

# Mesures de propriétés de flammes et modélisation simplifiée du rayonnement

Giacomo Erez<sup>1,2</sup>   Gilles Parent<sup>2</sup>   Mathieu Suzanne<sup>1</sup>  
Anthony Collin<sup>2</sup>   Pascal Boulet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCPP)

<sup>2</sup>Laboratoire Énergies, Mécanique Théorique et Appliquée (LEMETA)

GDR Feux 7 juin 2019

- 1 Introduction
- 2 Géométrie de la flamme
- 3 Émission de la flamme
- 4 Modèle de rayonnement
- 5 Comparaisons à l'expérience
- 6 Conclusions

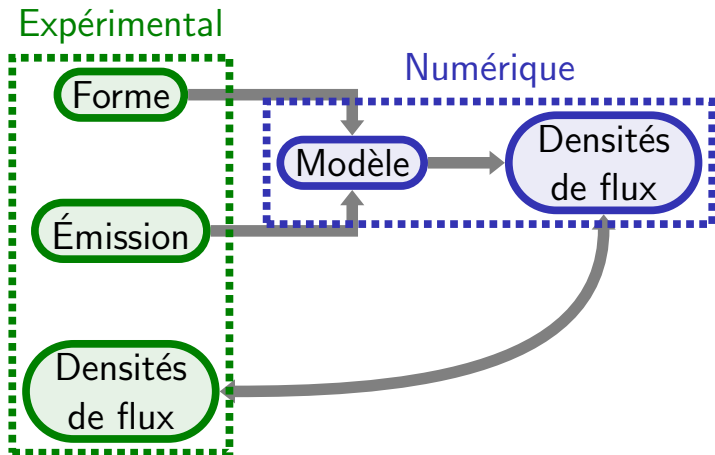
- 1 Introduction
- 2 Géométrie de la flamme
- 3 Émission de la flamme
- 4 Modèle de rayonnement
- 5 Comparaisons à l'expérience
- 6 Conclusions

## Besoin

- Transferts thermiques pilotent la pyrolyse : entretien de la combustion et propagation [1]
- Rayonnement dominant à l'échelle « incendie » [2] : importance de bien le décrire

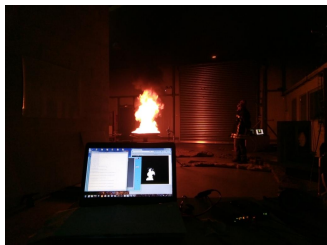
## Exemple d'application

- Thèse sur modélisation terme source : quel *MLR* dans FDS ?
- Approche « modèle thermique » [3, 4] :  $MLR = f(t, \phi)$
- Focus sur le rayonnement (p. ex. essais cône calorimètre)



## Foyers kérosène exploités ici

- Moyenne échelle :** 30, 50 et 70 cm de large (bacs carrés), réalisés à PROMETHEI ( $20 \times 15 \times 7 \text{ m}^3$ )
- Grande échelle :** 70, 100, 175 et 250 cm de large (bacs carrés), réalisés à ADP ( $300 \times 50 \times 17 \text{ m}^3$ )
- Métrologie :** balance, caméras, fluxmètres, spectromètre et opacimètre infrarouges



