



# Étude Numérique des feux sous-ventilés

Bouaza LAFDAL (LEMTA / CSTB)

Encadrants :

Pascal BOULET (LEMTA) Rabah MEHADDI (LEMTA) El Mehdi KOUTAIBA (CSTB)



GDR de Nancy, 03-04 décembre 2020



## Introduction





## Introduction

- 1. K. Kawagoe , « Tech. Rep 27, BRI, 1958 »
  - Le premier à introduire le facteur de ventilation  $A\sqrt{H}$
  - $\dot{m}_{in} = 0.5 A \sqrt{\mathrm{H}}$
  - $\dot{Q}_{in} = 1500 A \sqrt{\mathrm{H}}$
- 2. H. Takeda et K. Akita, «International Symposium on Combustion, 1981»
  - 200 essais pour étudier les effets de la ventilation sur le MLR
  - Identification de 4 régimes de combustion
    - Régime 1 : extinction par manque d'oxygène
    - Régime 2 : régime laminaire contrôlé par la ventilation
    - Régime 3: régime oscillatoire
    - Régime 4: régime stable contrôlé par la quantité du combustible
- 3. K. Kim et al, « Fire Safety Journal, 1993»
  - Des régimes similaires ont été observés par Kim et al (régime 3 et 4)





## Introduction

- 4. L. Hu et al, « Combustion and Flame, 2019 »
  - Compartiment cubique de 0.4 m de côté avec un brûleur à gaz (propane)
  - $A\sqrt{\rm H} = 3.49 \times 10^{-4} 1.45 \times 10^{-2} m^{5/2}$
  - HRR = 0.77 115.28 kW
  - Identification de 3 régimes de combustion
    - Régime 1 : la réaction de combustion est totalement à l'intérieur du compartiment
    - Régime 2 : Une partie de la réaction se tient à l'extérieur du compartiment
    - Régime 3: La majeure partie de la combustion se tient à l'extérieur du compartiment



(b): Opening size: 0.25m (W) × 0.15m (H)



- Appréhender expérimentalement, numériquement et théoriquement les effets de la sous-ventilation sur l'évolution du feu.
- 2. Déterminer les frontières séparant les différents régimes de combustion, notamment caractériser le passage d'un feu piloté par le combustible « bien ventilé » à un feu sous-ventilé et identifier les conditions d'apparition des flammes externes (c'est-à-dire sortant par les ouvrants).
- 3. Proposer un modèle mathématique pour décrire les différents phénomènes thermiques et aérauliques mis en jeu dans un feu confiné.





# Étude Numérique (FDS / FireFoam)



### Simulations numériques

- > DIMENSIONS DU DISPOSITIF :
  - Longueur (D) = 2 m /1.2 m
  - Largeur (w) = 1.2 m
  - Hauteur (h) =1.2 m
  - Hauteur de la porte (H) : variable
  - Largeur de la porte (b) : variable
- > PROPRIÉTÉS DES PAROIS
  - Matériau : silicate de calcium
  - Chaleur spécifique : 970 J/Kg/K
  - Masse volumique : 2900 Kg/m<sup>3</sup>
  - Conductivité thermique : 0.22 W/m/K
  - Epaisseur : 5 cm

### > FOYER

- Propane
- Longueur = 0.4 m
- Largeur = 0.4 m
- ➢ PARAMÈTRES D'ÉTUDE:
  - Dimensions de la porte : b et H
  - La puissance du feu (entre 25 kW et 3500 kW).





