

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, α_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)**

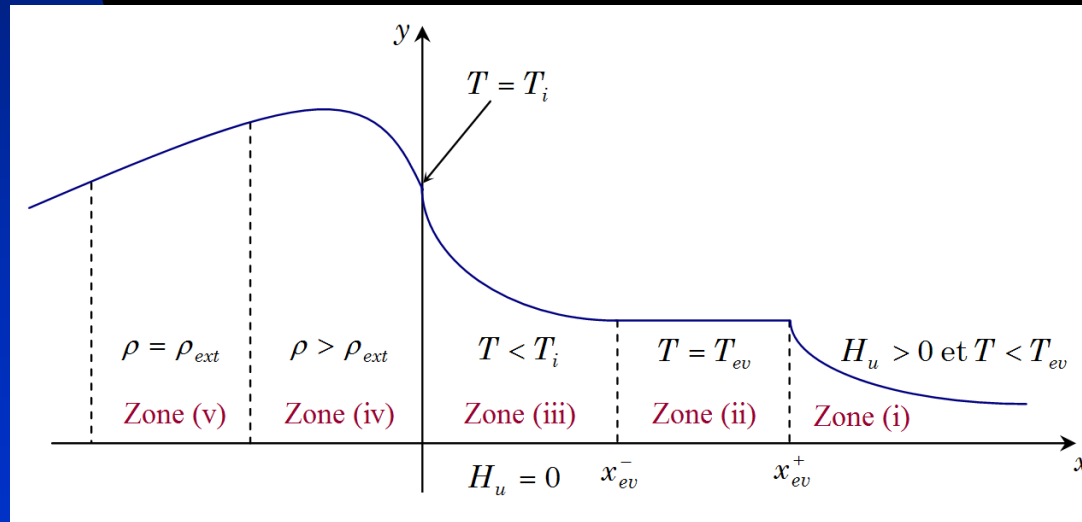
I. Contexte

- 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

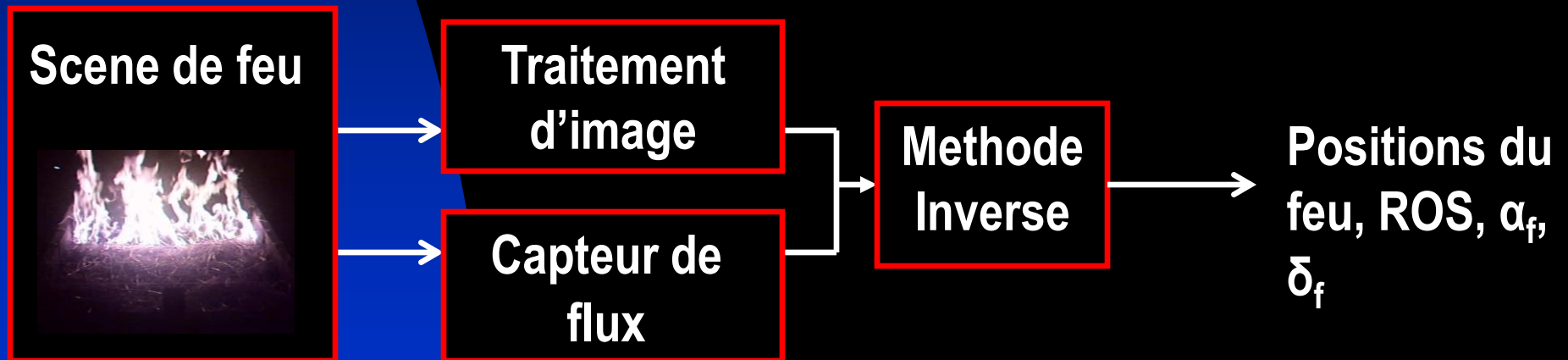
- Le modèle physique avec lequel on travaille :
- Définir la problématique ici (calibration/validation)