Forme

# Géométrie de la flamme : données

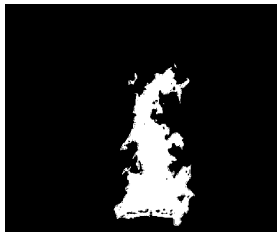
Image brute



Image seuillée

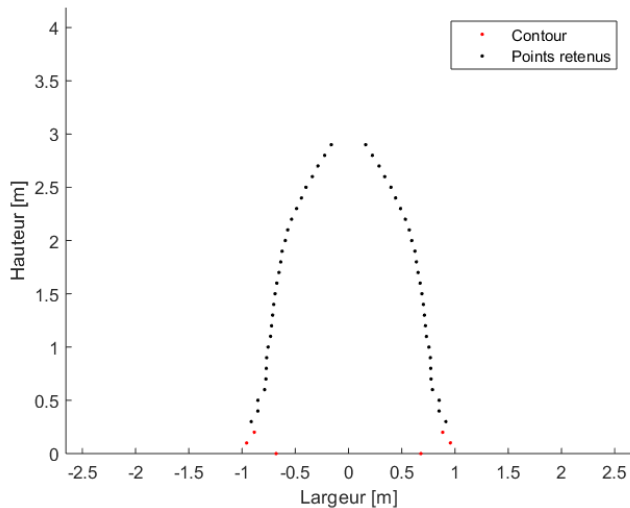


Contour



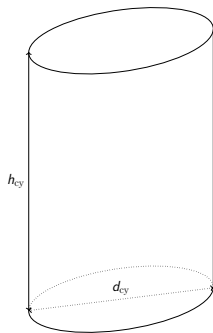


## Contour expérimental médian

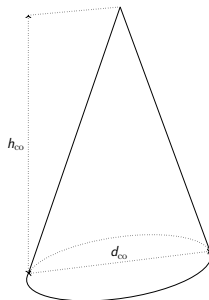


## Ajustement des contours à l'aide de formes simples

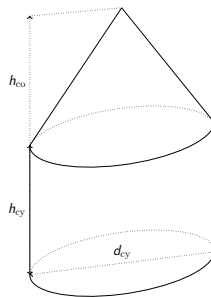
cylindre



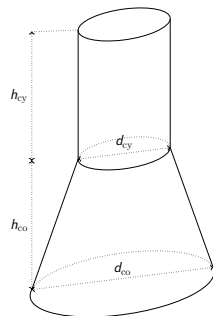
cône



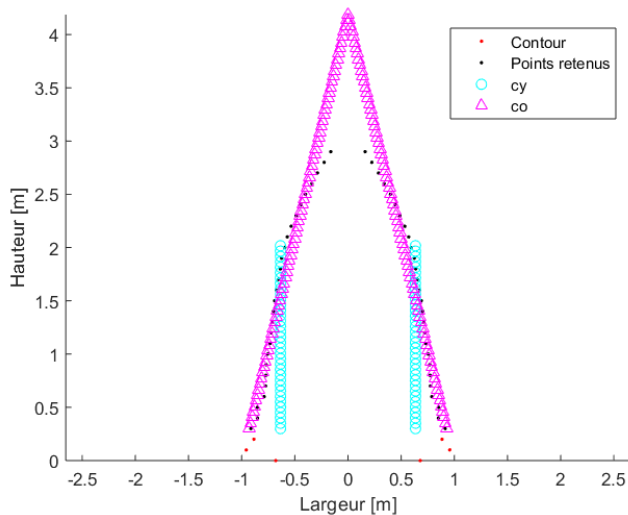
cône sur  
cylindre



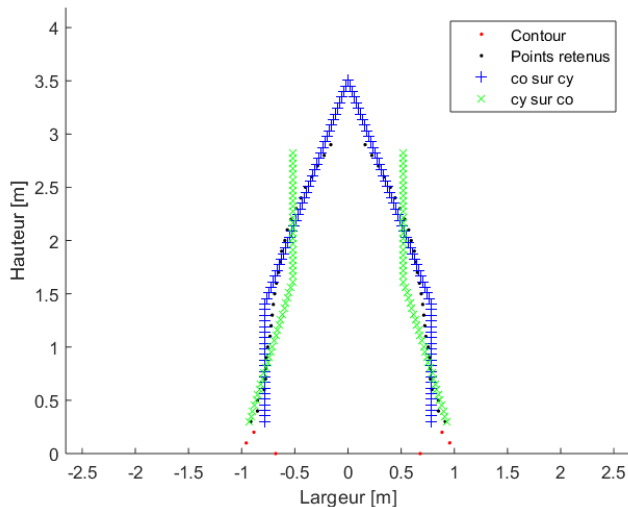
cylindre sur  
cône



## cylindre et cône

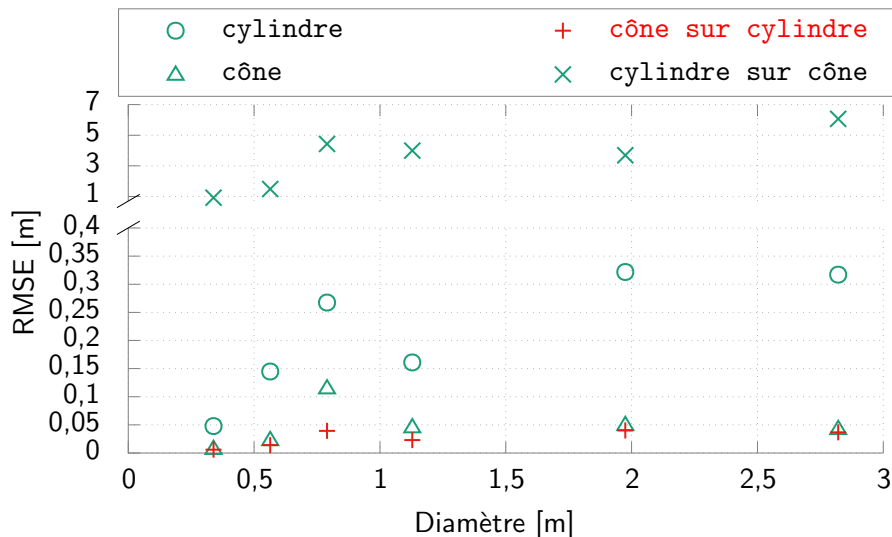


cône sur cylindre et cylindre sur cône



