

# **CONTRIBUTION A LA METROLOGIE DES FEUX DE FORETS : COUPLAGE DE DONNEES THERMIQUES ET DE DONNEES OPTIQUES**

# Sommaire

- I. Contexte
- II. Principe du capteur de flux
- III. Traitement d'image
- IV. Couplage du capteur de flux et du traitement d'image
- V. Essais
- VI. Resultas et discussions
- VII. Conclusion

# I. Contexte

- Les feux de forêts ont un impact considérable sur 3 facteurs:
  - ◆ Environnement (Grèce 2007: 200 000 hectares brûlés)
  - ◆ Economie (Australie 2009: 750 habitations détruites)
  - ◆ Homme (Australie 2009: 200 morts, Israël 2010: 40 morts)
- Selon l'OMS les feux de forêts vont augmenter en nombre et en dangerosité à causes des changements climatiques



**Besoin d'une meilleure compréhension du comportement des feux de forêts**

# I. Contexte

- 4 types de modélisations:
  - ◆ Empirique (Rothermel 1972)
  - ◆ Automate cellulaire (Porterie et al. 2005)
  - ◆ Géométrique (Glasa and Halada 2008)
  - ◆ Physique (Séro-Guillaume et al. 2008)
- Le problème majeur d'un modèle physique et le grand nombre de paramètres d'entrées ( $T_f$ ,  $K_f$ , ROS,  $\alpha_f$ ...)

 **Comment obtenir les paramètres d'entrées?**

# I. Contexte

- La meilleure façon est de procéder à des essais grandeur nature mais:
  - ◆ Coûts élevés
  - ◆ Contraintes d'instrumentations
- Pour palier à ce problème les paramètres d'entrées sont obtenus à **l'échelle tunnel à feu** ou à **l'échelle laboratoire**
- Les méthodes expérimentales pour mesurer les paramètres d'entrées sont classés en deux catégories:
  - ◆ Discretes (thermocouples, fils)
  - ◆ **Continues (capteur de flux, traitement d'image)**

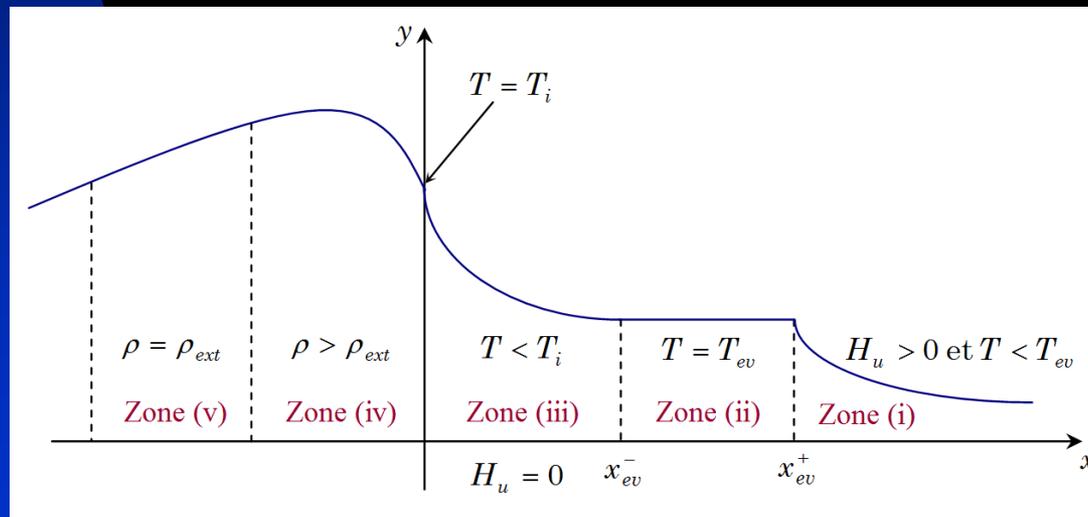
# I. Contexte

- Les techniques de **traitement d'images** ont produit des **résultats encourageant** pour donner les **positions du front de flamme**
- Le capteur de flux a montré son efficacité pour déterminer les paramètres physiques et géométriques de la flamme mais :
  - ◆ Optimisation portant sur de nombreux paramètres
  - ◆ **Le temps de calcul est lié au nombre de paramètres d'entrées**

