

Reconstruction Volumique de Résultats de Simulation à Base Chimère

Volumetric Reconstruction of Chimera Simulation Results

Minh Duc Huynh et Wilfrid Lefer

English Abstract—Computational fluid dynamics is an essential step in gas turbine modelling. Continuous optimization of turbines has led to sophisticated geometries, which raise severe issues for the design of adapted simulation grids. The chimera technique aims at relaxing geometry matching constraints by allowing grids overlap. However, post-processing of simulation results performed over chimera grids raises new issues because usual tools are not tuned for this particular geometric configurations.

In the framework of the MOSART programme of the world competitiveness cluster Aerospace Valley, we have been working in collaboration with Turbomeca in order to develop a technique for the volumetric reconstruction of chimera simulation results. We propose an innovative method that allows us to build a collection of non-overlapping grids while preserving the main properties of the former simulation grids and featuring boundary conforming property everywhere. The theoretical complexity of our algorithms has proved to be linear in the size of the former grids and leads to computation times of a few seconds for grids of hundreds of thousands of cells.

The main impact of this work leads in the possibility of using any post-processing tool, including a large number of OpenSource solutions, for post-processing chimera simulation results, which is a mandatory condition for the wide acceptance of this method by industry actors.



1 INTRODUCTION

La simulation numérique des écoulements est largement utilisée dans le domaine de l'aéronautique afin de simuler le déplacement de l'air le long d'un profil d'avion ou encore l'écoulement du gaz au sein d'une turbine équipant un hélicoptère. Les écoulements sont modélisés par les équations de Navier-Stokes, qui, dans le cas général, ne peuvent être résolues analytiquement. On a donc recours à l'approximation numérique, qui va consister à discrétiser l'espace et le temps afin d'estimer la solution en certains points à certains instants. L'espace est discrétisé selon une grille, dont la topologie est souvent imposée par le logiciel de résolution, appelé *solveur*. L'optimisation continue de la CAO des équipements, en particulier les moteurs, a conduit à des géométries très complexes. La conséquence est qu'il est souvent pratiquement impossible de modéliser une grille qui épouse la forme du carter et occupe parfaitement l'espace au sein duquel circule le fluide sans générer d'intersection avec le carter. Celui-ci est lui-même le plus souvent modélisé par morceaux et présente des discontinuités et la seule solution qui s'offre à l'ingénieur est alors de modéliser une grille différente pour chaque partie du carter.

Se pose alors le problème du recollement de différentes grilles, de topologies éventuellement dif-

férentes, afin de pouvoir modéliser le déplacement du fluide d'une grille à l'autre. La complexité de la CAO des chambres de combustion rendant ce processus tellement difficile, la technique chimère a été inventée, qui consiste à relaxer la contrainte de recollement parfait pour autoriser le chevauchement entre grilles. Elle s'accompagne de règles de calcul permettant de gérer correctement ce chevauchement lors de la simulation mais ce n'est pas le cas ensuite et le post-traitement des résultats de simulation se heurte à ces géométries partiellement recouvrantes qui mettent en défaut la plupart des traitements classiques. Si certains logiciels de simulation remédient à ce problème, en proposant leurs propres solutions de visualisation, les utilisateurs sont privés de l'accès à un large éventail de solutions proposés par des logiciels tiers et notamment des logiciels OpenSource, comme ParaView.

Nous proposons une méthode permettant de reconstruire un maillage exempt de recouvrement. Les données d'entrée sont un ensemble de grilles, de topologies et granularités quelconques, présentant des recouvrements partiels. Le résultat est un ensemble de grilles modélisant le même espace 3D mais sans recouvrement et sans trou. Notre méthode consiste à détecter puis détruire certaines cellules afin de supprimer les recouvrements puis de reconstruire une partition de l'espace créé entre les grilles afin que l'ensemble du domaine soit couvert. Nous préservons par conséquent autant que faire se peut la topologie des grilles de départ. Les nouvelles grilles créées afin de boucher les trous entre grilles d'origine présentent

- Minh Duc Huynh: LIUPPA - Université de Pau et des Pays de l'Adour
E-mail: minh-duc.huynh@univ-pau.fr.
- Wilfrid Lefer: LIUPPA - Université de Pau et des Pays de l'Adour
E-mail: lefer@univ-pau.fr.

la propriété d'être conformes aux bords, autrement dit les faces, arêtes et sommets en contact entre grilles adjacentes coïncident.

2 MÉTHODE

Notre méthode est illustrée sur la page couleur de cet article. Nous partons de deux grilles \mathcal{C} et \mathcal{F} partiellement recouvrantes, situation typique des résultats de simulation à base chimère. Nous procédons en 2 étapes :

- 1) Détruire les cellules de la grille \mathcal{C} qui ont une intersection non nulle avec la grille \mathcal{F} pour obtenir une nouvelle grille \mathcal{C}^- ,
- 2) Construire une tétraédralisation \mathcal{G} de la zone entre \mathcal{C}^- et \mathcal{F} afin d'obtenir un pavage sans trous du domaine initial constitué de 3 grilles : \mathcal{C}^- , \mathcal{F} et \mathcal{G} .

