Réaction au feu de matériaux du bâtiment pour l'étude prédictive du risque d'atteinte du flashover

GDR Feu
03 décembre 2020

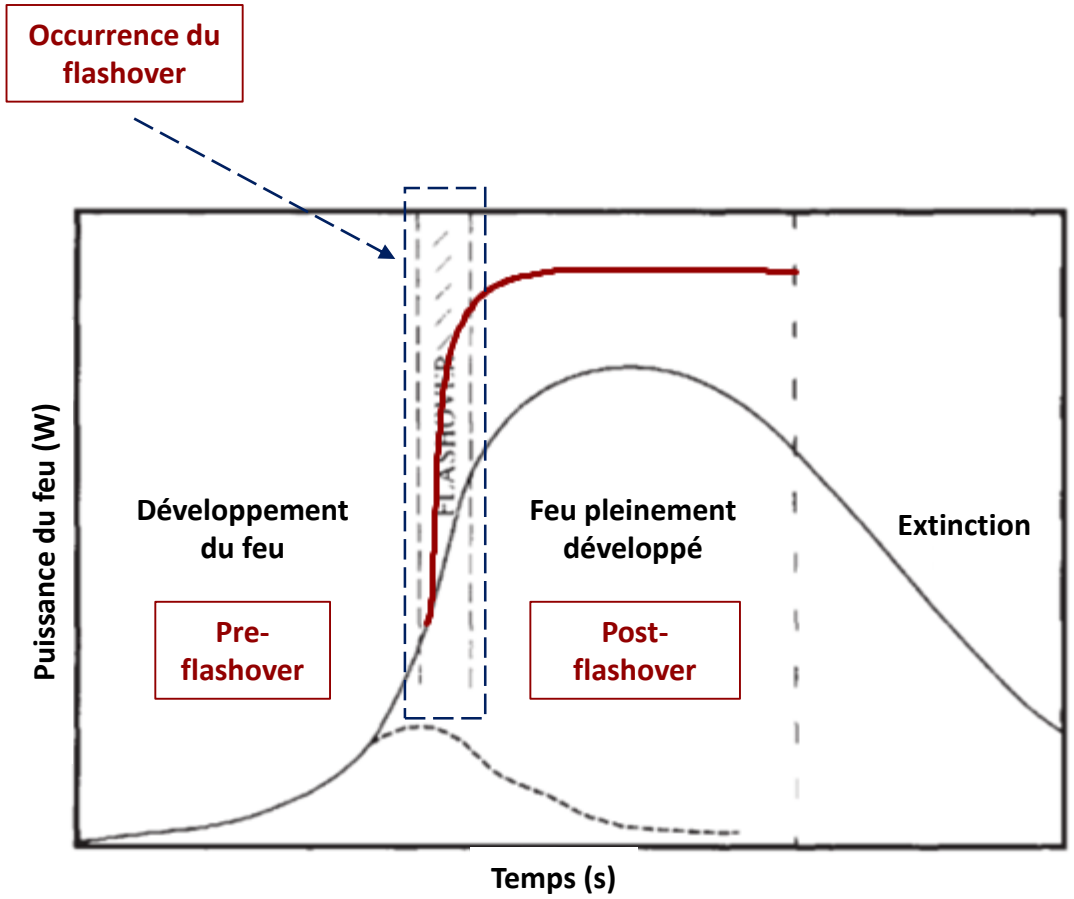
- Racha DJEBBAR (Doctorante)
- Anthony COLLIN (Directeur de thèse ; LEMTA)
- Benjamain BATIOT (Co-directeur de these ; P')
- Nicolas PINOTEAU (Encadrant industriel ; CSTB)

Paul LARDET (Encadrant industriel ; CSTB)

Plan

- Contexte général
- Objectifs de la thèse
- Revue bibliographique
- Quelques résultats
- Conclusions & perspectives

Dynamique d'un incendie en milieu sous ventilé



Profils d'un incendie

Début de l'incendie

<15s

Développement du feu

<2min

Feu pleinement développé après occurrence d'un flashover

=3min

Motivations

Réaction au feu → Euroclasses → Temps d'atteinte du *flashover*

- Comprendre l'approche prescriptive et étudier comment basculer vers une approche performance

- Comprendre la dynamique des incendies en milieux sous ventilés
- Analyser les processus pilotant cette dynamique
- Identifier les processus les plus sensibles et les étudier (expérimentalement et numériquement)
  - ✓ Cibler et quantifier expérimentalement les paramètres physicochimiques prépondérants à l'occurrence du *flashover*
  - ✓ Modéliser ces paramètres afin de se rapprocher au mieux à la prédiction de la survenue du *flashover*

Revue Bibliographique

Définitions - Flashover

Qualitatives

- **Oxford English Dictionary**: […] an instance of a fire spreading very rapidly through the air because of intense heat,
- **ISO 13943***:* […] the transition to a state of total surface involvement of combustible material within an enclosure,
- **Karlsson**: […] The "sudden & sustained transition" of growing fire to a fully developed fire, where the total thermal radiation from the fire plume, hot gases and hot compartment boundaries cause all the exposed combustible surfaces within the compartment to pyrolysis,
- **Bishop, Holborn, Beard, Drysdale:** […] represents a "rapid jump" whereby a localised fire undergoes an increase in its growth rate and intensity, and quickly engulfs the entire enclosure,
- **Francis, Chen:** […] the extension of flame through the smoke layer, across the ceiling to emerge at the vent.

Physiques / semi-physiques

- Modèles semi-empiriques basés sur l'équilibre thermique,
- Analyses dynamiques sur les instabilités thermiques,
- Modèles basés sur la mécanique des fluides : remplissage du compartiment par les gaz chauds.

Études prédictives du flashover

Expérimental

- “The Room Corner Test” : ISO 9705,
- Compartiment à l’échelle 1,
- Cône calorimètre.

Modèles semi-empiriques

- Basés sur le concept de criticité dans un équilibre thermique,
- Un taux de dégagement de chaleur/d’énergie critique est déterminé,
- Hypothèse : choix d’une température des gaz chauds nécessaire pour provoquer le flashover.

Modèles théoriques

- Flashover considéré, théoriquement, comme un processus non-linéaire,
- Résolution d’un système d’équations basé sur les bilans de masse et d’énergie,
- Flashover considéré comme une instabilité thermique.

❑ Essais à grande échelle

❖ Temps au flashover déterminé visuellement

Matériau testé disposé sur les parois

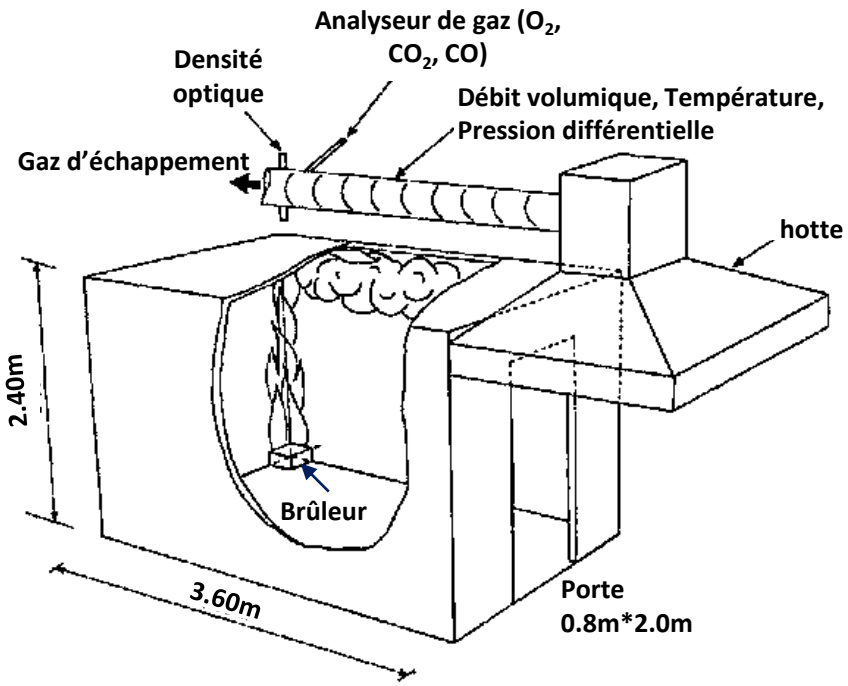
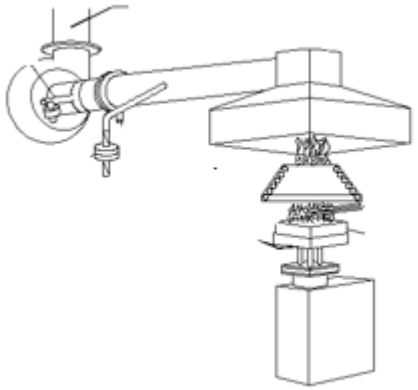


