

Effet de la concentration d'oxygène sur les paramètres d'inflammation/extinction et de combustion du PMMA

Groupement de Recherche Feux

Thèse: LNE et ENSMA (Janvier 2021)

Superviseurs:

- Prof. Thomas ROGAUME (ENSMA)
- Dr. Benjamin BATIOT (ENSMA)
- Dr. Damien MARQUIS (LNE)

Réalisé par: Rita Nohra

Plan

1. Contexte et objectif
2. Dispositif expérimental
3. Propriétés de combustion du PMMA
4. Conclusion

Contexte et objectifs

- ✓ Compréhension des phénomènes physiques en milieu sous-ventilés incomplète
- ✓ Modèles inadaptés : Les modèles disponibles utilisent une chimie rapide et ne sont donc pas adaptés aux atmosphères sous-ventilées ou confinées !

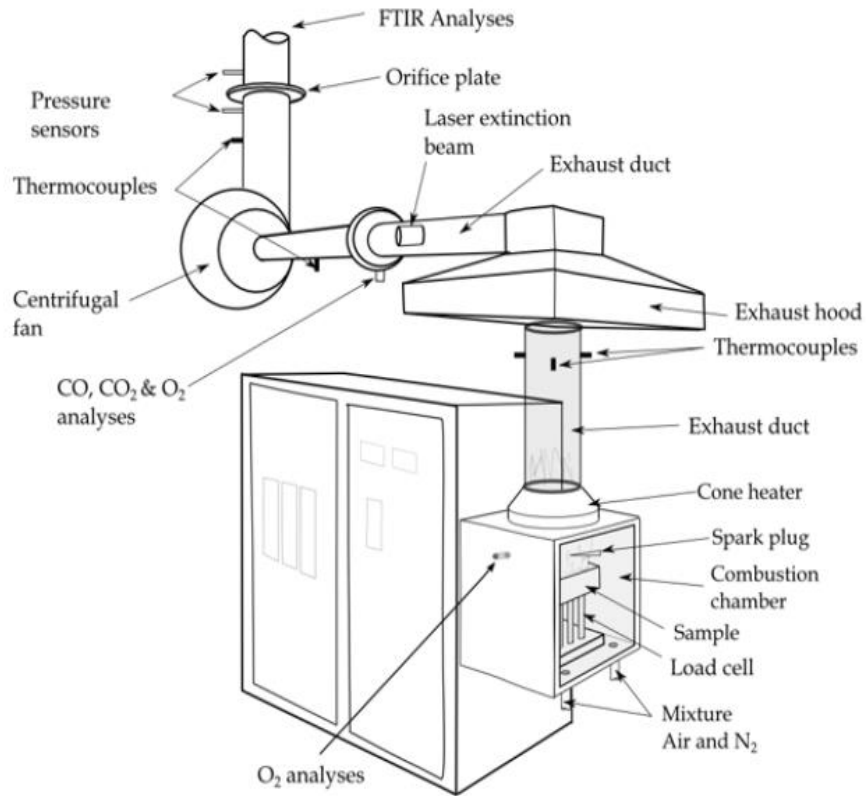
→ Résultats et prédiction des risques inexacts !



