

Couplage aéro-thermo-mécanique pour l'interaction flamme-paroi

B. Baqué¹, F. Feyel¹, A. Roos¹,
M.-P. Errera², E. Laroche³, D. Donjat³

¹ DMSM, ONERA, France, {benedict.e.baque,frederic.feyel,arjen.roos}@onera.fr

² DSNA, ONERA, France, marc.errera@onera.fr

³ DMAE, ONERA, France, {emmanuel.laroche,david.donjat}@onera.fr

De par les besoins de plus en plus importants exprimés par les industriels en matière d'études pluridisciplinaires, le calcul scientifique se doit désormais d'utiliser des modèles de plus en plus réalistes et de prendre en compte la complexité multiphysique des phénomènes. Par exemple, l'étude des flux de chaleur sur la paroi d'une chambre de combustion fait intervenir simultanément la mécanique des fluides, la mécanique des structures et le rayonnement. Or, il existe actuellement à l'ONERA des codes de recherche spécialisés très performants, développés en utilisant les méthodes et les modèles les plus appropriés pour résoudre chaque physique séparément. La stratégie retenue pour l'élaboration d'un outil de simulation multiphysique consiste à coupler ces logiciels propres à chaque discipline, tout en respectant leur architecture, leur organisation et leur plan de développement. Il s'agit donc de couplage externe.

Ce papier présente le processus mis en place pour la validation du couplage aéro-thermo-mécanique [3] entre le code de mécanique des fluides CEDRE et le code de mécanique des structures Z-SeT (dont les modules thermique et mécanique sont considérés comme indépendants), sur la base de résultats expérimentaux. Les échanges d'information entre codes sont effectués via la bibliothèque de couplage MpCCI.

Dans le cas de l'utilisation du couplage aéro-thermique pour l'étude de l'évolution des températures à l'intérieur d'un solide en régime transitoire, la grande disparité des temps caractéristiques entre les milieux fluide et solide amène à utiliser un algorithme simplifié (quasi-instationnaire), basé sur la méthode de couplage convection-conduction (Conjugate Heat Transfer) [1] : la description du système couplé est basée sur la physique la plus lente, à savoir le régime transitoire thermique au sein du solide, ce qui conduit à représenter le fluide par une succession d'états stationnaires. Les conditions d'équilibre (égalité des températures et des flux) à l'interface sont assurées à chaque instant de couplage, grâce à une recherche de point fixe.

La performance de la méthode à décrire le champ de température d'une structure en régime transitoire, sur une période de temps non négligeable, a été démontrée à l'aide de la comparaison entre les évolutions de température calculées à la surface d'une plaque plane placée dans un écoulement d'air laminaire et soumise à des échelons de flux de chaleur, avec les données d'une expérience récente [2].

Afin de valider la totalité de la chaîne de couplage aéro-thermo-mécanique, à l'équilibre des flux et des températures à l'interface viennent se rajouter ceux des pressions et des déplacements, ce qui induit l'utilisation d'un maillage déformable côté fluide.

Le cas de validation traite d'un phénomène physique complexe, l'interaction flamme-paroi : une flamme de prémélange propane-air vient impacter une plaque plane. Le banc d'essai de cette expérience a été élaboré au sein de l'ONERA Toulouse (photographie en Fig. 1), dans le cadre d'une étude de caractérisation et simulation du comportement thermique d'un élément rentrant en compte dans le processus de certification de la résistance au feu avion [4]. C'est un problème complet de couplage aéro-thermo-mécanique puisque l'écoulement réactif que constitue la flamme provoque un échauffement du matériau auquel vient se rajouter une déformation significative de la plaque, modifiant ainsi la forme même de la flamme.

Les mesures du champ de température à l'arrière de la plaque (obtenues par thermographie infrarouge), de la forme du front de flamme (caméra UV) et de déformation de la plaque sont comparées aux résultats du calcul couplé aéro-thermo-mécanique, dont le schéma est présenté en Fig. 2.



FIG. 1 – Photographie du banc Interaction flamme-paroi (ONERA Toulouse).

