

Couplage adaptatif pour la résolution instationnaire de problèmes couplés : application à l'allumage d'une chambre de combustion

Laurent FRANÇOIS^{1,2}, JOËL DUPAYS¹, MARC MASSOT²

¹ONERA - Palaiseau, ²CMAP - École Polytechnique- Palaiseau

Email : laurent.francois@onera.fr

Mots Clés : couplage, méthodes numériques, instationnaire

Biographie – Diplômé de l'ISAE Supaero, Laurent François réalise une thèse à l'ONERA Palaiseau et le laboratoire de mathématiques appliquées CMAP de l'École Polytechnique. Les travaux portent sur la simulation de l'allumage de moteurs-fusées à propergol solide, et notamment le couplage instationnaire de solveurs thermiques et fluides.

Resumé : À l'ONERA, des simulations multiphysiques sont effectuées pour étudier le fonctionnement de moteurs à propergols solides, très utilisés pour la propulsion spatiale. Ce mode de propulsion met en jeu plusieurs physiques. Le propergol constitue un bloc solide qui, une fois chauffé suffisamment, se décompose en surface en émettant des gaz dans une chambre de combustion où différents phénomènes apparaissent (réaction, convection, acoustique...). Simuler le fonctionnement d'un tel moteur requiert le couplage de différents solveurs [1] : un pour la dynamique des fluides dans la chambre, un autre pour la thermique et la combustion du propergol [2]. Ces deux solveurs sont physiquement couplés au niveau de la surface du propergol, et se communiquent des grandeurs de couplage : pression dans la chambre, flux de chaleur, débit de gaz issu du propergol... Cela est très proche du conjugate heat transfer, où le phénomène étudié est l'échauffement d'un solide par un écoulement fluide.

Comme dans la majorité de la littérature existante pour ce genre de sujet, le couplage des 2 solveurs est effectué à intervalles réguliers. De plus, en raison du coût de résolution associé à chaque solveur, le couplage est lâche, i.e. explicite sans itération jusqu'à convergence des valeurs de couplage à chaque pas de temps, et l'ordre global du couplage en temps est 1. Enfin, assurer la conservation de l'énergie globale n'est pas trivial [4]. Quelques tentatives ont été présentées pour permettre une adaptation dynamique du pas de couplage en assurant la conservativité [3], cependant l'ordre du couplage reste égal à 1. Pour des questions d'efficacité et de précision, il est important d'obtenir un ordre plus élevé tout en permettant l'adaptation du pas de couplage, notamment pour l'étude de phénomènes instationnaires sensibles.

Dans cet exposé, nous présentons une analyse de ce couplage en considérant une hiérarchie de cas test simplifiés. Ce cadre nous permettra d'introduire des méthodes permettant d'augmenter l'ordre temporel du couplage et d'adapter dynamiquement le pas de temps de couplage. La stabilité du couplage sera étudiée, et l'on proposera une approche pour assurer la conservation de l'énergie globale. Enfin, un cas réaliste d'allumage d'une chambre de combustion sera présenté pour démontrer l'apport de ces développements.

Références

- [1] A. Bizot. Ignition and unsteady combustion of AP-based composite propellants in subscale solid rocket motors. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, 4(1-6) :1046–1061, 1997.

- [2] L. François, J. Dupays, D. Davidenko, and M. Massot. Efficient and high-fidelity adaptive time numerical simulations of dae resulting from a one-dimensional low-mach number approximation of reacting flows : a case-study of solid propellant combustion. *submitted*, 2021.
- [3] C. Koren, R. Vicquelin, and O. Gicquel. Self-adaptive coupling frequency for unsteady coupled conjugate heat transfer simulations. *International Journal of Thermal Sciences*, 118 :640–654, 1997.
- [4] E. Radenac, J. Gressier, and P. Millan. Methodology of numerical coupling for transient conjugate heat transfer. *Computer and Fluids*, 100 :95–107, 2014.