La seconde étape consiste à tétraédraliser un domaine 3D fermé, ce qui sera réalisé par une tétraédralisation de Delaunay contrainte. Nous avons donc besoin au préalable de calculer une enveloppe fermée qui servira de contrainte. La seconde étape se décompose donc ainsi :

- 1) Construire une enveloppe fermée $\partial\mathcal{G}$ de \mathcal{G} ,
- 2) Générer une tétraédralisation de Delaunay à bord conforme \mathcal{G} de l'intérieur de $\partial\mathcal{G}$.

L'enveloppe du trou $\partial\mathcal{G}$ de \mathcal{G} est constituée de 3 composantes :

- $\partial\mathcal{G}_\mathcal{C}$: la composante de $\partial\mathcal{G}$ constituée de faces de la grille extrudée \mathcal{C}^- ,
- $\partial\mathcal{G}_\mathcal{F}$: la composante de $\partial\mathcal{G}$ constituée de faces de la grille \mathcal{F} ,
- $\partial\mathcal{G}_\mathcal{G}$: la composante de $\partial\mathcal{G}$ constituée de faces créées afin de fermer $\partial\mathcal{G}$.

Nous définissons les faces de la première composante comme étant adjacentes à la fois à une cellule détruite de \mathcal{C} et à une cellule conservée dans \mathcal{C} . Les faces de la deuxième composante sont définies comme appartenant au bord de \mathcal{F} et ayant au moins un sommet à l'intérieur de \mathcal{C} .

Nous procédons ensuite à l'extraction du bord de chacune des deux premières composantes. La troisième composante doit fermer l'enveloppe du trou, autrement dit nous devons calculer une triangulation valide permettant de joindre deux contours 1D fermés. Le problème étant très compliqué en 3D, car il faut pouvoir détecter les auto-intersections de la surface ainsi que ses intersections avec les deux autres composantes, nous le résolvons en 2D. Ceci implique de déterminer une transformation géométrique afin d'amener les deux contours dans le plan. Nous déterminons ainsi un plan moyen, à l'aide d'une méthode de régression orthogonale, et nous définissons le repère destination comme supporté par ce plan. Nous réalisons ensuite la triangulation dans le plan.

Il nous reste à calculer une tétraédralisation de l'intérieur de l'enveloppe du trou. Nous faisons une

tétraédralisation de Delaunay à bords conformes afin d'obtenir une partition de l'espace qui soit manifold. Nous obtenons une partition constituée de trois grilles, \mathcal{C}^- , \mathcal{F} et \mathcal{G} , dont les sommets, arêtes et faces coïncident à leurs frontières communes.

3 RÉSULTATS

Nous avons évalué notre méthode sur un cas industriel constitué de deux grilles d'environ 200 000 mailles chacune, qui est présenté au bas de la planche couleur jointe. Les temps de traitement mesurés, de l'ordre de la seconde sur un ordinateur portable haut de gamme, rendent cette méthode utilisable sur n'importe quelle machine dans le cadre d'un travail interactif. Les complexités théoriques obtenues attestent que le passage à des grilles de très grande taille ne posera pas de problèmes de temps de calcul, tout au plus des problèmes de taille mémoire.

4 CONCLUSION

Nous avons proposé une méthode permettant de remailler les résultats de simulation à base chimère, dont les principales propriétés sont :

- la nouvelle grille est à bords conformes avec les deux autres grilles, ce qui rend robuste l'exécution de tous les calculs de post-traitement qui pourraient être effectués en aval,
- la complexité théorique est linéaire et les temps de calculs obtenus expérimentalement ont confirmé cette propriété. Nous proposons ainsi une méthode de reconstruction pouvant être utilisée dans le cadre d'un travail interactif puisque les temps de calcul sont de l'ordre de la seconde.

Notre méthode a été intégralement implémentée en tant que plugin du logiciel OpenSource ParaView, ce qui permet à l'utilisateur de la connecter à un très grand nombre de traitements et de techniques de visualisation afin d'analyser visuellement les résultats de simulation à base chimère, ou de sauvegarder le résultat pour un usage ultérieur.

