

Étude expérimentale d'une flamme de prémélange propane air en impact sur une plaque plane.

Hélène ROINARD^{1*}, Francis MICHELI¹, Philippe REULET¹, Pierre MILLAN¹

¹ONERA-DMAE, 2 ave Edouard Belin, BP4025, 31055 Toulouse cedex

* (auteur correspondant : helene.roinard@oncert.fr)

Résumé - L'objectif est de caractériser les phénomènes apparaissant à l'interaction entre une flamme et une paroi en fonction des paramètres d'alimentation de la flamme et de la géométrie de l'impact. La structure de flamme et les mécanismes de transferts thermiques entre la flamme et la paroi sont explorés à l'aide de diverses techniques telles que la mesure d'émission spontanée des radicaux libres OH présents uniquement dans le front de flamme, l'observation des émissions des gaz brûlés dans l'infrarouge, ou l'établissement de champs de vitesse par PIV (Particule Image Velocimetry).

Nomenclature

D	Diamètre de la buse, mm	X	Cote radiale, mm
H	Distance Buse-paroi, mm	Y	Cote axiale, mm
U_0	Vitesse d'éjection, m/s	r	richesse de prémélange

1. Introduction

Afin de caractériser les phénomènes apparaissant à l'interaction entre une flamme et une paroi, un banc pilote a été développé à l'ONERA. Les échanges thermiques globaux (incluant les contributions convectives et radiatives) sont atteints grâce à des mesures par Thermographie Infra Rouge (*THIR*) en face non impactée, qui sont ensuite traitées suivant un processus de résolution des problèmes inverses. Ces résultats de *THIR* ont été présentés référence [1]. A la suite de cela, les présents travaux ont pour but d'atteindre la structure de la flamme en fonction de ses paramètres d'alimentation. En effet, les phénomènes convectifs sont liés à l'aérodynamique du jet et le rayonnement à la structure de la flamme, la composition des gaz constituant le jet et la géométrie de l'impact. Les résultats représentent des mesures réalisées à la fois en configuration de flamme libre et en impact, et incluent des images directes de la flamme en infrarouge, des champs de vitesse par mesures *PIV* (Particle Image Velocimetry) en ce qui concerne l'aspect aérodynamique, et des niveaux d'émission spontanée du radical OH pour la localisation du front de flamme.

2. Description générale

La flamme est obtenue à partir d'un prémélange propane air réalisé en amont d'un brûleur de type bec bunsen (dont une description détaillée se trouve dans [1]). Le banc pilote est composé d'un brûleur avec un diamètre d'éjection de 41mm relié à un système de régulation. Les débitmètres régulateurs utilisés sont des débitmètres massiques, les débits maxima atteints sont pour le propane de 0.8g/s et pour l'air de 7.2g/s. La vitesse d'éjection varie de 1.6 à 4.6m/s et le nombre de Reynolds à l'éjection varie de 5900 à 17000. A la stoechiométrie, la température de flamme peut s'élever à 1700°C.

On peut voir en figure 1 le chariot soutenant la plaque horizontale qui peut être amenée dans l'axe de la flamme grâce à celui-ci. La face arrière de la plaque est protégée des gaz brûlés par des parois verticales.