# I. Contexte

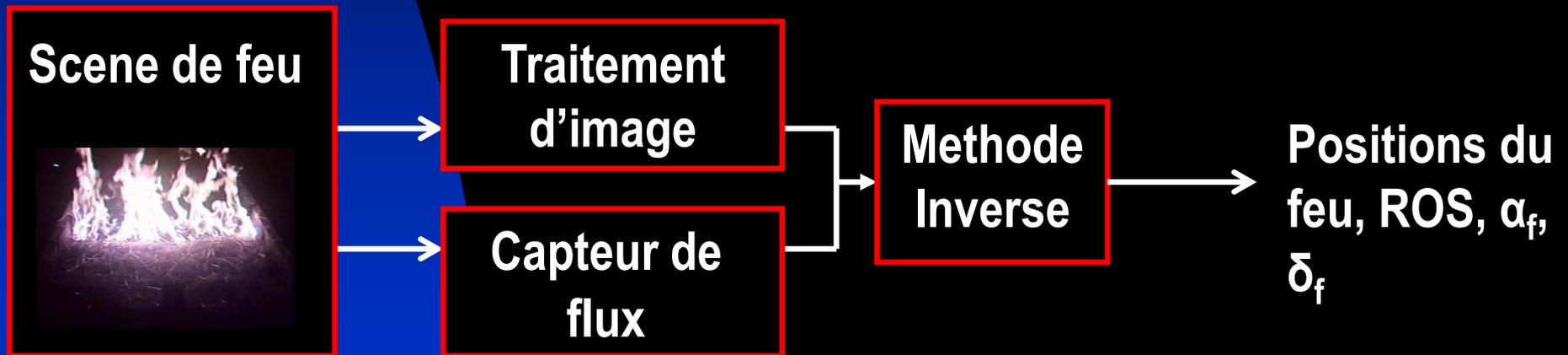
- Le modèle physique avec lequel on travaille :
- Définir la problématique ici (calibration/validation)

$$(1 - \chi) \rho_p (C_s + H_u C_l) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h(T_a - T) + (1 - \chi) \rho_p \frac{\partial H_u}{\partial t} L_{ev} \delta_{T=T_{ev}} + \Phi$$



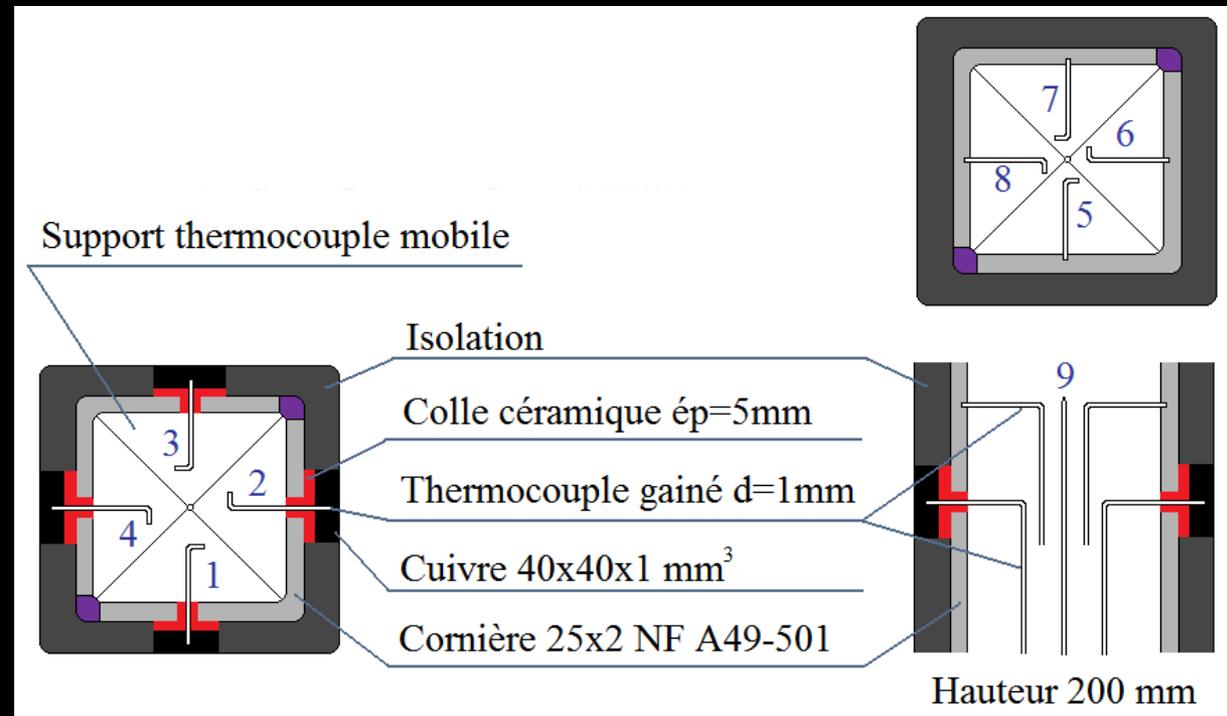
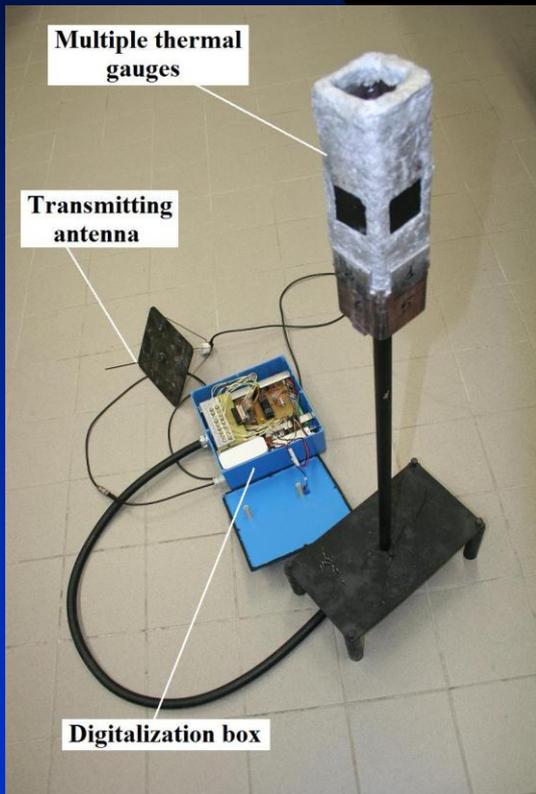
# I. Contexte