### Simulations numériques





### Convergence en maillage & en volume







/ 10



### Convergence en maillage & en volume







F----

2 m



Configuration	2 m x 1.2 m x 1.2 m	1.2 m x 1.2 m x 1.2 m	ISO 9705 3.6 m x 2.4 m x 2.4 m
Puissance (kW)	25 – 3500	25 – 350	500 - 11500
$A\sqrt{\mathrm{H}}~(\mathrm{m}^{5/2})$	0.3718 - 0.8	0.1414 - 0.6	0.83 - 5.58
Nombre de simulations	108	36	72



/ 13

120

100

HRR<sub>all</sub>

HRR<sub>in</sub>



### Régimes de combustion



$$\frac{\dot{Q}_{in}}{P} = f(\dot{Q}^*)$$
$$\dot{Q}^* = \frac{P}{\rho C_p T \sqrt{g} l^{5/2}}$$

- P : puissance prescrite
- $\rho$  : masse volumique de l'air ambiant
- *Cp* : Chaleur spécifique de l'air ambiant
- T : Température ambiante
- g : accélération de la gravité
- *l* : longueur caractéristique
- $\dot{Q}^* < 0.6 \Longrightarrow \frac{\dot{Q}_{in}}{P} = 1$  (régime bien ventilé )
- $\dot{Q}^* > 0.6 \Longrightarrow \frac{\dot{Q}_{in}}{P} < 1$  (régime sousventilé )

• 
$$\dot{Q}_{in}^{max} = 660 A \sqrt{H}$$



### Variation de la température moyenne



- R1 : régime bien ventilé
- R2 & R3 : régimes sous-ventilés



### Variation du débit massique





### Configuration numérique

- > DIMENSIONS DU DISPOSITIF :
  - Longueur (D) = 2 m
  - Largeur (w) = 1.2 m
  - Hauteur (h) =1.2 m
  - Hauteur de la porte (H) : variable
  - Largeur de la porte (b) : variable
- PROPRIÉTÉS DES PAROIS
  - Matériau : silicate de calcium
  - Chaleur spécifique : 970 J/Kg/K
  - Masse volumique : 2900 Kg/m<sup>3</sup>
  - Conductivité thermique : 0.22 W/m/K
  - Epaisseur : 5 cm

### > FOYER

- Propane
- Longueur = 0.4 m
- Largeur = 0.4 m
- ➢ PARAMÈTRES D'ÉTUDE:
  - Dimensions de la porte : b et H
  - La puissance du feu (entre 25 kW et 3500 kW).







 $\dot{Q}^*$ 

$$\dot{Q}^* = \frac{P}{\rho C_p T \sqrt{g} A \sqrt{H}}$$
$$\dot{Q}^*_{cri} = 1.135 \text{ (OpenFoam)}$$
$$\dot{Q}^*_{cri} = 0.6 \text{ (FDS)}$$
$$\dot{Q}^{max}_{in} = 1250 A \sqrt{H}$$
$$\dot{Q}^{max}_{in} = 660 A \sqrt{H}$$



### FDS vs OpenFoam



![](_page_19_Picture_0.jpeg)

Time

Time

/ 20

![](_page_20_Picture_0.jpeg)

### Résultats

 $Y_{O_2}^{lim} = 0\%$  $Y_{O_2}^{lim} = 5\%$ 

![](_page_20_Figure_3.jpeg)

/ 21

![](_page_20_Figure_4.jpeg)

![](_page_21_Picture_0.jpeg)

## **Conclusions & Perspectives**

Identification de 3 régimes de combustion

- Régime 1 : la réaction de combustion est totalement à l'intérieur du compartiment ( $\dot{Q}_{in} = P$ )
- Régime 2 : Une partie de la réaction se tient à l'extérieur du compartiment (Q<sub>in</sub> < P)</li>
- Régime 3: La majeure partie de la combustion se tient à l'extérieur du compartiment ( $\dot{Q}_{in} \ll P$ )

 $\triangleright$   $\dot{Q}_{in}^{max} = 660A\sqrt{H}$  (FDS),  $\dot{Q}_{in}^{max} = 1250A\sqrt{H}$  (OpenFoam),  $\dot{Q}_{in}^{max} = 1500A\sqrt{H}$  (Kawagoe)

À venir : Une étude expérimentale et comparaison avec ces résultats numériques

## Merci pour votre attention

![](_page_22_Picture_1.jpeg)

![](_page_22_Picture_2.jpeg)