

Analyse du rôle des conditions aux limites acoustiques non linéaires dans les instabilités de combustion

T. Schuller¹, N. Tran¹, N. Noiray¹, D. Durox¹, S. Ducruix¹, & S. Candel^{1,2}

¹ Laboratoire EM2C, Ecole Centrale Paris et CNRS, 92295 Châtenay-Malabry, France

² Ecole Centrale Paris et Institut Universitaire de France

thierry.schuller@em2c.ecp.fr

Mini-colloque : Le non-linéaire, une clé pour les énergies de demain ?

Les instabilités de combustion sont un frein au développement de foyers à haute performance environnementale. Elles apparaissent notamment dans les turbines à gaz pour la production d'électricité, les chaudières thermiques de faible puissance (quelques kW) ou à grande puissance (quelques centaines de MW), les fours, les procédés industriels, les foyers de moteurs d'avions et les moteurs fusées. Elles sont caractérisées par des oscillations périodiques importantes du dégagement de chaleur et de la pression dans la chambre de combustion. Les déclenchements à partir de seuil, les décalages de fréquence, les commutations de mode et les phénomènes d'hystérésis sont souvent observés dans ces régimes instables. Ces mécanismes ne peuvent pas être décrits par des analyses classiques de stabilité linéaire et la réponse non linéaire de la flamme est souvent évoquée pour interpréter ces phénomènes. Il existe cependant d'autres mécanismes responsables de fortes non linéarités. Plusieurs études récentes montrent que les interactions de l'écoulement avec les conditions aux limites acoustiques de la chambre de combustion dépendent également du niveau des perturbations. Ces phénomènes doivent être pris en compte dans l'analyse de la dynamique du système. Ceci est illustré à l'aide de deux exemples. La réponse acoustique non linéaire de deux configurations souvent rencontrées dans des foyers est étudiée expérimentalement. La première correspond à une plaque perforée située sur une cavité résonante et traversée par un écoulement lent. La seconde correspond à une collection de petites flammes coniques stabilisées à la sortie d'un brûleur. Ces éléments sont soumis à des perturbations acoustiques d'amplitude croissante, jusqu'à atteindre des niveaux couramment rencontrés lors d'instabilités de combustion. On montre que la réponse des limites du système peut être analysée par une impédance qui dépend du niveau de la perturbation. On généralise pour cela la notion d'impédance $Z(\omega)$ par son extension non linéaire qui tient compte du niveau d'amplitude $Z(\omega, |p'|$ ou $|u'|)$ où $|p'|$ et $|u'|$ représentent les niveaux des perturbations de pression ou de vitesse. En utilisant ce concept, on montre qu'une plaque perforée utilisée comme système de contrôle passif pour atténuer des instabilités perd ses propriétés absorbantes pour des niveaux d'amplitude élevée. On montre également que la réflexion des ondes acoustiques sur une flamme est modifiée à forte amplitude. L'influence de ces éléments sur la stabilité non linéaire d'un brûleur générique peut être décrite par une méthode d'analyse basée sur le calcul de l'évolution de l'harmonique principal de la réponse de la flamme (Flame Describing Function) [1]. Cette méthode est ici étendue à des systèmes présentant des interactions complexes avec les conditions aux limites décrites par des fonctions $Z(\omega, |p'|$ ou $|u'|)$ (Impedance Describing Function) .

Références

1. N. NOIRAY, D. DUROX, T. SCHULLER, S. CANDEL, A unified framework for nonlinear stability analysis based on the flame describing function, *Journal of Fluid Mechanics*, **615** 139-167 (2008).