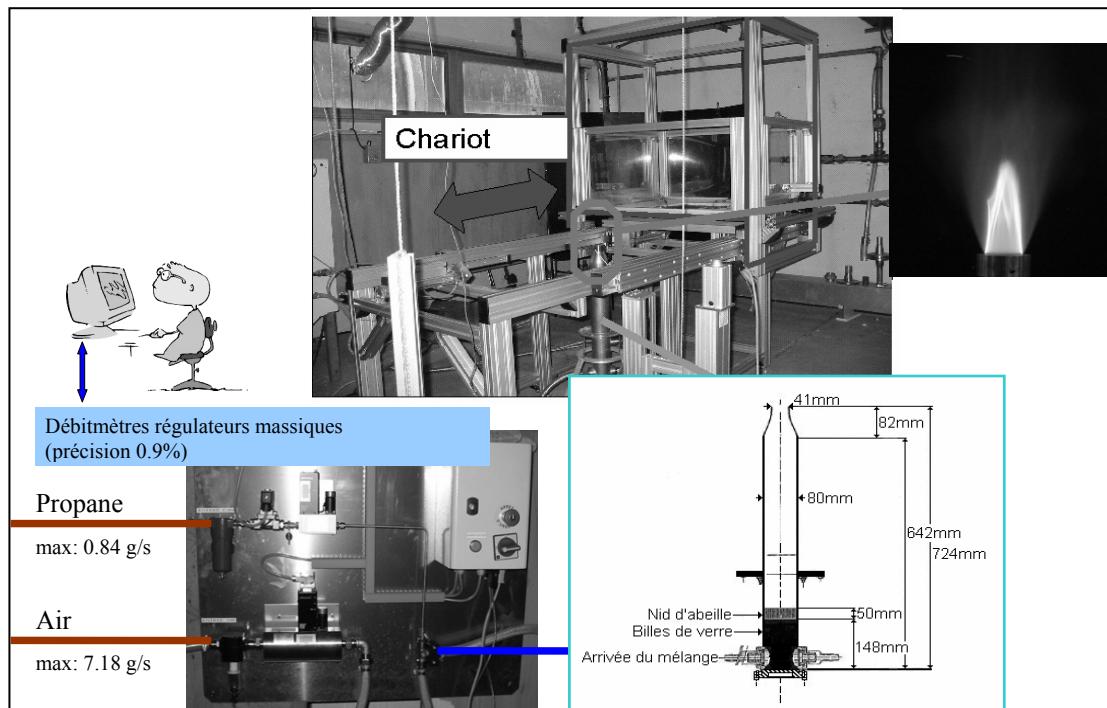


Figure 1: Banc expérimental

Il existe un domaine de stabilité de la flamme (suivant les paramètres aérodynamiques, chimiques, suivant les limites d'inflammation et d'extinction de la flamme) ; on détermine de façon expérimentale que pour notre montage le domaine d'existence de la flamme est celui présenté figure 2, l'axe des abscisses représentant la richesse du mélange (r) et l'axe des ordonnées la vitesse d'éjection établie à partir des mesures de débitmétrie (U_0). En dehors de ce domaine de fonctionnement, la flamme est soit soufflée (lorsque la vitesse est trop élevée), soit elle ne s'accroche pas au brûleur et donc n'existe pas. Pour les valeurs de richesse au delà des limites d'inflammabilité et d'extinction pour la flamme de prémélange, les flammes observées sont des flammes de diffusion. On peut retrouver en marge de cette représentation du domaine de fonctionnement quelques images de flammes obtenues avec différents paramètres d'alimentation. Ces images représentent des flammes de différentes tailles et couleurs (plutôt bleue à faible r et U_0 , la flamme s'allonge et verdit lorsque ces paramètres croissent et lorsque l'on atteint une richesse de l'ordre de 1.7, on note l'émission des suies dans le orange). Les flammes étudiées présentent également une forte caractéristique dynamique (tourbillons et volutes qui naissent à la base de la flamme, au niveau de la zone d'accrochage à la buse, et montent ensuite avec les gaz brûlés).

