



Développement de stratégies d'adaptation de maillage pour les problèmes à paramètres variables

Analysis Development of adaptive mesh refinement strategies for problems with variable parameters

Soutenance de thèse – Hugo DORNIER

Mardi 9 décembre 2025 à 14h00
Salle AY-02-63 - ONERA Meudon

Lien JITS : https://rdv.onera.fr/phd_defense_hugo_dornier
(Configuration recommandée : navigateur Chrome)

Devant le jury composé de :

Examineurs :

- Martin Vohralik, Directeur de recherche, Inria, Paris, France
- Anca Belme, Maitresse de conférences, sorbonne université, Paris, France
- Jean-François Remacle, Professeur, Université catholique de Louvain, Louvain, Belgique

Rapporteurs :

- Richard Dwight, Professeur, TU Delft, Delft, Pays-Bas
- Vincent Moureau, Directeur de recherche, CORIA, Rouen, France

Co-Directeur de thèse :

- Olivier Le Maître, Directeur de recherche, Ecole polytechnique, Palaiseau, France

Co-Encadrant de thèse :

- Itham Salah El Din, Ingénieur de recherche, ONERA, Meudon, France

Invités :

- Pietro Congedo, Directeur de recherche, Inria, Palaiseau, France
- Sébastien Bourasseau, Ingénieur de recherche, ONERA, Châtillon, France

Résumé / Abstract :

Pour les simulations numériques de modèles physiques, le raffinement adaptatif de maillage (AMR) ajuste de manière itérative la résolution locale des maillages en fonction des caractéristiques des solutions, produisant ainsi des maillages répondant aux exigences de précision prescrites. Au-delà du calcul de la solution finale, l'AMR introduit des surcoûts liés aux évaluations répétées de la solution et aux mises à jour du maillage, qui deviennent significatifs lorsque plusieurs simulations avec des conditions de fonctionnement variables sont nécessaires, comme dans les analyses paramétriques ou de sensibilité. Des stratégies évitant le recours à un AMR complet répété sont donc d'un intérêt pratique. Ce travail aborde le contrôle simultané du coût et de la précision avec conditions de fonctionnement variables à travers trois paradigmes d'adaptation de maillage :

Adaptation de Maillage Moyenne (MMA) : Construit un maillage adapté unique minimisant l'erreur moyenne sur une gamme de conditions, en utilisant des estimations de l'erreur locale moyenne, par Monte Carlo, à chaque itération. Appliquée à un cas industriel de scramjet supersonique, la MMA surpasse les approches existantes, mais devient coûteuse pour de faibles erreurs moyennes ou lorsque les caractéristiques de la solution dépendent fortement des conditions.

Sélection de Maillage Basée sur l'Erreur (EMS) : Pour les solutions dont la topologie est très sensible, l'EMS sélectionne, dans une bibliothèque pré-calculée, le maillage minimisant l'erreur pour la condition choisie. Une méthode de sélection approximative rapide est proposée, et les tests sur des écoulements de choc simplifiés montrent une sélection de maillage quasi optimale et un contrôle efficace de l'erreur.

Interpolation de Maillage basée sur le Transport (TMI) : L'EMS repose sur des maillages adaptés à des conditions spécifiques fixées, ce qui limite sa robustesse. La TMI construit des maillages pour de nouvelles conditions via l'interpolation entre des maillages adaptés représentés par des nuages de points, en utilisant leur barycentre de Wasserstein. Une contribution clé de la TMI est la reconstruction des nuages de points interpolés en maillages. A bibliothèque équivalente, cette approche surpasse EMS en termes d'erreur atteinte avec un surcoût minimal.

In numerical simulations of physical models, Adaptive Mesh Refinement (AMR) iteratively adjusts local mesh resolution to solution features, achieving meshes that meet prescribed accuracy. Beyond computing the final solution, AMR introduces overhead from repeated solution evaluations and mesh updates, which becomes significant when multiple simulations under varying operating conditions are needed, such as in parametric or sensitivity analyses. Strategies that avoid repeated full AMR are thus of practical interest. This work addresses simultaneous control of cost and accuracy under variable operating conditions through three mesh adaptation paradigms:

Mean Mesh Adaptation (MMA): *Builds a single adapted mesh minimizing the average error over a range of conditions, using Monte Carlo estimates of local error at each iteration. Applied to an industrial supersonic scramjet case, MMA outperforms state-of-the-art methods, but becomes costly for low mean errors or highly condition-dependent features.*

Error-Based Mesh Selection (EMS): *For solutions with highly sensitive topologies, EMS selects the mesh from a precomputed library that minimizes error for the chosen condition. A fast-approximate selection method is proposed, and tests on simplified shockflows demonstrate near-optimal mesh selection and error control.*

Transport-Based Mesh Interpolation (TMI): *EMS relies on meshes adapted to specific conditions, which limits its robustness. TMI constructs meshes tailored to new conditions via interpolation between adapted meshes represented as point clouds, using Optimal Transport Wasserstein barycenters. A key contribution of TMI is the reconstruction of the interpolated point clouds into meshes. With similar libraries, this approach outperforms EMS error levels with minimal overhead.*

Mots clés / Key words :

Adaptation de maillages, variabilité paramétrique, incertitudes, transport optimal, interpolation de maillages, estimation d'erreur

Mesh adaptation, parametric variability, uncertainty, optimal transport, mesh interpolation, error estimates