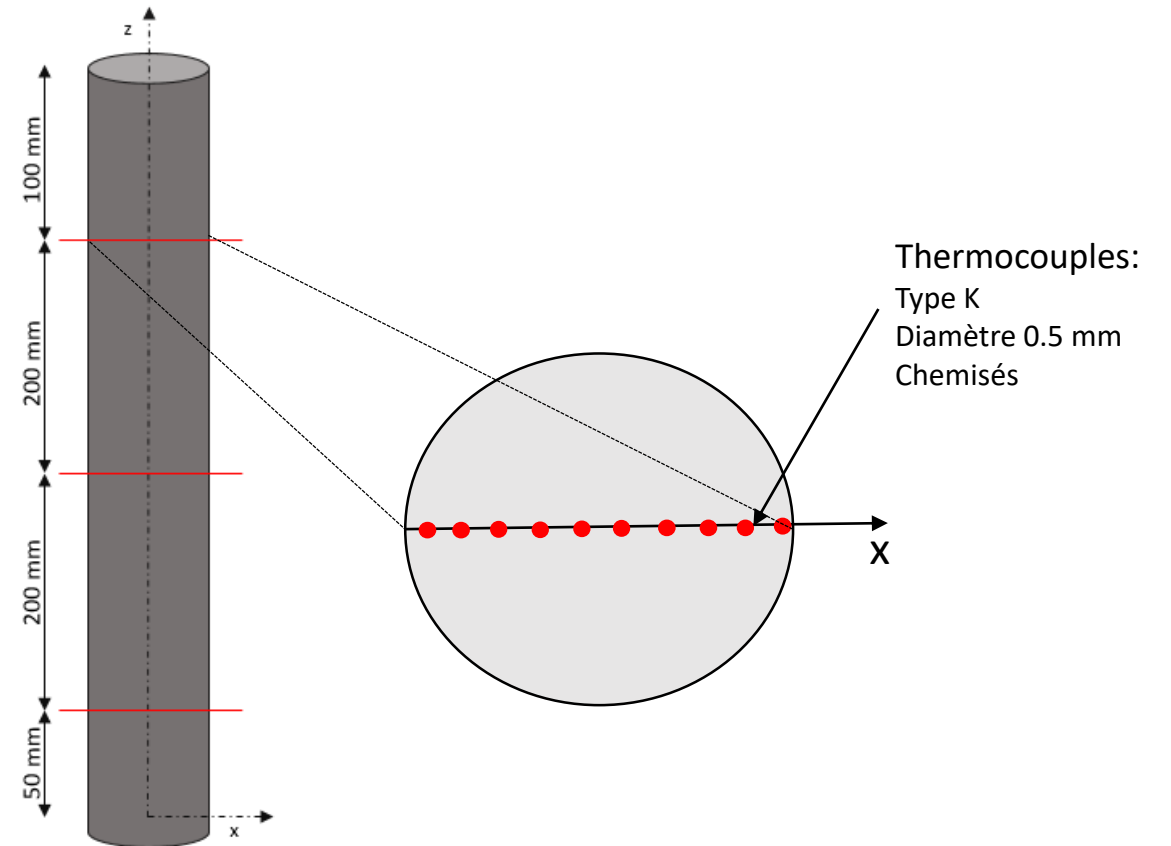
Objectifs

- ✓ Etudier l'influence de l'oxygène sur les paramètres d'inflammation/extinction et de combustion du PMMA
- ✓ Développer des modèles numériques adéquats pour mieux évaluer le comportement du feu dans ces espaces.

Dispositif expérimental



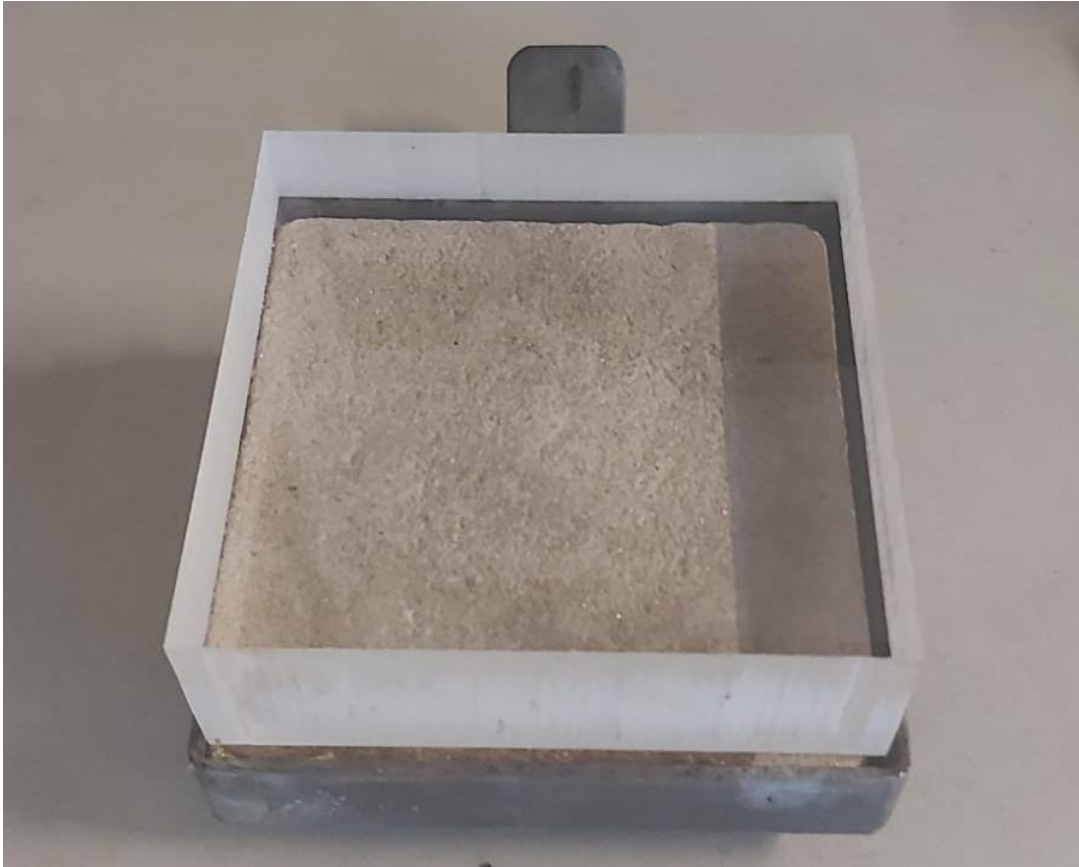
Sortie



Cône

GDR Feux

Dispositif expérimental



Matériau:

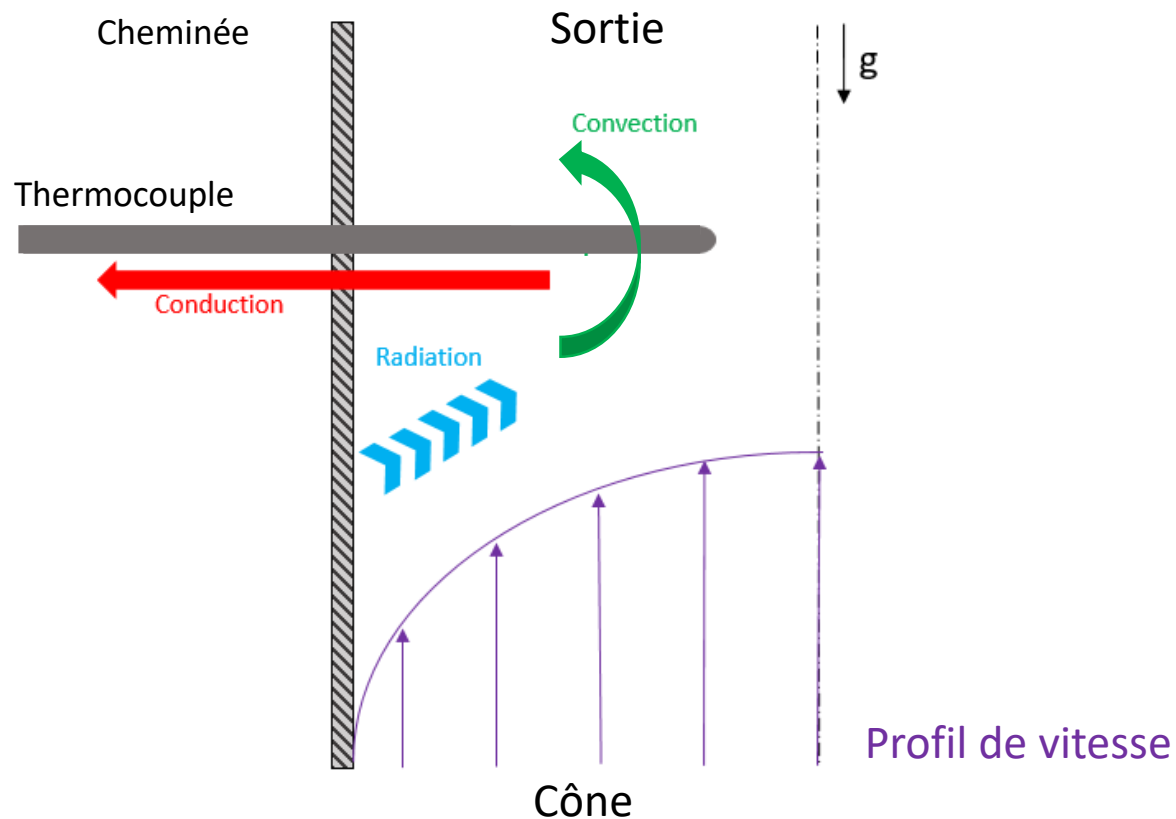
- ✓ PMMA transparent (100x100x30 mm)
- ✓ $\rho = 1,188 \text{ g/cm}^3$

Conditions d'essai:

- ✓ Densité de flux: 35 kW/m^2
- ✓ Débit: 160 L/min
- ✓ Différentes concentration d'oxygène (de 12% vol à 21% vol)

Température des gaz

Correction de la Température des thermocouples



$$\frac{dT_{tc}}{dt} = a \underbrace{\frac{\partial^2 T_{tc}}{\partial x^2}}_{\text{Pertes conductives}} + \underbrace{\frac{h(T_g - T_{tc})}{\rho c} \frac{dA_{tc}}{dV_{tc}}}_{\text{Echanges convectifs}} + \underbrace{\frac{\varepsilon \sigma}{\rho c} (F_{(TC-Duct)} \cdot T_{duct}^4 \cdot \varepsilon_{duct} - T_{tc}^4)}_{\text{Echanges radiatifs avec le conduit}} \frac{dA_{tc}}{dV_{tc}}$$

Hypothèses:

- Propriétés du fluide (C_p, ρ, k, ν) déterminées à partir des lois de mélanges en fonction de O_2 et N_2 .
- Propriétés du fluide en fonction de la température
- Vitesse supposée uniforme.
- Conduit supposé corps noir (dépôt de suies).
- Gaz de pyrolyse et produits de combustion négligés.
- $Nu(Re, Pr)$: Cas d'un cylindre perpendiculaire à l'écoulement
- $F_{(TC-Duct)}$: Cas d'une sphère dans un cylindre

References

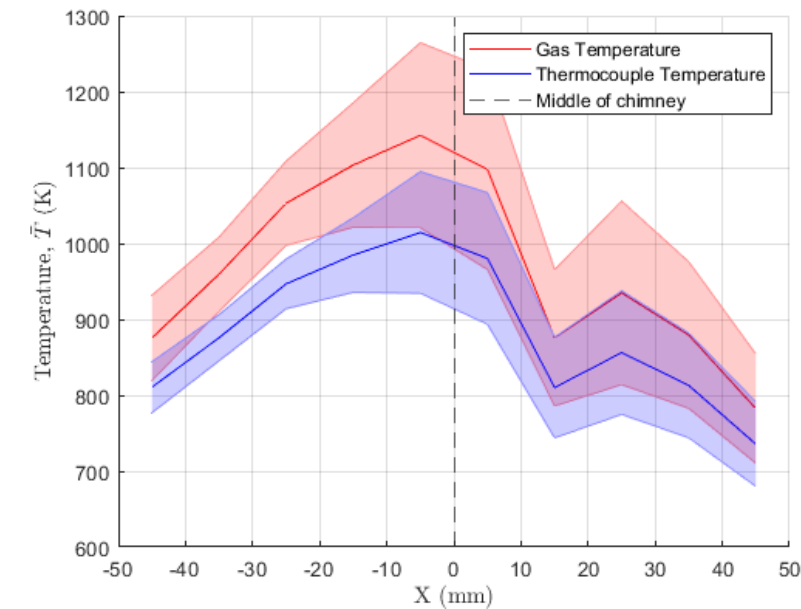
- Zou, Z., Yang, W., Zhang, W., Wang, X., & Zhao, J. (2018). Numerical modeling of steady state errors for shielded thermocouples based on conjugate heat transfer analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 119, 624-639
- Sung, K., Chen, J., Bundy, M., & Hamins, A. (2021). The characteristics of a 1 m methanol pool fire. *Fire Safety Journal*, 120, 103121.