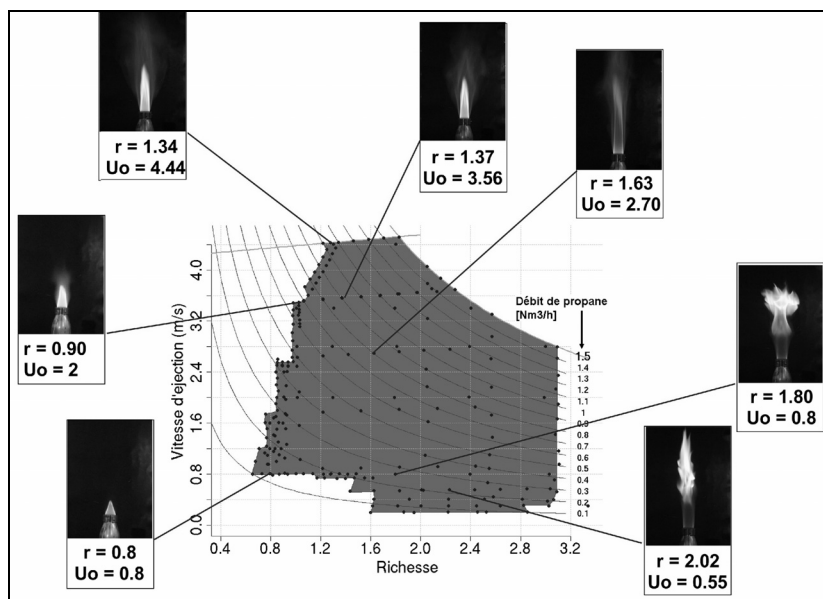


Figure 2 : Domaine empirique de fonctionnement

3. Structure de la flamme

Dans cette partie, on s'attache à l'étude de la structure de la flamme, source des transferts de chaleur, en utilisant les propriétés radiatives des phénomènes rencontrés. A l'origine des phénomènes radiatifs on retrouve les produits de combustion (CO_2 , H_2O), les espèces dissociées instables dans le front de flamme (OH ; CH), et les suies. Les observations dans l'infrarouge permettront de localiser les gaz brûlés alors que le front de flamme sera déterminé grâce aux radicaux libres.

3.1. Émissions dans l'infra rouge

S'attachant à la part radiative du flux échangé, retenons dans un premier temps que la principale source de rayonnement est les produits de combustions.

Une représentation des observations de la flamme dans le visible et dans l'infrarouge, en utilisant une camera infrarouge se situant sur la plage de longueur d'onde allant de 7 à $9\mu\text{m}$, est proposée en figure 3. La première image est une photographie classique de la flamme (dans le visible), et elle est comparée à une image infrarouge. Les lignes horizontales permettent de situer le maximum d'émission à l'extrémité du cône visible de la flamme. C'est ici que l'on retrouve les gaz brûlés, qui émettent autour de $9\mu\text{m}$. La troisième image représente la même flamme placée cette fois en impact, la valeur maximale de l'émission se situe près de la plaque, et est plus élevée que dans le cas de la flamme libre.

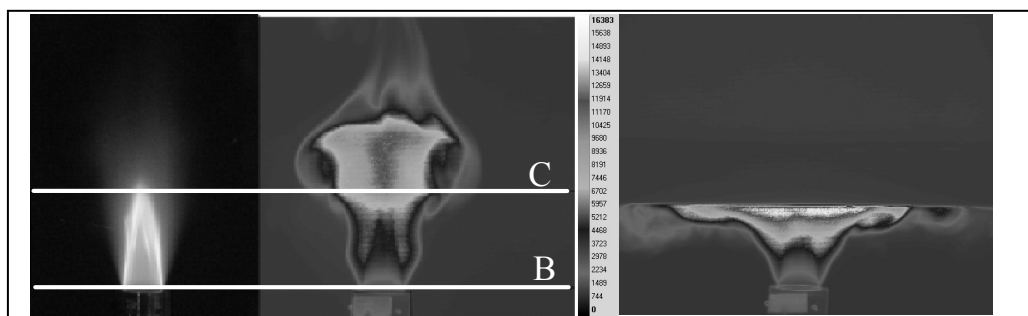


Figure 3: Rayonnement infrarouge, émission dans la bande $8\text{-}12\mu\text{m}$

3.2. Émission spontanée de OH

Le rayonnement des radicaux libres dans le front de flamme ne représente qu'une faible partie de la part totale d'énergie transmise par transferts radiatifs, (au maximum de 2 à 5 % suivant la température [2], mais son intérêt réside dans la possibilité de développement de moyens expérimentaux permettant de localiser le front de flamme. Les résultats présentés en figure 4 montrent les niveaux d'émission détectés grâce à une camera UV en utilisant un filtre autour de 310nm, ce qui correspond à une longueur d'onde d'émission du radical OH. Ces niveaux deviennent élevés dans une zone localisée, ces données qualitatives permettent donc d'identifier cette zone comme le front de flamme.