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



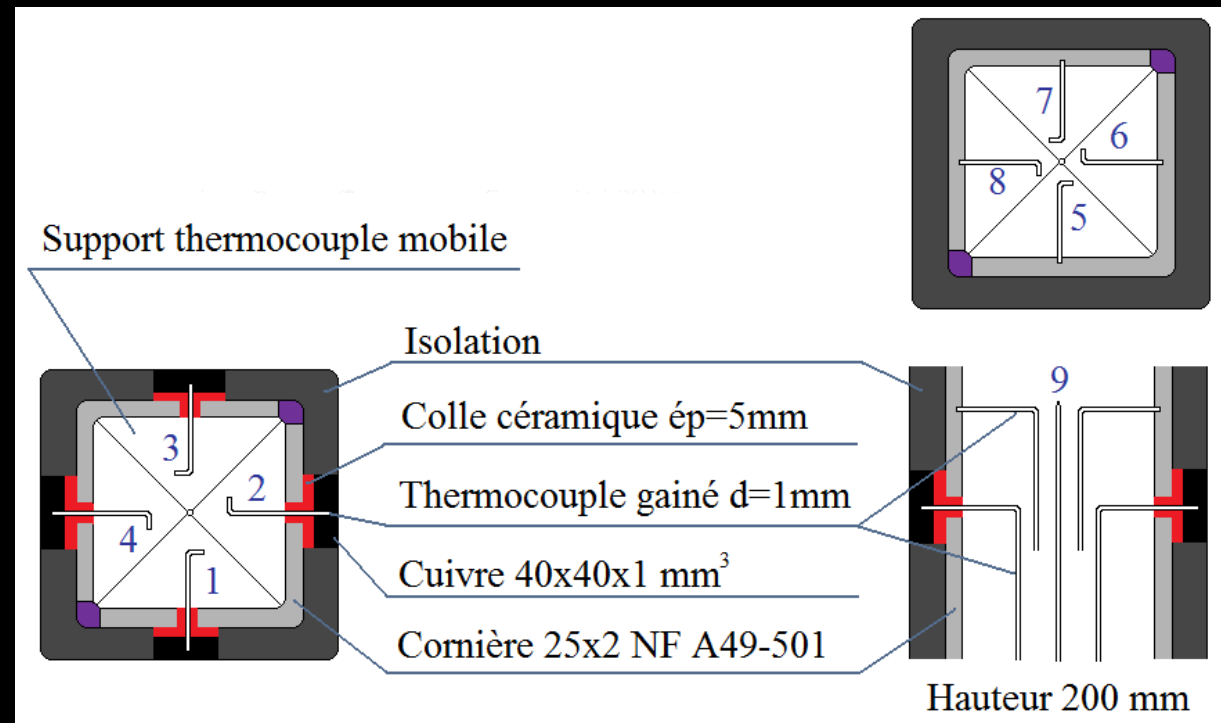
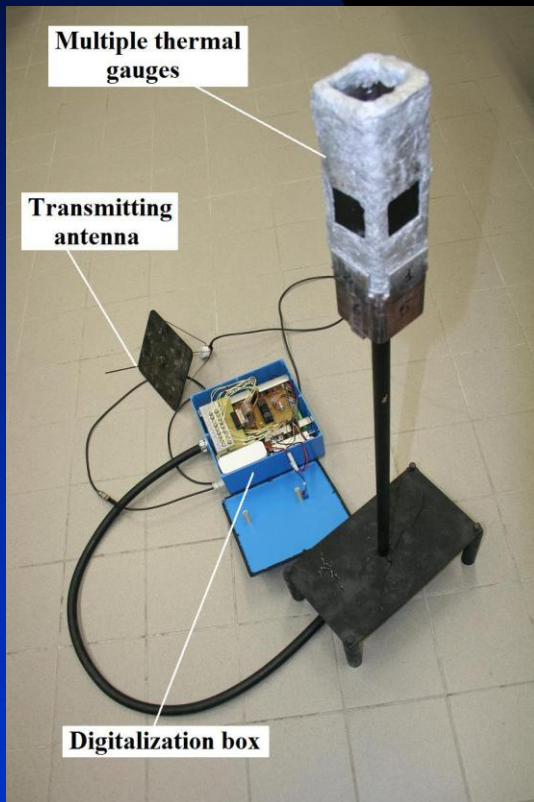
I. Contexte