👉 L'objectif de ce travail est de **coupler les mesures du capteur de flux** avec celles du **traitement d'image** afin de réduire le nombre de paramètres à optimiser



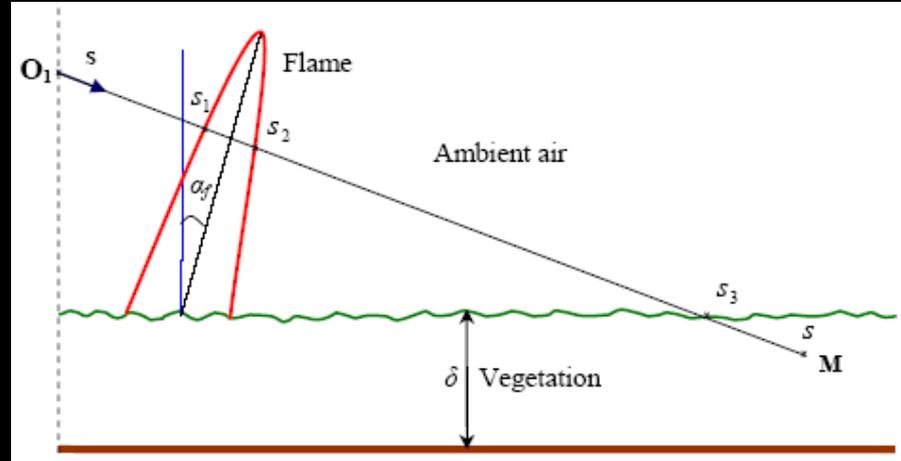
# II. Principe du capteur de flux

## ■ Le capteur de flux : la conception



# II. Principe du capteur de flux

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



## II. Principe du capteur de flux

- Modélisation du flux thermique émit par la flamme et reçu par le capteur:

- ◆ Face frontale :

$$\Phi_a^{th}(\mathbf{M}) = \frac{B}{\pi} \int_{-W}^W K_f T_f^4 \ln \left( \frac{\sqrt{(y_0 - y_f^F)^2 + X^2} l_f + \sqrt{(y_0 - y_f^B)^2 + X^2 + l_f^2}}{\sqrt{(y_0 - y_f^B)^2 + X^2} l_f + \sqrt{(y_0 - y_f^F)^2 + X^2 + l_f^2}} \right) dX$$

- ◆ Faces latérales:

$$\Phi_l^{th}(\mathbf{M}) = \frac{B}{\pi} \int_{y_0 - y_f^B}^{y_0 - y_f^F} K_f T_f^4 \ln \left( \frac{Y l_f + \sqrt{Y^2 + W^2 + l_f^2}}{\sqrt{Y^2 + W^2} l_f + \sqrt{Y^2 + l_f^2}} \right) dY$$

# III. Traitement d'image

- 4 étapes, Pastor et al. (2006) :
  - ◆ Récupérer les images de la vidéo d'une propagation d'incendie
  - ◆ Détermination d'un repère global
  - ◆ Segmentation des lignes du front de flamme
  - ◆ Calcul des positions du front de flamme

# III. Traitement d'image

- Pour déterminer quel algorithme nous convient le mieux nous avons utilisé le critère de Pratt, ce critère étant le meilleur compromis entre la sur et la sous-détection de contour (Chabrier, 2008):

$$PRA(I_{ref}, I_{seg}) = \frac{1}{\max \{card(I_{ref}), card(I_{seg})\}} \times \sum_{k=1}^{card(I_{seg})} \frac{1}{1 + d^2(k)}$$

Avec:  $I_{seg}$  le contour segmenté,  $I_{ref}$  le contour de référence provenant de la vérité terrain et  $d(k)$  la distance la plus proche entre le  $k^{th}$  pixel de  $I_{seg}$  et le contour de  $I_{ref}$ .