Schéma test ISO 9705

❑ Essais à petite échelle



Essais effectués sur Cône calorimètre

❖ Temps au flashover calculé :

$$t_{fo} = 0.07\,\frac{t_{ig}^{0.25}\rho^{1.7}}{A^{1.3}} + 60$$

t_{fo} : temps au flashover (s)
t_{ig} : temps d'ignition au cône à $50kWm^{-2}$
A : THR_{300} durant $5min$ après l'allumage à $50kWm^{-2}$ ($J.m^{-2}$)
ρ : masse volumique du combustible ($kg.m^{-3}$)

Études prédictives du flashover – Approches mathématiques

❑ Modèles semi-empiriques

✓ Méthode de Barbrauskas (1980)

$$Q_c = 750 A_0 \sqrt{H_0}$$

$T_f = 600°C$

✓ Méthode de MQH (1981)

$$Q_c = 620\left(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0}\right)^{1/2}$$

$T_f = 522°C$

✓ Méthode de Thomas (1981)

$$Q_c = 7.8 A_T + 378 A_0 \sqrt{H_0}$$

$T_f = 600°C$

Temps au flashover : $Q_c = \alpha t^2$

❑ Modèles théoriques

$$\begin{cases} \dfrac{dT}{dt} = F_1(T,R,Z) \\ \dfrac{dZ}{dt} = F_2(T,R,Z) \\ \dfrac{dR}{dt} = F_3(T,R,Z) \end{cases}$$

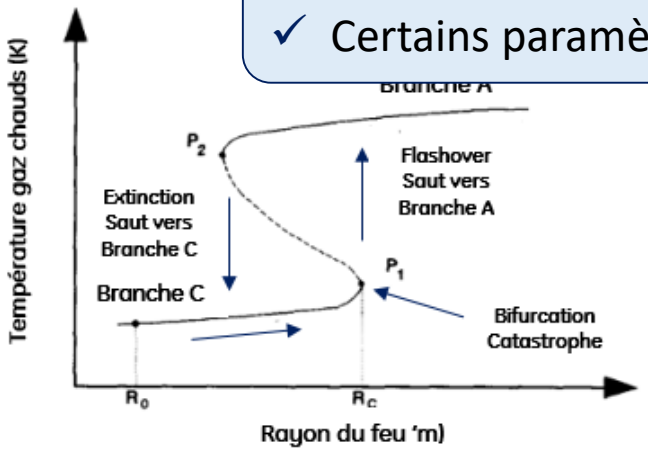
Flashover

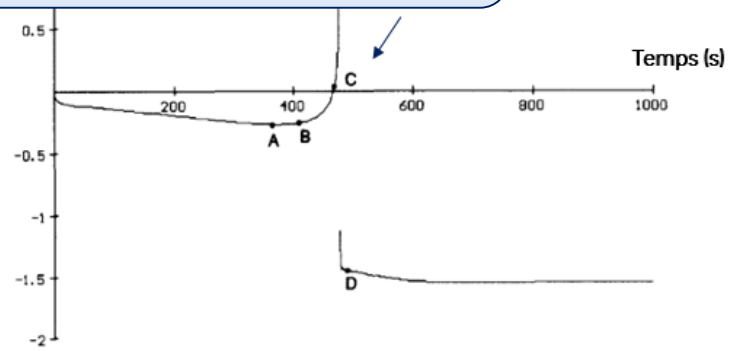
=> Instabilité thermique

=> Détection de bifurcation / catastrophe

✓ Pauvres en validation expérimentale

✓ Certains paramètres sont non-physiques





MQH : McCaffrey, Quintiere, Harkeleroad

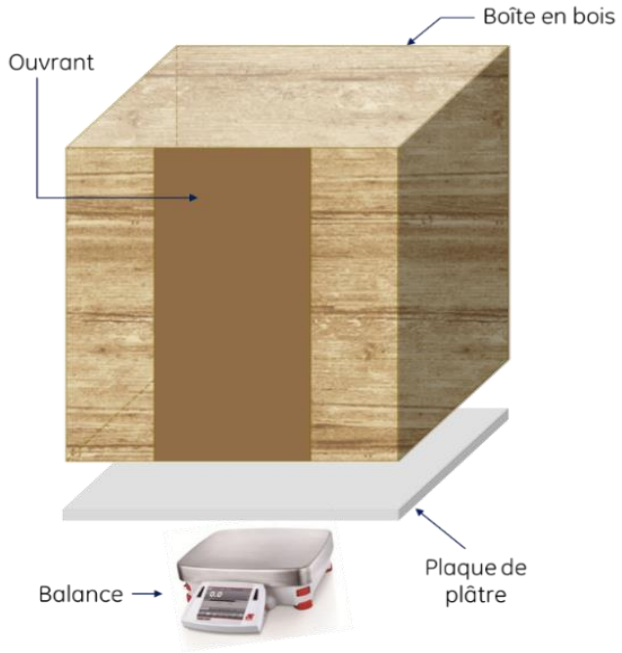
Q: flux de chaleur critique à l'atteinte du flashover (kW) , A_T : surface de transfert de chaleur disponible (m²) , A_0 : surface de l'ouverture verticale (m²) , h_k : coeff. de transfert de chaleur (kW.m^{-2}.K^{-2}) , H_0 : hauteur de l'ouverture verticale (m) , T_f : température déclenchant le flashover (K)
T : température des gaz chauds (K) , Z : hauteur de la couche chaude (m) , R : rayon du feu (m)

Exposé

Volet expérimental

Volet numérique

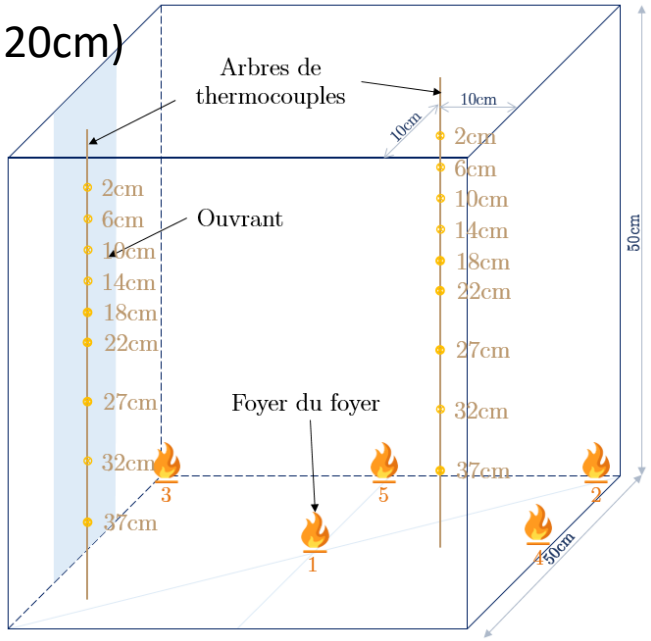
Campagne d'essai– Présentation de l'essai



