométriques sur les flammes extérieures.

Sommaire

- **Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes**
  - **Vérifier la capacité du code**

- **Etude de l'influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures**
  - **Hauteur / largeur**
  - **Position**
  - **Mur latéraux au niveau de l'ouverture (« U »)**

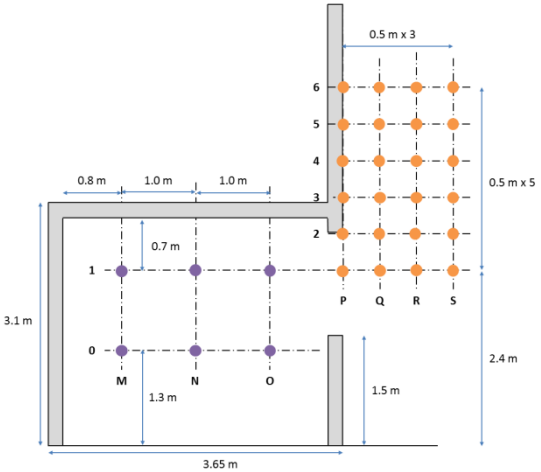
Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

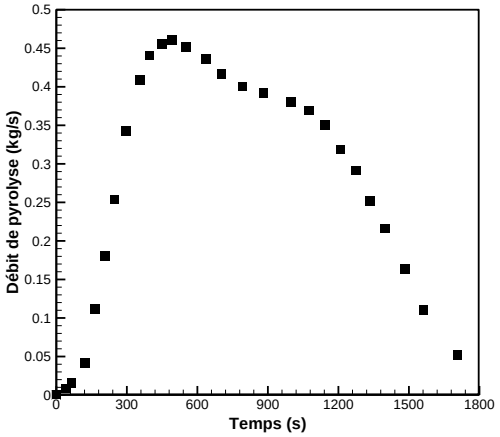


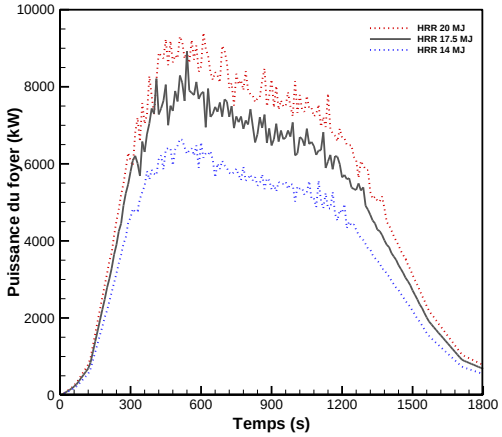
Objectif : Vérifier la capacité du code de calcul (FDS6) à modéliser les flammes extérieures.

- Modélisation basée sur un essai réalisé par le CTICM à la fin des année 70.

- Les dimensions du banc expérimental sont respectées
- Maillage 10 cm (conforme au D*)
- Le débit de pyrolyse expérimental est utilisé comme donnée d'entrée sur la face supérieure du foyer
- Dimension du foyer : 3.2 m x 3.2 m x 0.4 m
- Chaleur de combustion : 14, 17.5 (valeur théorique du pin des landes), 20 MJ/kg

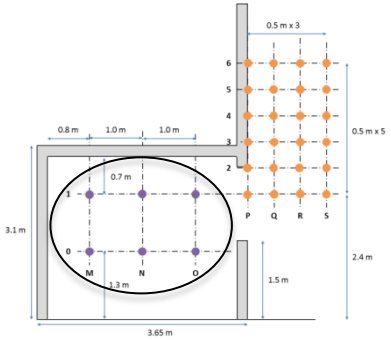


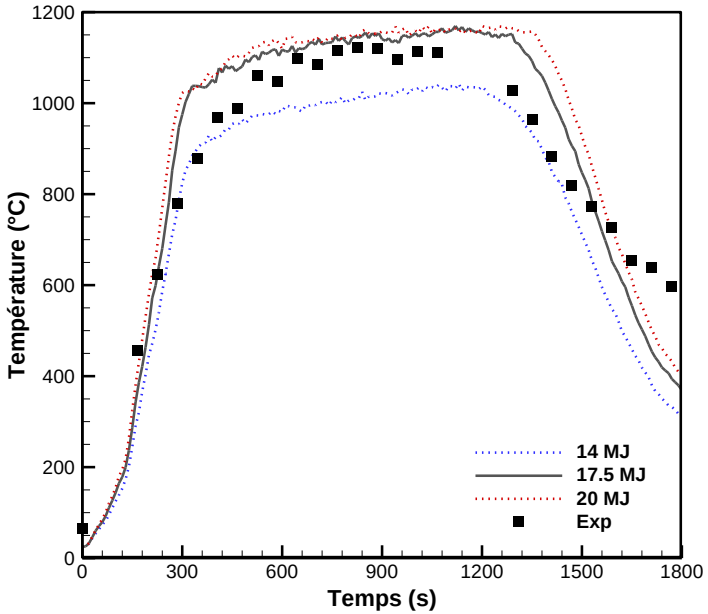


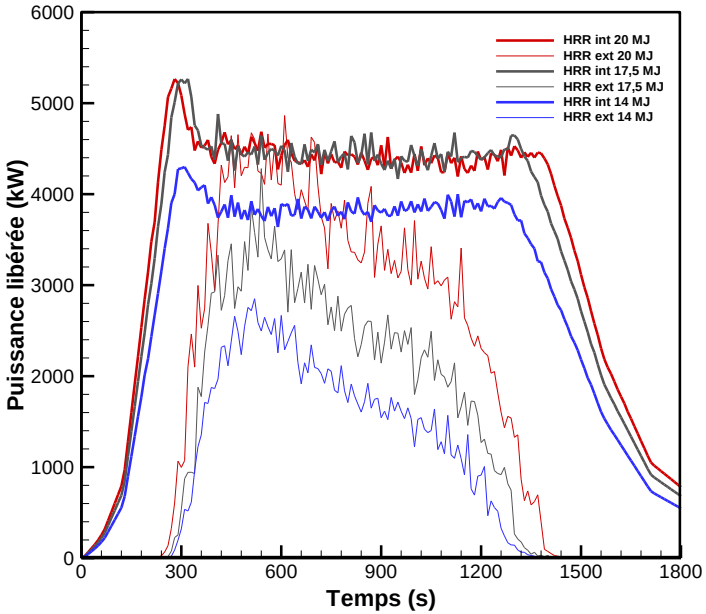


Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

- **Puissance libérée à l'intérieur du compartiment et évolution de la température à l'intérieur du compartiment**



