



**HAL**  
open science

# Contribution du rayonnement thermique aux explosions de poussières métalliques : analyse et expérimentations

Christophe Proust

► **To cite this version:**

Christophe Proust. Contribution du rayonnement thermique aux explosions de poussières métalliques : analyse et expérimentations. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.46-47. ineris-01869666

**HAL Id: ineris-01869666**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869666>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CONTRIBUTION DU RAYONNEMENT THERMIQUE AUX EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES MÉTALLIQUES: ANALYSE ET EXPÉRIMENTATIONS

Contributeur  
Christophe  
PROUST

La question du rôle du rayonnement thermique dans la propagation des flammes à travers les nuages de poussières combustibles est ouverte depuis des décennies. Le sujet est d'intérêt car les méthodes de lutte contre les explosions de poussières reposent fondamentalement sur l'hypothèse que le mécanisme de propagation de la flamme est un équilibre entre la puissance thermique transférée par conduction thermique de la zone de combustion vers les réactifs et la puissance thermique libérée par la réaction chimique. Si le transfert de chaleur par rayonnement devient dominant, alors l'efficacité des méthodes de protection classiquement mises en œuvre pourrait être remise en cause. Jusqu'à présent, de nombreux freins ont hypothéqué l'étude du sujet telles l'instrumentation des flammes de poussières, la genèse de conditions expérimentales bien contrôlées et les difficultés théoriques et mathématiques du problème. Dans le projet RADIANT, subventionné par la région Picardie (avant le regroupement au sein de la grande région Hauts-de-France), des développements méthodologiques spécifiques ont été réalisés pour lever ces verrous :

- la mise en œuvre de la méthode des éléments discrets (MED) pour mettre au point un outil d'analyse théorique de la phénoménologie (lois de transfert de rayonnement, effets de la géométrie de la flamme...) sous la forme « d'expériences numériques »;
- la mise au point d'une installation d'essai permettant de produire des nuages de particules calibrés, d'observer les flammes et d'en mesurer les

principales caractéristiques (rayonnement, températures, vitesse, forme, dynamique).

L'Ineris a collaboré étroitement avec l'UTC (Université de technologie de Compiègne) et l'UPJV (Université Picardie Jules Vernes) pour y parvenir.

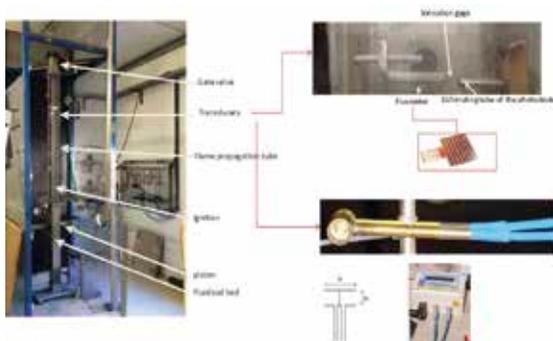
## PHÉNOMÉNOLOGIE

L'analyse des phénomènes a permis de constituer le champ d'hypothèses et de collecter les données de combustion nécessaires pour l'établissement de l'outil numérique et le choix des conditions d'essai [1; 2]. Il ressort de ce travail que la prise en compte du rayonnement thermique dans le processus de propagation de la flamme pourrait se traduire par une accélération très brutale de la flamme notamment lorsque la flamme se plisse sur elle-même par exemple sous l'effet des instabilités ou de la turbulence ce qui a pour effet de « forcer » le réchauffage puis l'inflammation des portions du nuage contenues dans les « plis » de la flamme. Cependant, ce résultat reste très qualitatif tant les modèles de transferts radiatifs employés restent schématiques. Ces derniers reposent en effet sur l'hypothèse de Beer-Lambert théoriquement valable uniquement pour des faisceaux lumineux parallèles.

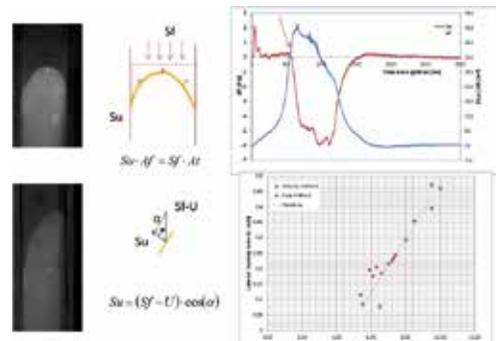
## OBSERVATIONS EXPÉRIMENTALES

Pour vérifier les hypothèses de base de l'approche théorique et pour tenter d'observer l'effet du transfert par rayonnement thermique sur l'accélération de la flamme, une installation expérimentale originale a été employée (figure 1). Il s'agit d'un tube vertical

**Figure 1** / Tube de propagation de flamme (gauche), instrumentation du front de flamme avec le fluxmètre en couche mince (haut droit) et la sonde Pitot (bas droit).