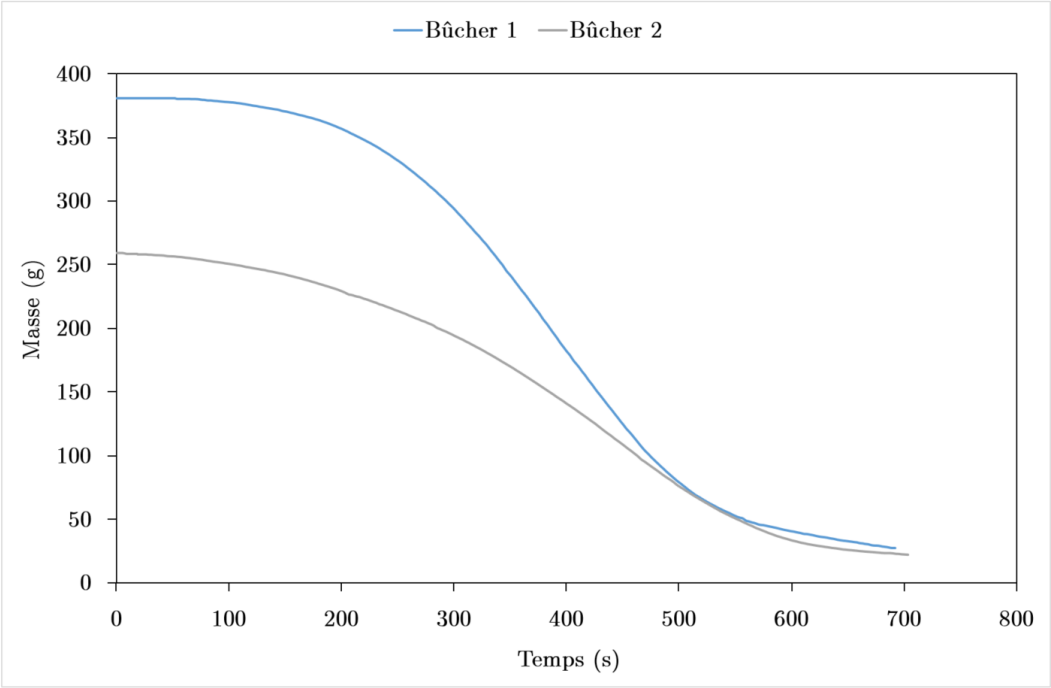
- Boîte $50cm \times 50cm$
- Balance de précision 0.1g
- Thermocouples type K ; diamètre 7*0.2mm ; soie de verre
- Caméra et chronomètre
- × Fluxmètre

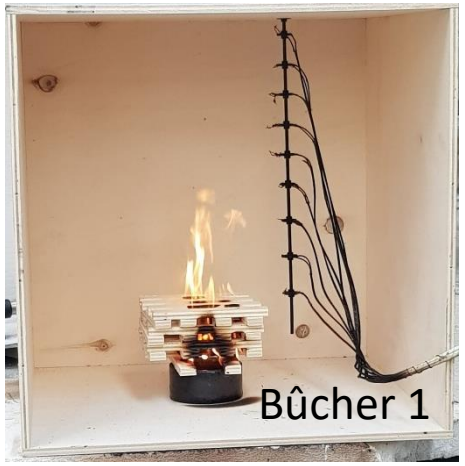
❑ Plan

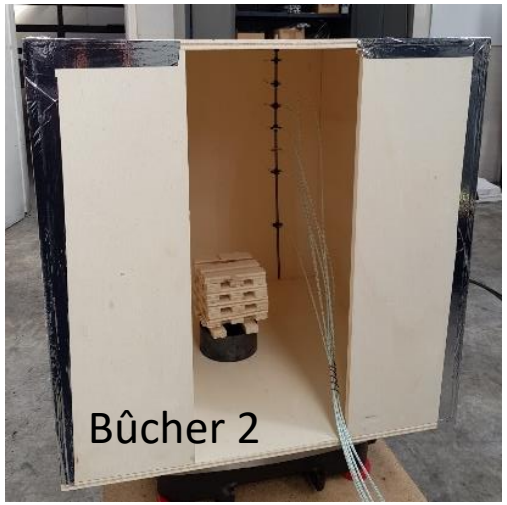
- Foyers de démarage : 2 buchers différents et combustible liquide
- 10 différents ouvrants
  - ✓ 5 largeurs de 10cm à 50cm (hauteur 50cm)
  - × 5 hauteurs de 5cm à 25cm (largeur 20cm)
- ✓ 5 positions du foyer de démarrage
- Essais de répétabilité