# III. Traitement d'image

Rudz et al., Measurement Science and Technology 20, 2009.



Image originale



Vérité Terrain



Ko (2009)

| Segmentation method | Ko (2009) | Méthode 2 | Méthode 3 | Méthode 4 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PRA                 | 0.503     | 0.373     | 0.116     | 0.261     |

# III. Traitement d'image

- Méthode de Ko et al. (2009)
  - ◆ Modèle probabiliste dans l'espace couleur RVB
  - ◆ Les canaux sont supposés indépendants

$$p_i(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} \exp\left(-\frac{(I_i(x, y) - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), i \in \{R, G, B\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p(I(x, y)) = p_R(I_R(x, y)) \times p_G(I_G(x, y)) \times p_B(I_B(x, y)) \\ \text{si } p(I(x, y)) > \tau \\ \text{alors : } I(x, y) \text{ est un pixel feu} \\ \text{sinon : } I(x, y) \text{ n'est pas un pixel feu} \end{array} \right.$$

# IV. Couplage du capteur de flux et du traitement d'image

- Le problème est ici assimilé à une minimisation bornée :

minimiser  $J(\xi)$

entre  $\xi_l \leq \xi \leq \xi_u$

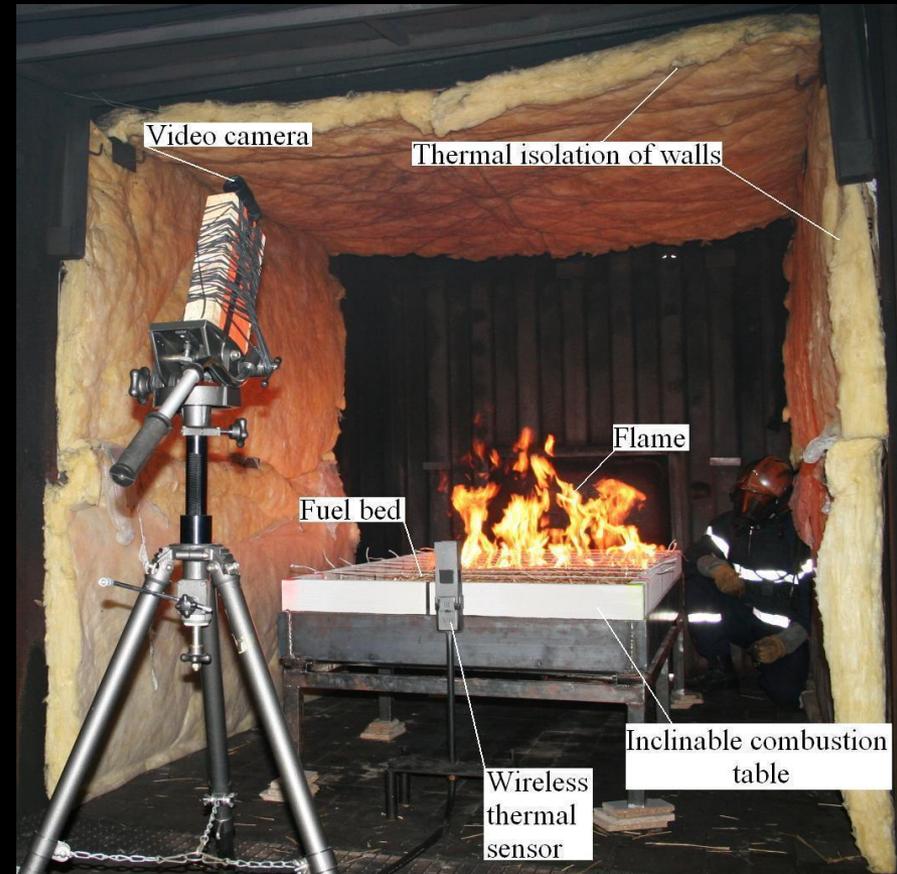
avec  $J(\xi) = \frac{1}{\sum_{k=1,2,4} \|\Phi_k^{\text{exp}}\|} \left( \|\Phi_a^{\text{th}}(\xi) - \Phi_1^{\text{exp}}\| + \|\Phi_l^{\text{th}}(\xi) - \Phi_2^{\text{exp}}\| + \|\Phi_l^{\text{th}}(\xi) - \Phi_4^{\text{exp}}\| \right)$