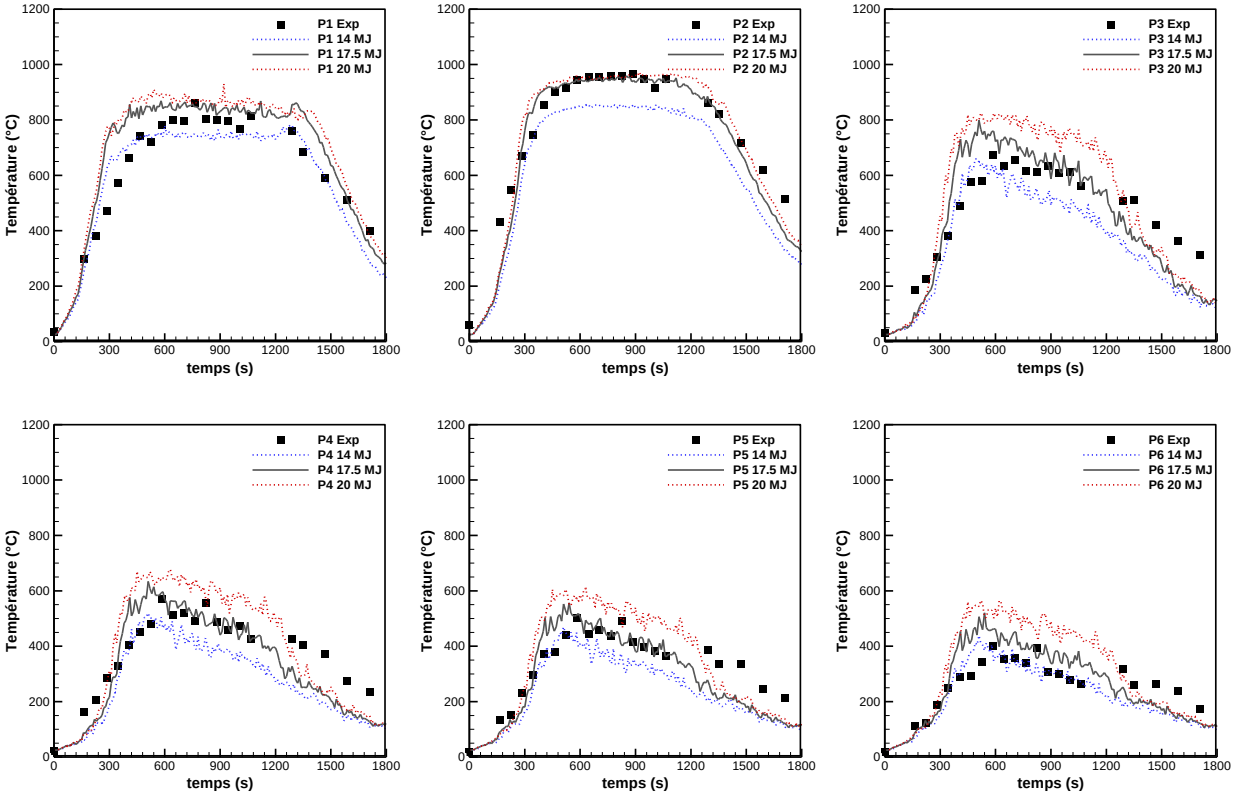


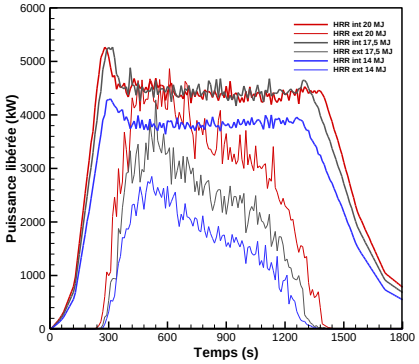


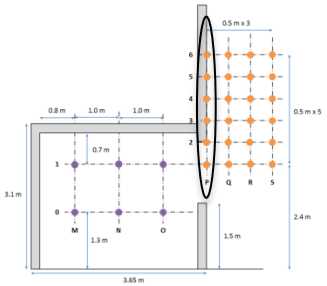
- La chaleur de combustion théorique (courbe en gris) est en bon accord avec les résultats expérimentaux :
  - Bonne reproduction de la montée en température
  - Estimation de la température maximale correcte
  - Refroidissement du compartiment plus rapide
- La température est directement liée à l'énergie libérée à l'intérieur du compartiment.

Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

- **Températures obtenues dans la première maille devant la façade (Position P)**





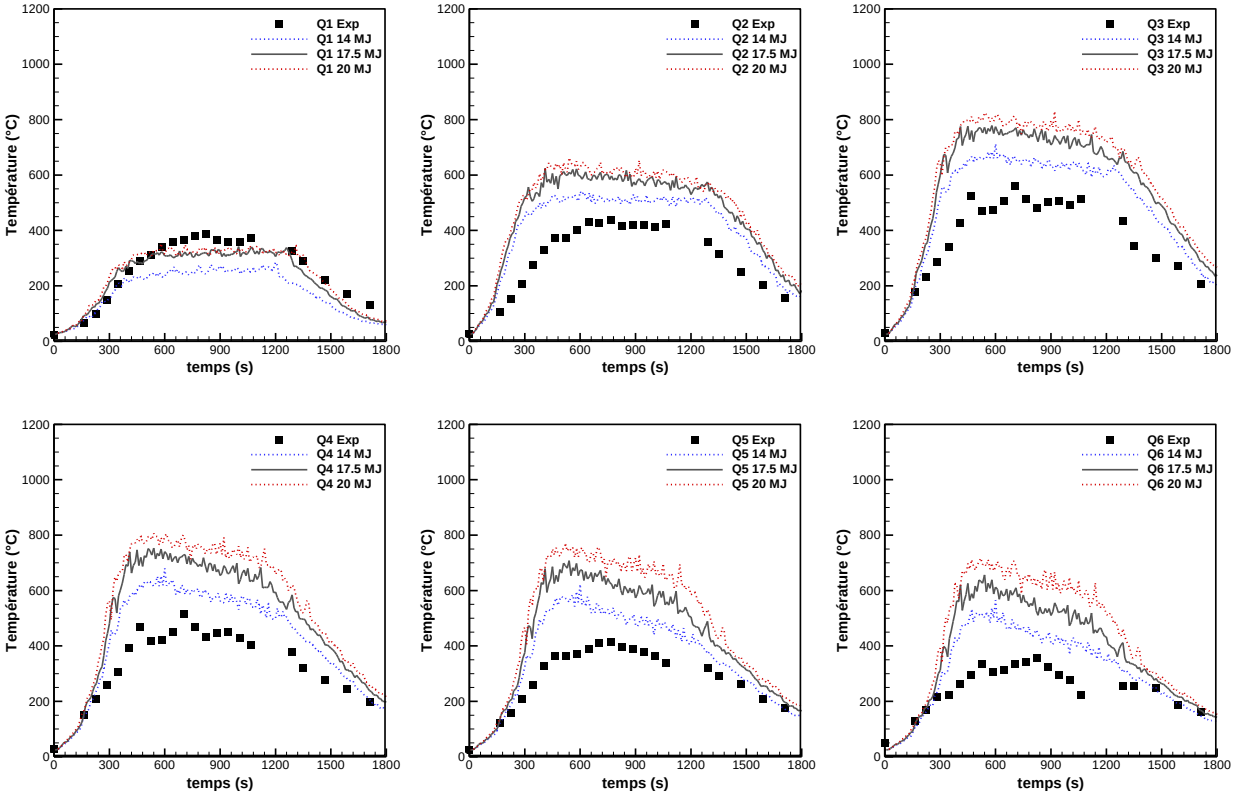


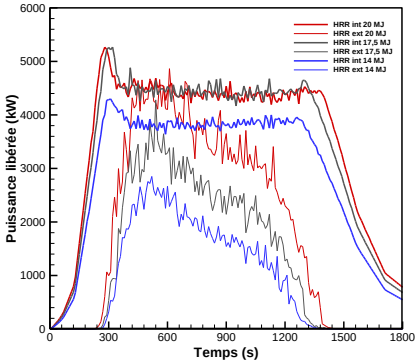
Observations :

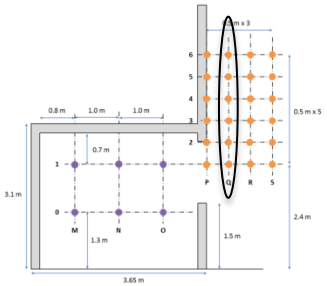
- La chaleur de combustion théorique (17.5 MJ/kg) est en bon accord avec les résultats expérimentaux
- ΔHc ↘ (14 MJ/kg) = Température ↘ car l'énergie libérée à l'extérieur du compartiment est inférieure
- ΔHc ↗ (20 MJ/kg) = Température ↗ car l'énergie libérée à l'extérieur du compartiment est supérieure

Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

- **Températures obtenues à 50 cm de la façade (Position Q)**





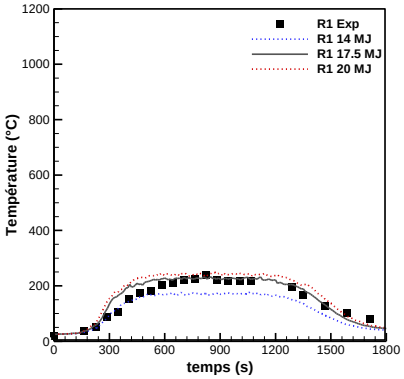


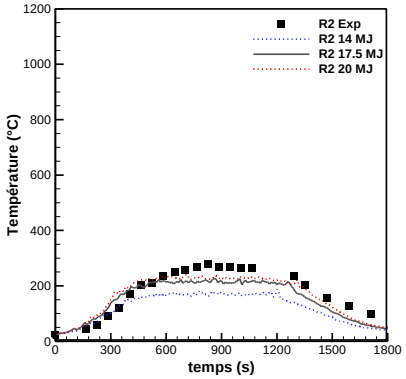
Observations :

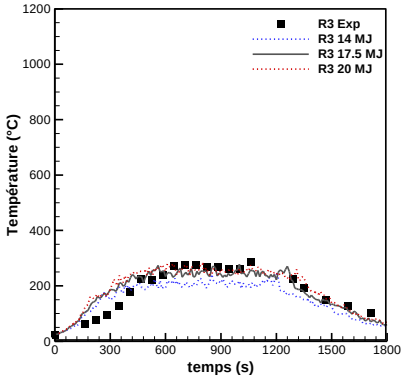
- Surestimation de la température sur toute la hauteur
- ΔHc ↘ = Température ↘
- ΔHc ↗ = Température ↗
- Résultats identiques à ceux obtenus par S. DESANGHERE dans ces travaux de thèse
- Surestimation de la hauteur de flamme

