

L'objet de cette thèse est de concevoir, à partir de données simulées, un modèle statistique d'approximation des sorties du code de calcul en fonction de ses entrées (ou métamodèle), de temps d'évaluation négligeable, permettant le calcul de cette dispersion. La démarche anticipée comprend trois étapes :

Dans un premier temps, on mettra au point un modèle physique simplifié représentant la majorité des phénomènes physiques ayant un impact sur l'émission infrarouge. Ce modèle sera nécessairement limité à un sous-domaine de l'espace complet formé par tous les facteurs d'entrée du problème. Sa précision sera testée en quelques points de l'espace, en utilisant les résultats provenant de la modélisation physique complète. Plus précisément, un modèle simplifié sera associé à la partie aérothermochimie et un autre à la partie rayonnement. Dans le premier cas, deux approches seront envisagées : l'utilisation de calculs non convergés et la méthode Pod (Proper Orthogonal Decomposition), qui permet de capturer dans une base fonctionnelle les principaux modes d'un système comportant un très grand nombre de degrés de liberté. Dans le deuxième cas, nous disposons de codes de calculs moins coûteux que pour la partie aérothermochimie et il est envisageable de simplifier les conditions de simulation pour obtenir une version plus rapide.

Malgré ces simplifications, le modèle obtenu restera trop coûteux en temps de calcul pour conduire à la dispersion de l'émission infrarouge.

Ainsi, la deuxième étape de la thèse consistera à prendre en compte le gradient du modèle par rapport aux paramètres, afin d'enrichir la base de données de construction du modèle réduit. L'objectif du travail, plus ambitieux, est d'intégrer à Cedre (Code Onera de Calcul d'Écoulements Diphasiques Réactifs pour l'Énergétique) une technique d'optimisation sous contrainte permettant de minimiser une fonction de coût en fonction de paramètres liés à la géométrie ou aux paramètres de l'écoulement comme la pression, la température ou la vitesse. L'intérêt de cette technique est d'avoir accès au gradient du modèle pour la construction du modèle réduit. Une autre application à terme de cette nouvelle fonctionnalité Cedre sera la possibilité d'améliorer les propriétés radar d'un propulseur en adaptant automatiquement des degrés de liberté dans la géométrie de l'engin.

Pour réaliser cette optimisation, nous proposons d'utiliser un opérateur adjoint analogue à celui mis en œuvre dans le code Elsa (Ensemble Logiciel de Simulation en Aérodynamique) de l'Onera [1,2], en l'adaptant aux contraintes spécifiques à Cedre. On écrira l'opérateur adjoint discret par rapport aux paramètres de contrôle, en particulier vis à vis de paramètres décrivant la géométrie de la tuyère d'un propulseur. Étant donné la complexité des opérateurs associés à Navier-Stokes compressible pour un mélange multi-espèces et en présence de chimie et de filtrage turbulent, on évitera les dérivations analytiques en s'appuyant sur des techniques de différenciation automatique [3]. Cette approche permettra d'obtenir une approximation des gradients des opérateurs nécessaires au calcul de l'adjoint. La technique devra être couplée avec une méthode de déformation des frontières et du maillage comme la méthode ALE [4] ou la méthode Chimère [5], toutes deux déjà présentes dans Cedre. La méthode permettra alors d'optimiser la forme de la géométrie pour minimiser la fonction de coût.

Enfin, la troisième étape consistera à mettre au point un modèle réduit en utilisant les techniques de régression les plus récentes : kriging, réseaux de neurones, approximations creuses par chaos polynomial... Afin d'exploiter au mieux les résultats issus des deux types de modèles, simplifié et fin, une stratégie de construction adaptative multifidélité du modèle réduit sera mise en œuvre. Quelques approches ont été proposées ces dix dernières années pour construire des métamodèles multifidélité [6-8] mais elles sont essentiellement ciblées sur les modèles de co-krigeage autorégressifs avec un coefficient d'ajustement simple. Ces modèles conviennent bien lorsque le modèle simplifié (ou basse fidélité) est une version du modèle haute-fidélité avec convergence numérique dégradée. Ils présentent également l'avantage de pouvoir prendre en compte le gradient de la fonction haute fidélité par rapport aux paramètres. Cependant, dans notre cas, des modèles simplifiés obtenus à l'aide de la méthode Pod pourront être utilisés en plus de calculs non convergés et la structure hiérarchique ne sera plus respectée. Il faudra donc proposer une nouvelle méthodologie, basée sur des techniques de régression plus génériques : mélanges de métamodèles, modèles à base d'ondelettes [9] ou de polynômes locaux. De plus, le nombre de calculs basse fidélité d'aérothermochimie sera limité et il sera donc essentiel de les choisir avec soin, ainsi que de pouvoir intégrer de nouvelles simulations, soit en réestimant les paramètres du modèle réduit, soit en le recalant, afin de profiter au mieux de toute l'information disponible. Il faudra mettre au point une stratégie innovante d'enrichissement itératif de la base de simulations servant à l'apprentissage du

modèle réduit.

La dernière partie de la thèse sera consacrée au calcul de la dispersion de l'émission infrarouge d'un moteur-fusée, à partir du modèle réduit mis au point.

- [1] J. Peter, Discrete adjoint method in elsA (PART I): method/theory, 7th ONERA-DLR Aerospace Symposium, Toulouse, France 4-6 octobre 2006.
- [2] I. Salah El Din, G. Carrier, S. Mouton, Discrete Adjoint Method in elsA (part II): Application to Aerodynamic Design Optimisation, 7th ONERA-DLR Aerospace Symposium, Toulouse, France 4-6 octobre 2006.
- [3] A. Griewank, G. Corliss, eds. Automatic differentiation of algorithms: theory, implementation, and application. Philadelphia, PA: Society for industrial and Applied Mathematics, 1991.
- [4] J. Donea, A. Huerta, J Ph. Ponthot, A. Rodríguez Ferran. Arbitrary Lagrangian–Eulerian methods. Encyclopedia of computational mechanics, 2004.
- [5] W. Shyy, D. Jenkins, & R. Smith, Study of adaptive shape airfoils at low Reynolds number in oscillatory flows. AIAA journal, 35(9), 1545-1548, 1997.
- [6] M. C. Kennedy et A. O'Hagan, Predicting the Output From a Complex Computer Code When Fast Approximations Are Available, Biometrika 87, 1-13, 2000.
- [7] Z. Qian et C. F. J. Wu, Bayesian Hierarchical Modeling for Integrating Low-Accuracy and High-Accuracy Experiments, Technometrics 50, 192-204, 2008.
- [8] L. Le Gratiet et J. Garnier, Recursive co-kriging model for Design of Computer experiments with multiple levels of fidelity with an application to hydrodynamic, submitted to Int. J. of Uncertainty Quantification, 2012.
- [9] D. Castaño et A. Kunoth, Robust regression of scattered data with adaptive spline-wavelets, IEEE transactions on image processing 15 (6), 1621–32 (2006).

Collaborations extérieures :

PROFIL DU CANDIDAT

Formation : Etudiant en école d'ingénieurs ou master 2

Spécificités souhaitées : aérothermochimie, différentiation automatique, éléments finis, statistiques