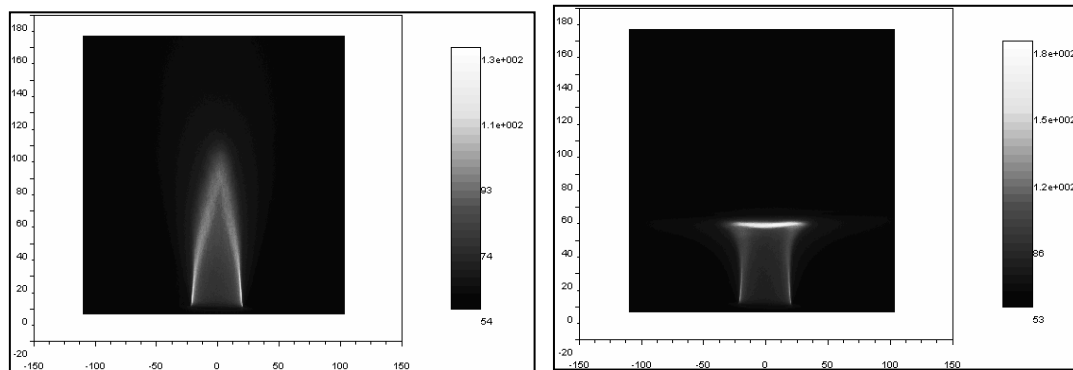


Figure 4: $r=1.1$; $U_0=3.2\text{m/s}$; à gauche: flamme libre; à droite: $H/D=1.7$

4. Aérodynamique

La connaissance des aspects aérodynamiques de la flamme tient une place importante dans la compréhension des phénomènes. Les champs de vitesse ont ici été mesurés grâce à une technique de PIV, à la fois dans le cas d'une configuration de flamme libre et en impact (figure 5).