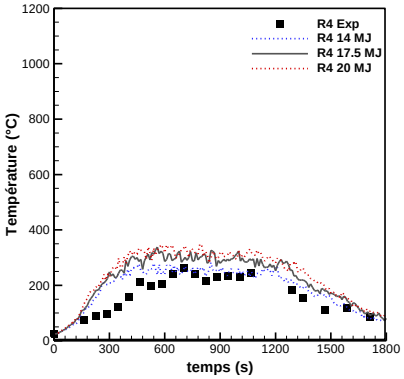
Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

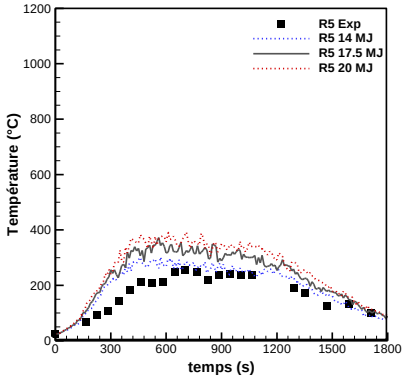
- **Températures obtenues à 1.0 m de la façade (Position R)**

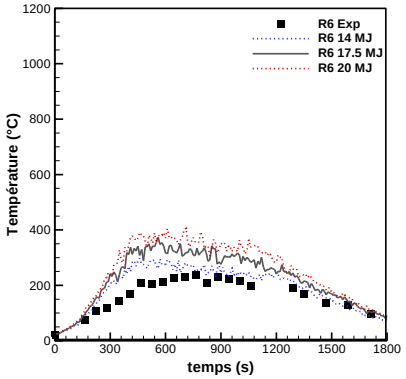


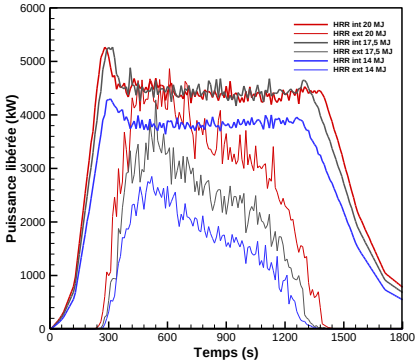


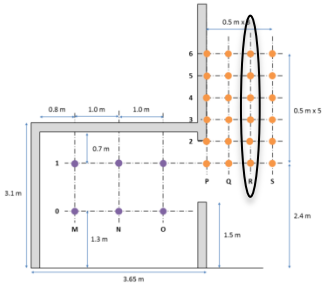










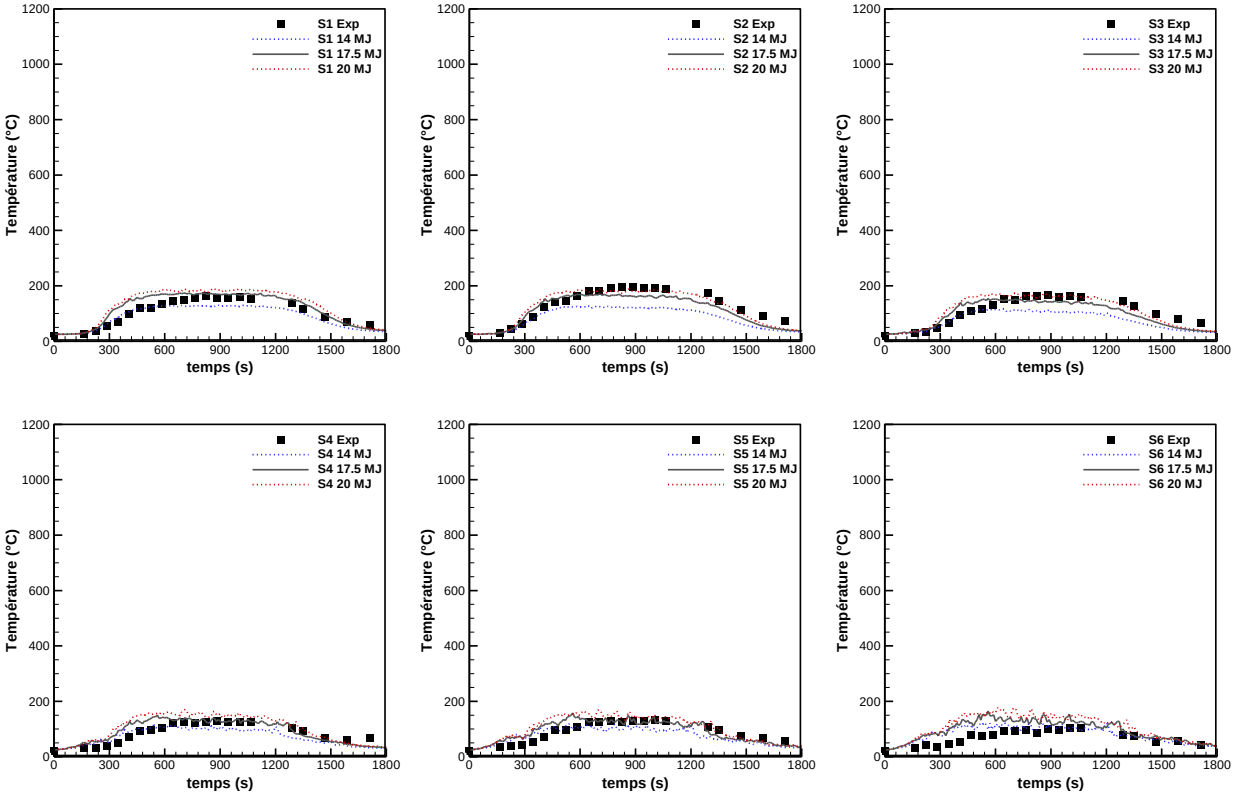


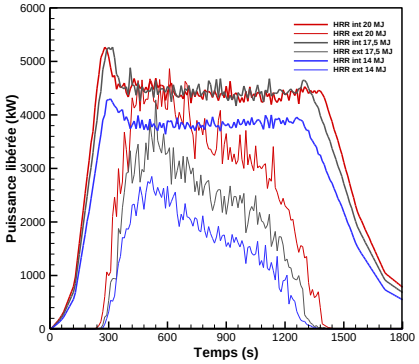
Observations :

