

Dynamique non-linéaire des flammes de prémélange : description en pôles

B. RADISSON¹, C. ALMARCHA¹, E. AL SARRAF¹, J. QUINARD¹, E. VILLERMAUX¹, B. DENET¹

Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, IRPHÉ, UMR 7342, 13384 Marseille, France
radisson@irphe.univ-mrs.fr

De par la nature exothermique de la réaction de combustion et l'expansion des gaz qui en résulte, les flammes de prémélange sont intrinsèquement instables [1]. En conséquence, la surface du front se plisse, formant ainsi des motifs cellulaires qui évoluent selon une dynamique complexe résultant d'une compétition entre effets hydrodynamiques et thermodiffusifs. La réaction de combustion mettant en jeu plusieurs centaines de réactions élémentaires dans une interface submillimétrique, la compréhension des mécanismes responsables de cette dynamique passe par le développement de modèles simplifiés. À partir d'un développement asymptotique des équations du problème, le front de flamme peut être décrit par un jeu de solutions en pôles [2], [3] :

$$\phi = -A \sum_{n=1}^{2N} \ln \left(\sin \left(\frac{\pi (x - z_n)}{\Lambda} \right) \right) \quad (1)$$

où ϕ est l'altitude du front, Λ la largeur du domaine et A un paramètre dépendant des propriétés intrinsèques de la réaction.

La dynamique de flamme est alors réduite à un système d'équations différentielles qui décrit l'évolution de la position des pôles dans le plan complexe :

$$\dot{z}_n = u_L \Omega \left[\frac{2\pi}{\Lambda k_c} \sum_{p \neq n} \cot \left(\frac{\pi}{\Lambda} (z_p - z_n) \right) - i \operatorname{sign}(\Im(z_n)) \right] \quad (2)$$

Dans cette étude on démontre, pour la première fois de manière quantitative, la validité de cette description du point de vue de l'expérience. Pour ce faire, on fait propager une flamme dans un prémélange réactif contenu entre deux vitres verticales espacées de 5mm [4]. Par approximation d'un front obtenu dans cette expérience avec (1) on montre qu'il est possible de déterminer un système de pôles z_n qui décrit la structure du front. Le système d'équations différentielles (2) est ensuite intégré à partir de cette condition initiale. La dynamique obtenue est en excellent accord avec l'expérience pendant environ dix fois le temps caractéristique de l'instabilité. Au delà, la sensibilité aux conditions initiales limite la comparaison. Cependant, si l'on étudie les propriétés du front d'un point de vue statistique (ici statistique des tailles de cellules), on remarque que le modèle de Sivashinsky reste en accord avec l'expérience, y compris aux temps longs. De plus, cette statistique satisfait une distribution gamma, caractéristique des phénomènes pour lesquels le processus d'interaction élémentaire est de nature additive [5], et qui résulte ici de l'attraction entre pôles. Le rôle des effets de gravité et du couplage de la réaction avec l'enceinte du brûleur seront également discutés dans cette présentation.

Références

1. G. Darrieus (1938). oeuvre présentée à la technique moderne.
2. G.I. Sivashinsky (1977). Acta Astronautica 4, no. 11–12.
3. O. Thual, U. Frisch, and M. Henon. Journal de Physique 46, no. 9 (1985)
4. C. Almarcha, J. Quinard, B. Denet, E. Al-Sarraf, J. M. Laugier & E. Villermaux (2015). Experimental two dimensional cellular flames. Physics of Fluids, 27(9), 091110.
5. A. Vledouts, N. Vandenberghe & E. Villermaux (2015). Proc. R. Soc. A (Vol. 471, No. 2184, p. 20150678). The Royal Society.