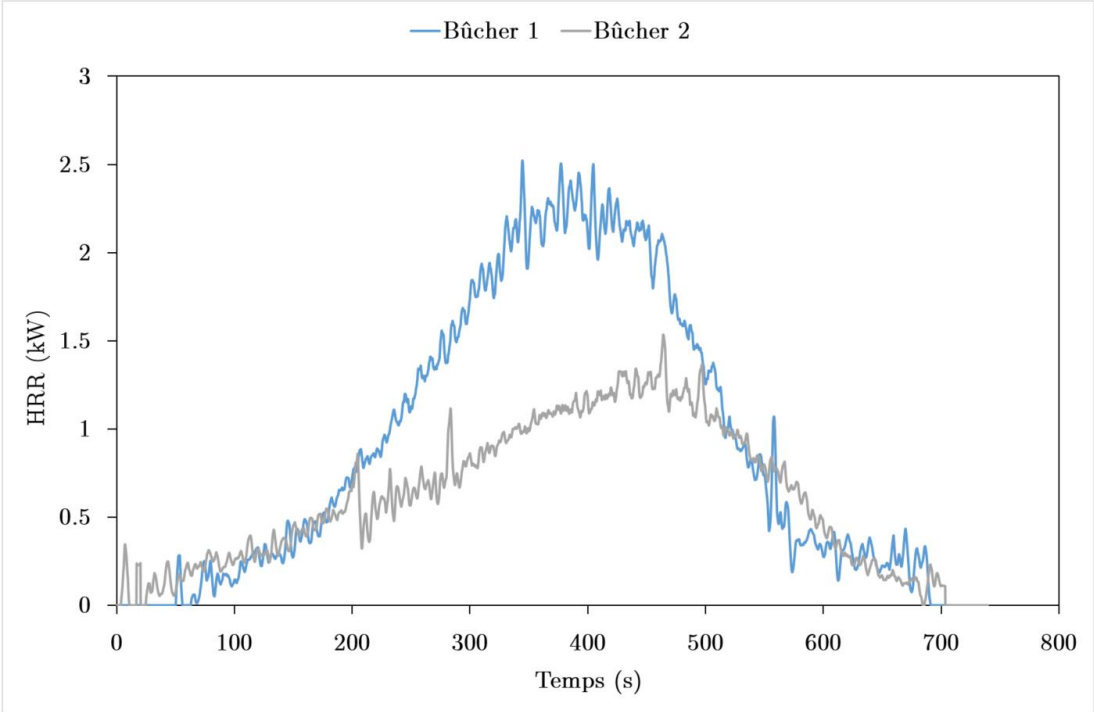


Campagne d'essai– Présentation de l'essai



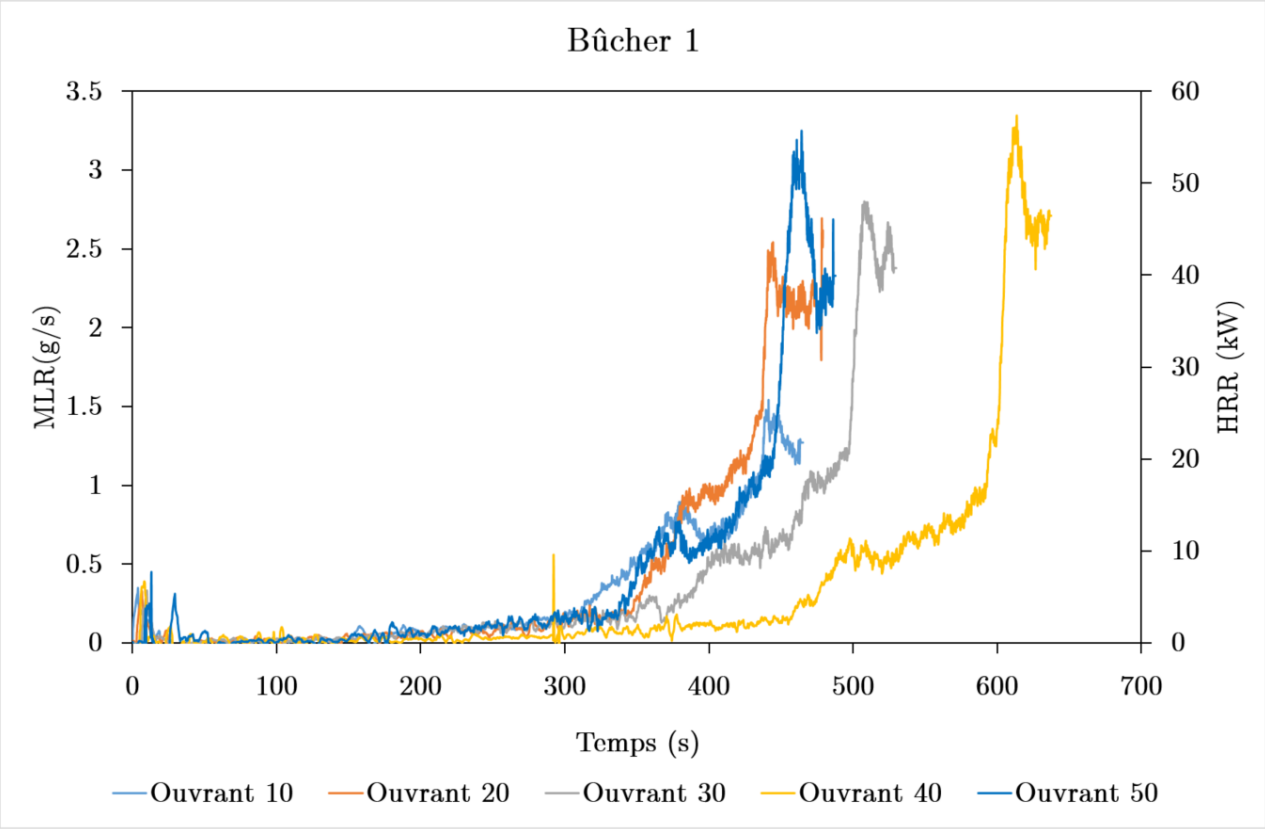


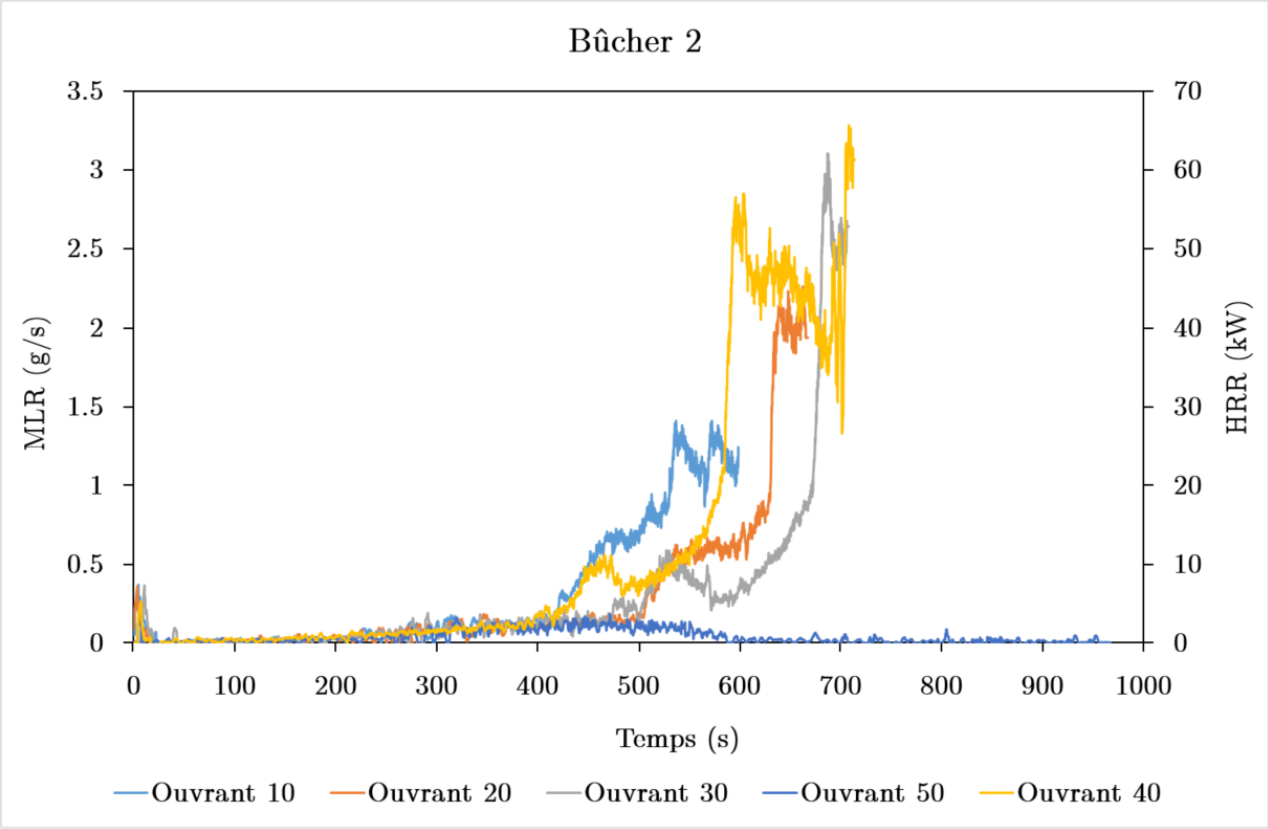




MLR – Différentes largeurs d'ouvrants

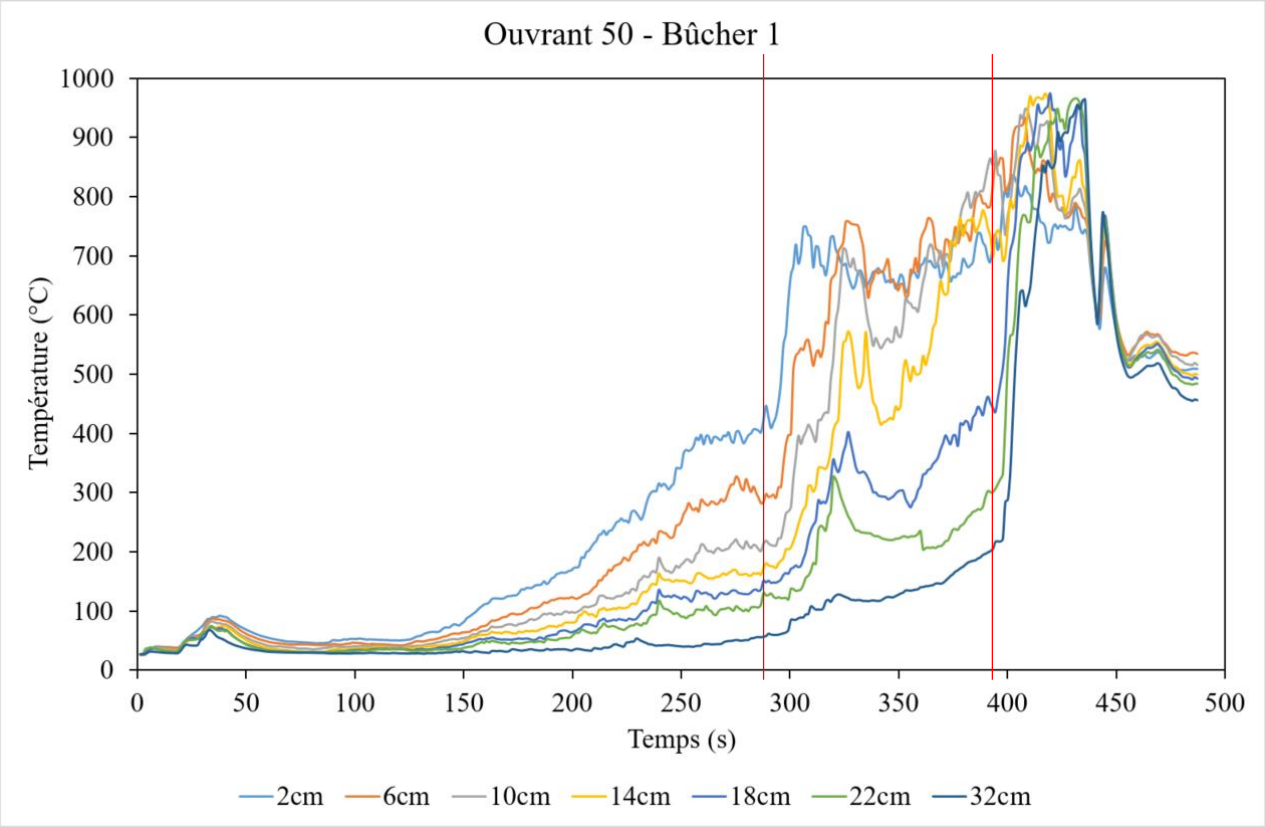
- Vitesse de perte de masse (g/s)