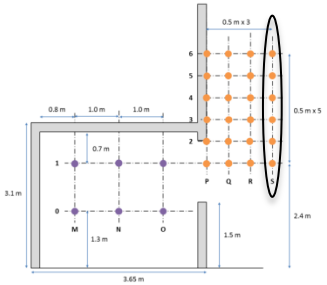
- La chaleur de combustion théorique est en bon accord avec les résultats expérimentaux
- ΔHc ↘ = Température ↘
- ΔHc ↗ = Température ↗

Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes

- **Températures obtenues à 1.5 m de la façade (Position R)**



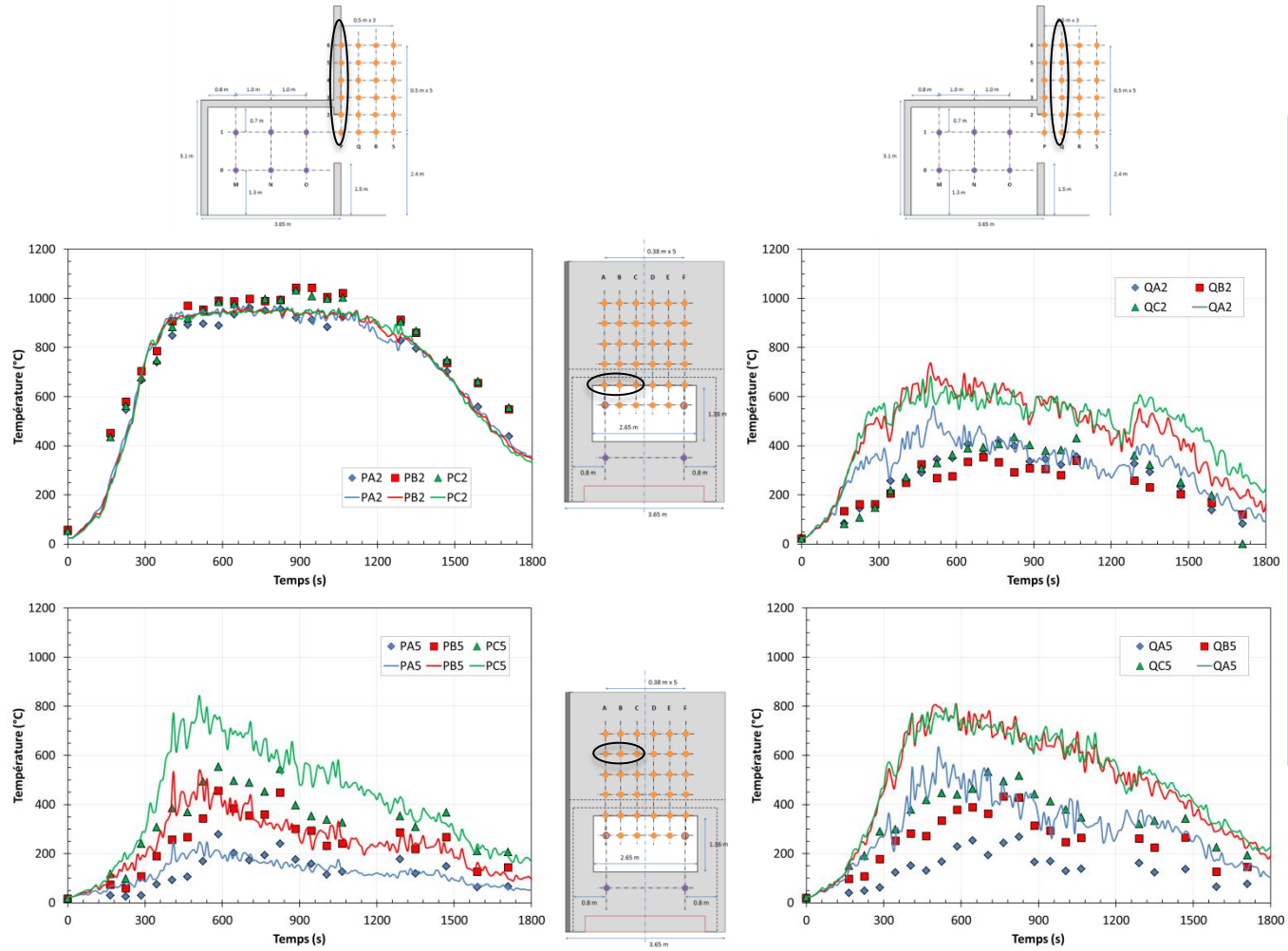




Observations :

- La chaleur de combustion théorique est en bon accord avec les résultats expérimentaux
- ΔHc ↘ = Température ↘
- ΔHc ↗ = Température ↗
- Bonne estimation de l'épaisseur de la flamme

Modélisation d'un feu de compartiment avec sortie de flammes



Evolution locale de la température mesurée par un thermocouple.