avec

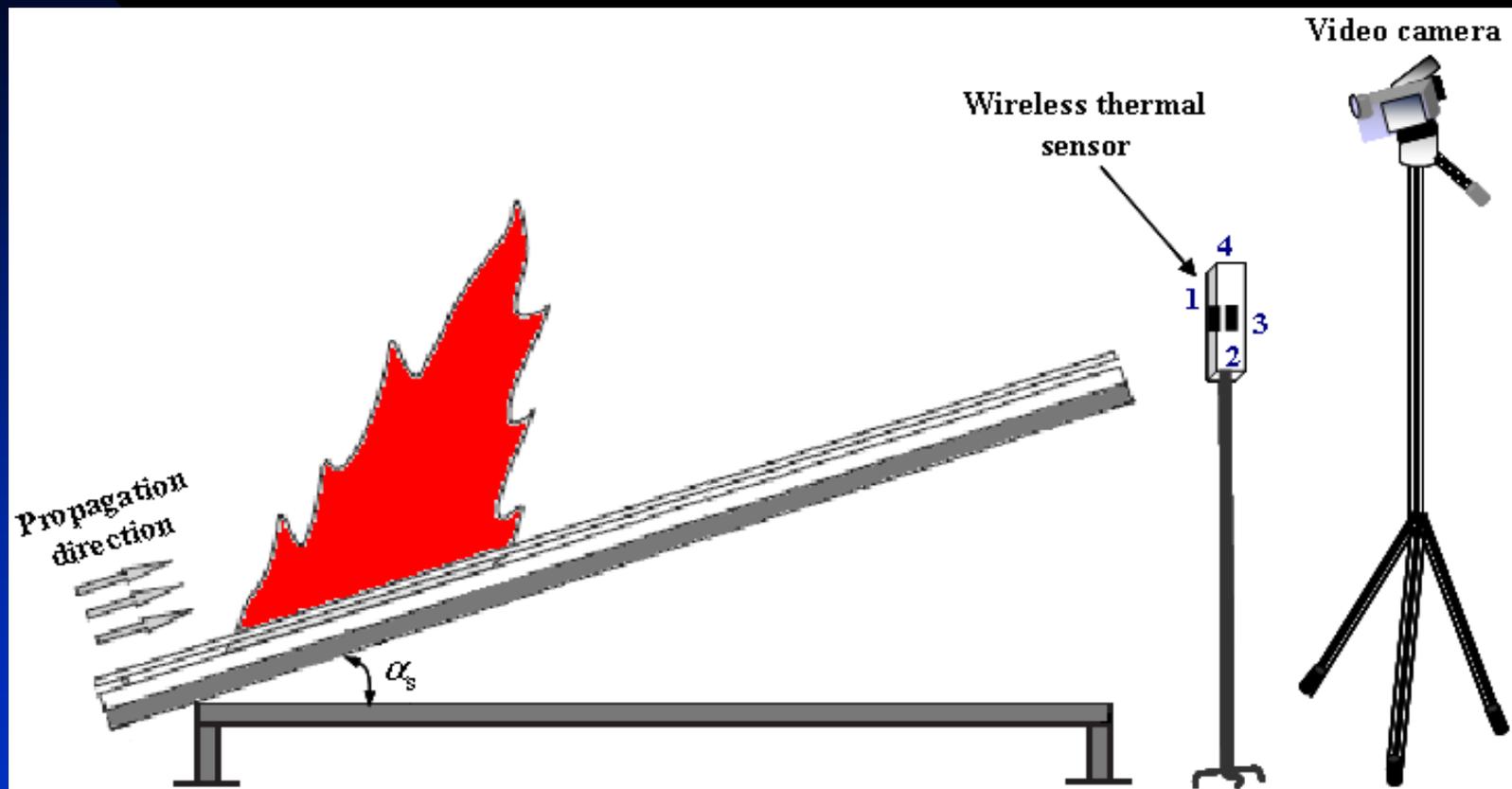
$$\xi = (y_{f_1}^k, y_{f_2}^k, \dots, y_{f_N}^k, l_f, \phi_f)$$