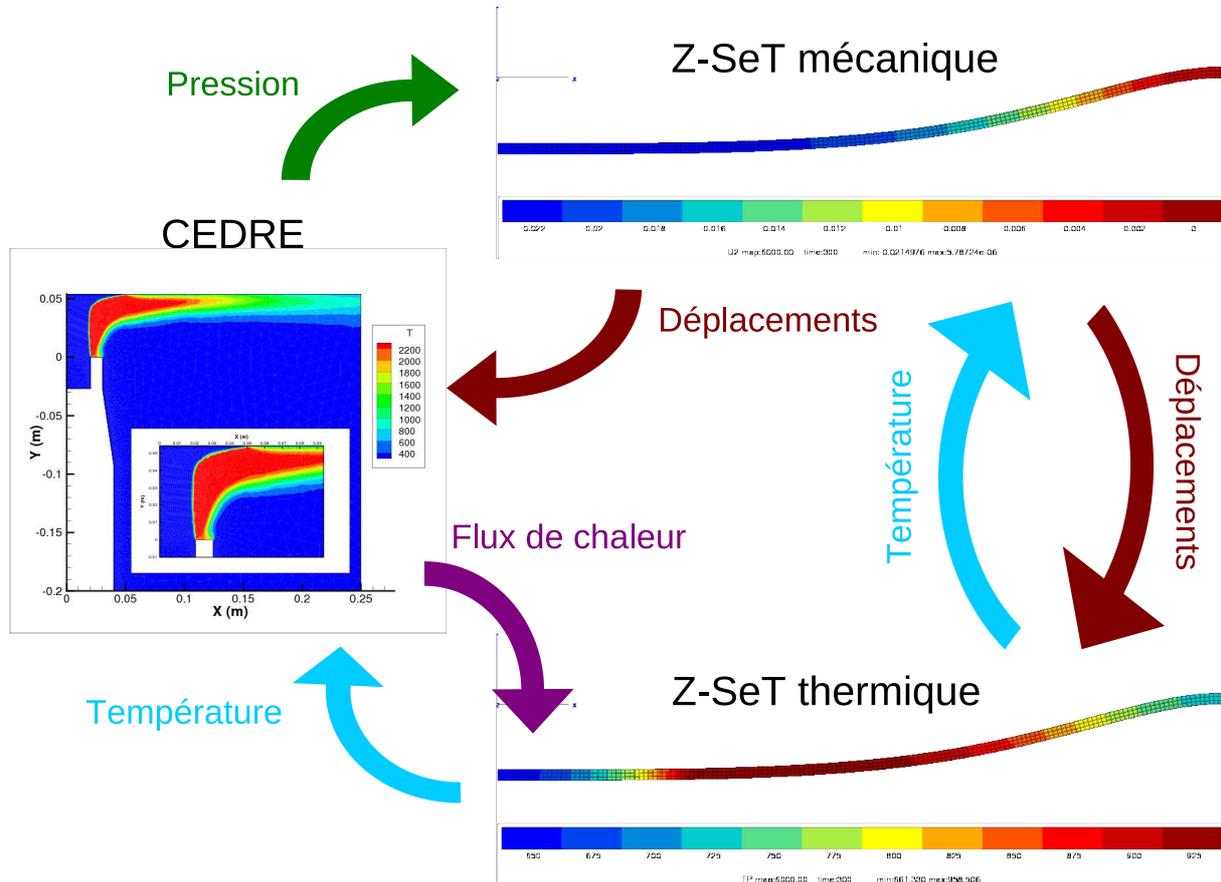


FIG. 2 – Schéma du couplage aéro-thermo-mécanique entre les codes CEDRE et Z-SeT.

Références

- [1] B. Baqué, M.-P. Errera, A. Roos, *Coupling procedure for modelling transient Conjugate Heat Transfer*, Proceedings of Coupled Problems, 2009.
- [2] M.-P. Errera, B. Baqué, M. Rebay, *A numerical and experimental study of transient Conjugate Heat Transfer in a flat plate*, Proceedings of Int. Symp. on Convective Heat and Mass Transfer in Sustainable Energy, 2009.
- [3] J.-D. Garaud, *Développement de méthodes de couplage aéro-thermo-mécanique pour la prédiction d'instabilités dans les structures spatiales chaudes*, PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie / ONERA, 2008.
- [4] H. Roinard, F. Micheli, P. Reulet, P. Millan, *Transferts thermiques lors de l'interaction flamme paroi*, Actes du congrès annuel de la Société Française de Thermique, 2007.