
Stratégies basées sur les données en calcul des structures et passages d'échelles en mécanique des matériaux

Felipe Figueredo Rocha¹, Auriane Platzer², Adrien Leygue³, and Laurent Stainier^{*4}

¹Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Echelle (MSME) – Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Gustave Eiffel – Université Gustave Eiffel, 5 Bd Descartes, 77454 Marne-la-Vallée, Cedex 2 Université Paris-Est Créteil Val de Marne (UPEC) Faculté des Sciences et Technologie - Equipe de Biomécanique 61 avenue du général de Gaulle 94010 Créteil Cedex, France

²INSA Lyon, CNRS, LaMCoS, UMR5259, 69621 Villeurbanne, France – Institut National des Sciences Appliquées (INSA) - Lyon – France

³Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France – France

⁴Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique – Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France – France

Résumé

De nombreux problèmes d'ingénierie impliquent des matériaux présentant une microstructure (composites, polycristaux, ...) à l'échelle de laquelle il est important de modéliser les mécanismes contrôlant la réponse mécanique du matériau en question. Cette réponse mécanique joue par ailleurs un rôle clé dans la réponse structurale des composants utilisant le matériau, à une échelle le plus souvent beaucoup plus grande que celle de la microstructure, motivant le recours à des approches multi-échelles.

Dans un cadre non-linéaire (p.e. grandes transformations et/ou comportement irréversible), la réponse mécanique du matériau hétérogène n'est que rarement réductible à un modèle analytique explicite, conduisant aux approches multi-échelles simultanées, comme par exemple les approches FE² ou FExFFT. Ces approches numériques sont cependant pénalisées par un coût de calcul très élevé, limitant fortement leur utilisation dans un cadre industriel. Le développement fulgurant des outils d'apprentissage statistique ces dernières années a de son côté motivé de très nombreux travaux sur leur application à la construction de modèles de substitution à base de réseaux de neurones. L'application de ces méthodes à la mécanique des solides demande cependant un effort spécifique pour intégrer les contraintes imposées par les principes physiques (symétrie, dissipation, ...) et elles impliquent un coût d'apprentissage très significatif.

Cet exposé se focalisera donc sur une approche alternative aux précédentes, basée sur l'utilisation directe et dynamique des données générées par calcul micromécanique (homogénéisation numérique sur VER, p.e.). Le principe de base repose sur l'approche proposée

*Intervenant

par Kirchdoerfer et Ortiz en 2016, consistant à minimiser la distance entre un ensemble discret de données matériaux et le sous-espace des états mécaniques admissibles, dans l'espace constitutif (déformations et contraintes). Le coût numérique de cette méthode, sans phase d'apprentissage, est principalement lié à des recherches de plus proches voisins dans l'espace constitutif. Sa précision et sa robustesse dépendent par ailleurs de la qualité (densité, niveau de bruit) des données dans les régions explorées. La méthode fournit naturellement la distance entre le sous-espace des états mécaniques admissibles et les données, qui peut donc être utilisée comme indicateur de la qualité locale de ces dernières. Cela permet de construire progressivement la base de données matériau, en recourant au calcul micromécanique uniquement quand et où cela est nécessaire, conduisant à des gains de performance significatifs par rapport à une approche systématique de type FE². Différentes stratégies d'enrichissement dynamique de la base de données seront discutées, dont certaines inspirées par les méthodes d'apprentissage adaptatif et d'apprentissage par renforcement.