👉 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



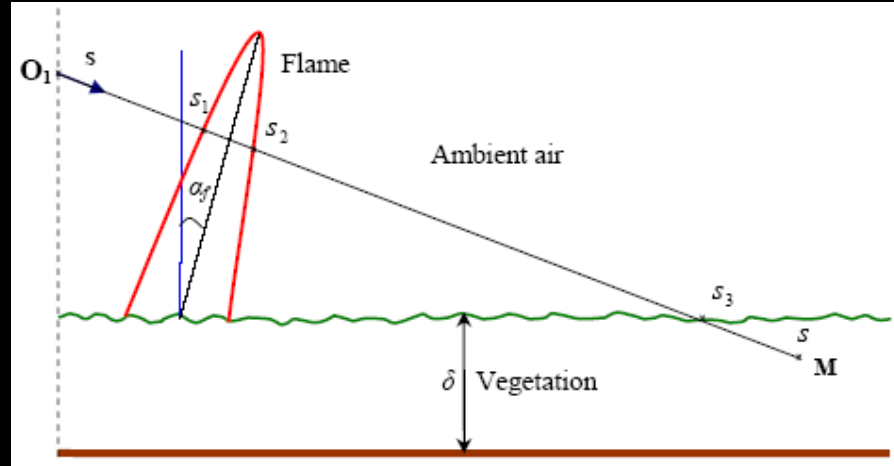
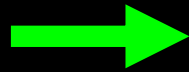
II. Principe du capteur de flux

■ 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 $\xi_l \leq \xi \leq \xi_u$

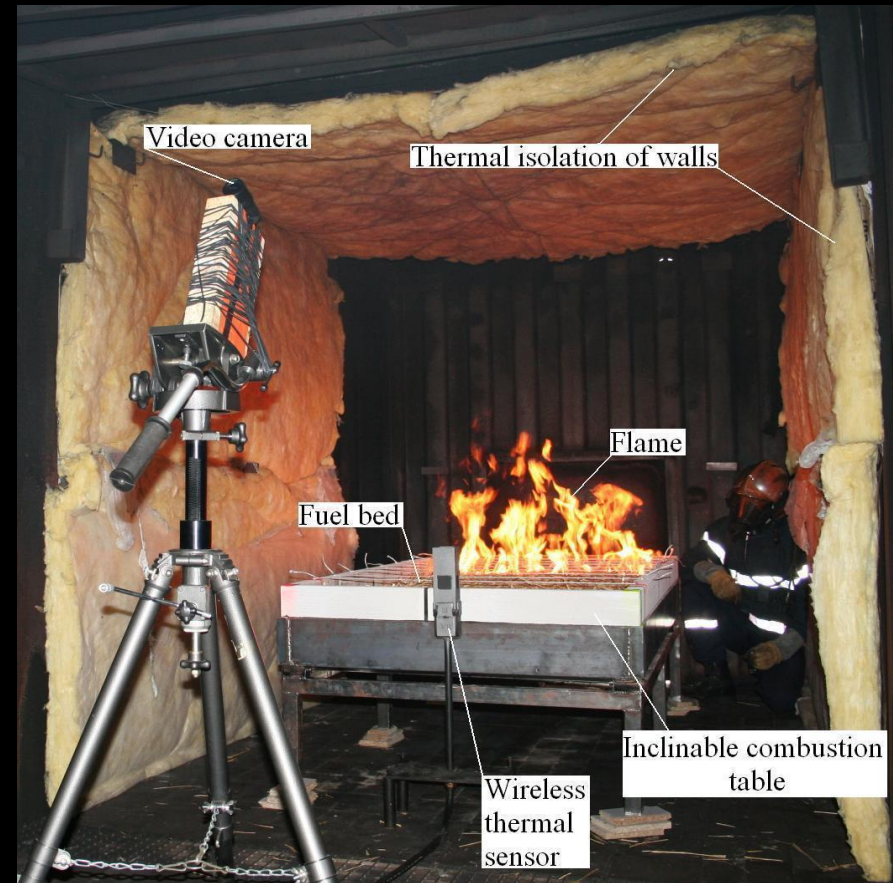
avec $J(\xi) = \frac{1}{\sum_{k=1,2,4} \|\Phi_k^{\text{exp}}\|} \left(\|\Phi_a^{\text{th}}(\xi) - \Phi_1^{\text{exp}}\| + \|\Phi_l^{\text{th}}(\xi) - \Phi_2^{\text{exp}}\| + \|\Phi_l^{\text{th}}(\xi) - \Phi_4^{\text{exp}}\| \right)$