Température des gaz

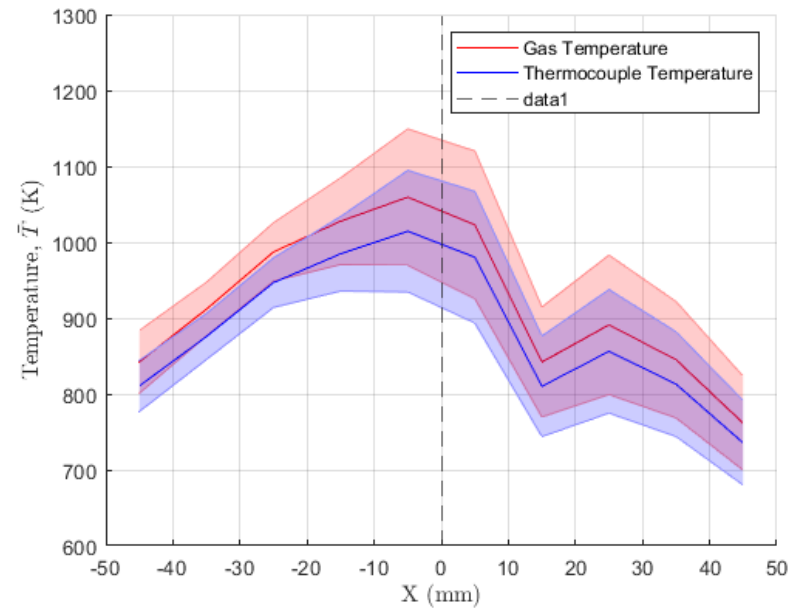
Effet de la composition du fluide

Débit: 160 L/min
Densité de flux: 35 kW/m^2
 O_2 : 15%

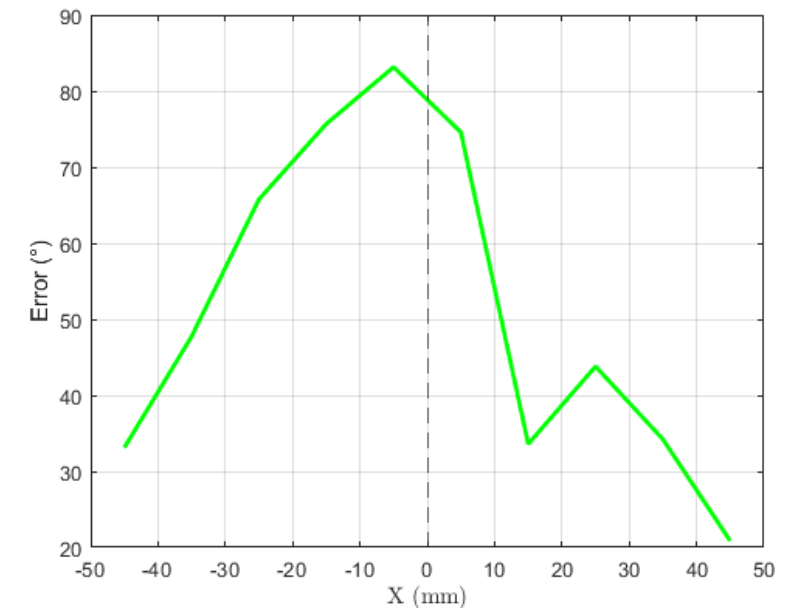
Fuide: Air à 21%,



Loi des mélanges



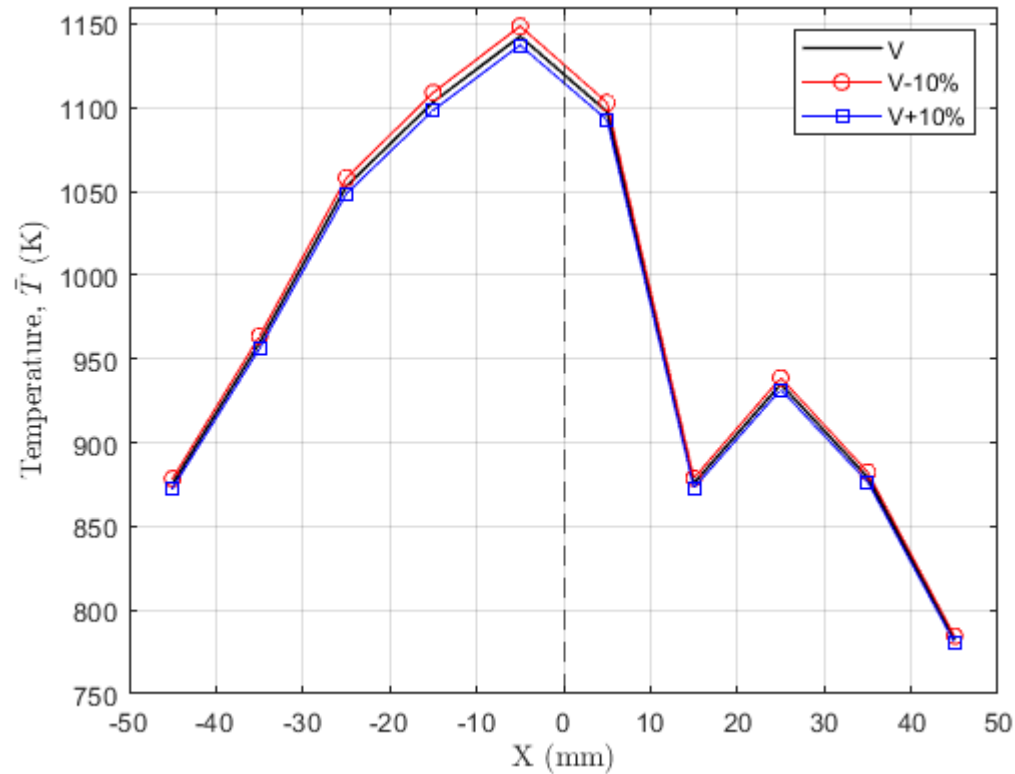
Erreur liée à la composition du fluide