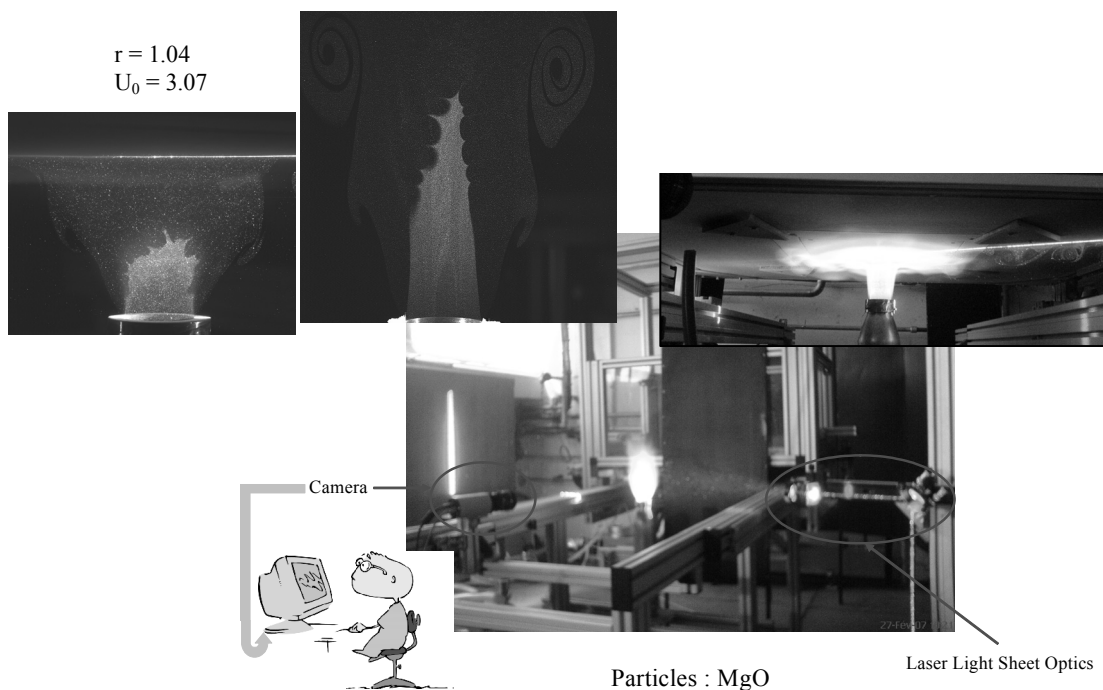
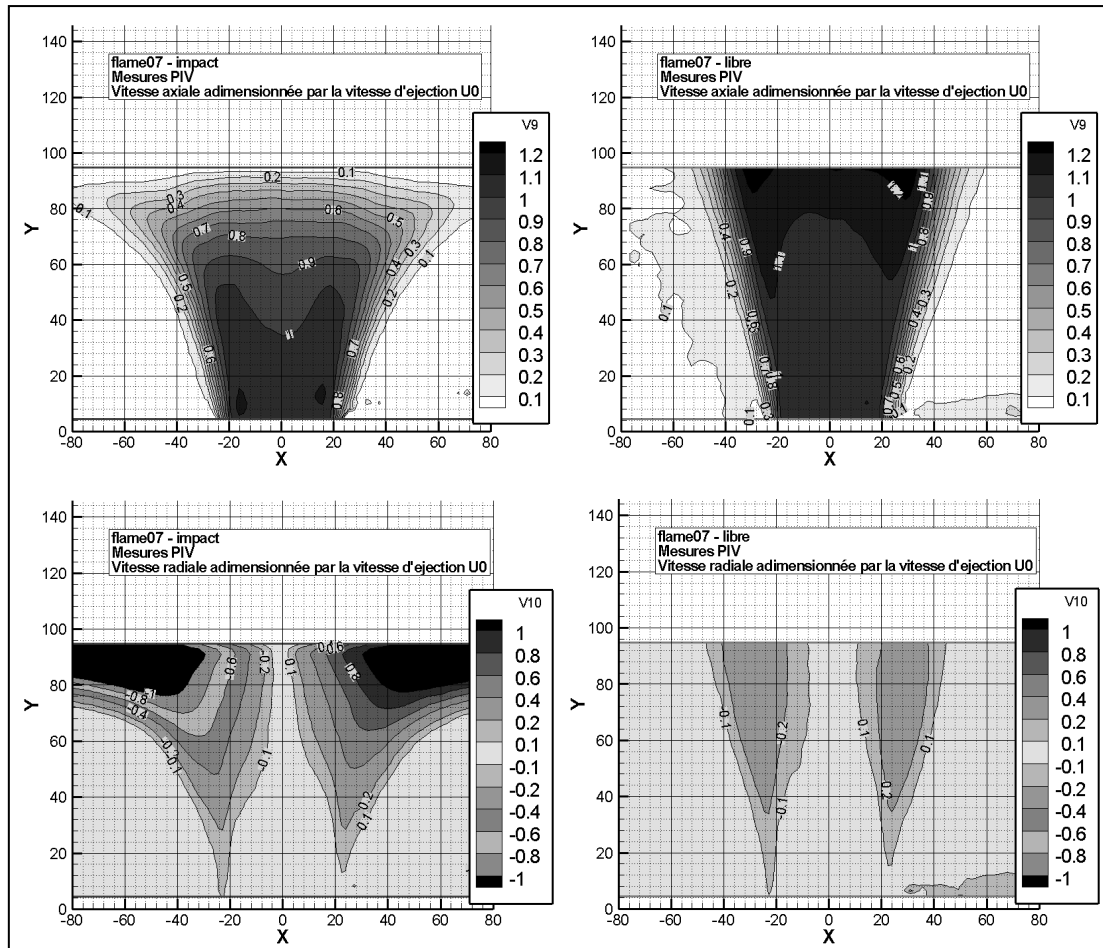


Figure 5: Installation moyens PIV et visualisation directe de l'ensemencement MgO dans la flamme

Les champs de vitesses moyens ont été calculés à partir de 400 couples d'images. On peut y distinguer dans le cas de la flamme libre une zone où se trouvent uniquement des mouvements verticaux ascendants (dans le cœur froid) : la vitesse radiale y est pratiquement nulle et la vitesse axiale dans ce cas est quasi-uniforme autour de U_0 . En ce qui concerne ces mesures (présentées figure 7, vitesse axiale en haut à droite, et vitesse radiale en bas à droite), dans le cas où la richesse vaut 1.1 et la vitesse d'éjection calculée à partir du débit de prémélange est 3.2m/s.