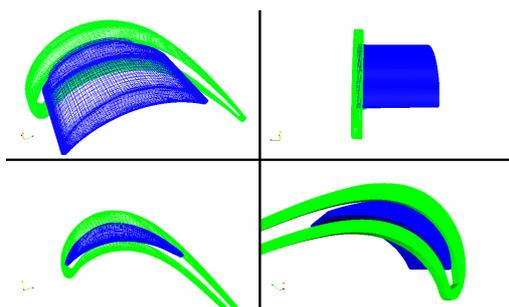
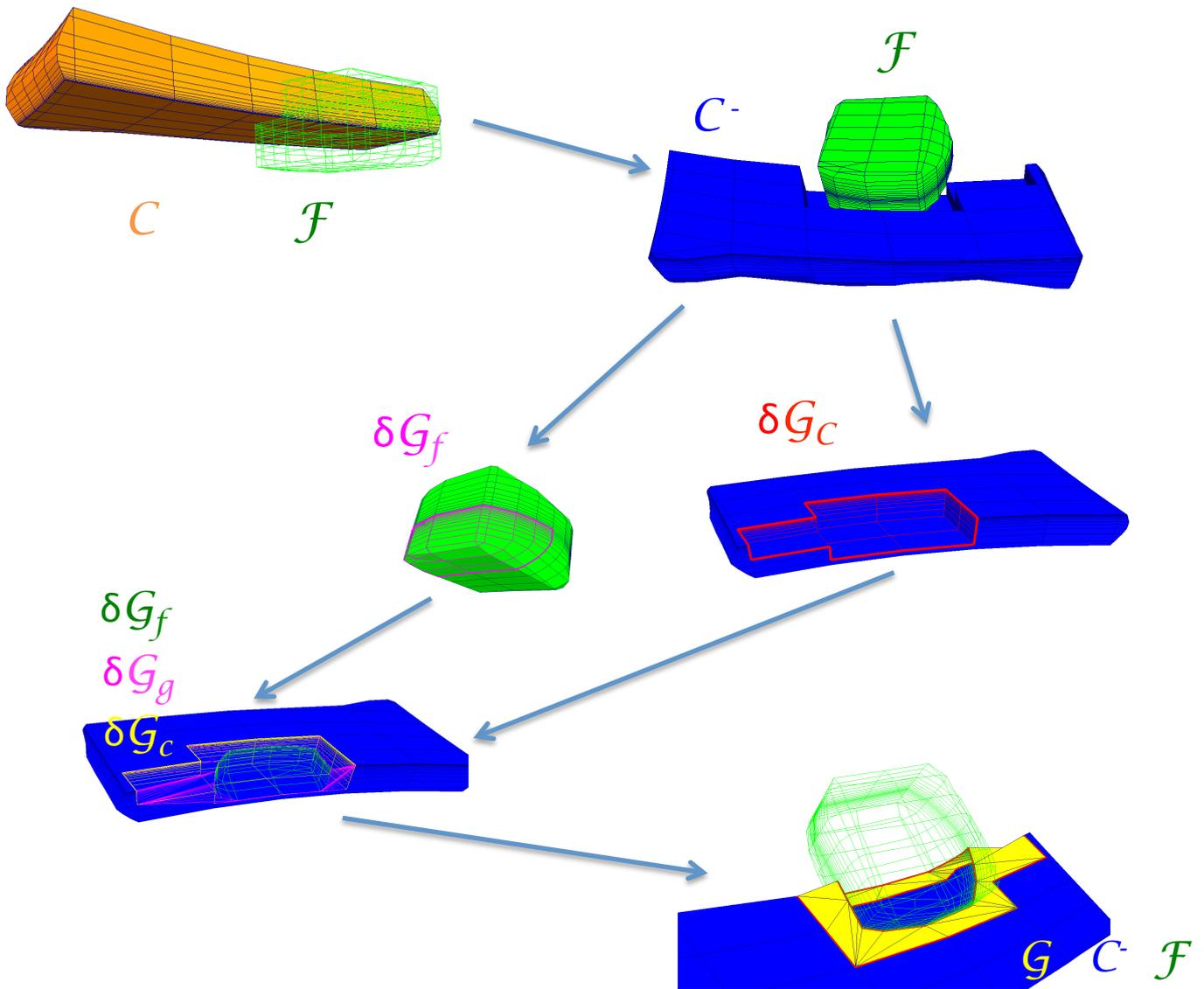
L'intérêt majeur de cette contribution est de permettre l'analyse et le post-traitement des résultats de simulation à base chimère et par là même l'adoption de cette méthode de simulation par les bureaux d'étude.

5 REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme MOSART¹, du pôle de compétitivité Aérospace Valley², en collaboration avec l'entreprise Turboméca, leader mondial pour la construction des turbines à gaz équipant les hélicoptères. Il a été financé par le Conseil Régional d'Aquitaine.

1. <http://www.mosart.org/>

2. <http://www.aerospace-valley.com/fr/>



Etape	Temps d'exécution en ms	Proportion du temps total
Extrusion de C	920	74,61%
Construction de δG	256	20,76%
Construction de G	57	4,62%
Total	1233	100%

Symbole	Type de structure	# sommets	# cellules	Type(s) de cellule
C	Grille non structurée	203000	189312	Tétraèdres, prismes, hexaèdres
F	Grille non structurée	130368	120960	Tétraèdres, prismes, hexaèdres
C^-	Grille non structurée	202399	188673	Tétraèdres, prismes, hexaèdres
G	Grille non structurée	1206	10241	Tétraèdres