Vers une nouvelle stratégie pour la simulation haute-fidélité d'EDP couplées en s'appuyant sur des codes spécialisés

Laurent FRANÇOIS, DMPE - ONERA - Palaiseau

Joël DUPAYS, DMPE - ONERA - Palaiseau

Marc MASSOT, CMAP/CNRS - École Polytechnique - Palaiseau

Il est généralement difficile de simuler le couplage instationnaire entre différents domaines spatiaux sujets à des physiques potentiellement différentes, notamment lorsque ces domaines échangent des flux (énergie, masse...) à travers des surfaces physiques, comme par exemple dans le cas du transfert de chaleur conjugué [3] ou la combustion de propergols solides [2].

De tels systèmes sont généralement simulés à l'aide de codes spécialisés, un pour chaque domaine, qui sont couplés à intervalles de temps réguliers pour calculer la dynamique couplée. Dans la littérature, les nombreuses implémentations d'un tel couplage ne sont souvent précises qu'au premier ordre en temps, avec un pas de temps de couplage fixe, ce qui a pour conséquence une efficacité et une précision limités. Pendant un pas de temps de couplage, chaque domaine est intégré de manière indépendante, en supposant un état figé pour les autres domaines. Des implémentations d'ordre supérieur ont été proposées, reposant sur l'application du même schéma temporel dans tous les solveurs [1]. Cependant, la possibilité d'effectuer des sous-pas pour chaque solveur est perdue, et des modifications intrusives doivent être implémentées dans les logiciels existants.

Dans cette contribution, nous proposons de généraliser les schémas classiques de couplage du premier ordre à des ordres supérieurs en considérant une approximation polynomiale en temps des flux de couplage, basée sur leurs valeurs aux instants de couplage précédents. Cette technique permet d'obtenir une convergence temporelle d'ordre supérieur, tout en nécessitant peu de modifications dans les solveurs existants spécifiques aux différents domaines. Un estimateur de l'erreur locale du couplage numérique peut être construit simplement, ce qui permet d'adapter dynamiquement le pas de temps de couplage des différents solveurs. De même, il est possible de faire évoluer l'ordre de convergence du couplage au cours du temps, afin d'améliorer la stabilité et la précision du calcul. Nous décrivons d'abord la méthode de couplage et étudions ses propriétés. Nous démontrons ensuite l'applicabilité de cette approche sur un cas test simplifié, modélisant le transfert de chaleur conjugué entre deux milieux séparés par une interface physique, en laquelle se produit aussi un dégagement de chaleur modélisant l'effet de réactions de surface.

[1] P. Birken, K. J. Quint, S. Hartmann, A. Meister. *A time-adaptive fluid-structure interaction method for thermal coupling.* Computing and visualization in science, **13(7)**, 331–340, 2010.

[2] L. François. *Multiphysical modelling and simulation of solid rocket motor ignition.* Ph.D. thesis, Institut Polytechnique de Paris, 2022.

[3] C. Koren, R. Vicquelin, O. Gicquel. *Self-adaptive coupling frequency for unsteady coupled conjugate heat transfer simulations.* International Journal of Thermal Sciences, **118**, 340 – 354, 2017.

Contact : `laurent.francois@onera.fr`