Température des gaz

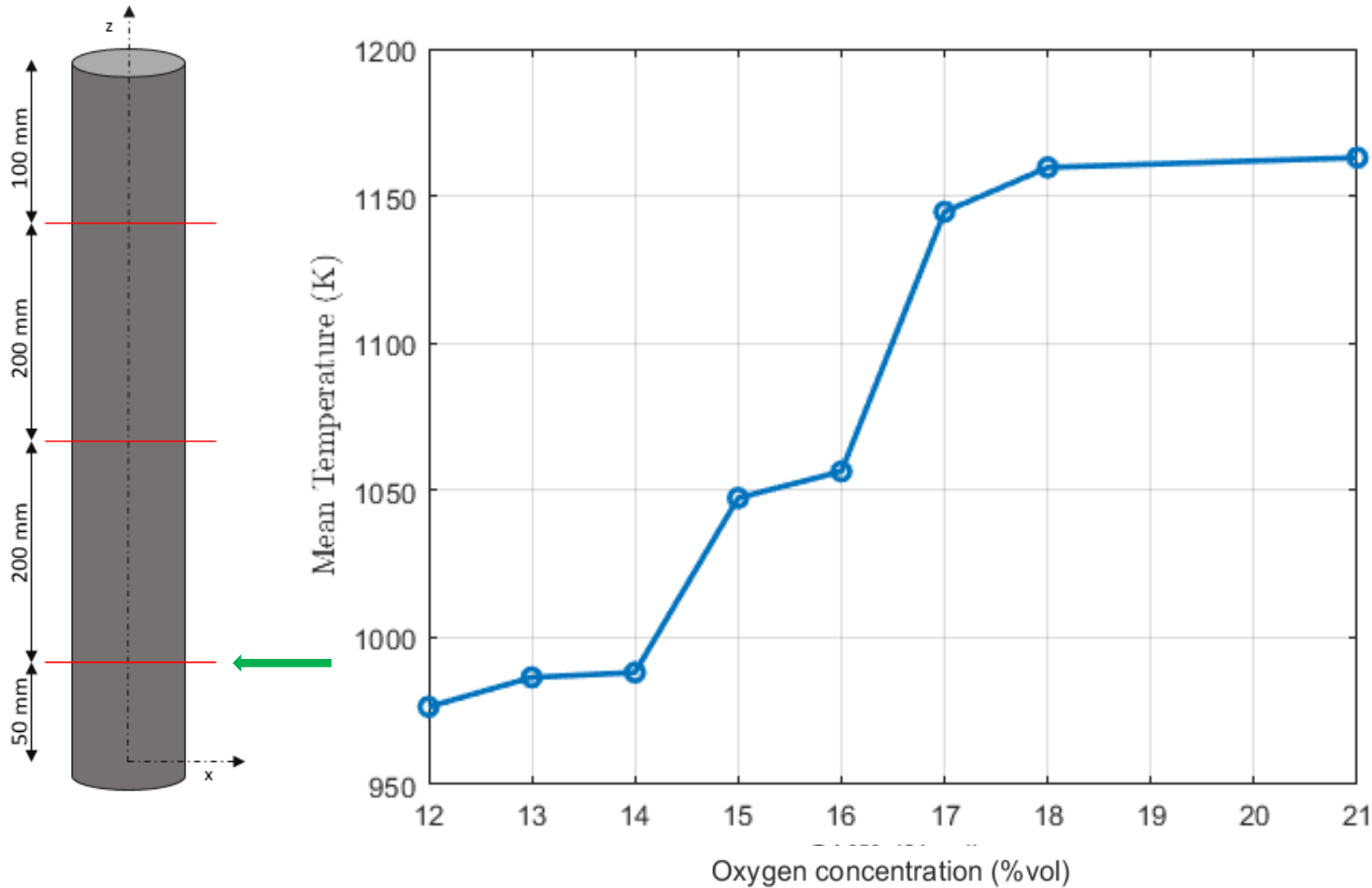
Effet de la vitesse du gaz

Vitesse fonction de la température



Pas d'effet

Température des gaz



Température moyenne diminue avec la diminution de l'oxygène

Calcul du HRR

Basé sur la norme ISO-5660 (Approche de Janssens)

