Étude de la propagation d'un feu en mode ascendant le long d'une plaque plane de PMMA

Y. PIZZO*, J-L. CONSALVI**, P. QUERRE*, A. KAISS**, et B. PORTERIE **

J-L TORERO***

* IRSN / SEMIC / LIMSI ou IRSN / SEREA / LEF
** Équipe des Feux de l'IUSTI
*** BRE Centre for Fire Safety Engineering, University of Edinburgh

SOMMAIRE

1. Contexte de l'étude
2. Configuration retenue, analyse théorique
3. Étude expérimentale et traitement de données
4. Simulation
5. Résultats

Contexte général

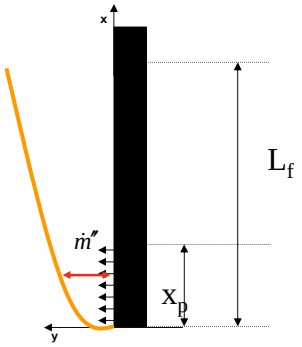
Nouveau modèle de Pyrolyse

Une **nouvelle** approche pour modéliser le **débit massique de combustible** dans la zone de pyrolyse lors d'un feu est proposée.

$$\dot{m}'' \propto B \times \left(\left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0^+} \right)^{\alpha}$$

aérodynamique

matériau



Détermination d'un seul coefficient caractérisant le matériau au feu indépendamment des conditions environnementales (le Nombre B de Transfert de Masse)

Épaisseur de flamme ou $\dot{m}''$

Analyse théorique

Équations de la couche limite réactive (convection naturelle)

$$\eta = (Gr_x^{1/4} / x\sqrt{2}) \int_0^y \frac{\rho}{\rho_\infty} dy \qquad B = \frac{(1-\chi_R) Y_{O_2,\infty} Q_p - C_p (T_{ig} - T_\infty)}{L_v}$$

$$r = Y_{O_2\infty} \nu_f W_f / Y_{fw} \nu_{O_2} W_{O_2} \qquad \tau = h_w / L_v \qquad Gr_x = \frac{g x^3 (T_W - T_\infty)}{\nu_\infty^2 T_\infty}$$

$$\begin{cases} f''' + 3ff'' - 2f'^2 = \begin{cases} -[1+(1-J)B/\tau], \eta \le \eta_{fl} \\ -[(1+r+B/\tau)J/r], \eta \ge \eta_{fl} \end{cases} \\ J'' + 3\,\mathrm{Pr}\ f\ J' = 0 \end{cases}$$

$$\eta = 0 \quad , \quad f' = 0, \quad f(0) = BJ'(0)/3\,\mathrm{Pr} \quad and \quad J = 1$$

$$\eta \to \infty \quad , \quad f' = 0 \quad and \quad J = 0$$

$$\dot{m}_p'' = -3\nu_\infty \rho_\infty f(0) Gr_x^{1/4} / (2^{1/2} x)$$

Étude expérimentale, programme d'essais PECAM
(Programme Expérimental pour la Caractérisation Analytique des Matériaux)

Configuration retenue

Dispositif expérimental

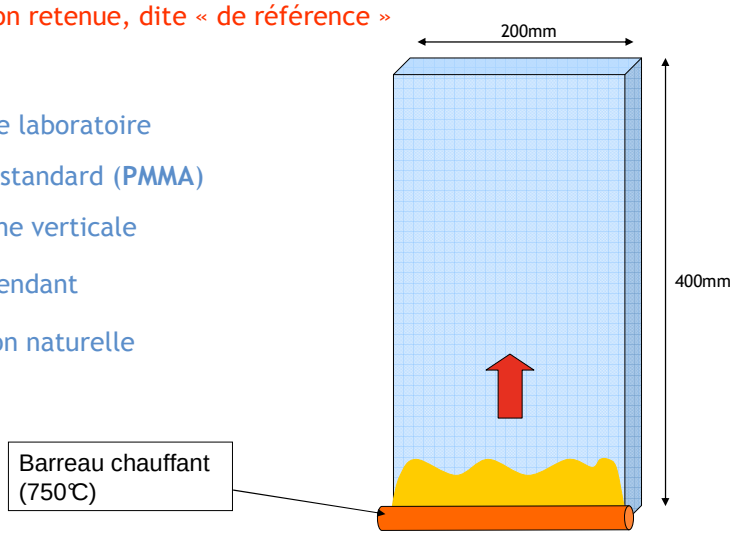
Traitement de données

IRSN

Étude expérimentale : configuration

Configuration retenue, dite « de référence »