# V. Essais

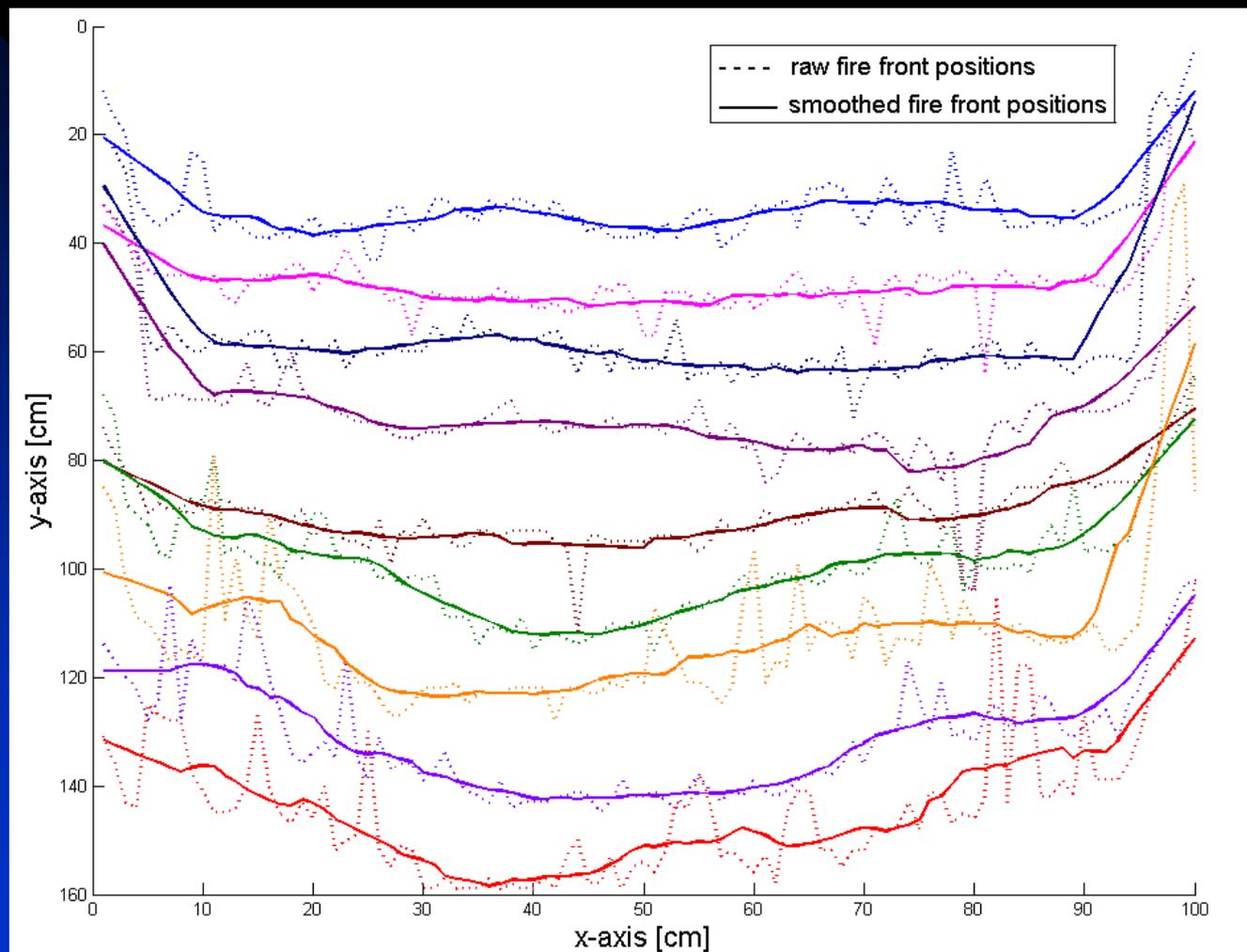
- Densité de  $1.2 \text{ kg.m}^{-2}$  de paille
- Surface de brûlage de  $2 \text{ m}^2$  ( $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) avec une profondeur de  $0.2 \text{ m}$ .
- Camera video (640x480, 30 images/s)