$$\dot{q}(t) = 1.10 \cdot \Delta h_{o_2} \cdot X_{o_2}^i \cdot \dot{m}^D \left[\frac{\phi - 0.5 \left(\frac{\Delta h_{CO}}{\Delta h_{O_2}} - 1 \right) \cdot (1 - \phi) \cdot (X_{CO} / X_{O_2})}{1 + \phi(\gamma - 1)} \right] (1 - X_{H_2O}^S)$$

$$\phi(t) = \frac{X_{O_2}^i (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^i)}{X_{O_2}^i (1 - X_{O_2} - X_{CO_2} - X_{CO})}$$

Banc avec connexion directe



Pas adapté

References

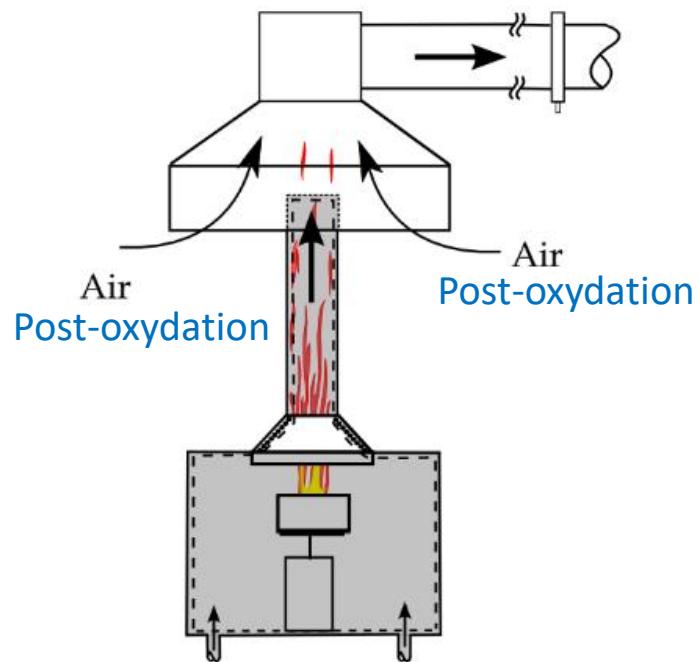
Janssens, M., 1991. Measuring rate of heat release by oxygen consumption. *Fire Technology* 27, pp. 234–249

Janssens, M, Parker W.J., 1992. Oxygen consumption calorimeter, In. "Heat release in fires" Babrauskas V. And Grayson SJ editors London, Edt Elsevier Applied Science Ltd, p. 31-59

Hugget, C., 1980. Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements. *Fire and Materials* 12(2), pp.61-65.

Calcul du HRR

Approche de Werrel



$$\dot{q}(t) = 1.10 \cdot \Delta h_{O_2} \cdot X_{O_2}^i \cdot \dot{m}^D \cdot \left[\frac{\phi - 0.5 \left(\frac{\Delta h_{CO}}{\Delta h_{O_2}} - 1 \right) \cdot (1 - \phi) \cdot (X_{CO} / X_{O_2})}{(1 - \phi) + \phi(1 + (\beta - 1)X_{O_2}^i)} \right] \cdot (1 - X_{H_2O}^S \cdot \tilde{\gamma})$$

$$\phi(t) = \frac{X_{O_2}^i (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^S \tilde{\gamma})}{X_{O_2}^i (1 - X_{O_2} - X_{CO_2} - X_{CO})}$$

