

Mesures du rayonnement des flammes dans le domaine des feux de forêts

Campagne de mesures - Valabre - Juillet 2010

P. Boulet et col. - LEMTA

C. Picard et col. - CEREN

B. Porterie et col. - IUSTI



P. Boulet, LEMTA / Nancy Université

Journées SFT - "ACCORT", Janvier 2011, Lyon

Sommaire

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Les résultats tirés d'essais précédents
- 3 Flammes optiquement minces à épaisses
- 4 Bilan, perspectives, références

Idée de départ : caractériser de manière fine l'émission des flammes

Objectif : décrire, aider à modéliser le rayonnement des flammes

Ce que l'on sait...

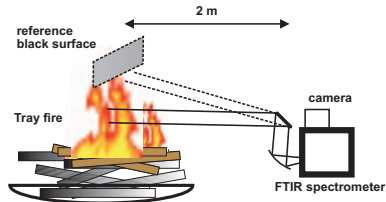
- Le rayonnement est moteur dans la propagation
- L'émission est due aux suies et aux gaz de combustion
- On réalise généralement des mesures de flux total (pas évident de séparer le rayonnement)
- On mesure aussi des températures de flammes (1000K ? 1200K ? + ?)
- On identifie des propriétés : émissivité, coef d'extinction, température de flamme...
- On utilise des concepts de panneaux rayonnants, volume semi-transparent, de flamme noire...

Validité de tout ça ?...

Comment profiter de nos moyens de mesures ?

L'expérience des feux de bacs

Matériel utilisé : Spectromètre FTIR + Caméra IR



Caractéristiques des spectres

de 1000 à 6000 cm^{-1}
Résolution 4 cm^{-1}

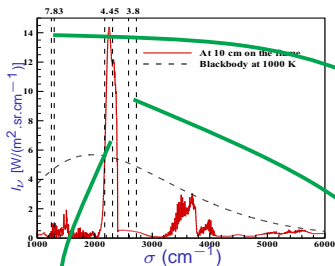
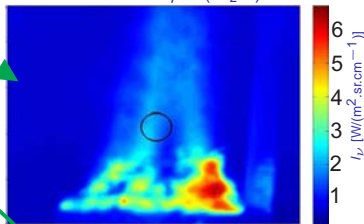
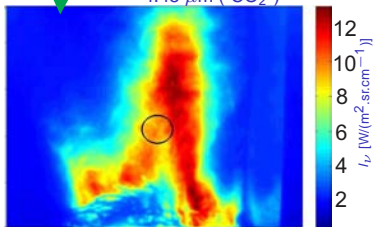
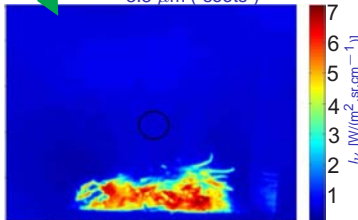
Caméra IR équipée de filtres

- BST pyroelectric FPA 320 × 256 pixels, gamme 2-14 μm
- filtre 7.8 μm : H_2O
- filtre 4.45 μm : CO_2
- filtre 3.80 μm : "suies"

Calibration préliminaire avec une source type corps noir

Spectres et résultats typiques obtenus

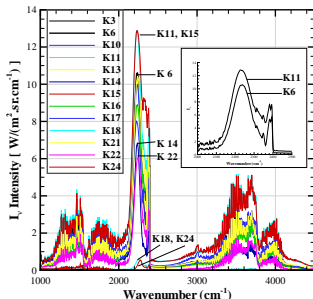
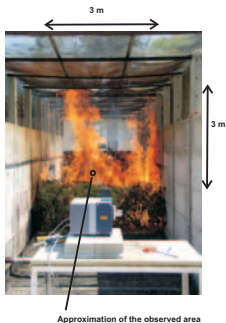
10 cm au-dessus de la végétation

7.8 μm ("H₂O")4.45 μm ("CO₂")3.8 μm ("soots")

Propagation d'un front sur litière de chêne Kermès

Même matériel, essais en tunnel à feu (CEREN - 2008)

Extrait de IJWF-2009



Rayonnement des gaz, évident!... mais faible contribution des suies...
la flamme est optiquement mince !