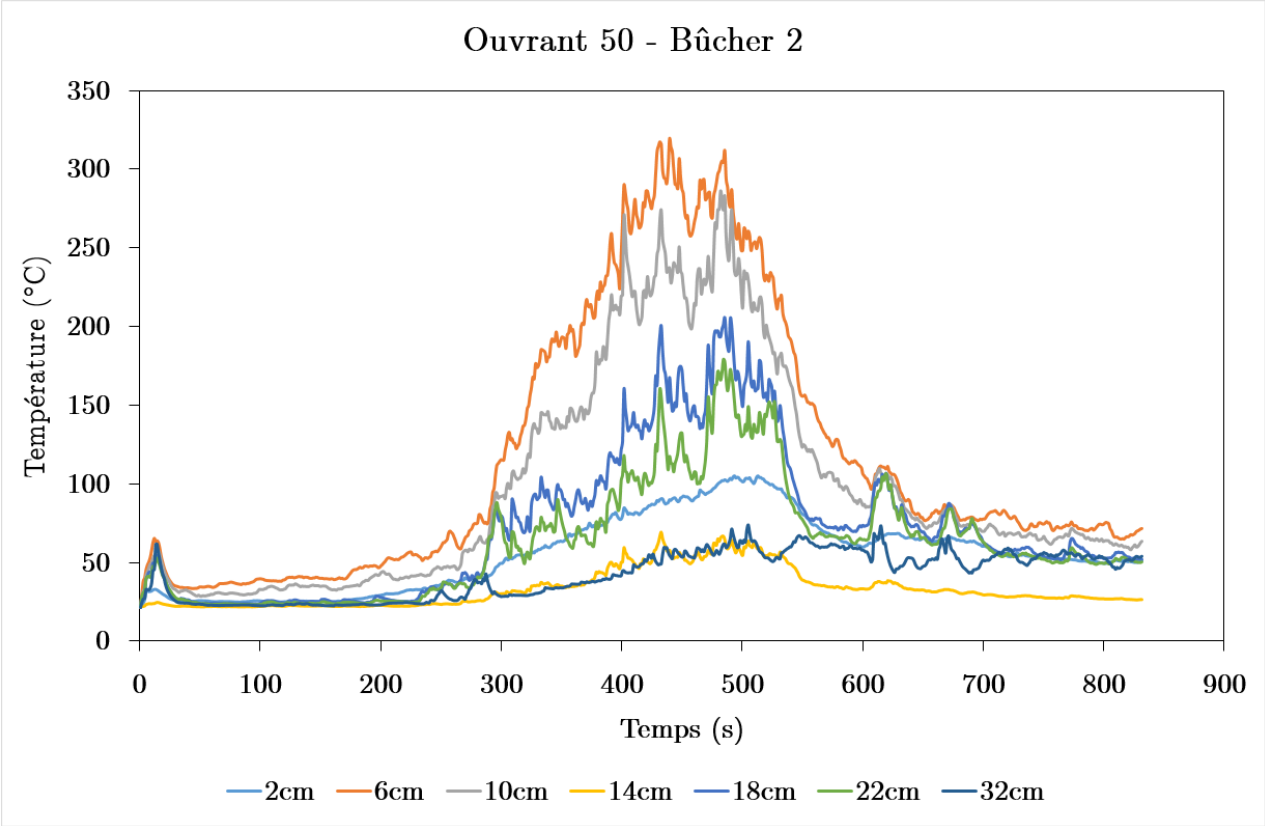


Température – Largeur ouvrant 50cm

❑ Température (°C)



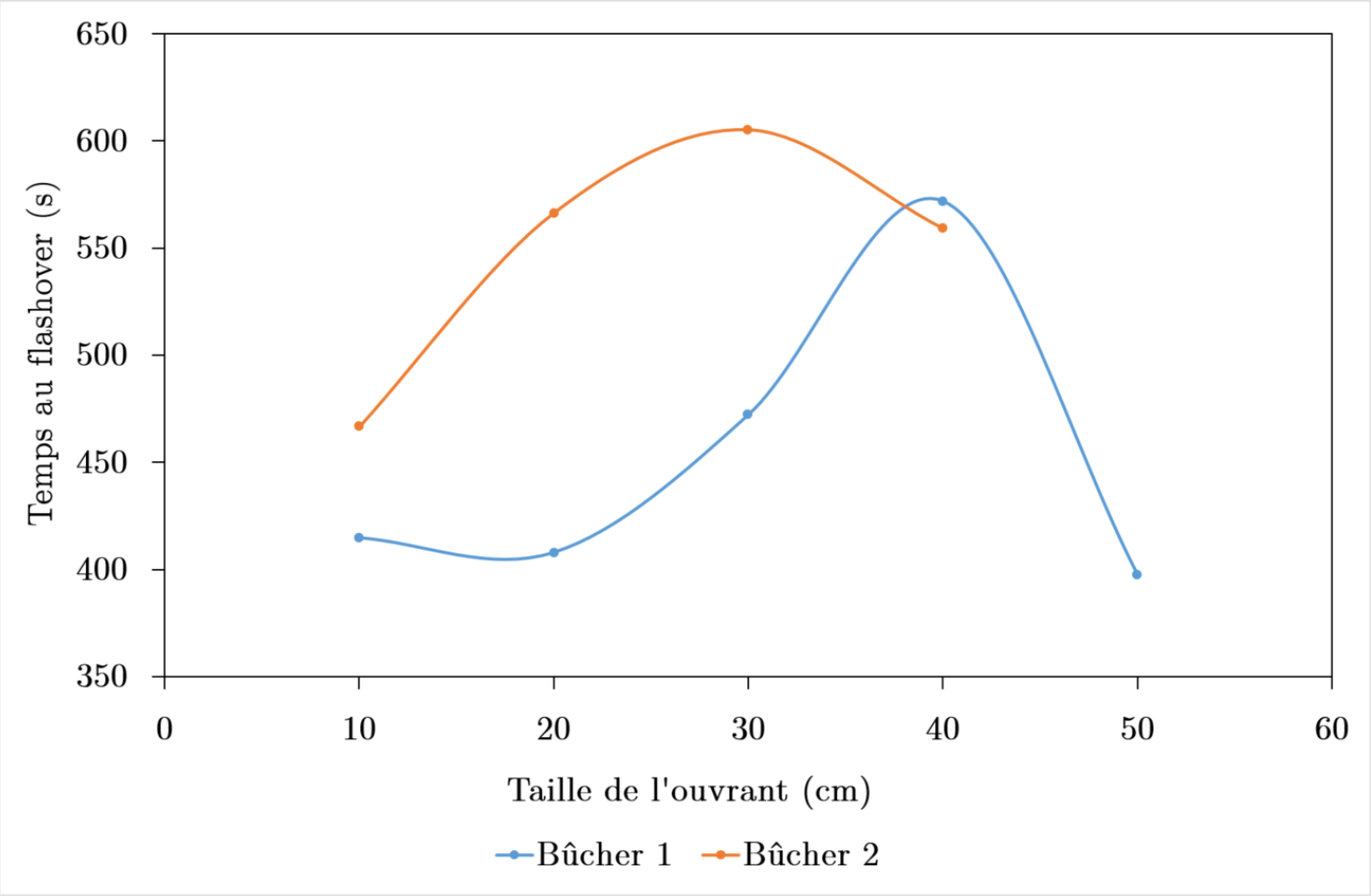
Scénario avec atteinte de flashover



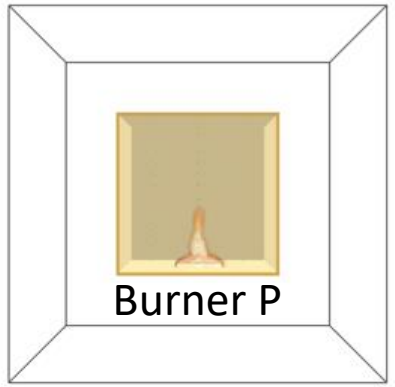
Scénario sans atteinte de flashover

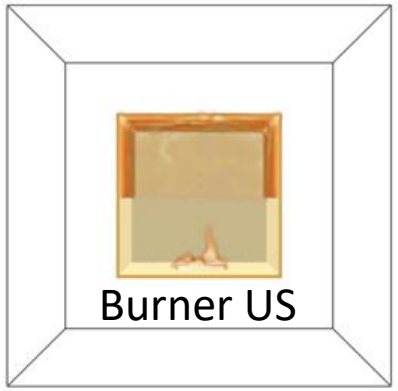
Temps au flashover – Influence de la largeur de l'ouvrant

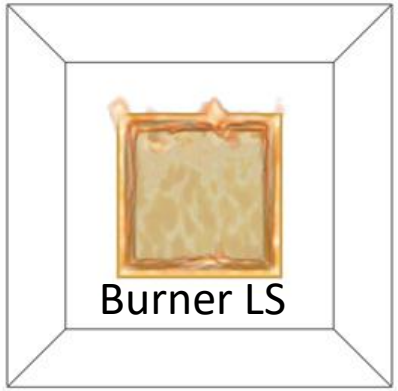
- Temps au flashover (s)