Observations :

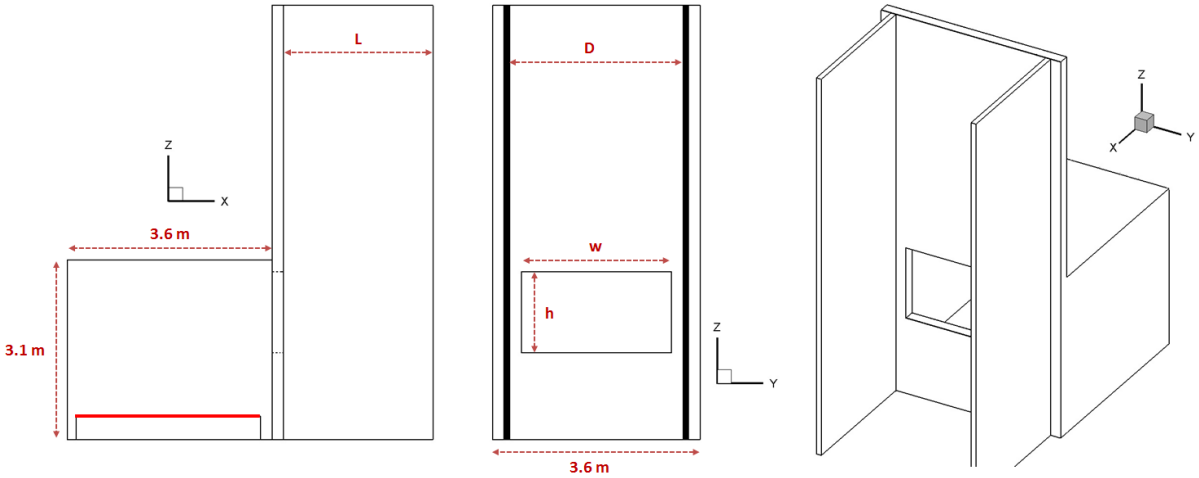
- La largeur de la flamme n'est pas sous-estimée.
- En position P, estimation correcte de la température
- En position Q, la surestimation observée sur la température moyennée est présente sur toute la largeur.
- Position R et S, les températures sont également correctement estimées sur toutes la largeur. (résultats non présentés)

Conclusions

- Un bonne connaissance du foyer est nécessaire
- Résultats relativement bon malgré une surestimation de la température de flamme à l'extérieur Position Q (50 cm de la façade)
    - Surestimation de la hauteur de flamme
- Epaisseur et largeur de la flamme assez bien reproduite

Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures

- **De nombreux travaux existants (Yokoi…)**
- **Vérifier si les résultats numériques correspondent aux corrélations existantes (Kawagoe)**
- **Identifier les paramètres les plus influents sur le risque de propagation du feu via la façade**
- **Proposer des solutions constructives permettant de limiter ce risque**

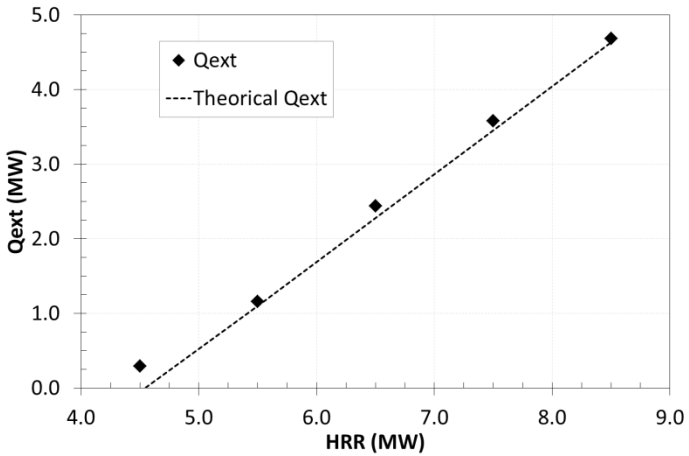


❑ **Configurations :**

- Débits calorifiques constant (5.5 MW -> 8.5 MW)
- Résultats moyennés sur 500 secondes à partir de l'état stationnaire
- Dimensions du compartiment similaires à la précédente étude
- Hauteur de flamme : iso-température 500°C (Cf. littérature)
- Estimation de la quantité d'énergie libérée à l'extérieur du compartiment en fonction de chaque paramètre

Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures

- Configuration :
  - h= 1.4 m
  - w=2.6 m
  - Hauteur d'allège =1.5 m
  - Débits calorifiques constant de 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5 MW



- Estimation théorique de l'énergie libérée à l'extérieur du compartiment (Kawagoe) :

$$\dot{m}_{sortant} = \dot{m}_{entrant}$$

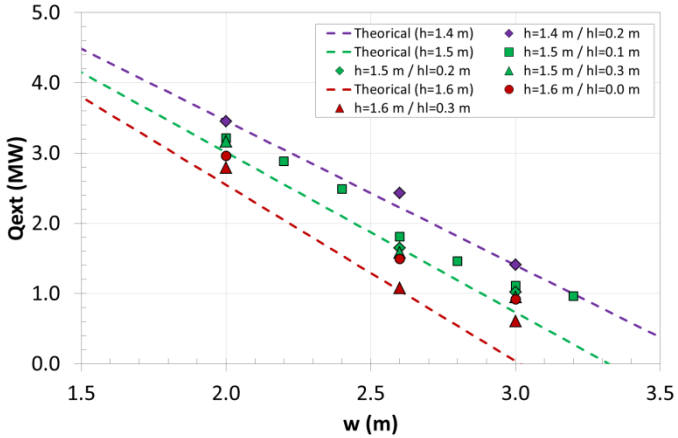
$$\dot{m}_{entrant} = \dot{m}_a + \dot{m}_f$$