Comment faire pour observer les suies?... des flammes épaisses !

Des flammes d'épaisseur "contrôlée"

Utilisation du tunnel du CEREN

Combustible : frisure de bois et chêne kermès



Litière sur une longueur de 0,5 à 4m

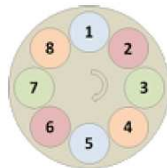
Allumage multi-points, inflammation simultanée

Visée instantanée à travers une flamme d'épaisseur "contrôlée"

Images infrarouges, une nouvelle caméra multispectrale

Caractéristiques :

- 320×256 InSb sensor
- Gamme spectrale [$1.5 \mu\text{m} - 5.5 \mu\text{m}$]
- Fréquence jusque 400 Hz
- Temps d'intégration jusque $3 \mu\text{s}$
- acquisition synchronisée avec une roue à filtres, 8 positions (4 couples de filtres)

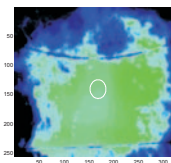


Utilisée avec un délai de 40 ms, images dans 4 bandes : $2.85 \mu\text{m}$ (émission de H_2O), $4.25 \mu\text{m}$ (émission de CO_2), $3.9 \mu\text{m}$ (pas d'émission de gaz... suies !) et gamme spectrale complète.

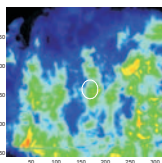
Images quasi instantanées !

Images infrarouges et spectres

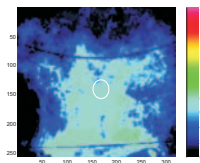
Cette fois "on voit" les suies !



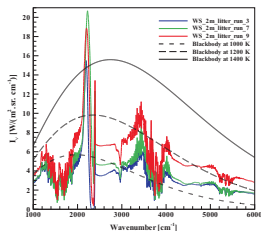
CO₂



H₂O



Suies

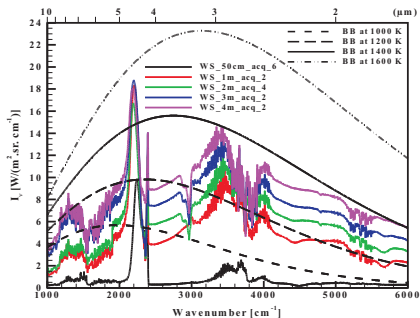


Sur les spectres aussi !
Combinaison complexe des gaz
et des suies

Des flammes optiquement minces à épaisses

Exploitation

Épaisseur de 0,5 à 4m
Flammes sur frisure 1kg/m²



Ce que l'on observe...

- fortes variations spectrales
- augmentation du rayonnement avec l'épaisseur de flamme
- contribution croissante des suies
- quelle température caractéristique ? ... 1400K ? ... + ?

"... des suies relativement froides dans des gaz chauds"

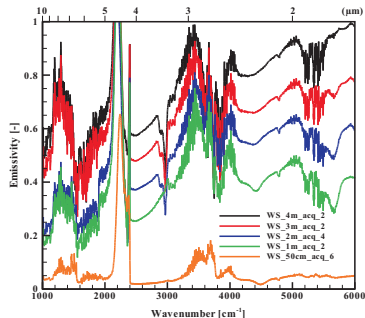
Extraire l'émissivité de la flamme

Hypothèse d'une température de référence à 1400 K

Emissivité

$$L_\nu = \epsilon_\nu L_\nu^\circ(T)$$

$$\text{avec } L_\nu^\circ(T) = 2hc_0^2 \nu^3 / [\exp \frac{hc_0 \nu}{kT} - 1]$$



- Emissivité croissante avec l'épaisseur... logique
- Emissivité décroissante avec la longueur d'onde... logique
- Données non fiables dans les bandes de gaz bien sûr