**Figure 6 : flame07 [$r=1.6$; $U_0=3.2\text{m/s}$]
à gauche : impact à $H/D=2.6$; à droite : flamme libre
en haut : vitesse axiale adimensionnée; en bas : vitesse radiale adimensionnée**

Lorsque la plaque est placée dans la flamme, les mesures près de la paroi ne peuvent pas être faites, cependant, nous pouvons comparer les champs de vitesse présentés figure 6, en haut. Les vitesses moyennes sont plus faibles dans la configuration en impact que dans le cas d'une flamme libre. En ce qui concerne les variations de ces vitesses, on peut observer qu'elles sont également plus faibles.

L'influence de la plaque est nulle au niveau de la buse d'éjection (figure 7: $Y/D=0.5$). Les vitesses décroissent avec la cote axiale à cause de la plaque, alors qu'elles augmentaient dans le cas de la flamme libre. Près du point de stagnation, alors que les mesures par PIV sont impossible, on peut déterminer que la vitesse ne vaut plus que 20% de la vitesse d'éjection lorsque la cote axiale rapportée au diamètre d'éjection prend la valeur de 2.3 dans ce cas ou la plaque est placée suivant le même rapport à 2.6, et ce pour tous les cas de flammes présentés figure 8 (où r est compris entre 1.0 et 1.6 et U_0 compris entre 2.4 et 4.0 m/s).

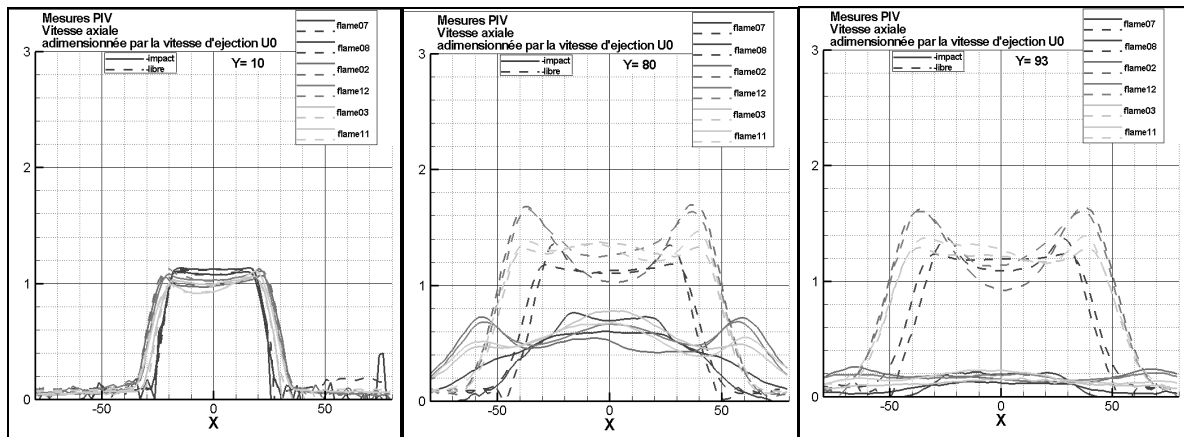


Figure 7: Vitesse axiale adimensionnée (U/U_0 ; U_0 en m/s); $H/D=2.6$; $Y/D=0.5, 2.0, 2.3$

5. Conclusion

La multiplication des méthodes de mesure permet d'atteindre et de suivre un nombre important des paramètres influant sur les phénomènes mis en jeu. Le front de flamme est localisé, le rôle et l'étendue des gaz brûlés directement observés peuvent être quantifiés et les mouvements de ces gaz peuvent être observés. Ces différents types de résultats vont être comparés et couplés afin d'obtenir une caractérisation précise des phénomènes apparaissant dans ce dispositif, et les résultats obtenus seront à terme confrontés aux résultats donnés par une simulation numérique réalisée à l'aide de la plateforme CEDRE développée à l'ONERA.

Références

- [1] H. Roinard, F. Micheli, P. Reulet, P. Millan., "Transferts thermiques lors de l'interaction flamme paroi", Actes de congrès Société Française de Thermique, Les Embiez, 29 mai-01 juin 2007.
- [2] Fristrom R.M. and Westenberg A.A., « Flame Structure », 1965