# V. Essais



# VI. Resultas et discussions

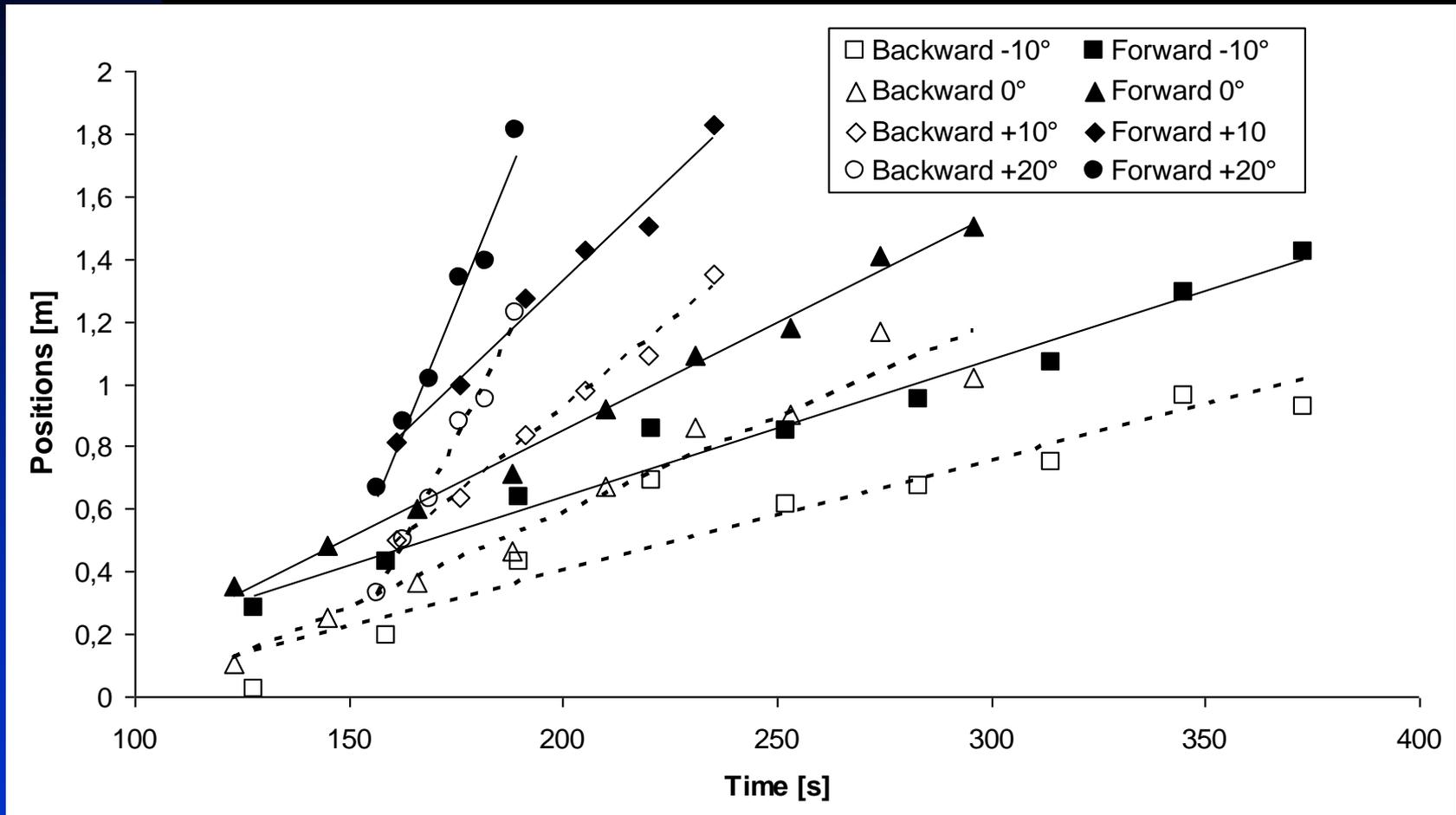


# VI. Resultas et discussions

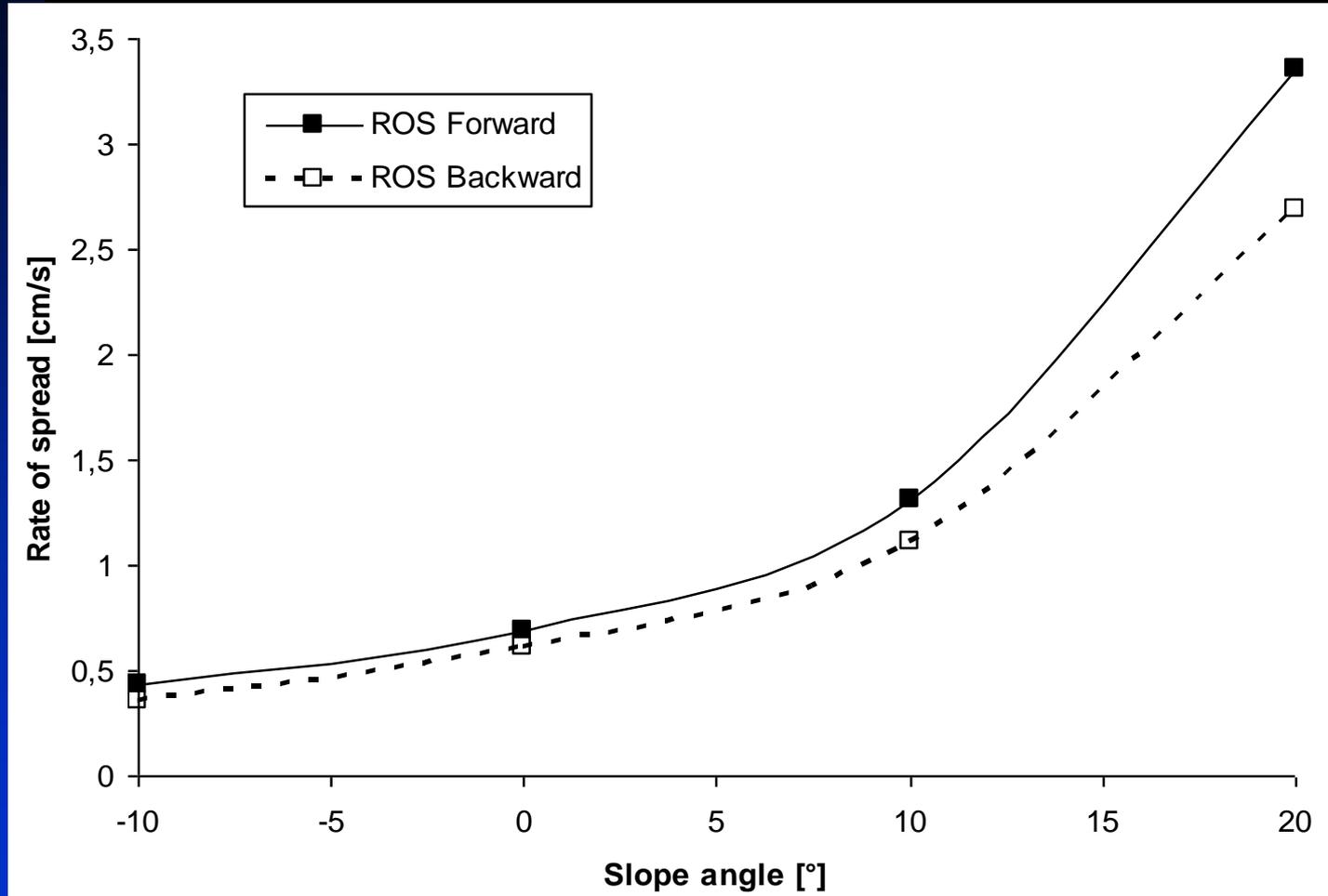
Rudz et al., Fire Technology 47, pp. 491-505, 2011.