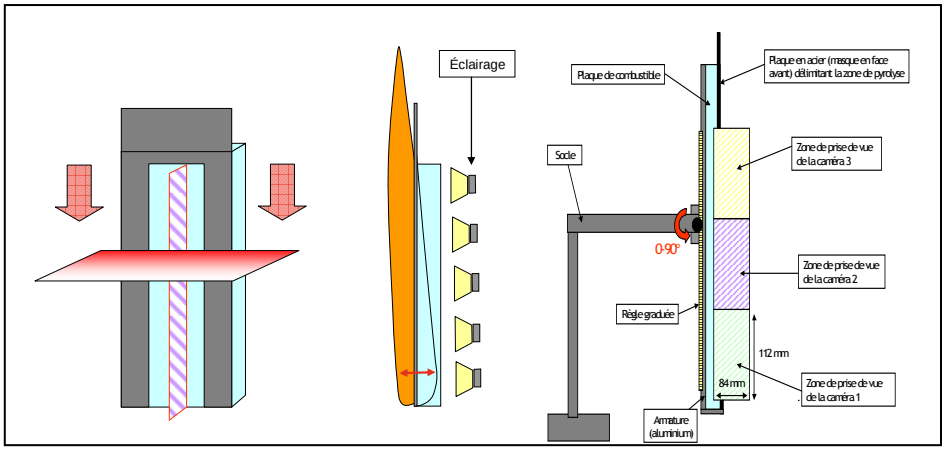
- Échelle de laboratoire
- Matériau standard (**PMMA**)
- Paroi plane verticale
- Mode ascendant
- Convection naturelle



IRSN

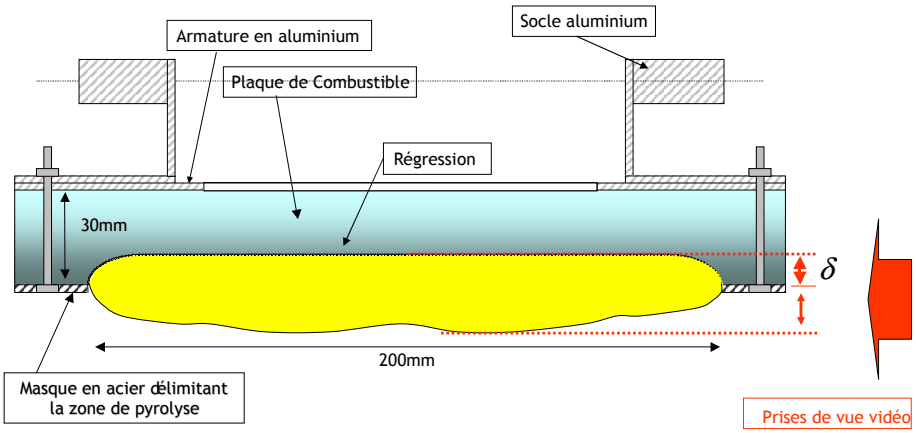
Étude expérimentale

Instrumentation (système vidéo) :



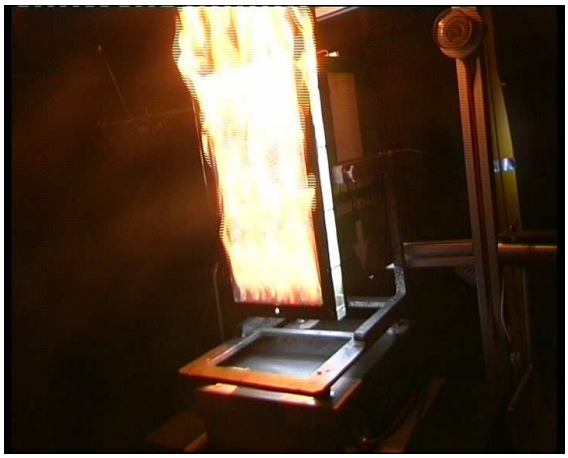
Étude expérimentale

Mesure d'épaisseur de flamme (régression de la plaque combustible + épaisseur de flamme visible)