# Géométrie de la flamme : traitement

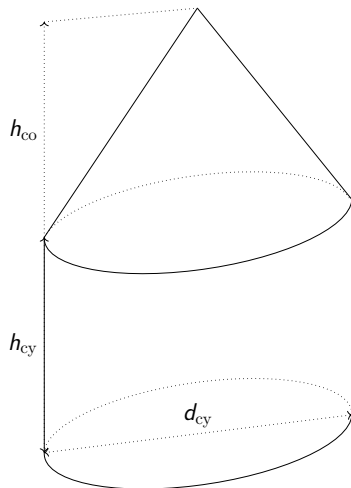
Qualité de l'ajustement pour chaque forme, 1 essai/taille



## Pour chaque taille de foyer

Trois paramètres :

- $d_{cy}$
- $h_{cy}$
- $h_{co}$



## Forme

### Forme simplifiée

- Basée sur des images visibles
- Profils de flamme expérimentaux ajustés avec 4 formes simples
- Choix par rapport au RMSE : pour le kérosène, cône sur cylindre
- Paramètres  $d_{cy}$ ,  $h_{cy}$  et  $h_{co}$  pour chaque taille de foyer

Forme

Émission



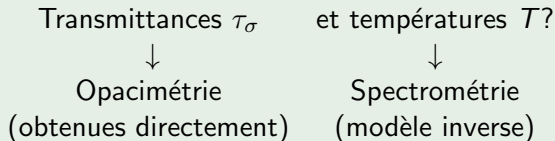
# Émission de la flamme : principe

## Modèle d'émission volumique pour les suies

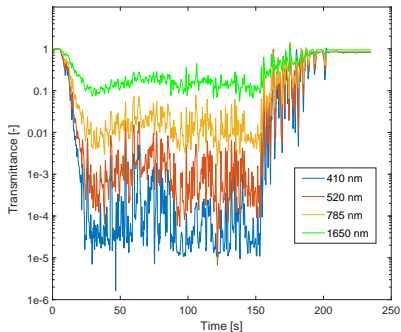
Milieu homogène isotherme non-diffusant *équivalent* [5, 6, 7] :