avec

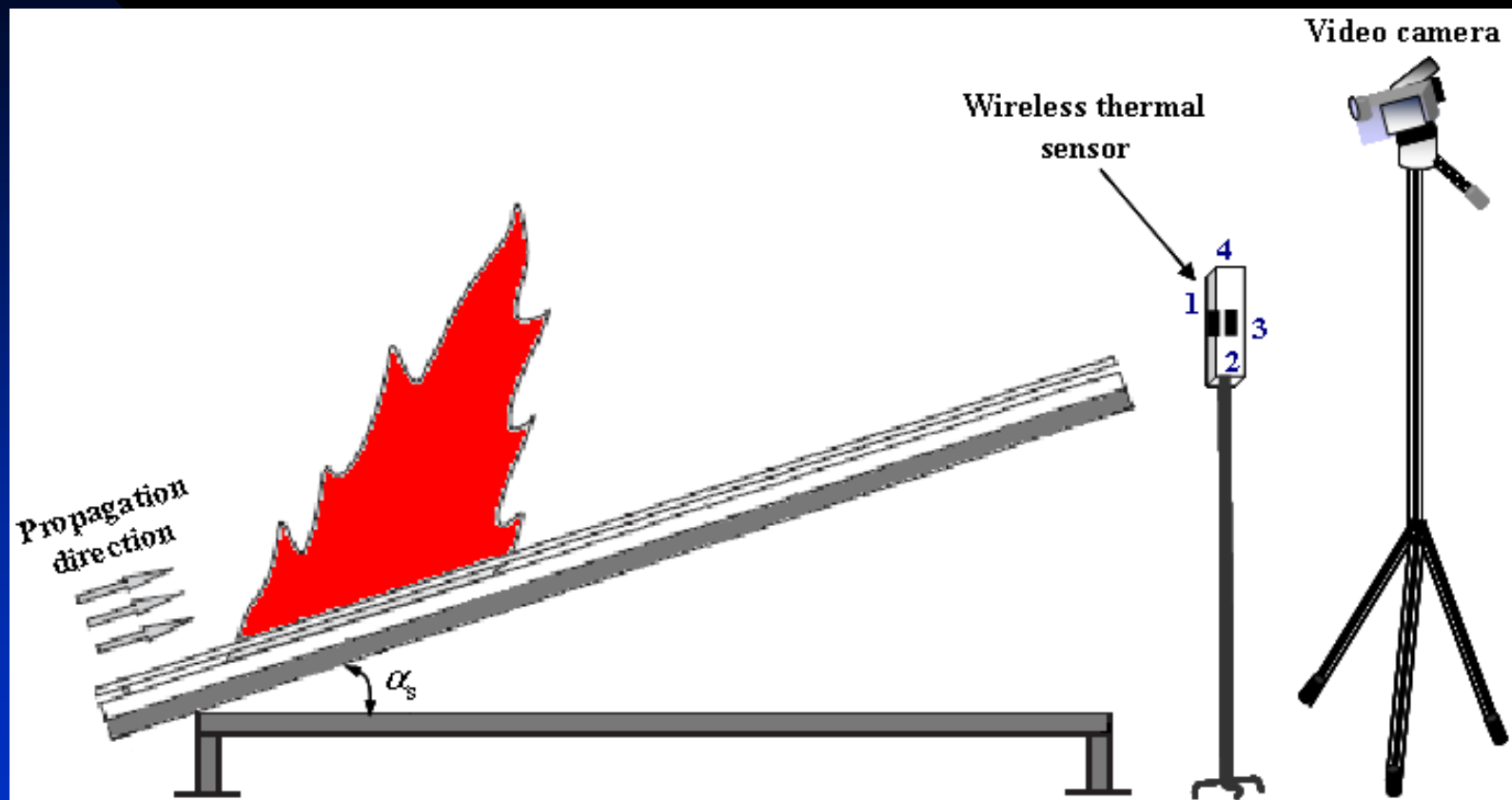
$$\xi = (y_{f_1}^k, y_{f_2}^k, \dots, y_{f_N}^k, l_f, \phi_f)$$