Correction de la fraction molaire de l' O_2

$$X_{O_2}^i(t) = X_{O_2}^0 \gamma - X_{O_2}^S (\gamma - 1)$$

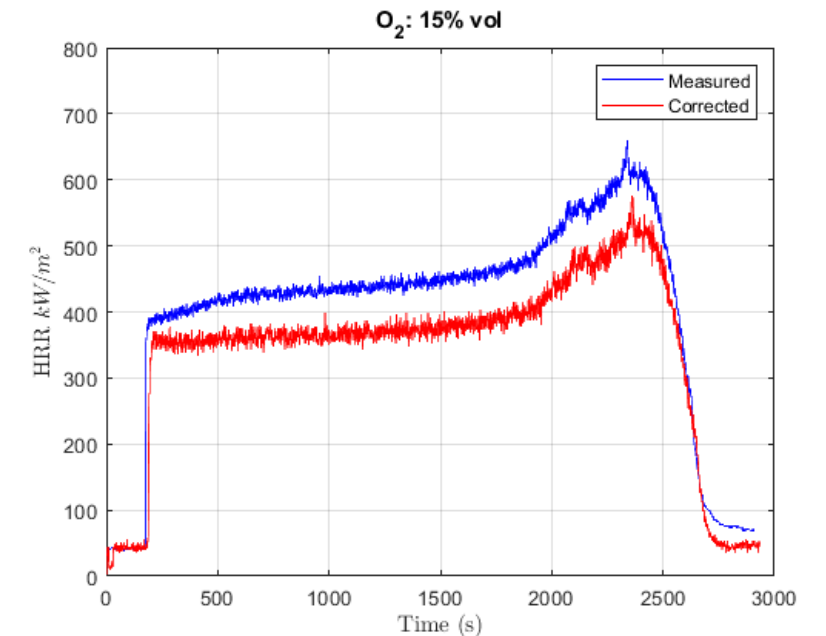
Correction du facteur de dilution

$$\gamma(t) = \bar{m}^{D,0} / \dot{m}^D$$

Facteur de dilution de l'air ambiant

$$\tilde{\gamma}(t) = 1 - \dot{m}^B / \dot{m}^E$$

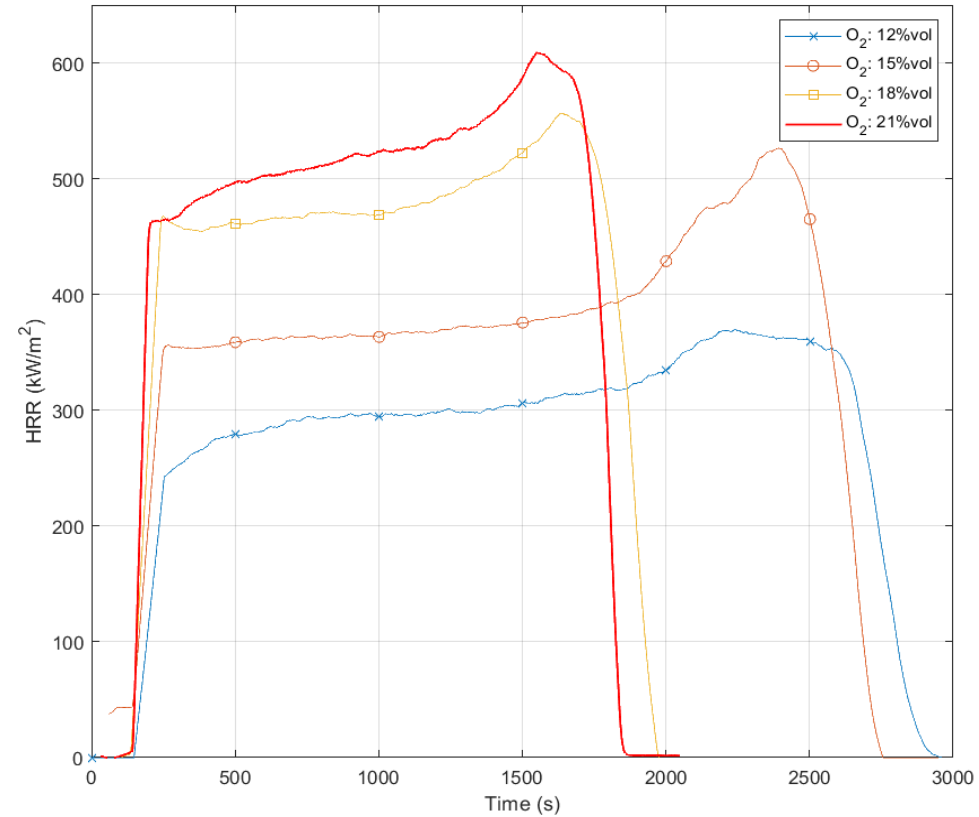
Erreur induite à 15%



References

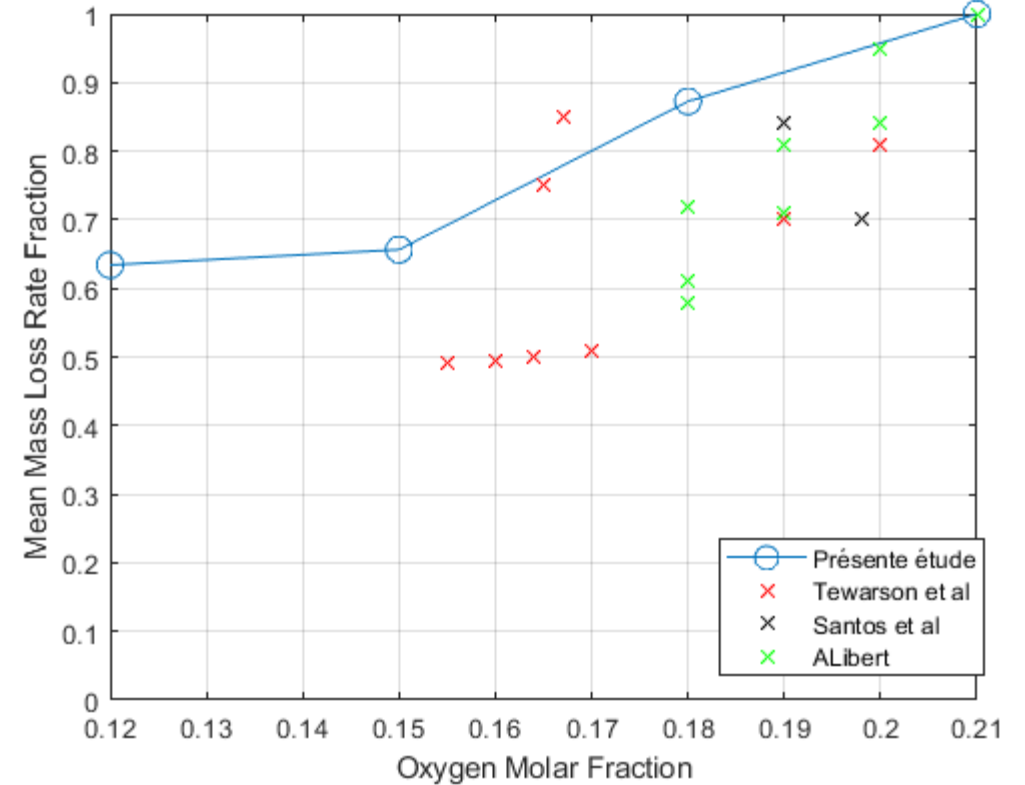
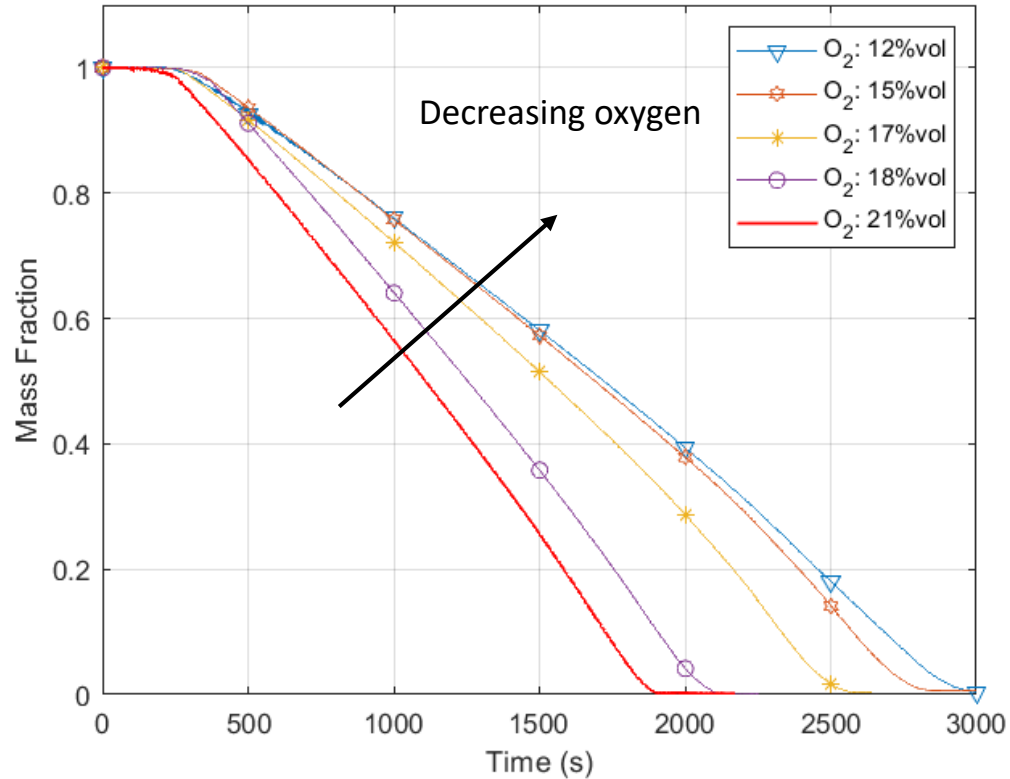
Werrel, M., 2011. Systematisch charakterisierung der materialspezifischen verbrennungsdynamik im cone Kalorimeter in Abhängigkeit einer sauerstoffreduzierten verbrennungsatmosphäre. *Msc Thesis - University of Wuppertal* (Germany)

Effet de l'oxygène sur le HRR



Influence of the oxygen concentration on the HRR

Effet de l'oxygène sur la perte de masse



References

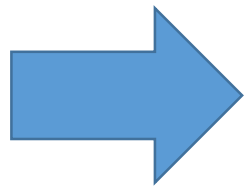
- A.Tewarson, J. Lee et R. Pion, "The influence of oxygen concentration on fuel parameters for fire modeling," Eighteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 563-570 (1981)
 G. Santo et F. Tamanini, "Influence of oxygen depletion on the radiative properties of PMMA flames," Eighteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 619-631 (1981).
 D.Alibert (2017). Effet de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).

Conclusion

- La température des gaz est différente de celle mesurée par les thermocouples
- Elle est influencée par les propriétés des fluides mais non la vitesse
- Suivant la géométrie du banc, une correction de HRR est prévue
- La concentration d'oxygène modifie le comportement



PMMA à 12%



- Evaluer la fiabilité des résultats
- Implémenter les résultats dans la modélisation numérique

Merci!

Groupement de Recherche Feux