Étude expérimentale

Exemple de prises de vues en phase stationnaire



Traitement de données

Exemple de flamme moyennée reconstruite

Principe du traitement de données

Prises de vues vidéo

Image moyenne reconstruite

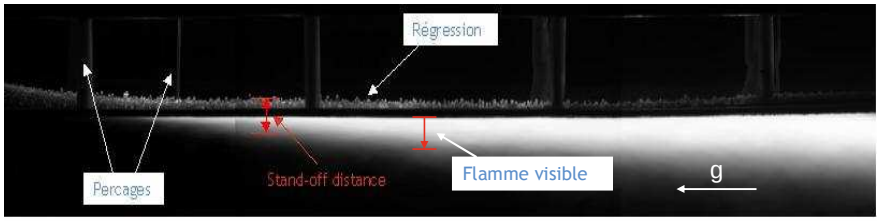
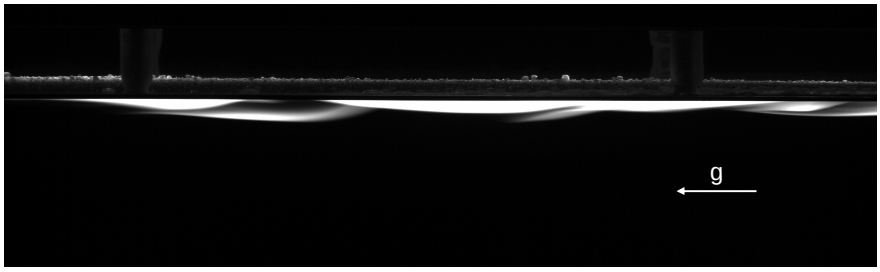
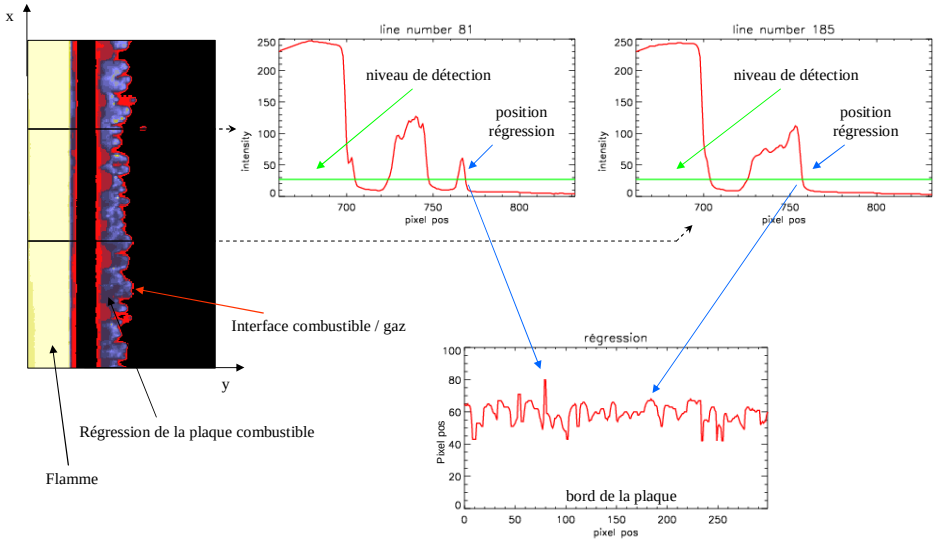


Image instantanée



Traitement de données

Méthode de détection de la position de la régression de la plaque combustible



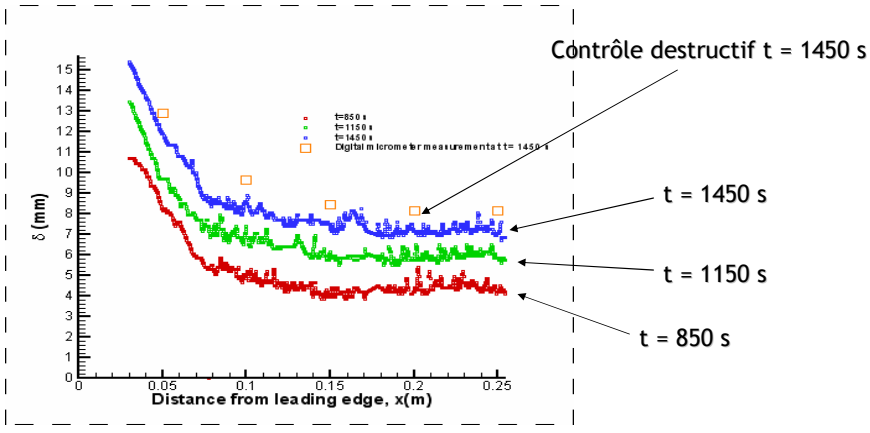
Résultats

- Expérimentaux
  - Positions de l'interface combustible / Gaz
  - Débits massiques surfaciques
- Numériques
  - Épaisseurs de flamme
  - Débits massiques surfaciques