V. Essais

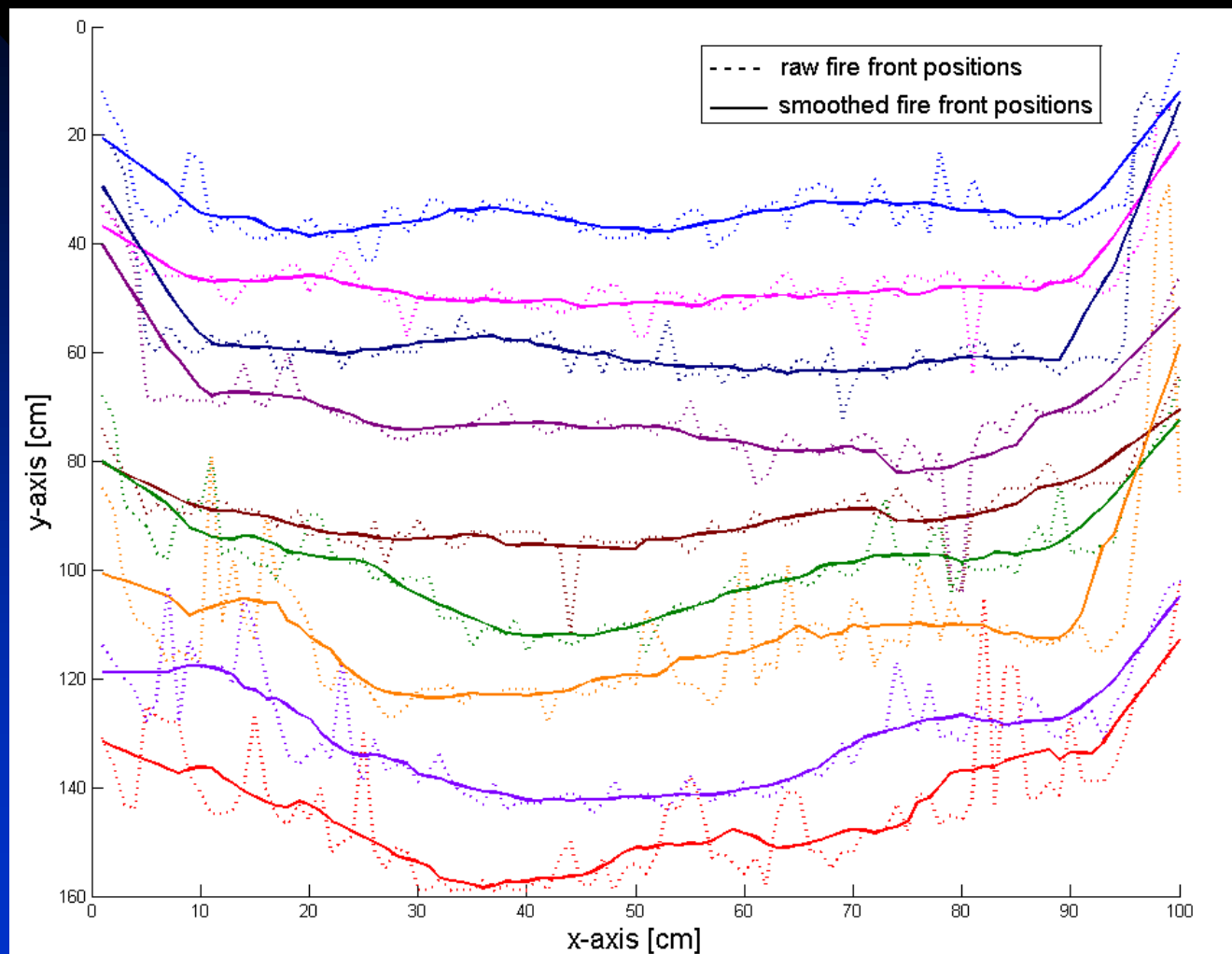
- Densité de 1.2 kg.m^{-2} de paille
- Surface de brûlage de 2 m^2 ($2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) avec une profondeur de 0.2 m .
- Camera video (640×480 , 30 images/s)