$$L_{\sigma} = (1 - \tau_{\sigma}(e)) L_{\sigma}^{\text{CN}}(T)$$

## Deux grandeurs : deux mesures

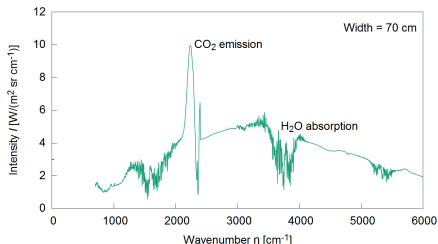


## Transmittances (foyer 70 cm)



$$\tau(\sigma_i) \rightarrow \tau_\sigma(e) = f(\alpha, \beta_0, e)$$

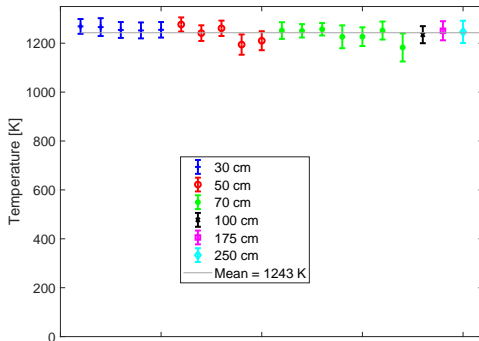
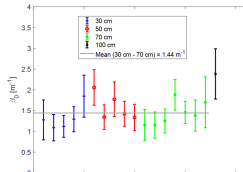
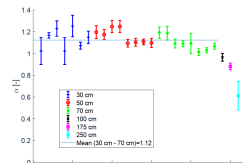
## Luminance (foyer 70 cm)



$$T \leftarrow \frac{L_\sigma = (1 - \tau_\sigma(e)) L_\sigma^{\text{CN}}(T)}{L_\sigma}$$

# Émission de la flamme : résultats

$$L_{\sigma} = (1 - \tau_{\sigma}(e)) L_{\sigma}^{\text{CN}}(T) \text{ avec } \tau_{\sigma}(e) = f(\beta_0, \alpha, e)$$

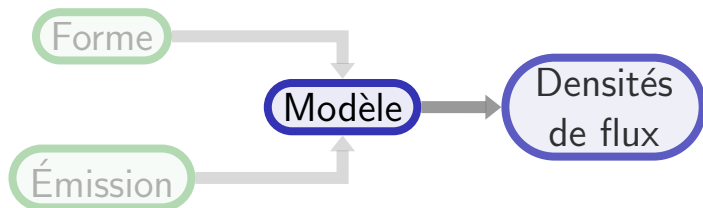


Forme

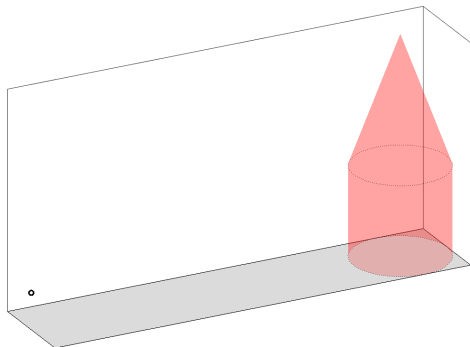
Émission

## Milieu équivalent

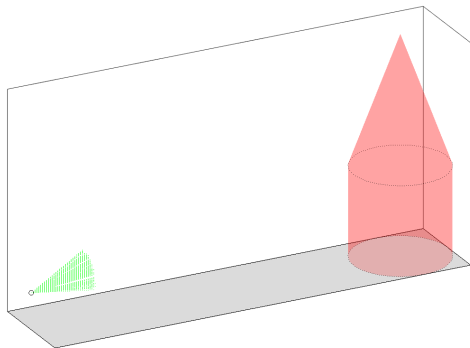
- Basé sur mesures opacimétrie et spectrométrie
- $\tau(\sigma_i) \rightarrow \tau_\sigma(e)$  et  $T \leftarrow L_\sigma$
- Paramètres  $\alpha$ ,  $\beta_0$  et  $T$  pour le kérosène



