

# Sur un capteur thermique pour la validation d'un modèle de flux radiatif

Khaled CHETEHOUNA

Olivier SERO-GUILLAUME

Isabelle SOCHET

Alain DEGIOVANNI

Laboratoire Énergétique Explosions Structures UPRES EA 1205

# I. Motivation de l'étude

## Calibrage des modèles de réaction – diffusion

$$\begin{cases} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + R_c(\rho, T) + M_r - h(T - T_{ext}) \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = f(\rho, T) \end{cases}$$



**Bon modèle de flux radiatif**

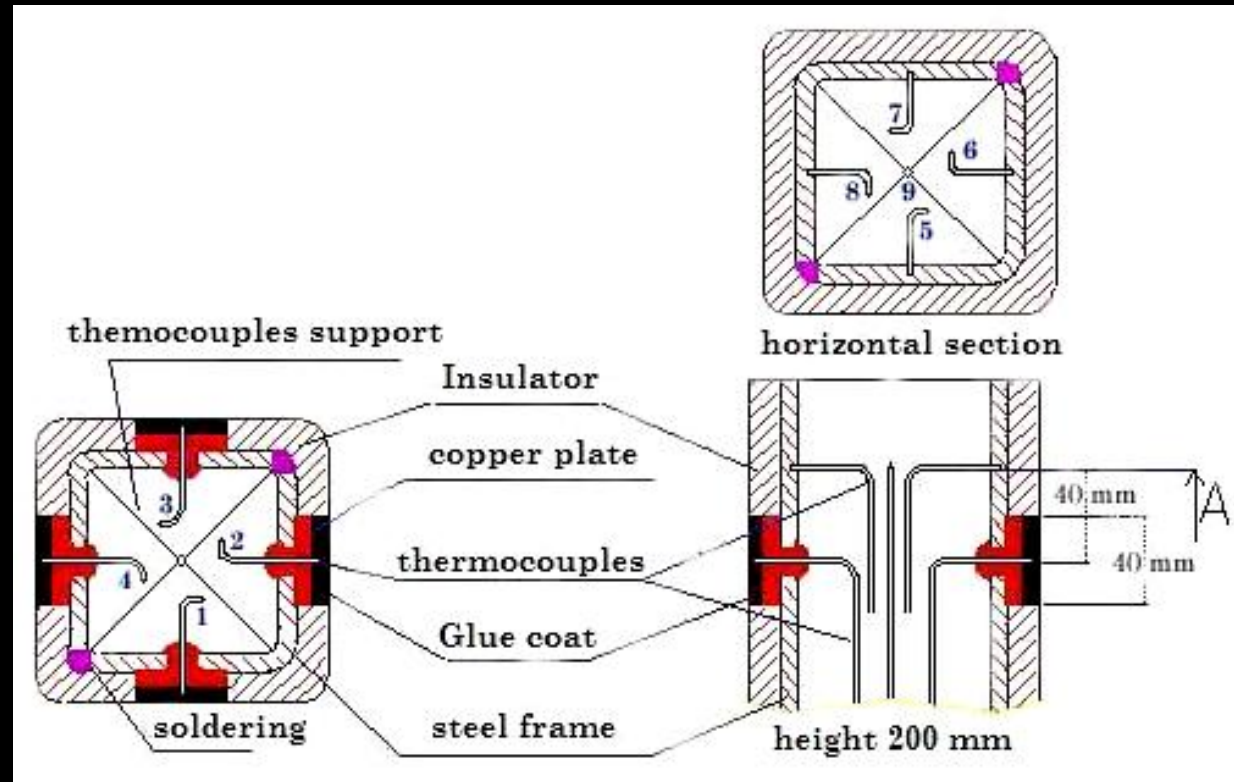
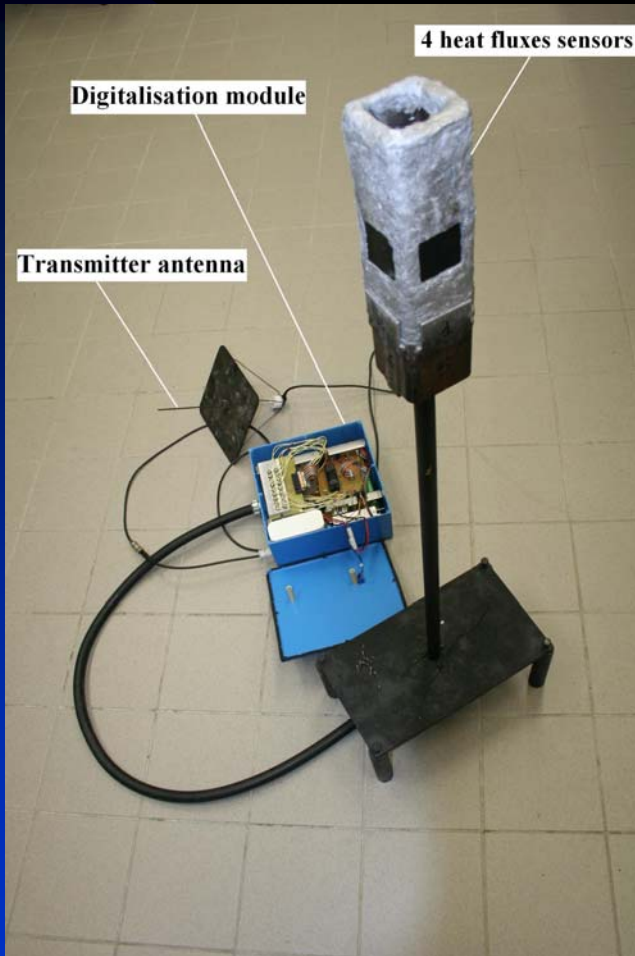