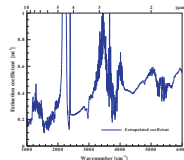
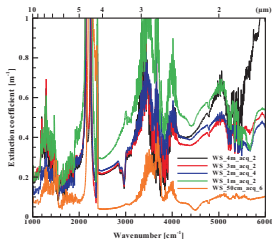
Extraire le coefficient d'extinction de la flamme

κ est une propriété caractéristique du combustible (?)

Coef d'extinction κ_ν

$$\epsilon_\nu = 1 - e^{-\kappa_\nu L}$$

avec L : épaisseur de flamme



- Données à 0,50m d'épaisseur hors jeu...
- Un κ en accord avec la littérature
- Moyenne de Planck : de l'ordre de $0,4\text{m}^{-1}$

Essais complémentaires sur chêne kermès

Même principe...

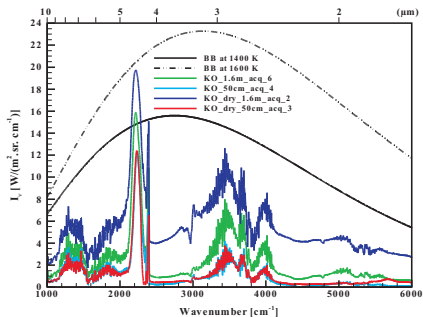
Charge

Chêne 9kg/m²
+ frisure 2 kg/m²

Comportement similaire

- Emission des suies un peu moins élevée
- Dégradation différente entre sec et frais
- Plus de difficulté pour le contrôle de la flamme

"... à suivre..."



Bilan et perspectives...

- On en sait un peu plus sur le rayonnement des flammes...
 - Flammes minces : le rayonnement vient des gaz chauds, peu des suies
 - Flammes épaisses : le rayonnement des suies augmente rapidement
 - L'émission est loin de celle d'un simple panneau rayonnant noir
 - La flamme est clairement hétérogène à tous points de vue
 - Variations spatiales, temporelles, mais aussi déséquilibre thermique
- Egalement fait...
 - Extraction de données moyennées
 - Tests sur chêne kermès frais et sec
 - Mesures en direction des braises...
- Quelles perspectives ?
 - Poursuivre nos tentatives d'extraction de données
 - Faire des essais "terrains" ... et travailler sur les modèles !

...merci à Gilles, Zoubir, Ahmed, Justin, Yann, Pierrick, Yannick, Pierrot et le CEREN...

Quelques références de l'équipe sur le rayonnement dans les feux

● Sur l'émission des flammes...

- G. Parent *et al.*, Measurement of infrared radiation emitted by the flame of a vegetation fire, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol 49 (3), pp 555-562, 2010.
- P. Boulet *et al.*, Spectral emission of flames from laboratory-scale vegetation fires. *Int. J. of Wildland Fire*, Vol. 18, pp. 875-884, 2009.
- P. Boulet *et al.*, Experimental investigation of radiation emitted by optically-thin to optically-thick wildland flames *Soumis dans Journal of Combustion*, déc. 2010 (en cours).

● Sur l'absorption de la végétation...

- B. Monod *et al.*, Infrared radiative properties of vegetation involved in forest fires. *Fire Safety Journal*, Vol.44 (1), pp. 88-95, 2009.
- Z. Acem *et al.*, Analytical determination and numerical computation of extinction coefficients for vegetation with given leaf distribution. *Int. J. of Thermal Sciences* Vol.48 (8), pp. 1501-1509, 2009.
- Z. Acem *et al.*, Experimental study in the infrared of the radiative properties of pine needles. *Experimental Thermal and Fluid Science* Vol 34(7), pp 893-899, 2010.