V. Essais



VI. Resultas et discussions

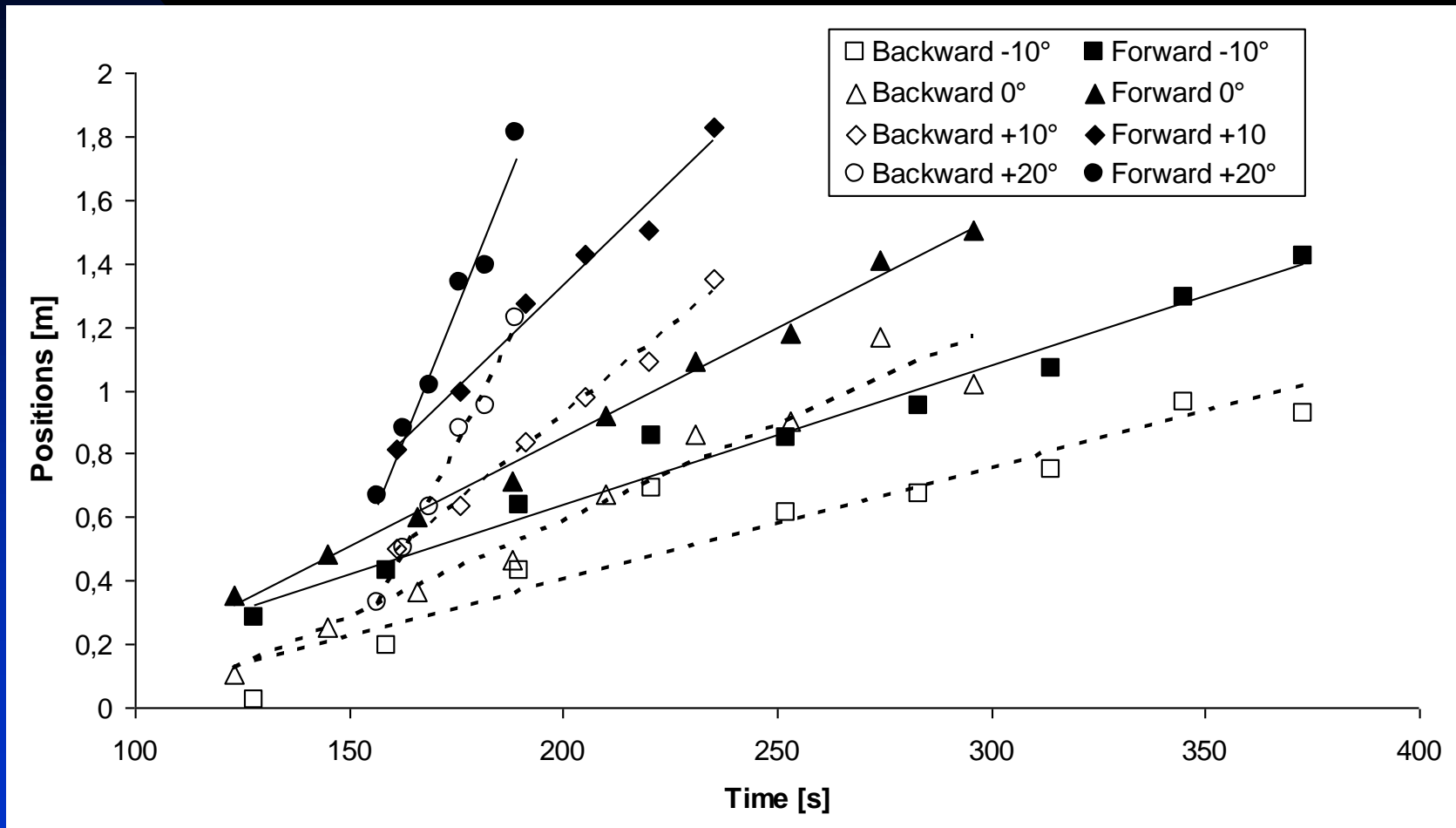


VI. Resultas et discussions

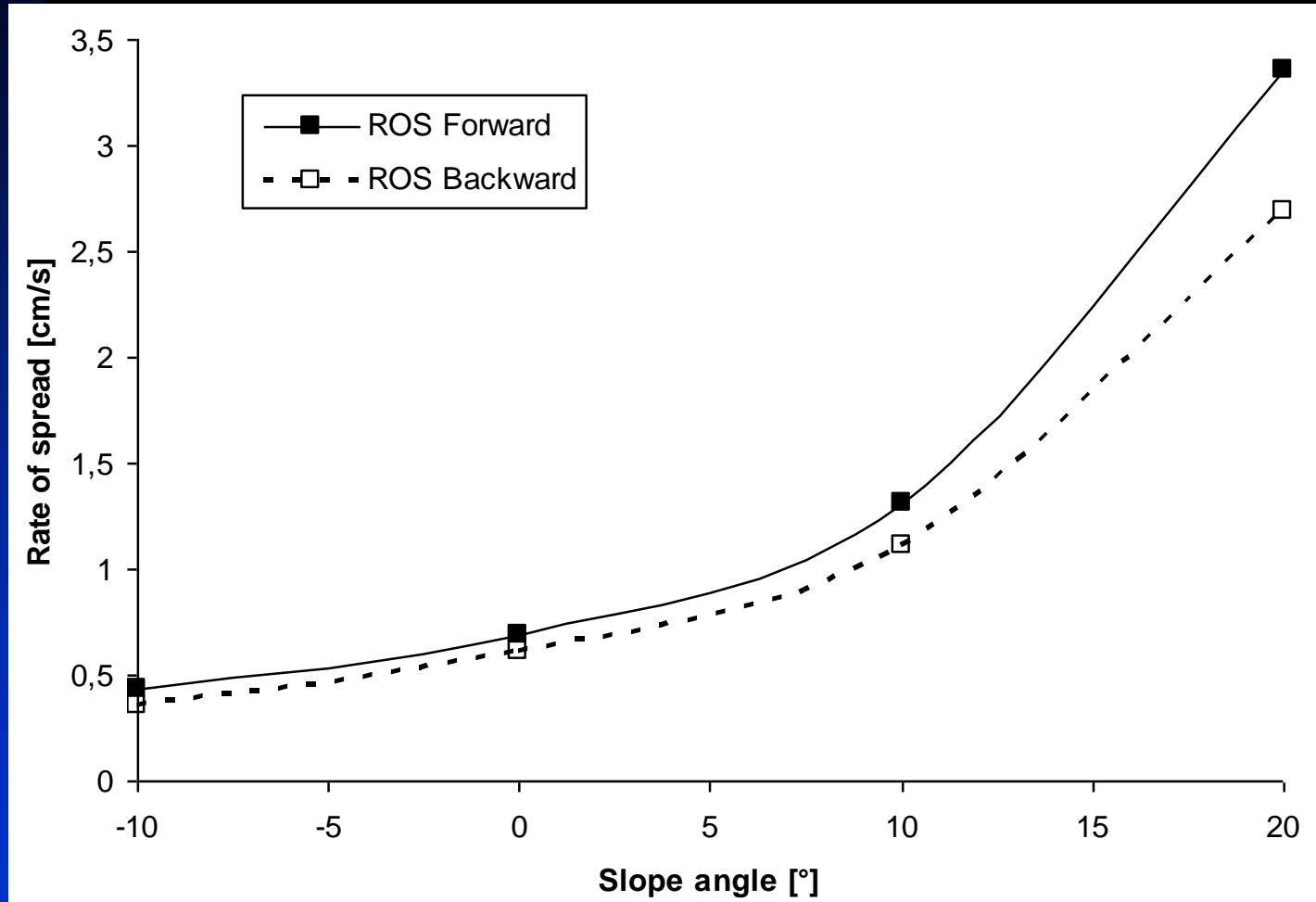
Rudz et al., Fire Technology 47, pp. 491-505, 2011.

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 ϕ_f [kW.m ⁻³]	7.630	7.680	24.023	40.552
Epaisseur moyenne de la flamme δ_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

thanks for your attention!