| Pente [ ° ]   | - 10  | 0     | +10    | +20    |
|---|-------|-------|--------|--------|
| Longueur de flamme $l_f$ [cm]                                       | 53.5  | 65.2  | 116.5  | 112.0  |
| Flux radiatif volumique de la flamme $\phi_f$ [kW.m <sup>-3</sup> ] | 7.630 | 7.680 | 24.023 | 40.552 |
| Epaisseur moyenne de la flamme $\delta_f$ [cm]                      | 25.9  | 27.8  | 40.8   | 42.9   |

# VI. Results and Discussion



# VI. Resultas et discussions



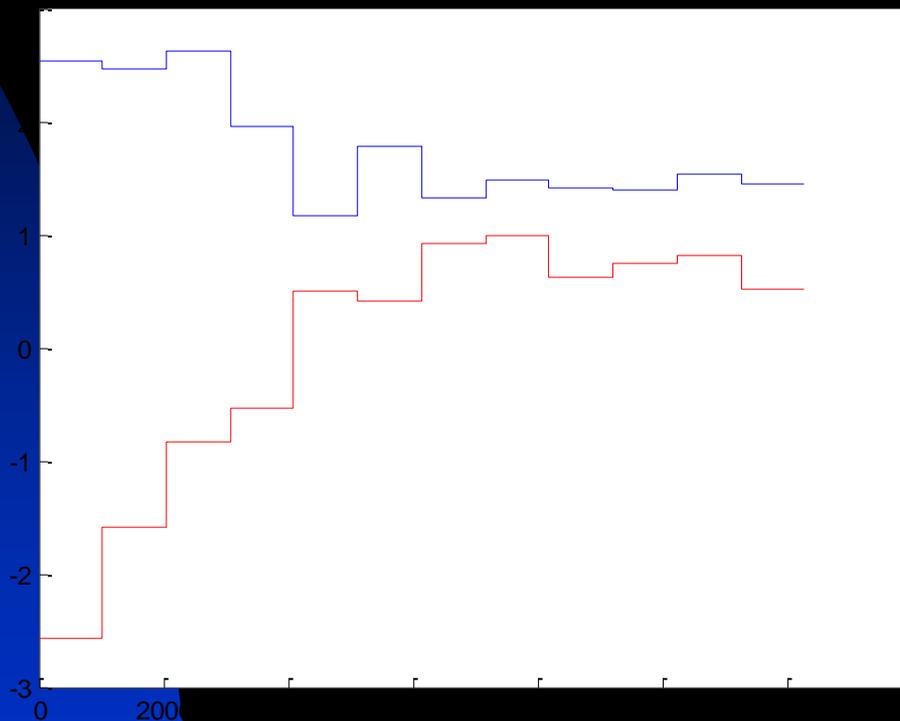
# VII. Conclusion

- Un modèle de flamme avec des propriétés thermiques et radiatives moyennes a été développé et simplifié analytiquement à partir de l'équation de transfert radiatif
- Les équations obtenues mènent à une minimisation plus simple de la différence entre le flux thermique théorique et expérimentale

# VII. Conclusion

- Le **couplage** du capteur de flux avec une méthode de traitement d'image donnent des **résultats satisfaisants** au regard de la littérature
- Le **temps de calcul** avec le nouvel outil métrologique est au **moins deux fois plus rapide** qu'avec celui sans le couplage

# VII. Conclusion



GDR Incendies, 8 et 9 Décembre  
2011, Nancy

thanks for your attention!