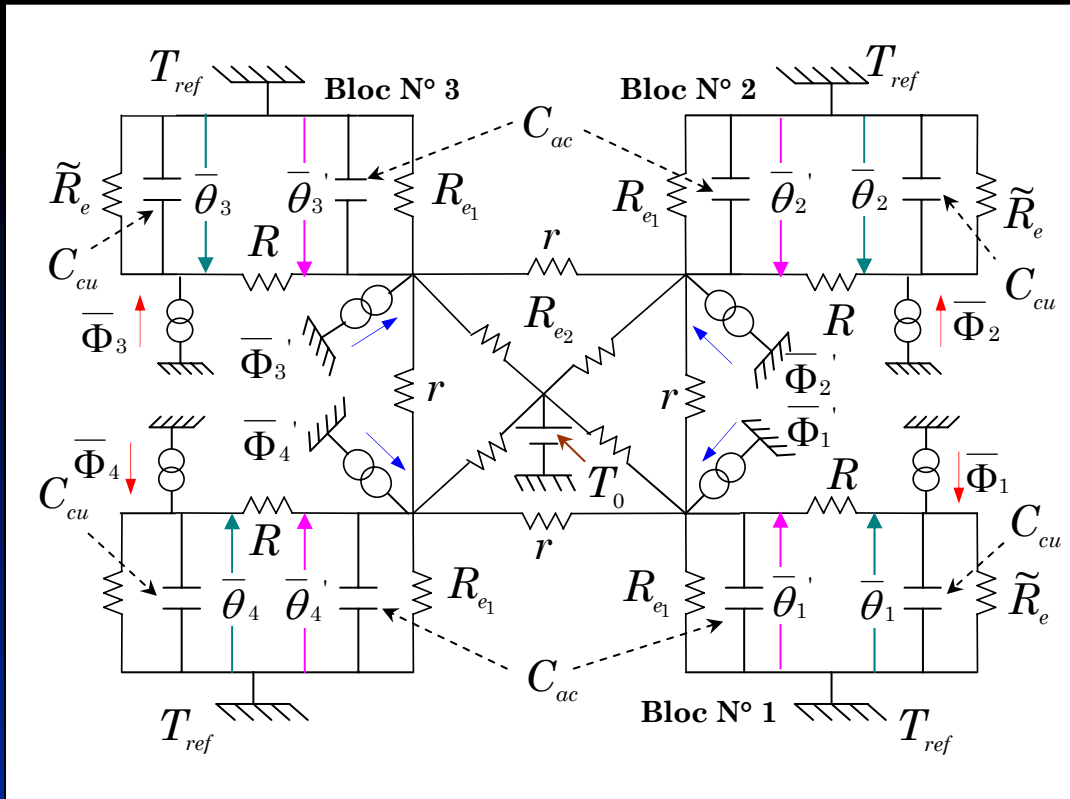
**Modèle de flux radiatif (ETR)**



**Validation par un capteur thermique spécifique**

# II. Description du capteur thermique

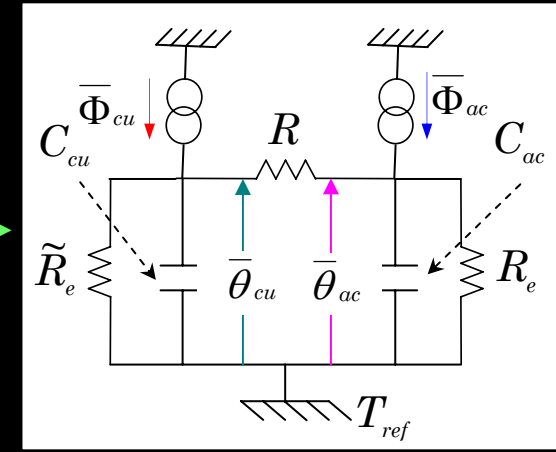




$$\bar{\theta}'_1, \bar{\theta}'_2, \bar{\theta}'_3, \bar{\theta}'_4 \Leftrightarrow \bar{\theta}_{ac}$$

$$r = 0$$

$$R_{e1}, R_{e2} \Leftrightarrow R_e$$



Flux

$$\begin{pmatrix} \varphi_{cu}(t) \\ \varphi_{ac}(t) \end{pmatrix} =$$

Fonction de transfert

$$\begin{pmatrix} C_{cu} \frac{d}{dt} + \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{\tilde{R}_e} \right) & -\frac{1}{R} \\ -\frac{1}{R} & C_{ac} \frac{d}{dt} + \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R_e} \right) \end{pmatrix}$$

Températures

$$\begin{pmatrix} \theta_{cu}(t) \\ \theta_{ac}(t) \end{pmatrix}$$

# Quatre expériences sous lampe halogène et avec écran réfléchissant



Mesure des différentes températures

$\tilde{\theta}_{cu}^i$  et  $\tilde{\theta}_{ac}^i$  pour  $i = 1, 2, 3, 4$

+

Minimisation de la fonction

$$Obj(\beta) = \sum_{i=1}^4 \left[ \int_0^{t_{exp}} (\theta_{cu}^i(t, \beta) - \tilde{\theta}_{cu}^i(t))^2 dt + \alpha \int_0^{t_{exp}} (\theta_{ac}^i(t, \beta) - \tilde{\theta}_{ac}^i(t))^2 dt \right]$$

