



université PARIS-SACLAY

# « MODÉLISATION ET SIMULATIONS NUMÉRIQUES DU COUPLAGE : MÉCANOPHYSIQUES, MÉCANOFIABILISTE, MÉCANOBIOLOGIQUE » PAR TAREK MERZOUKI

**Discipline : Génie Mécanique**

## **Résumé :**

Les travaux présentés dans ce mémoire s'articulent autour de trois thèmes : i) la modélisation et simulation du couplage multiphysique, ii) l'optimisation fiabiliste des structures complexes, et iii) la modélisation et simulation en biomécanique et mécanobiologie. Dans le premier thème, j'aborde à la fois la modélisation du couplage thermomécanique des alliages à mémoire de forme et la modélisation mécano-thermo-chimique des matériaux réfractaires. Ce travail a permis de développer une méthodologie basée sur le dialogue calcul numérique/expérience en vue d'analyser et de modéliser des micro-mécanismes gouvernant le comportement à l'échelle microscopique : telle que les transformations de phase. Dans le deuxième thème, un couplage mécano-fiabiliste est développé, associant le calcul mécanique des structures, le calcul fiabiliste et l'optimisation. Le modèle optimisation fiabiliste ainsi développé est utilisé pour chercher une conception optimale fiable, répondant à un niveau de fiabilité fixé a priori, avec la

prise en compte de l'incertitude qui affecte directement les performances du système. La nature des entrées incertaines peut être : la variabilité des propriétés des matériaux, les imprécisions géométriques, les aléas des chargements appliqués, etc. Dans le troisième thème, le couplage mécanobiologique est abordé à travers l'étude du comportement de l'os humain en tant que matériau composite vivant multi-échelle. Ce genre d'investigations nécessite la mise au point d'une modélisation multi-échelle couplant des aspects mécaniques et biologiques, intégrant à la fois le comportement mécanique, le remodelage et la fracture osseuse. La mise en œuvre de cette approche est assez complexe à cause de la spécificité multiphasique (biologique et mécanique), multidisciplinaire (comportement, homogénéisation, remodelage et endommagement) et numérique (calcul par la méthode des éléments finis, maillages, implémentations d'algorithmes de calculs, etc.).

***Abstract:***

The work presented in this manuscript focuses on three themes: i) modeling and simulation of multiphysical coupling, ii) reliability optimization of complex structures, and iii) modeling and simulation in biomechanics. In the first theme, I address both the thermomechanical modeling of shape memory alloys and the mechano-thermo-chemical modeling of refractory materials. This work has allowed the development of a methodology based on the numerical computation/experience dialogue in order to analyze and model micro-mechanisms governing behaviour at the microscopic scale: such as the phase transformations. In the second theme, a mechano-reliability coupling is developed, associating the mechanical calculation of structures, reliability calculation and optimization. The reliability-based design optimization model thus developed is used to find the best optimal reliable design with a target reliability level, taking into account the uncertainty that directly affects the performance of the system. The nature of the uncertain inputs can be: the variability of material properties, geometrical inaccuracies, the hazards of applied loads, etc. In the third theme, mechanobiological coupling is addressed through the study of the behaviour of human bone as a multi-scale living composite material. This kind of investigation requires the development of multi-scale modeling coupling mechanical and biological aspects, integrating at the same time mechanical behavior, remodeling and bone fracture. The implementation of this approach is quite complex because of the multiphase (biological and mechanical), multidisciplinary (behavior, homogenization, remodeling and damage) and numerical specificity (finite element method calculation, meshing, implementations of calculation algorithms, etc.).

**Monsieur Thierry BARRIERE**, Professeur, Université de Franche comté (Rapporteur)  
**Monsieur Abdelghani SAOUAB**, Professeur, Université du Havre (Rapporteur)  
**Monsieur Olivier BRUNEAU**, Professeur, IUT de Cachan, Université Paris-Saclay (Rapporteur)  
**Monsieur Luc CHASSAGNE**, Professeur, Université de Versailles St Quentin (Examineur)  
**Monsieur Mohamed HABOUSSI**, Professeur, Université de Villetaneuse (Examineur)  
**Monsieur Abdelkhalak ELHAMI**, Professeur, INSA de Rouen (Tuteur)

**Contact :** DSR - Service FED : [theses@uvsq.fr](mailto:theses@uvsq.fr)