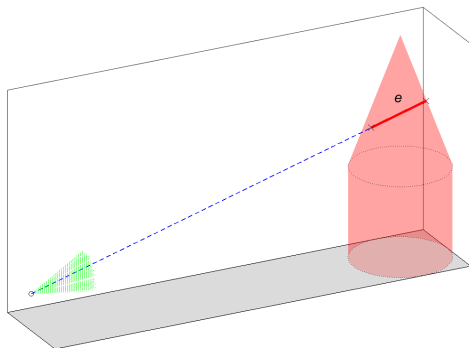
Géométrie (capteur et flamme)  
forme simplifiée cône sur cylindre, avec  $d_{cy}$ ,  $h_{cy}$  et  $h_{co}$



Lancer de rayons depuis le capteur (méthode réciproque)  
tirage aléatoire des directions

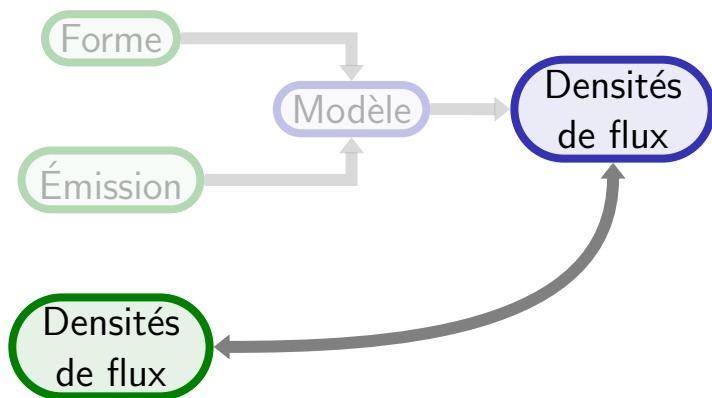


Distance parcourue dans la flamme ( $e$ ) donne puissance/quantum  
 $L_\sigma = (1 - \tau_\sigma(e)) L_\sigma^{\text{CN}}(T)$ , avec  $\tau_\sigma(e) = f(\alpha, \beta_0, e)$  et  $T$

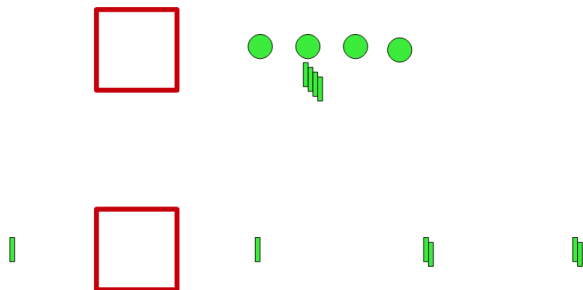




# Comparaisons à l'expérience

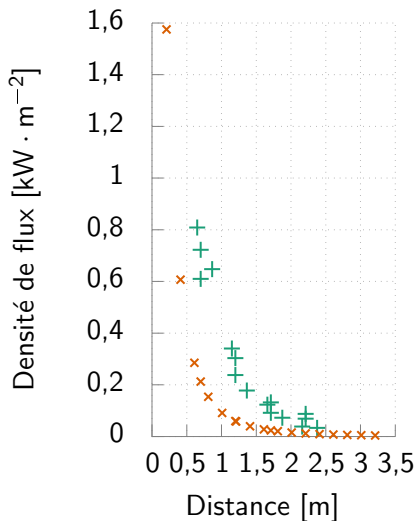
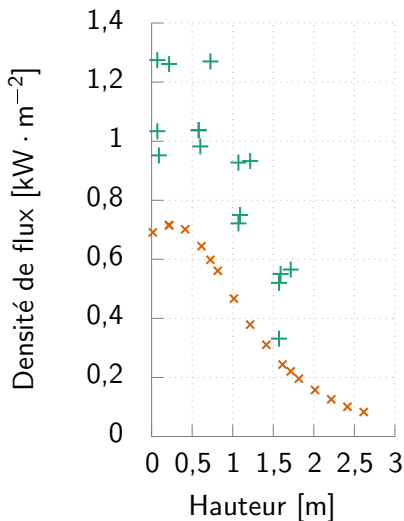


Disposition schématique des fluxmètres  
(sites PROMETHEI et ADP, échelles non respectées)