$$\beta = (C_{cu}, R, C_{ac}, R_e)^t$$

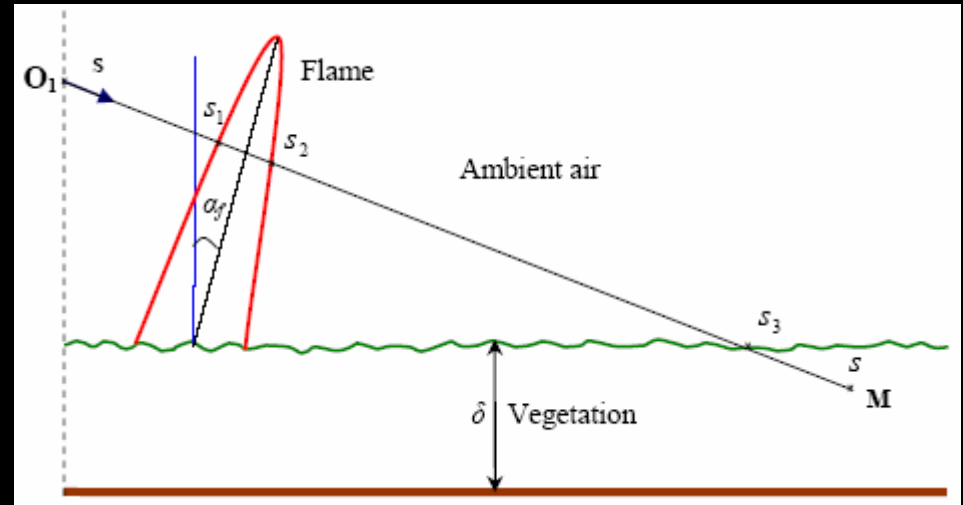


	$R (K/W)$	$C_{cu} (J/K)$	$C_{ac} (J/K)$	$R_e (K/W)$
Valeurs	27,4	6,6	113,5	14,0

avec  $\tilde{R}_e = 107,8 K/W$

# III. Modèle de flux radiatif

Intégration de l'ETR



$$i(s) = K_f e^{-K_v(s-s_3)} \int_{s_1}^{s_2} i_b(\bar{s}) e^{-K_f(s_2-\bar{s})} d\bar{s} + K_v \int_{s_3}^s i_b(\bar{s}) e^{-K_v(s-\bar{s})} d\bar{s}$$

+

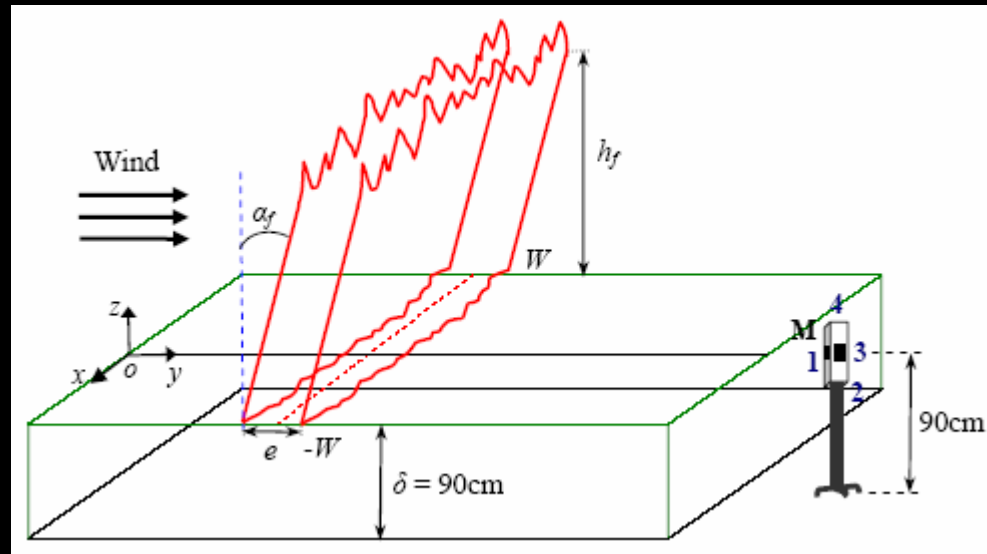
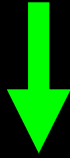
$$\varphi_i(\mathbf{M}) = \int_{\omega=0}^{4\pi} i(s) \mathbf{s} \cdot \mathbf{n}_i d\omega$$

$$\varphi_i(\mathbf{M}) = K_f \frac{B}{\pi} \int_{\omega=0}^{4\pi} \int_{s_1}^{s_2} T_f^4 e^{-K_v(s-s_3)} \mathbf{s} \cdot \mathbf{n}_i d\bar{s} d\omega + K_v \int_{\omega=0}^{4\pi} \int_{s_3}^s i_b(\bar{s}) e^{-K_v(s-\bar{s})} \mathbf{s} \cdot \mathbf{n}_i d\bar{s} d\omega$$

Flamme

Végétation

# Rayonnement de la flamme



$$\Phi_i^{th}(\mathbf{M}) = \varphi_i(\mathbf{M}) - \varphi_3(\mathbf{M}) = K_f \frac{B}{\pi} \int_{\Omega_f} T_f^4 \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{n}_i}{PM^2} d\Omega$$



