

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

B. RADISSON¹, C. ALMARCHA¹, 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 thermo-diffusifs. La simulation numérique directe de ces écoulements réactifs étant difficilement accessible pour des domaines de grande taille, la compréhension des mécanismes responsables de cette dynamique passe par le développement de modèles simplifiés. On s'intéresse ici au modèle de Michelson-Sivashinsky [2] obtenu par un développement asymptotique des équations du problème :

$$\phi_t + \frac{u_L}{2} a \phi_x^2 = u_L \Omega \left(\frac{\phi_{xx}}{k_c} + I(\phi, x) \right) \quad (1)$$

où $\phi(x, t)$ est la position du front, u_L la vitesse laminaire de flamme, k_c le nombre d'onde de coupure, a et Ω des paramètres dépendant du rapport de densité (entre les gaz amont et aval) et $I(\phi, x)$ un opérateur qui correspond à la multiplication par $|k|$ dans l'espace de Fourier.

Cette équation non-linéaire possède des solutions analytiques [3] faisant intervenir des pôles complexes dont les trajectoires sont décrites par un système d'équations différentielles ordinaires. Dans cette étude nous confrontons ce modèle à une expérience de laboratoire.

Le dispositif expérimental est constitué de deux plaques de verre verticales de 150cm de haut, 50cm de large et distantes de 5mm l'une de l'autre (brûleur de Hele-Shaw [4]). L'enceinte est initialement remplie d'un prémélange air/propane. Une flamme horizontale est alors initiée sur le haut du brûleur et entame sa propagation vers le bas. Sous l'effet de l'expansion des gaz, le front se destabilise révélant une dynamique riche que l'on visualise à l'aide d'une caméra rapide. Le front de réaction déterminé par seuillage sur ces images est approximé par une solution en pôles. On intègre ensuite le système d'équations différentielles à partir de cette solution initiale. La dynamique obtenue est alors comparée à celle observée dans la cellule. L'accord est satisfaisant sur une durée d'environ 10 fois le temps caractéristique de l'instabilité. Au delà, la sensibilité aux conditions initiales ou le caractère multivalué du front expérimental limitent la comparaison. Cependant, si l'on étudie la dynamique 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 d'agrégation [5] ce qui est en accord avec la dynamique d'agrégation des pôles.

Références

1. Darrieus, G. (1938). oeuvre présentée à la technique moderne.
2. Sivashinsky, G.I. Acta Astronautica 4, no. 11–12 (November 1977)
3. O. Thual, U. Frisch, and M. Henon. Journal de Physique 46, no. 9 (1985)
4. Abid, M., Sharif, J., & Ronney, P. D. (1998). Spring Technical Meeting of the Western States Section of the Combustion Institute.
5. Vledouts, A., Vandenberghe, N., & Villermaux, E. (2015, December). Proc. R. Soc. A (Vol. 471, No. 2184, p. 20150678). The Royal Society.