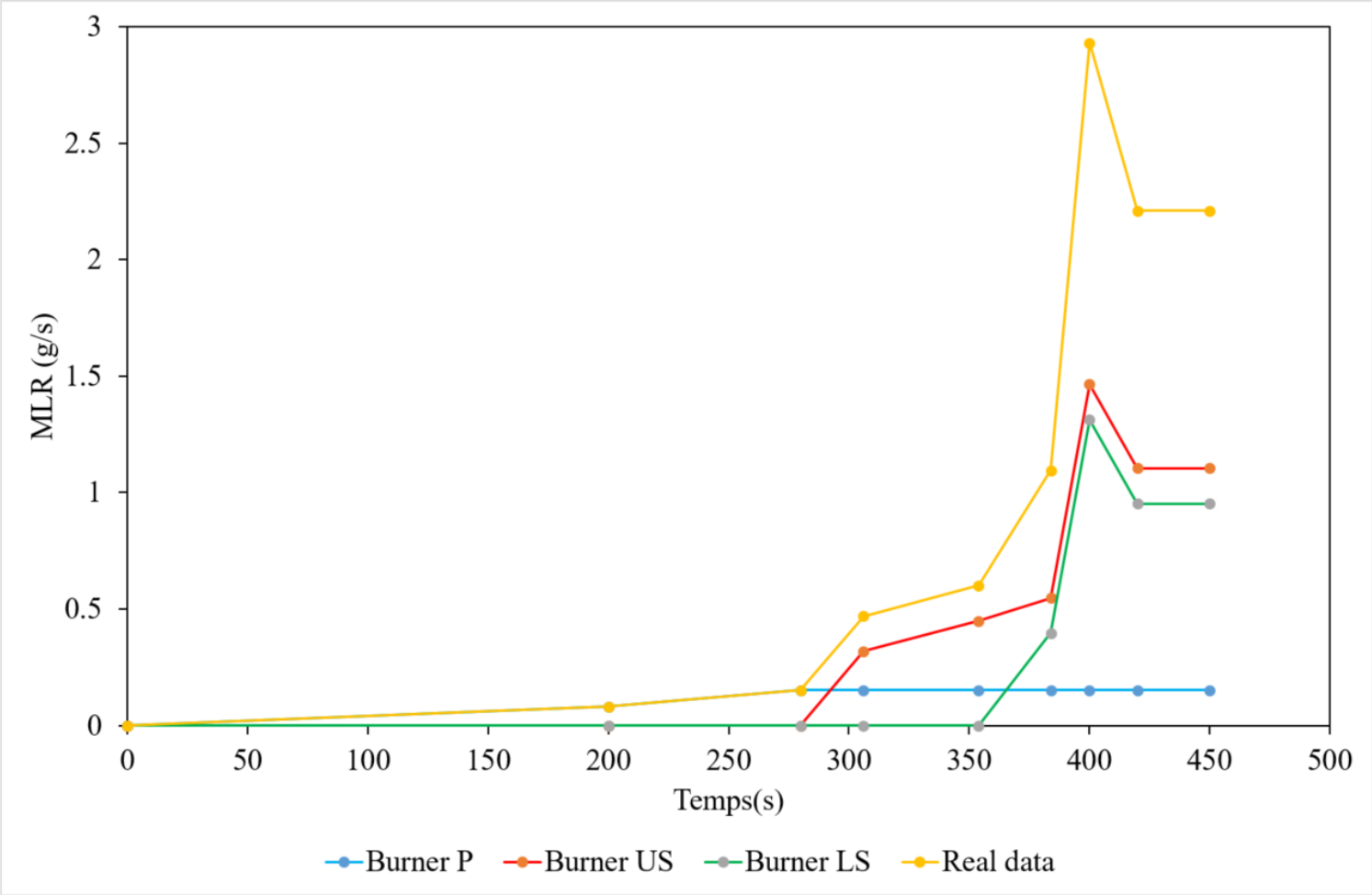


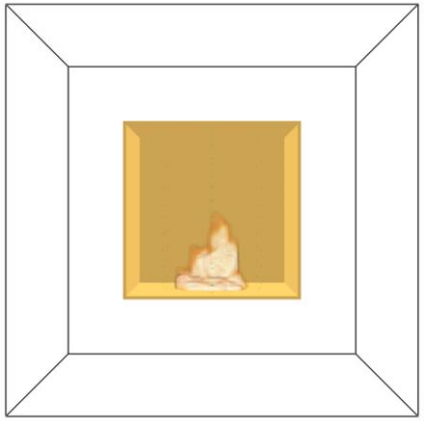
FDS – Modélisation du compartiment + feu





