Denis Veynante

Laboratoire E.M2.C.
CNRS et Ecole Centrale Paris
Grande Voie des Vignes
92295 Châtenay-Malabry

denis.veynante@em2c.ecp.fr

Introduction à la combustion

La combustion, qui représente aujourd'hui environ 80 % de la conversion de l'énergie primaire, est connue et utilisée depuis la nuit des temps. Certains systèmes, comme les moteurs automobiles à combustion interne, l'exploitent depuis la fin du XIXe siècle. Pourtant, elle est encore aujourd'hui un domaine très actif de recherche et de développement, car phénomène complexe à la croisée de multiples disciplines (mécanique des fluides, chimie, thermique, transferts de masse, changement de phases, …) et malgré des progrès indéniables, elle n'est pas encore complètement maîtrisée. De nombreuses améliorations sont encore nécessaires, notamment pour augmenter les rendements, réduire la consommation et les émissions de gaz à effet de serre ou polluants ou encore concevoir des systèmes plus sûrs.

L'objectif de ce premier cours est de mettre en évidence les principaux phénomènes physiques rencontrés dans les systèmes qui exploitent la combustion (moteurs spatiaux, aéronautiques ou automobiles, fours, incinérateurs, etc…), tout en soulignant les progrès déjà effectués ou espérés. Les techniques de simulations numériques et les moyens de calcul seront brièvement discutés car un rêve, encore inaccessible, serait d'anticiper entièrement le comportement d'un système par calcul pour l'optimiser tout en limitant la construction de prototypes coûteux.

La fin prévisible de pétrole suscite de nombreuses questions et de nouveaux champs de recherche doivent se développer (hydrogène, biocarburants,…). Si la prédiction est un art difficile, surtout en ce qui concerne l'avenir, quelques éléments de réflexion seront discutés.

Structures de flamme

Combustible et comburant peuvent être mélangés avant combustion (*flammes de prémélange*) ou, au contraire, arriver séparément dans la zone de réaction (*flammes de diffusion ou non-prémélangées*). Ces deux situations génériques idéales (en pratique, le mélange n'est jamais parfait) ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients et conduisent à des structures de flamme complètement différentes. Elles seront illustrées par l'analyse théorique des cas les plus simples.

La situation se complique lorsqu'une flamme est soumise à un écoulement turbulent qui peut fortement affecter son comportement : augmentation de la surface de flamme, et donc du taux de réaction total, modification de sa structure interne, voire conduire à son extinction. La comparaison des temps et des échelles caractéristiques de la combustion et de la turbulence

permet d'établir des *diagrammes de combustion* qualitatifs qui servent de support au développement de modèles.

Combustion turbulente

La combustion se produit en régime turbulent dans la quasi-totalité des systèmes d'intérêt pratique. En effet, la turbulence favorise, au moins dans certaines limites, le développement de la flamme et l'augmentation des taux de réaction, ce qui permet, à puissance égale, la réalisation de dispositifs plus compacts qu'avec des flammes laminaires. Malheureusement, turbulence et combustion sont indépendamment des phénomènes particulièrement complexes et leur couplage constitue un challenge pour la modélisation et la simulation numérique.

Il ne s'agit pas dans le temps imparti de détailler les nombreux modèles disponibles dans la littérature mais de mettre l'accent sur certains points particuliers importants, parfois oubliés ou négligés. En revanche, les concepts qui sous-tendent la plupart de ces modèles seront discutés tout en mettant en évidence les liens qui les relient, plus étroits qu'on ne le croit souvent. Enfin, quelques perspectives offertes par la simulation aux grandes échelles seront esquissées.