Méthode du tube (quart gauche haut) et du triangle des vitesses (quart gauche bas), pression dynamique et flux thermique (quart droit haut) et comparaison des résultats des deux méthodes (quart droit bas).



de 10 cm de diamètre, transparent, alimenté par un lit fluidisé de particules. Au-delà de techniques de visualisation rapide, une instrumentation nouvelle a été mise au point. Elle comporte un fluxmètre à couche mince et une méthode, mise au point à cette occasion, de mesure directe de la vitesse de combustion par différence entre la vitesse spatiale de la flamme et de l'écoulement en amont du front (par une sonde de Pitot). Des expériences ont été conduites avec des mélanges méthane-air ensemencés de particules inertes non gazéifiables (SiC et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) afin de déterminer le mode de transfert radiatif entre les particules chauffées par les gaz de combustion et celles, encore froides, situées dans les réactifs puis avec des mélanges air-particules d'aluminium. Il a été découvert [3; 4] d'une part que le mode de transfert radiatif n'obéit pas du tout à l'approximation de Beer-Lambert et d'autre part que non seulement le transfert par rayonnement thermique peut sensiblement augmenter la vitesse de combustion dans les prémélanges gazeux (figure 2) mais peut aussi provoquer une rapide auto-accélération dans les suspensions de particules d'aluminium et d'air (figure 3).

**CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Ces travaux remettent profondément en cause les approches disponibles non seulement pour prendre en compte l'effet des transferts par rayonnement thermique sur la propagation des flammes mais aussi sur les représentations couramment admises pour décrire la physique du rayonnement thermique. L'objectif est donc de parvenir à mettre en place une nouvelle approche de ces phénomènes. Compte tenu de la complexité du sujet, multiphysique et multi-échelles, l'Ineris développe une méthode de simulation originale couplant deux méthodes numériques :

- la méthode des éléments discrets pour représenter les échanges radiatifs entre les particules et les échanges diffusifs entre les particules et la phase gazeuse;
- la méthode des différences finies pour représenter les transferts diffusifs et les réactions chimiques dans la phase gazeuse.

**Références**

[1] Proust, C.; Guessasma, M.; Saleh, K.; Fortin, J. (2013), Amplification des effets des explosions sous l'effet du rayonnement thermique, Communication (avec poster) au XIV<sup>e</sup> congrès de la SFGP, Lyon, octobre 2013, France

[2] Ben Moussa, R.; Proust, C.; Saleh, K.; Guessasma, M.; Fortin, J. (2017), Physical mechanisms involved into the flame propagation process through aluminum dust-air clouds: a review, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 45, 9-28

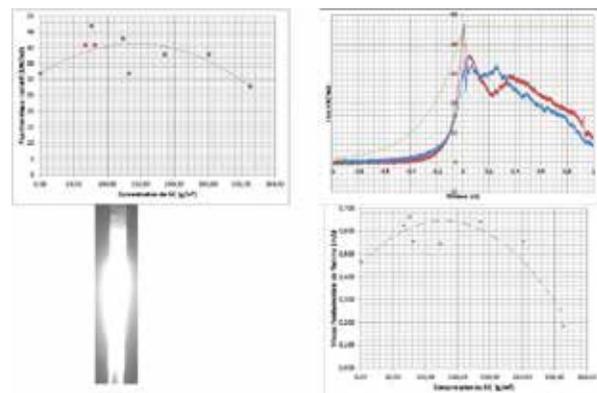
[3] Proust, C.; Ben Moussa, R.; Guessasma, M.; Saleh, K.; Fortin, J. (2017), Thermal radiation in dust flame propagation, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 49, 896-904

[4] Proust, C.; Ben Moussa, R.; Guessasma, M.; Saleh, K.; Fortin, J. (2017), Potential accelerating effect of thermal radiation in dust flame propagation : some experimental evidence, Oral communication at the 26th ICDERS, July-August 2017, Boston, USA

**ABSTRACT /**

In this research program, it was intended to clarify the role of the heat exchanges by thermal radiation inside a dust flame. If this exchange mode were dominant (as compared to the standard heat transfer by thermal conduction), unknown explosion regimes may ensue, questioning the efficiency of the well-known explosion mitigation techniques. According to recent studies, the implication of heat transfer by thermal radiation may lead to severe flame acceleration but the theoretical basis are fragile and such predictions do not seem to be supported by experimental evidence. Aluminum dust is a good candidate to study this problem because of the presence of solid residues and high combustion temperature. Experiments were performed to investigate these points which reveal different flame propagation regimes and, in particular, a severe flame acceleration when the particle loading is large enough. Another finding is that the standard Beer-Lambert law largely employed to represent the transmission of the thermal radiation through the dust cloud is not satisfactory. This work continues on the numerical side, coupling the Discrete Element Method and the Finite Differences to investigate the physics of such flames and propose new models.

**Figure 2 /** Transferts radiatifs (haut droit) à travers une flamme de méthane ensemencée de particules de SiC (13 microns), flux maximum (haut gauche) et effet sur la vitesse de combustion (bas droit).



**Figure 3 /** Régimes de propagation d'une flamme se propageant dans un mélange Al-air (10 microns).

