

# Formation Spécialisée

## MASTERE DMS

### Design des Matériaux et des Structures

## OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2023/2024

### Encadrement

---

Augustin Parret-Fréaud (SAFRAN), Basile Marchand (CDM-Mines Paris)

### Titre

---

### **Extension d'une stratégie de zoom structural global/local automatique par homogénéisation asymptotique au cas des structures non périodiques**

### 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 différents niveaux de fidélité [1]. Ce type d'approche est peu à peu employé 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 qui ont fait l'objet de travaux spécifiques [3,5]. Cependant, en l'absence d'estimateurs permettant d'évaluer l'erreur de modélisation, à savoir le remplacement du modèle microscopique par un modèle macroscopique, la position et la taille du zoom sont jusqu'alors déterminées a priori, par l'utilisateur, 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, une thèse a été réalisée en collaboration entre Safran et Mines Paris [5]. Les développements de cette thèse ont permis de mettre en place des stratégies d'adaptation par zoom structural pilotées 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 développée. De plus, les solutions obtenues par le biais de la procédure de relocalisation au second ordre précédente se sont montrées particulièrement prometteuses dans l'optique d'améliorer le couplage en déplacement entre le modèle macroscopique et une zone de réanalyse locale à l'échelle microscopique, qui est l'une des briques fondamentales des approches de type *zoom structural*.

## Objectif et travail proposé

---

Ce stage s'inscrit dans la continuité des précédents travaux menés en collaboration par Safran et Mines Paris. Son objectif est double :

- étendre la stratégie d'estimation d'erreur de modèle et donc de sélection des zones d'analyse à l'échelle microscopique (zoom) au cas de structures ne respectant pas l'hypothèse de périodicité ;
- étendre la stratégie de couplage unidirectionnel par relocalisation des champs de déplacement à un couplage bidirectionnel, par le biais de la construction d'un champ d'inter-efforts compatible avec le problème macroscopique à partir de la solution du problème microscopique.

Les applications cibles typiques sont les structures de type aube de soufflante en composite tissé 3D.

Les différentes étapes de ce stage seront :

- Une étude bibliographique :
  - homogénéisation asymptotique ;
  - extension de l'homogénéisation asymptotique aux structures non-périodiques ;
  - méthode de couplage entre modèles incompatibles.
- Prise en main des travaux de M. Fergoug [5] :
  - prise en main du logiciel Z-set;
  - prise en main de l'homogénéisation asymptotique dans Z-set ;
  - reproduction d'un cas de référence.
- Extension de la démarche :
  - homogénéisation asymptotiques sur des structures non périodiques ;
  - stratégie de couplage bidirectionnelle entre modèles incompatibles à échelles différentes.

L'ensemble des développements réalisés feront l'objet de preuves de concept sur structures académiques, puis, si le temps le permet, d'une application progressive sur des structures semi-industrielles de complexités croissantes.

## Compétences et profil demandé

---

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

Conditions : Ingénieur et/ou Master recherche - Bon niveau de culture générale et scientifique. Bon niveau de pratique du français et de l'anglais. Bonnes capacités d'analyse, de synthèse, d'innovation et de communication. Qualités d'adaptabilité et de créativité. de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition.

## 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.

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

- [2] M. Blanchard, « Méthode global/local non-intrusive pour les simulations cycliques non-linéaires », phdthesis, 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, « Développement d'une stratégie d'estimateur d'erreur de modèle et application à l'adaptation de modèle multi-échelle », Thèse de Doctorat, Mines Paris, fevr. 2023.
- [6] C. Boutin, « Microstructural effects in elastic composites », *International Journal of Solids and Structures*, vol. 33, no 7, p. 1023-1051, mars 1996, doi: 10.1016/0020-7683(95)00089-5.
- [7] Mouad Fergoug, Augustin Parret-Fréaud, Nicolas Feld, Basile Marchand, Samuel Forest. Multiscale analysis of composite structures based on higher-order asymptotic homogenization with boundary layer correction. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 2022, 96, pp.104754.