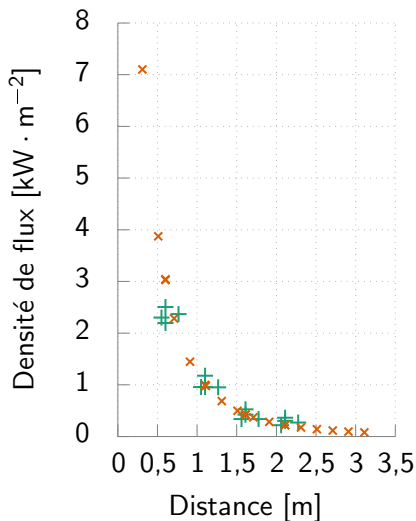
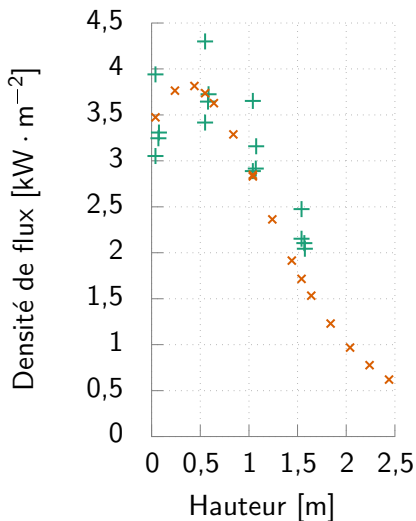
# Comparaisons : numérique vs. expérimental

30 cm (PROMETHEI)



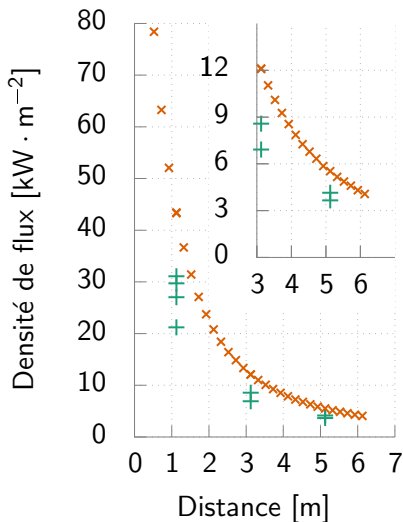
# Comparaisons : numérique vs. expérimental

50 cm (PROMETHEI)

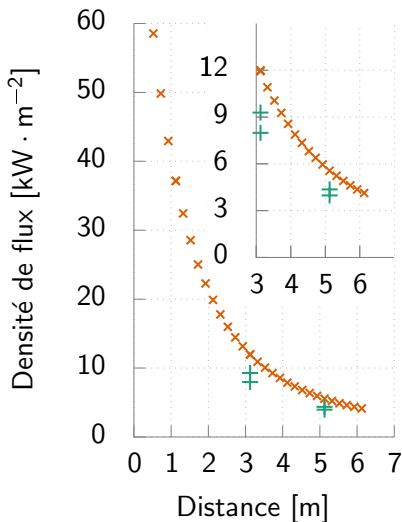


# Comparaisons : numérique vs. expérimental

175 cm,  $h = 1$  m (ADP)

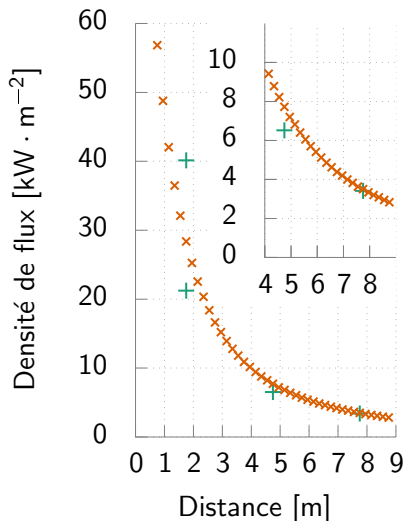


175 cm,  $h = 2$  m (ADP)