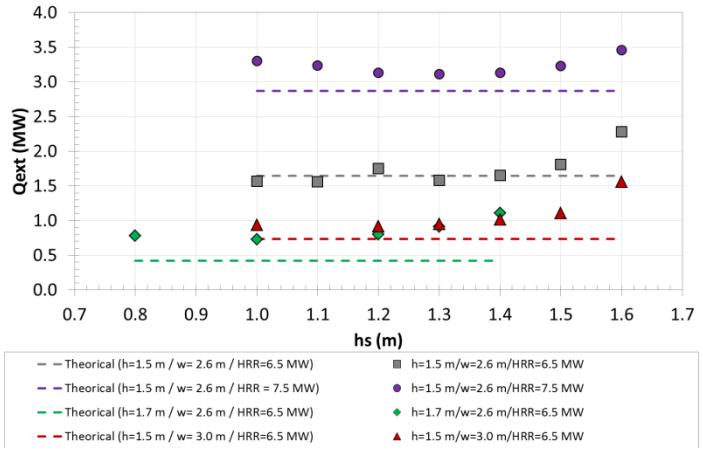
$$\dot{m}_{sortant} = 0.133\rho_a A\sqrt{gh}$$

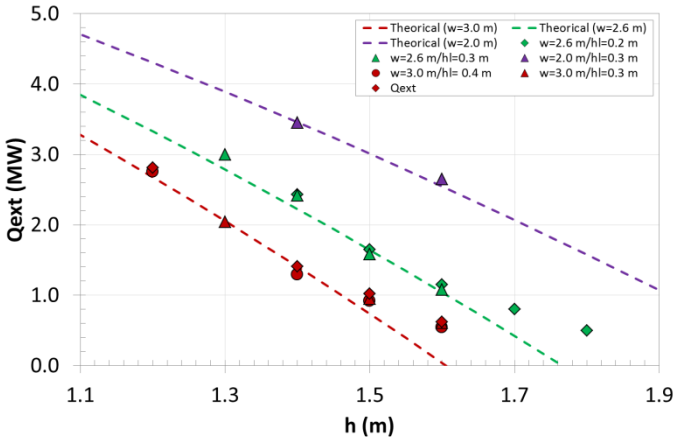
$$\dot{Q}_{ext} = \dot{Q}_{tot} - \dot{Q}_{in}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_a \times \Delta H_{O_2} = (\dot{m}_{sortant} - \dot{m}_f) \times \Delta H_{O_2}$$

Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures





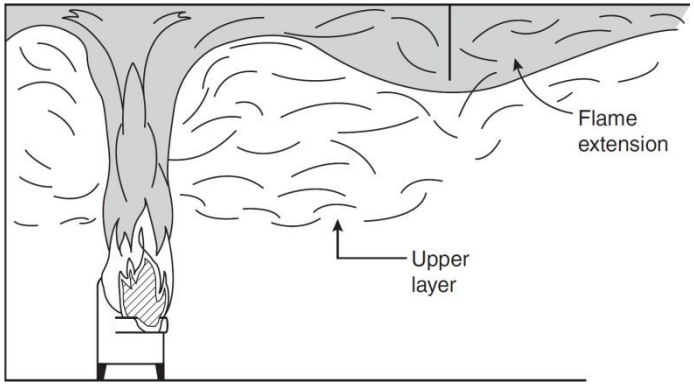


Observations :

- Dimensions de l'ouverture (hauteur et largeur)
  - On note l'influence de la longueur du linteau
    - h=1.4 m → linteau de 20 cm, bonne correspondance
    - h=1.5 m → linteau de 10 cm, surestimation de Qext
    - h=1.5 m → linteau de 0 cm, surestimation encore plus importante de Qext
  - Simulations complémentaires sont nécessaires en utilisant des longueurs de linteau plus importantes
- La longueur du linteau a une influence
  - Augmentation de la quantité d'énergie libérée à l'extérieur du compartiment pour un linteau < 20 cm → les prédictions numériques s'éloignent des valeurs théoriques
  - Confirmation des résultats obtenus pour l'influence des dimensions de l'ouverture
  - Nécessité d'effectuer plus de simulations en variant les dimensions et le HRR

Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures

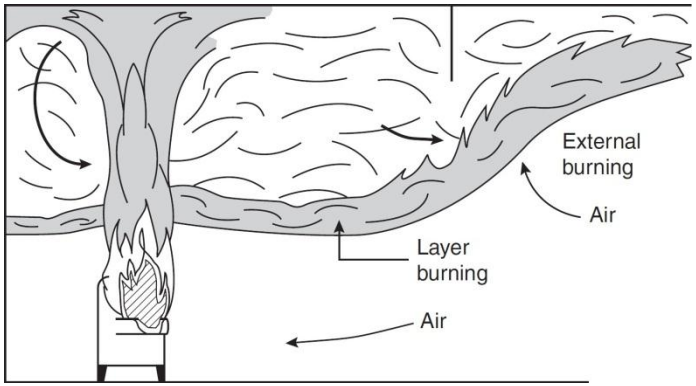
Aspects phénoménologiques pouvant expliquer certaines différences observées dans les comparaisons



- **Prolongement de la flamme à l'extérieur du compartiment**

⇨ Un prolongement de la flamme à l'extérieur du compartiment peut être observé, la flamme impacte le plafond et le jet sous le plafond est plus important que la distance séparant le foyer de l'ouverture.

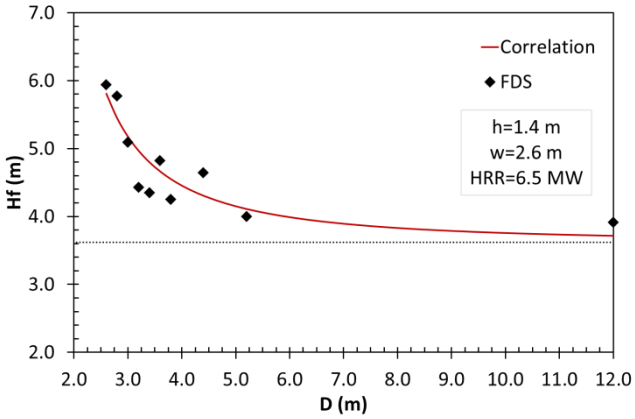
⇨ Le principal point à comprendre est que ce phénomène peut se produire quel que soit le régime de combustion.

