

# Formation Spécialisée

## MASTERE DMS

### Design des Matériaux et des Structures

## OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2021/2022

### Encadrement

---

Augustin Parret-Fréaud, Mouad Fergoug et Nicolas Feld (Safran Tech), Basile Marchand (Mines ParisTech)

### Titre

---

**Évaluation et extension d'une méthode d'estimation d'erreur de modèles pour des calculs multi-échelles reposant sur la théorie de l'homogénéisation périodique**

### Contexte

---

Les bureaux d'études ont de plus en plus recours aux simulations numériques lors des processus de dimensionnement des pièces aéronautiques. Si les progrès effectués en la matière permettent de simuler des systèmes physiques de plus en plus complexes, les coûts de calcul des composants aéronautique à l'échelle de la pièce prenant en compte les effets de la microstructure sont inenvisageables. Les simulations de structures sont alors réalisées en considérant des comportements matériaux homogénéisés. Cependant, cette homogénéisation du comportement induit une erreur certaine en termes de représentativité physique du modèle.

Afin de pallier ce manque de représentation des phénomènes locaux à l'échelle globale, une approche consiste à recourir aux méthodes de type zoom structural, consistant à coupler au sein d'une même analyse des zones décrites par des modèles à niveau de fidélité différent [1]. Ce type d'approche est peu à peu employée au sein de Safran pour la prise en compte des détails géométriques (micro-perforations) lors du dimensionnement des structures chaudes [2]. Leur extension au calcul multi-échelle, en présence de zones décrites à l'échelle macroscopique par un comportement homogénéisé et de zones décrites à l'échelle microscopique, amène de nombreux défis scientifiques faisant l'objet de travaux spécifiques [3]. Dans tous les cas, la position et taille du zoom sont jusqu'alors déterminés *a priori*, même si de récentes contributions se sont penchées sur l'adaptation automatique dans le cadre de la représentation des détails géométriques [4].

Pour répondre à cette dernière problématique, un stage DMS [5] suivi par une thèse (en cours de réalisation) ont été proposés conjointement par Safran et Mines ParisTech afin d'élaborer des stratégies d'adaptation automatique par zoom structural guidé par un estimateur d'erreur de modèle (ayant pour but de quantifier l'écart entre une solution issue d'un modèle simplifié et celle, généralement inconnue, du modèle fin de référence). Pour l'heure, ces travaux se sont placés dans le cadre des matériaux dont la microstructure vérifie les hypothèses de l'homogénéisation périodique [6]. Dans ce contexte, une première stratégie d'estimation d'erreur de modèle reposant sur une relocalisation au second ordre des champs de la solution macroscopique, combinée avec un traitement spécifique des conditions aux limites [7], a été proposée et est en cours de développement.

### Objectif et travail proposé

---

L'objectif de ce stage est d'évaluer la stratégie d'estimation d'erreur de modèle précitée. Il s'agit dans un premier temps d'évaluer la robustesse de son implémentation sur plusieurs cas d'application distincts (structures en matériaux composites, alliages métalliques, lattices...). Dans un second temps, on s'intéressera à l'étude de la robustesse des résultats obtenus lorsque l'on

s'éloigne progressivement des hypothèses de l'homogénéisation périodique. L'objectif sera alors de mieux cerner les domaines d'applications possibles de la stratégie et d'évaluer la faisabilité de corrections spécifiques.

Les grandes étapes du stage sont les suivantes :

- Etude bibliographique :
  - des méthodes de calcul multi-échelle et notamment de la théorie de l'homogénéisation périodique ;
  - des méthodes d'estimation de l'erreur de modèle ;
- Prise en main de la méthode d'estimation d'erreur de modèle et évaluation de sa robustesse sur des cas de complexité croissante vérifiant les hypothèses de l'homogénéisation périodique ;
- Évaluation de la robustesse de la méthode pour des cas dont la configuration peut violer partiellement les hypothèses de l'homogénéisation périodique, comparaison des résultats et cartographie des utilisations possibles et des limites de l'approche actuelle ;
- Étude et proposition de stratégies correctives en cas de non-vérification des hypothèses de l'homogénéisation périodique et évaluation de leur apport.

## Profil demandé

---

Le sujet convient à un candidat ayant un profil mécanique des matériaux et des structures ou mathématiques appliquées, et qui souhaite mettre en œuvre ces connaissances dans des calculs de structures, analyse numérique et programmation (Python, C/C++).

## Références bibliographiques

---

- [1] L. Gendre, O. Allix, P. Gosselet, et F. Comte, « Non-intrusive and exact global/local techniques for structural problems with local plasticity », *Comput Mech*, vol. 44, n° 2, p. 233-245, juill. 2009, doi: 10.1007/s00466-009-0372-9.
- [2] M. Blanchard, « Méthode global/local non-intrusive pour les simulations cycliques non-linéaires », phd thesis, Université Paris-Saclay, 2018. Consulté le: févr. 11, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01852574>
- [3] M. Wangermez, O. Allix, P.-A. Guidault, O. Ciobanu, et C. Rey, « Interface coupling method for the global–local analysis of heterogeneous models: A second-order homogenization-based strategy », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 365, p. 113032, juin 2020, doi: 10.1016/j.cma.2020.113032.
- [4] M. Tirvaudey, L. Chamoin, R. Bouclier, et J.-C. Passieux, « A posteriori error estimation and adaptivity in non-intrusive couplings between concurrent models », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 367, p. 113104, août 2020, doi: 10.1016/j.cma.2020.113104.
- [5] M. Fergoug, « Estimation of modeling error in heterogeneous materials », Mines ParisTech, Rapport de maîtrise DMS, sept. 2019.
- [6] C. Boutin, « Microstructural effects in elastic composites », *International Journal of Solids and Structures*, vol. 33, n° 7, p. 1023-1051, mars 1996, doi: 10.1016/0020-7683(95)00089-5.
- [7] H. Dumontet, « Study of a boundary layer problem in elastic composite materials », *ESAIM: M2AN*, vol. 20, n° 2, Art. n° 2, 1986, doi: 10.1051/m2an/1986200202651.

**Formation Spécialisée**  
**MASTERE DMS**  
**Design des Matériaux et des Structures**