

Calculs « frontières » dans le domaine de combustion

Sébastien Candel, Thomas Schmitt, Ronan Vicquelin et Sébastien Ducruix
Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, Laboratoire EM2C, CNRS

Les progrès de la simulation numérique en combustion ont eu une influence marquante sur la recherche scientifique dans ce domaine et sur les méthodes de conception utilisables en pratique. A partir d'une liste de questions centrales rencontrées dans l'analyse de la combustion, les progrès et les défis seront examinés et illustrés au moyen d'exemples de calculs extrêmes. On traite plus spécialement des progrès réalisés en simulation des grandes échelles pour analyser des problèmes de combustion turbulente et de dynamique de la combustion. Le premier cas est celui de l'allumage complet d'une chambre de combustion annulaire représentative de celles utilisées dans les moteurs d'avions ou les turbines à gaz. On simule dans ce cas une centaine de millisecondes d'un écoulement turbulent réactif, formé par un grand nombre d'injecteurs (Fig. 1). Il faut pour réaliser ce calcul utiliser un maillage comportant 310 millions d'éléments et traiter non seulement les variables qui décrivent l'écoulement mais aussi celles qui représentent les taux de réaction. Cette simulation doublement complexe nécessite 1.5 Million d'heures. Réalisé sur un seul processeur, elle prendrait plus d'un siècle (il n'y a, malheureusement, que 8760 heures dans un an). C'est toute l'extraordinaire puissance du calcul parallèle que de permettre de répartir la charge sur plusieurs milliers de processeurs pour obtenir la solution en moins d'un mois. Le deuxième exemple est celui de la combustion cryotechnique transcritique. Ce type de combustion est utilisé dans les moteurs-fusées à haute performance comme Vulcain de la fusée Ariane. Dans les conditions de fonctionnement très haute pression et basse température d'injection, l'oxygène injecté dans la chambre est caractérisé par une masse volumique élevée de l'ordre de 1100 kg/m^3 . Il faut utiliser des équations d'état, une thermodynamique et des coefficients de transport de gaz réel pour décrire le système. La simulation doit pouvoir prendre en compte une triple complexité: l'écoulement est réactif, turbulent et transcritique. On doit aussi pouvoir analyser des situations dans lesquelles cet écoulement interagit avec des modes acoustiques résonants. L'état de l'art sera illustré par plusieurs exemples de calcul récents et des comparaisons avec des expériences. Les calculs à haute performance (HPC) décrits précédemment montrent que des progrès substantiels ont été réalisés sur des questions scientifiques majeures mais ces calculs ont aussi une utilité pratique pour la conception et le développement industriel. La simulation, désormais incontournable, a remplacé pour une bonne part les processus d'essais du type « cut and try » qui étaient la norme dans les développements techniques. On fait toujours des essais mais ils sont désormais guidés par la simulation. La simulation permet de comprendre, maîtriser, tester, améliorer, comparer et optimiser. Un objectif fondamental de la recherche en HPC est d'explorer par des simulations « frontières » ce que seront les méthodes de conception de demain, faire que les moyens développés par la recherche deviennent des outils utilisables en conception. Le calcul à haute performance répond évidemment à des objectifs scientifiques mais il peut aussi traiter d'enjeux économiques et sociétaux. Il est tout aussi important de concevoir des systèmes plus performants, d'augmenter leur efficacité énergétique, de réduire les émissions polluantes, en un mot d'augmenter la qualité et donc la compétitivité.

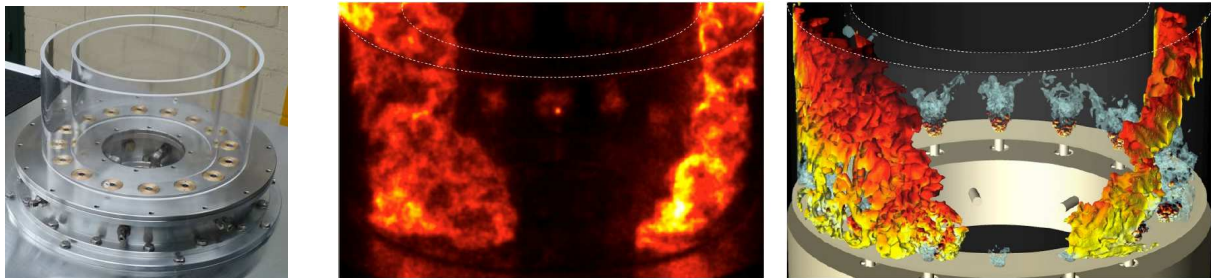


Figure 1. Allumage d'un foyer annulaire. A gauche : le banc MICCA, une chambre annulaire à parois transparentes donnant un accès optique à la zone de combustion. Le foyer comporte 16 injecteurs swirlés. Au centre : image instantanée de l'émission de lumière de la flamme au cours de l'allumage, A droite : image obtenue par calcul pour le même instant (M. Philip, M. Boileau, R. Vicquelin, T. Schmitt, D. Durox, J.F. Bourgouin, S. Candel (2015) *J. Eng. Gas Turbines Power (ASME)* 137(3), 031501. Simulation of the ignition process in an annular multiple-injector combustor and comparison with experiments.)