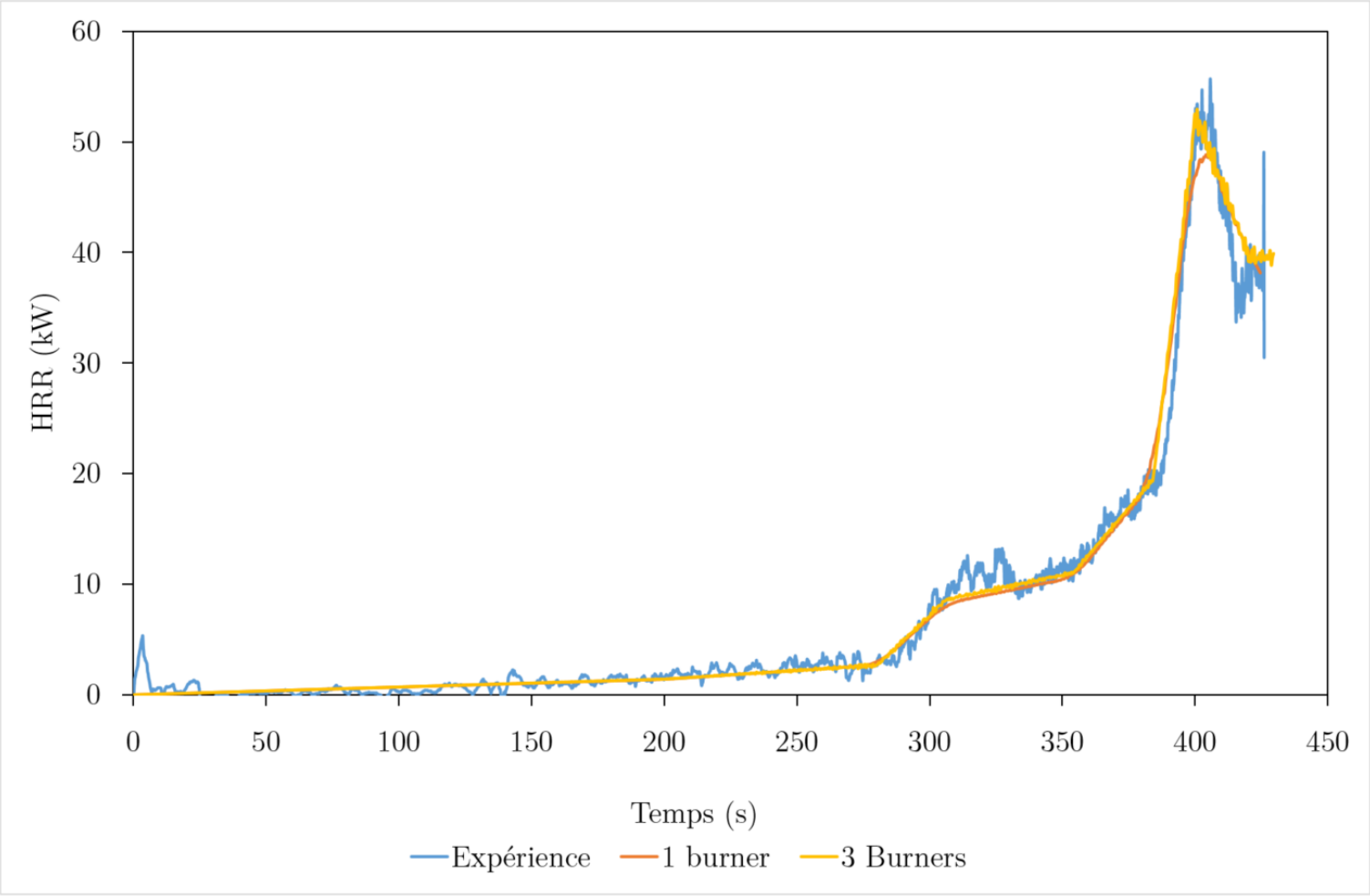


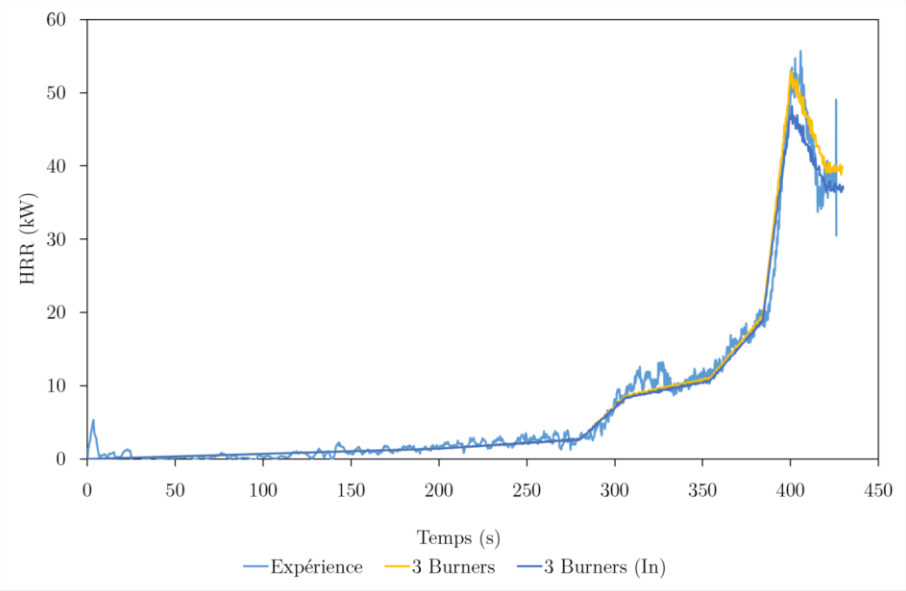


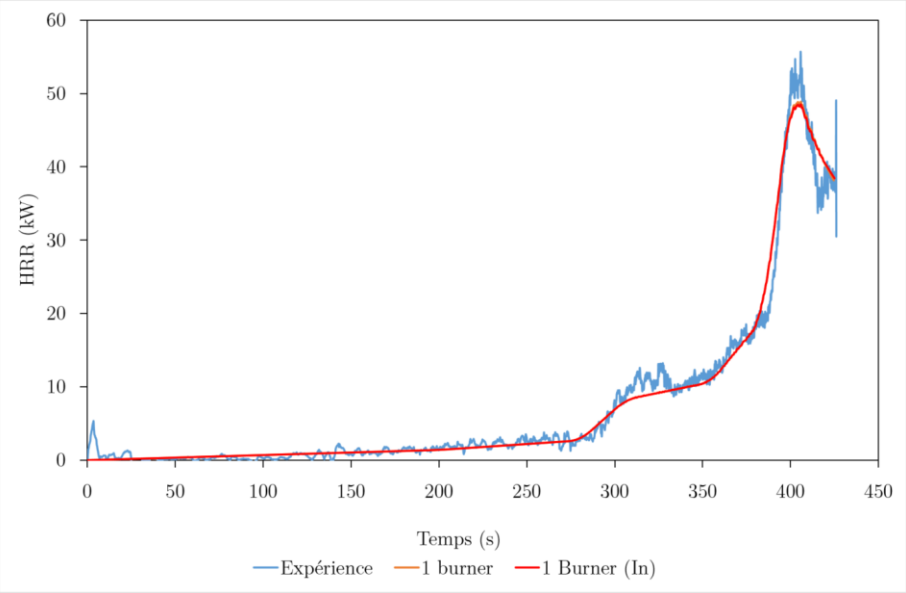


Burner au centre

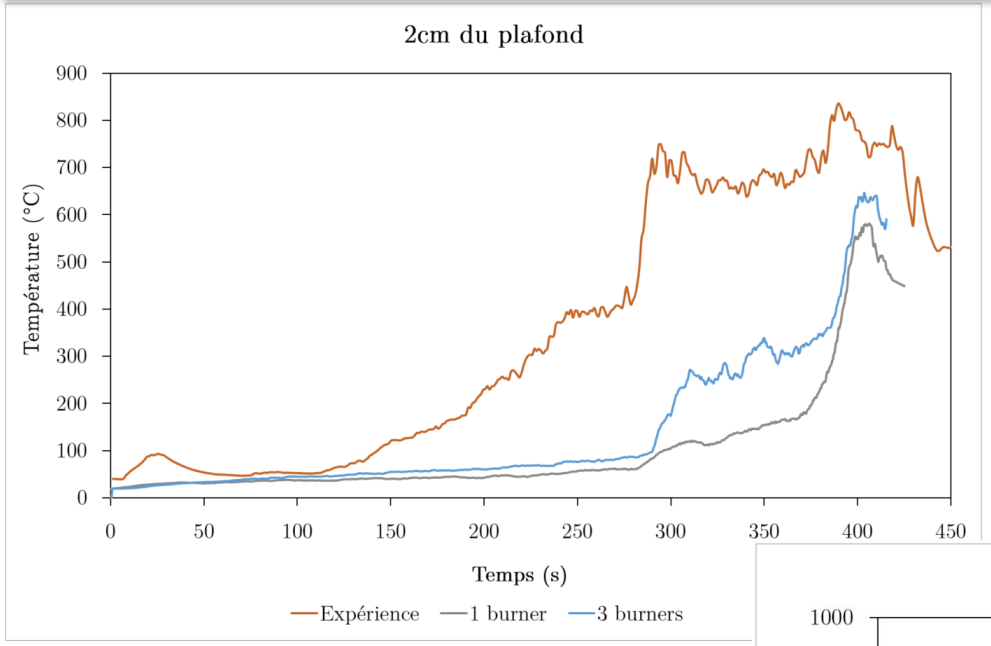
Résultats FDS – HRR (kW)