Propagation sans vent

+

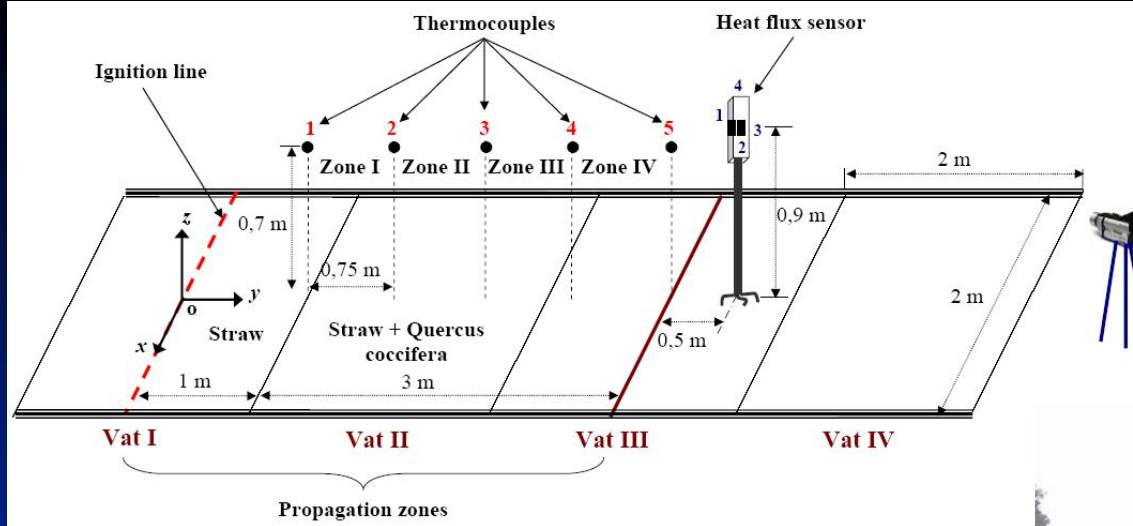
Simplifications mathématiques

Face frontale  $\rightarrow \Phi_a^{th}(Y_j, e_j, h_f, T_f, K_f) = 2K_f \frac{B}{\pi} \int_{Y_j - \frac{e_j}{2}}^{Y_j + \frac{e_j}{2}} \int_0^W T_f^4 \frac{Y}{X^2 + Y^2} \sin \theta_f dX dY$

Faces latérales  $\rightarrow \Phi_l^{th}(Y_j, e_j, h_f, T_f, K_f) = 2K_f \frac{B}{\pi} \int_{Y_j - \frac{e_j}{2}}^{Y_j + \frac{e_j}{2}} \int_0^W T_f^4 \frac{X}{X^2 + Y^2} \sin \theta_f dX dY$



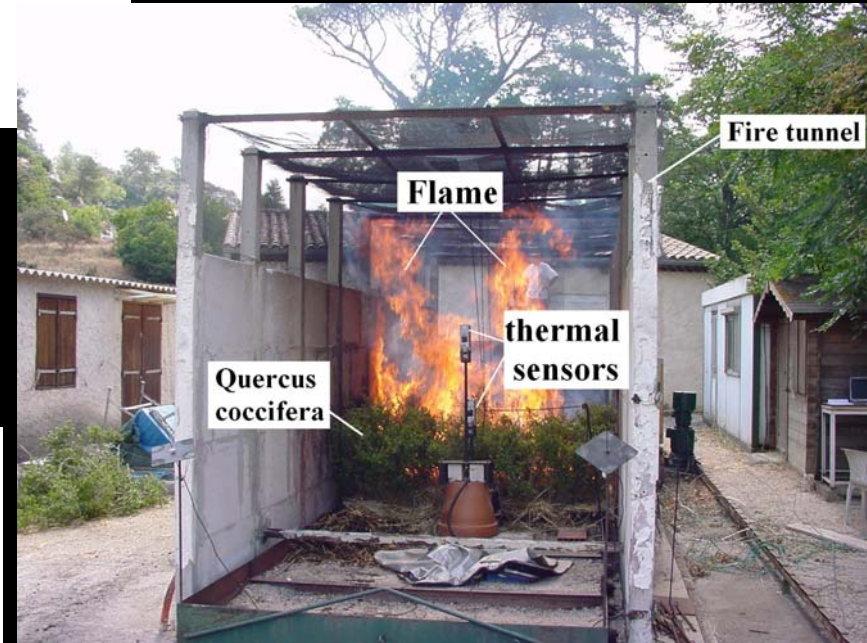
# IV. Expérience du tunnel à feu et résultats



