

# Formation Spécialisée

## MASTERE DMS

### Design des Matériaux et des Structures

## OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2022/2023

### Encadrement

---

Augustin Parret-Fréaud & Nicolas Feld (SAFRAN Tech), Basile Marchand (CDM-Mines Paris)

### Titre

---

**Évaluation et extension des méthodes de couplage entre modèles incompatibles : application au zoom structural bidirectionnel en contexte multi-échelles**

### 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 aéronautiques 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 différents [1]. Ce type d'approche est peu à peu employé au sein du Groupe Safran pour la prise en compte des détails géométriques (micro-perforations) lors du dimensionnement de 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]. Le premier défi consiste en l'identification des zones de zoom pertinentes pour l'amélioration globale de la solution calculée. Pour répondre à cette problématique, un stage [4] suivi par une thèse en cours ont été proposés conjointement par Safran et MINES Paris afin de développer des stratégies d'adaptation automatique par zoom structural guidé par un estimateur d'erreur de modélisation. Pour l'heure, ces travaux se sont placés dans le cadre des matériaux dont la microstructure vérifie les hypothèses de l'homogénéisation périodique [5]. Dans ce contexte, une première stratégie d'estimation d'erreur de modélisation reposant sur une relocalisation au second ordre des champs de la solution macroscopique, combinée avec un traitement spécifique des conditions aux limites, a été proposée et mise en place.

Il apparaît alors un autre défi majeur dans l'application des méthodes de zoom structural : l'écriture des conditions de raccord entre les deux échelles en présence. Étant donné l'incompatibilité des modèles devant communiquer au cours du calcul, les conditions d'interface nécessitent un traitement particulier. Un mauvais formalisme de ces conditions d'interface se traduit alors par une source d'erreur additionnelle ce qui va à l'opposé de l'objectif premier des méthodes de zoom, à savoir améliorer la prédictivité de la solution éléments finis.

## Objectif et travail proposé

---

L'objectif de ce stage est d'évaluer les différentes stratégies de couplage de modèles incompatibles (surfaciques et volumiques) existantes dans la littérature. Il s'agit, dans un premier temps, d'évaluer la robustesse des différentes approches sur plusieurs cas d'application distincts (structures en matériaux composites, alliages métalliques, lattices...). Dans un second temps, on s'intéressera à la mise en place de préconisations spécifiant les champs d'application recommandés des différentes méthodes étudiées afin de spécifier pour chaque méthode de couplage ses domaines d'application respectifs.

Les grandes étapes du stage sont les suivantes :

- Une étude bibliographique :
  - des méthodes de calcul multi-échelle ;
  - des méthodes de couplage de modèles ;
- Prise en main du logiciel de calcul par éléments finis Z-set ;
- Implémentation des stratégies de couplages identifiées lors de l'étude bibliographique ;
- Étude de robustesse sur différents cas d'application.

## Compétences et 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++). Capacité d'analyse et de synthèse, 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.
- [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. Fergoug, « Estimation of modeling error in heterogeneous materials », Mines ParisTech, Evry, Rapport DMS, sept. 2019.
- [5] 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.