IRSN

Résultats expérimentaux

Positions de l'interface combustible / gaz



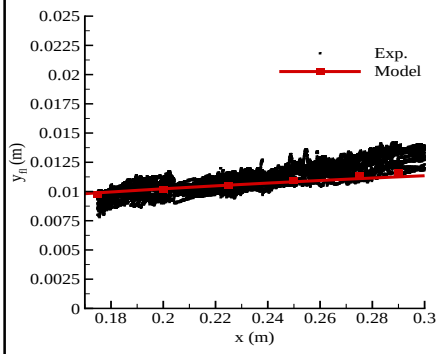
$$\dot{m}''(x,0,t) = \rho_s \frac{d\delta}{dt} \approx \rho_s \frac{\delta(x,t+\Delta t) - \delta(x,t)}{\Delta t}$$

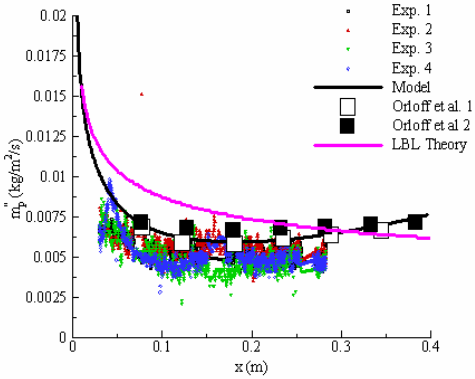
IRSN

Résultats numériques SAFIR (2D) / Expérimental / Théorique

Épaisseurs de flamme et débits massiques surfaciques de pyrolyse

Plaques : H = 30 cm
e = 3 cm
L = 20 cm ⟹ SAFIR 2D

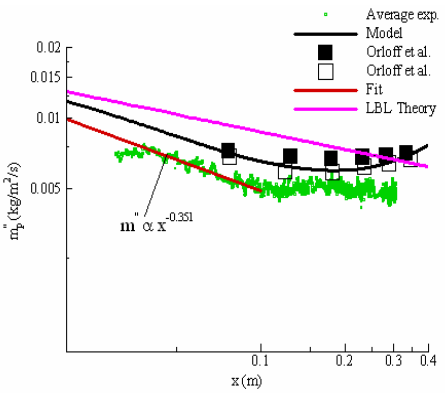




LBL* = Laminar Boundary Layer

Résultats numériques SAFIR (2D) / Expérimental / Théorique

Débits massiques surfaciques de pyrolyse



4 régions

- 0 < x < 4 cm : x ↗ $\dot{m}''_p$ ↗
- 4 cm < x < 10 cm : zone laminaire
  - LBL* théorie : $\alpha\ x^{-0.25}$
  - Numerical Model & Exp. : $\dot{m}''_p \alpha\ x^{-0.35}$
- 10 cm < x < 18cm :
  Transition Laminaire-Turbulent
- x > 18cm : Pleinement Turbulent

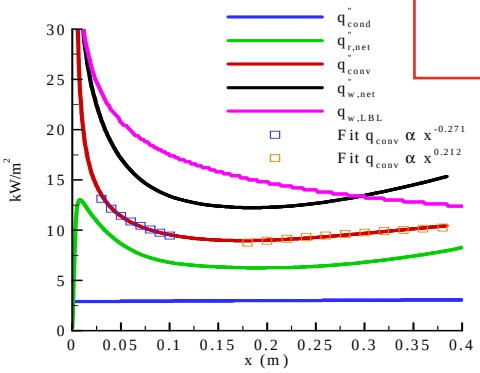
$\dot{m}''_p$ ↗

LBL* = Laminar Boundary Layer

Résultats numériques

Étude des flux à la paroi de la plaque combustible

$$\dot{m}''_p = \frac{\dot{q}''_{w,net}}{L_v} = \frac{\dot{q}''_{conv} + \dot{q}''_{r,net} - \dot{q}''_{cond}}{L_v}$$



LBL théorie : Convection → $\dot{q}''_w \propto x^{-0.25}$

↓

Différences dans les lois d'échelle concernant le débit de pyrolyse

Partie turbulente :

Orloff et al. → Rayonnement

Ahmad and Faeth → Turbulence

Résultats :

Augmentation du débit de pyrolyse

↕

Augmentation des flux radiatifs et convectifs à la paroi

Perspectives

- Caractérisation du matériau

Convection naturelle (laminaire) $\dot{m}'' \propto B \times \left(\left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0^+} \right)^{-1}$

- Étude similaire pour des plaques en position inclinées

- Étude de la phase de propagation :
  - effet de la largeur de la plaque
  - effet de l'inclinaison