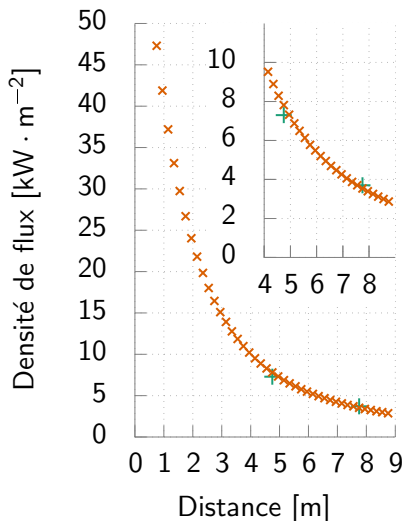


# Comparaisons : numérique vs. expérimental

250 cm,  $h = 1$  m (ADP)



250 cm,  $h = 2$  m (ADP)



- 1 Introduction
- 2 Géométrie de la flamme
- 3 Émission de la flamme
- 4 Modèle de rayonnement
- 5 Comparaisons à l'expérience
- 6 Conclusions**

## Résumé

- Imagerie visible → forme
- Opacimétrie et de spectrométrie → émission
- Code de lancer de rayons → densités de flux
- Comparaisons aux densités de flux expérimentales

## Enseignements

- Résultats perfectibles mais encourageants
- Description assez fine malgré plusieurs hypothèses simplificatrices



## Avec l'approche actuelle

- Exploiter les données expérimentales pour d'autres combustibles ; déjà disponibles pour
  - heptane
  - gazole
  - mousse polyuréthane
  - bois
- Comparaisons avec FDS (essais kérosène et autres)

## Pour améliorer cette approche

- Forme : évolution temporelle, s'affranchir de l'axisymétrie...
- Émission : évolution temporelle, prise en compte des gaz...

Merci pour votre attention !

A. C. Fernandez-Pello et T. Hirano. « Controlling Mechanisms of Flame Spread ». In : *Combustion Science and Technology* 32.1 (1<sup>er</sup> juin 1983), p. 1-31. issn : 0010-2202. doi : 10.1080/00102208308923650.

Vytenis Babrauskas. « Estimating large pool fire burning rates ». In : *Fire Technology* 19.4 (1<sup>er</sup> nov. 1983), p. 251-261. issn : 0015-2684, 1572-8099. doi : 10.1007/BF02380810.

Frida Vermina Lundström, Patrick van Hees et Éric Guillaume. « A review on prediction models for full-scale fire behaviour of building products ». In : *Fire and Materials* 41.3 (1<sup>er</sup> avr. 2017), p. 225-244. issn : 1099-1018. doi : 10.1002/fam.2380.

Adrien Leroy et al. « Simplified Methodology to Predict Polyurethane Foam Mass Loss Rate in the Cone Calorimeter ». In : *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. ISFEH9. Sous la dir. d'A. Snegirev et al. T. 2. Saint Petersburg, Russia : Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 21 avr. 2019. isbn : 978-5-7422-6498-9 (Vol. 2); 978-5-7422-6497-2. doi : 10.18720/spbpu/2/k19-43.

Gilles Parent. « Rayonnement des flammes ». GDR Feux. 24èmes journées du GDR Feux. Balma, France, 12 oct. 2017. url : [http://docs.gdrfeux.univ-lorraine.fr/Balma/LEMTA\\_2.pdf](http://docs.gdrfeux.univ-lorraine.fr/Balma/LEMTA_2.pdf).

Gilles Parent. « Rayonnement des flammes II Émission par un milieu équivalent homogène isotherme ». GDR Feux. 25èmes journées du GDR Feux. Rouen, France, 6 déc. 2018. url : <http://docs.gdrfeux.univ-lorraine.fr/Rouen3/LEMTA1.pdf>.

Giacomo Erez et al. « Flame properties of large kerosene fires ». In : *Journal of Physics : Conference Series* 1107.4 (2018), p. 042035.  
issn : 1742-6596. doi : [10.1088/1742-6596/1107/4/042035](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1107/4/042035).