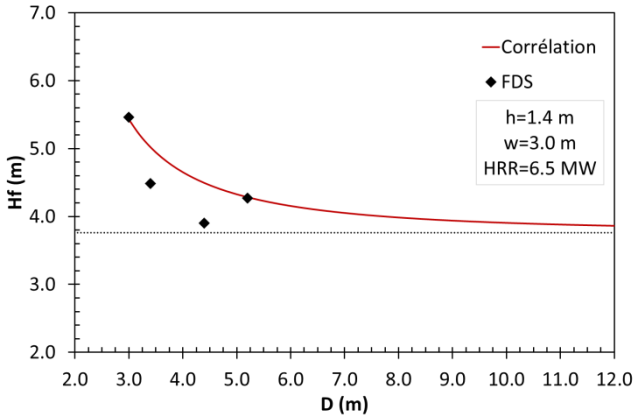


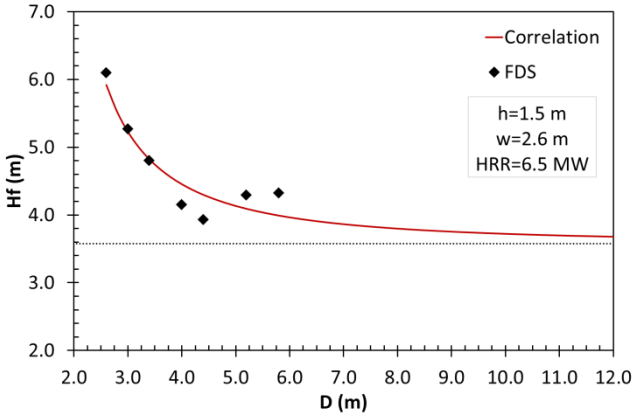
- **Combustion à l'extérieur du compartiment**

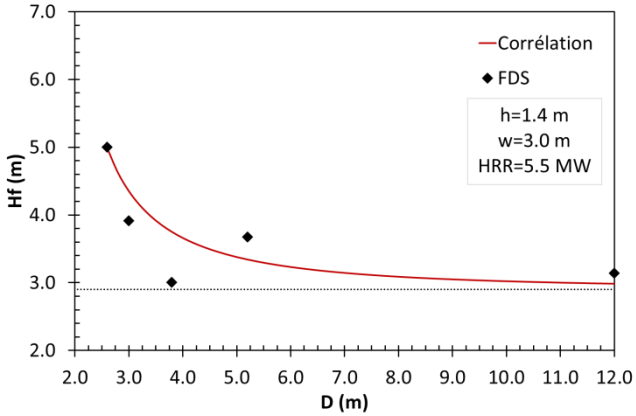
⇨ Lorsque le feu se développe et que l'apport d'air à l'intérieur du compartiment est insuffisant pour consommer tous les gaz combustibles présents, ils s'accumulent dans la couche supérieure (couche chaude) et sont éjectés à l'extérieur du compartiment à travers l'ouverture. Il se mélanger ensuite avec l'air (riche en O2) pour créer une zone de combustion secondaire à l'extérieur du compartiment.

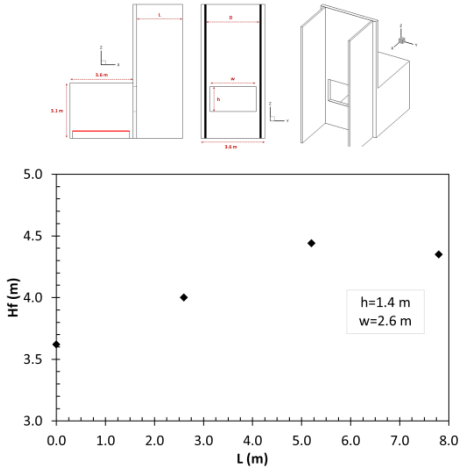
Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures











Observations :

- Bonne correspondance entre corrélation et valeurs numériques pour les deux cas illustrés mais des calculs avec des variations de dimensions d'ouverture plus importantes
- On observe un influence de la longueur du mur latéral → augmentation de la hauteur de flamme jusqu'à L=2w puis diminution lorsque L=3w (simulations complémentaires en cours)

Corrélation (Délichatsios et Al.) :

$$\frac{H_D}{l_1} = K.\frac{H_0}{l_1} \qquad K = \frac{l_1 + 2\lambda l_2}{l_1 + 2\lambda l_2\left(1 - \frac{l_1}{D}\left[1 - \exp\left(-\frac{l_1 L}{l_2 D}\right)\right]\right)} \qquad l_1 = \left(A\sqrt{h}\right)^{2/5} \quad l_2 = \left(Ah^2\right)^{1/4}$$

Influence des paramètres géométriques de l'ouverture d'un compartiment en feu sur les flammes extérieures

Conclusions

- La position de l'ouverture est un facteur influent – la présence d'un linteau permet de contenir les gaz imbrûlé à l'intérieur du compartiment
- Une augmentation des dimensions de l'ouverture ne mène pas forcément à une diminution des flammes extérieures

- La présence d'un confinement extérieur (configuration en « U ») augmentent considérablement le risque de propagation par effet cheminée
- Malgré une surestimation de la hauteur de flamme, son évolution en fonction de D est proche du comportement des essais petites échelle

Merci de votre attention…

INSTITUT P' CSTB le futur en construction