👉 Optimisation de paramètres sur chaque zone



$$S(\eta) = \sum_{j=1}^N (\Phi_a^{th}(\eta_j) - \Phi_1^{\exp}(t_j))^2 + \sum_{j=1}^N \alpha_j^2 (\Phi_l^{th}(\eta_j) - \Phi_2^{\exp}(t_j))^2 + \sum_{j=1}^N \beta_j^2 (\Phi_l^{th}(\eta_j) - \Phi_4^{\exp}(t_j))^2$$





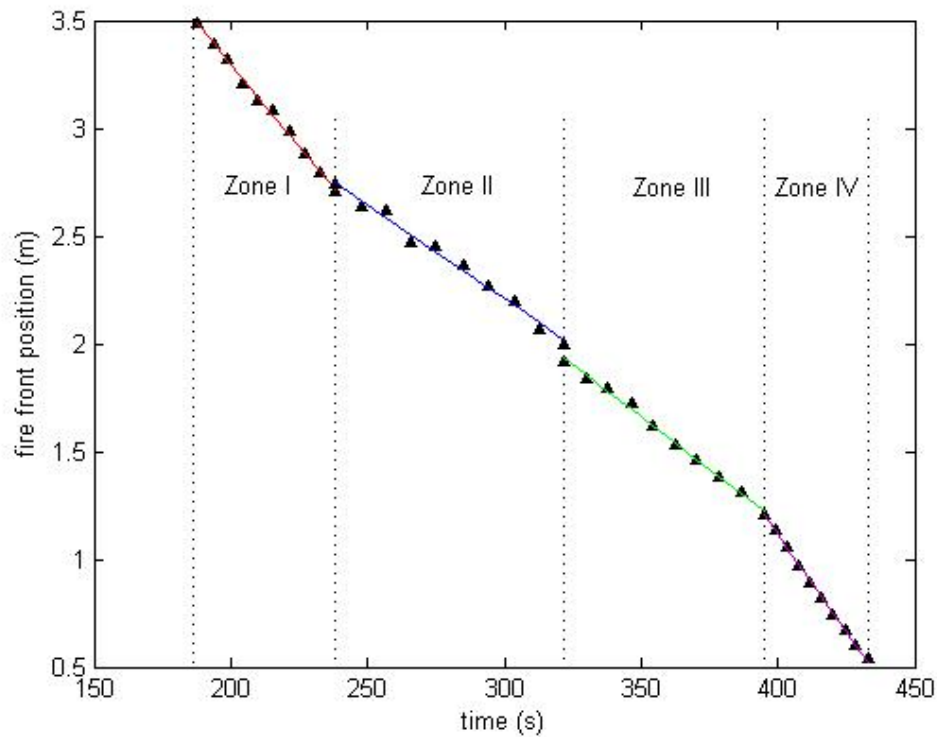
	Flame front positions $Y_j$ [m]									
Zone I (3.5m – 2.75m)	3.49	3.39	3.32	3.21	3.13	3.08	2.99	2.88	2.79	2.71
Zone II (2.75m – 2m)	2.74	2.64	2.62	2.47	2.45	2.36	2.27	2.20	2.07	2.00
Zone III (2m – 1.25m)	1.92	1.84	1.79	1.72	1.62	1.53	1.46	1.38	1.31	1.21
Zone IV (1.25m – 0.5m)	1.21	1.14	1.06	0.97	0.89	0.82	0.74	0.67	0.60	0.54

	Thicknesses of flame $e_j$ [cm]									
Zone I (3.5m – 2.75m)	28	29	30	30	30	30	29	27	25	23
Zone II (2.75m – 2m)	23	20	18	15	14	13	13	14	15	17
Zone III (2m – 1.25m)	17	19	22	26	30	35	41	46	50	50
Zone IV (1.25m – 0.5m)	50	48	45	41	37	33	29	25	21	18

		Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
Flame height $h_f$	Experimental value [m]	1.60			
	Estimated value [m]	1.6	1.59	1.50	1.49
	Relative uncertainty [%]	0	0.63	6.25	6.9
Flame temperature $T_f$	Experimental value [°C]	751			
	Estimated value [°C]	747	752	751	751
	Relative uncertainty [%]	0.53	0.13	0	0
Flame extinction coefficient $K_f$ [cm <sup>-1</sup> ]	Value of Margerit and Séro-Guillaume [6]	0.2			
	Estimated value	0.2	0.2	0.2	0.2

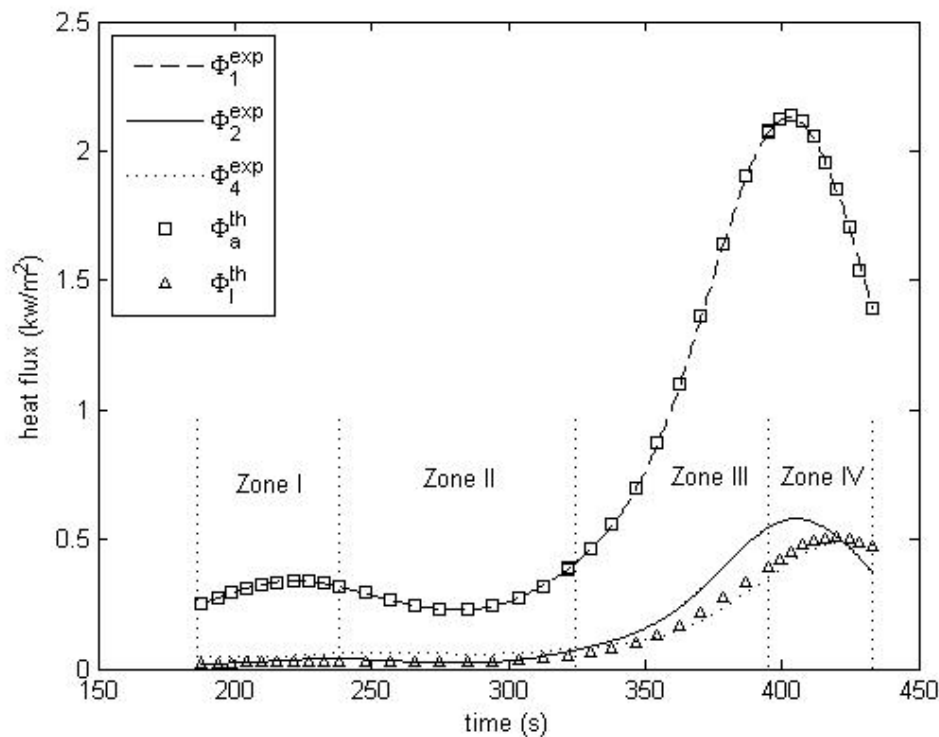
 Bon accord avec les résultats expérimentaux :  $h_f$  et  $T_f$

 Bon accord avec la littérature :  $K_f$



	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
Rate of spread [cm/s]	1.54	0.87	0.97	1.80
Relative uncertainty (%)	2.4	1.9	5.5	8.5

 **Bon accord avec les mesures par thermocouples : ROS**



Bon accord entre les flux expérimentaux et les flux théoriques

Différents résultats obtenus



Validation d'un modèle de flamme simplifié :  $T_f$ ,  $K_f$  et  $h_f$  moyens

# V. Conclusions et perspectives

- Propagation instationnaire d'un front de flamme linéaire
  - Utilisation d'un modèle de flamme simplifié :  $T_f$ ,  $h_f$  et  $K_f$  moyens
  - Validation de ce modèle par des mesures de flux thermiques
  - Résultats obtenus sont prometteurs
- 👉 Validation de la technique proposée par une technique de traitement d'images (Pastor et al. 2006)
- 👉 Application de cette technique sur un front de flamme quelconque

**Merci pour votre attention**