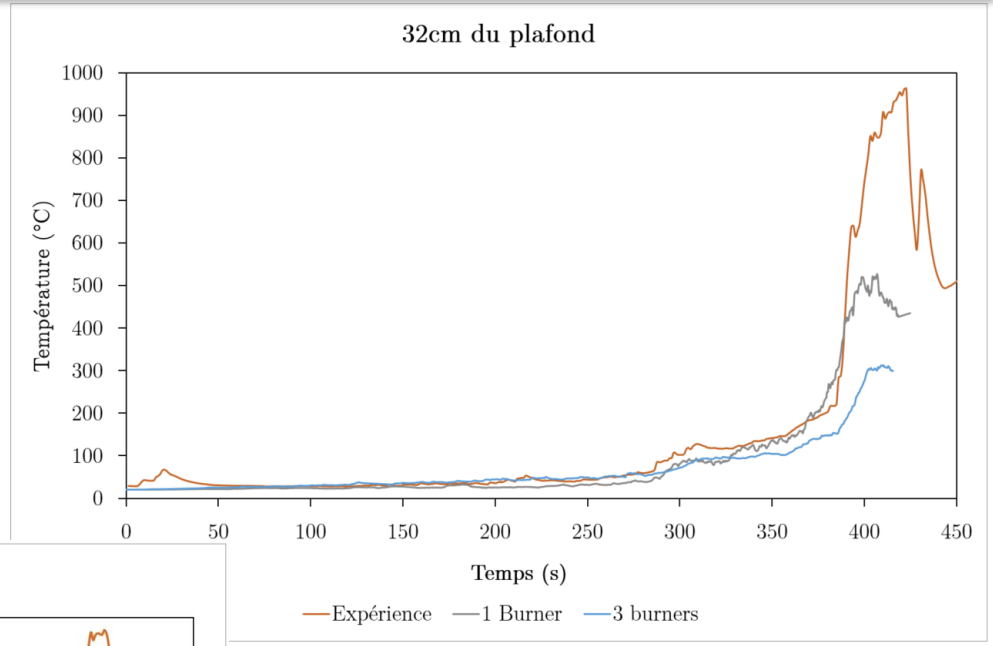


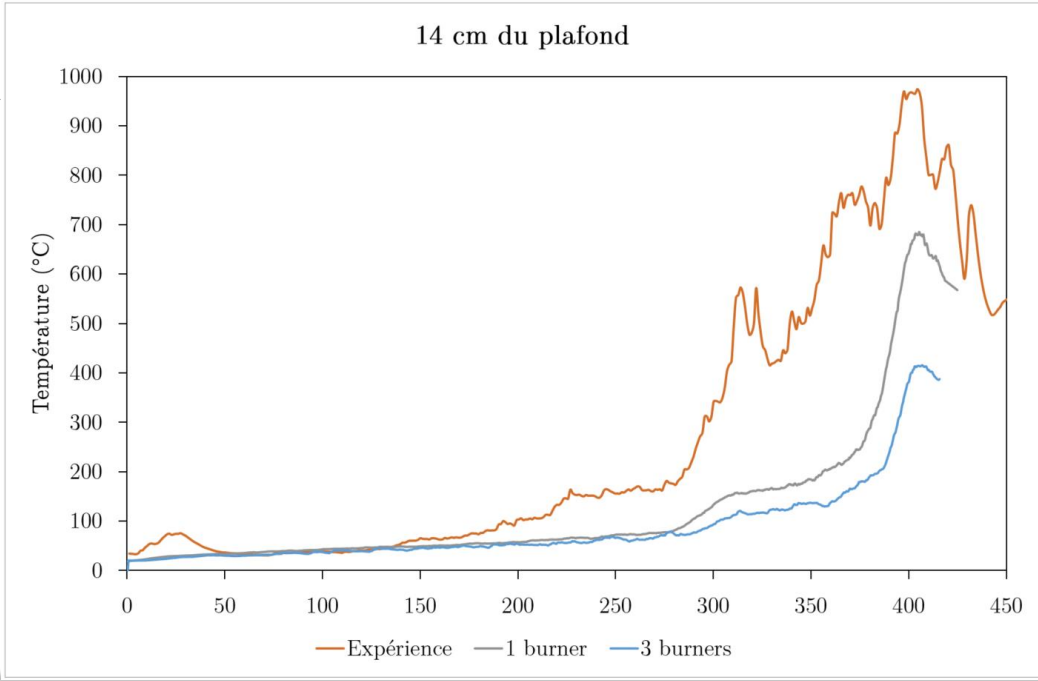


Résultats FDS – Température (°C)

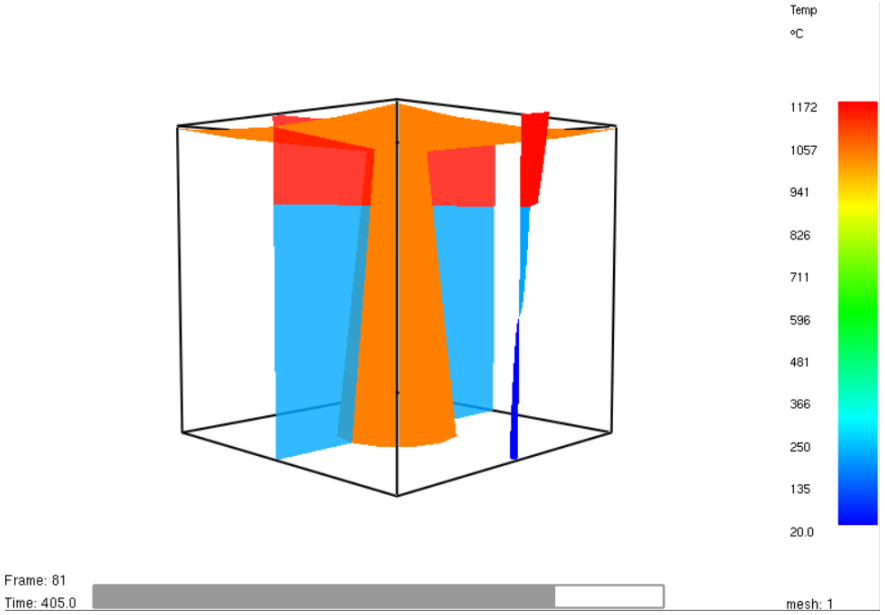


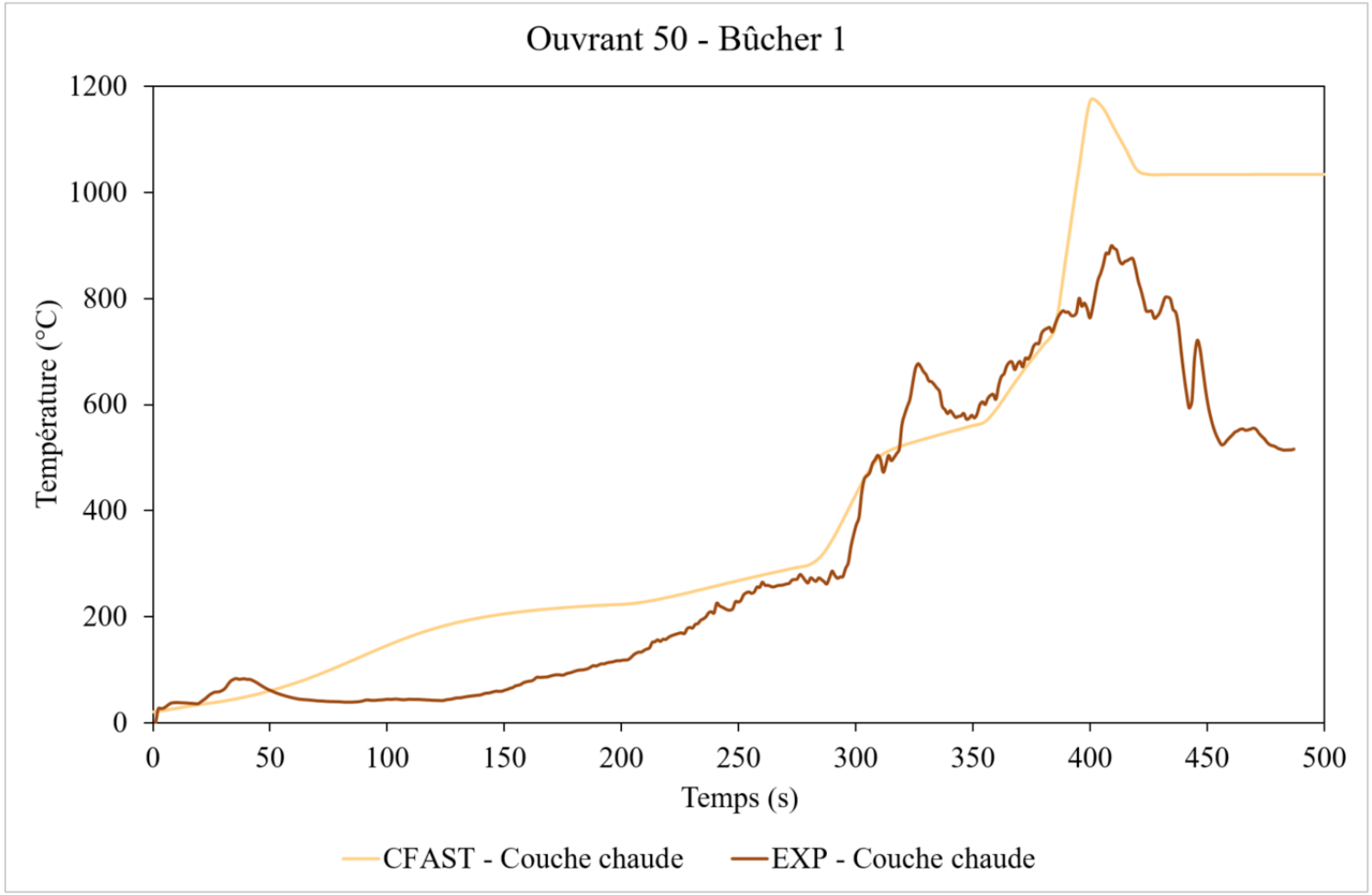
Températures de thermocouples à 3 differentes hauteurs (ponctuel)





CFAST– Température couche chaude (°C)





Conclusions

- Une étude bibliographique sur l'étude prédictive du flashover,
- Choix d'un modèle théorique
- Campagne expérimentale (foyer de démarrage, ouvrant)
- Simulations numériques (FDS, CFAST)

Perspectives

- Essais à compléter : foyer combustible liquide + présence de linteau
- Ajout d'instrumentation : fluxmètre
- Améliorer les modèles théoriques et numériques pour une meilleure caractérisation du flashover

Merci

☺