

# HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité: Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Par

**Baptiste GIRAULT**

## **Multiscale Characterization of Advanced Materials and Processes: From Additive Manufacturing to Biomechanics**

Travaux présentés et soutenus à Saint-Nazaire, le 3 mars 2026

Unité de recherche: Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM – UMR CNRS 6183)

### **Rapporteurs avant soutenance:**

Daniel CHATEIGNER

Professeur des Universités, Laboratoire de Cristallographie et Sciences des Matériaux, Université de Caen

Jean-François GANGHOFFER

Professeur des Universités, Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université de Lorraine

Laurent WEISS

Maître de conférences, HDR, Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université de Lorraine

### **Composition du Jury:**

Président:

Examineurs:

Valérie GEOFFROY

Directrice de Recherche INSERM, HDR, Regenerative Medicine and Skeleton, Nantes Université

David GLOAGUEN

Professeur des Universités, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, Nantes Université

Aurelien GOURRIER

Directrice de Recherche CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, Université Grenoble Alpes

Stephan V. ROTH

Professeur des Universités, Department of Fibre and Polymer Technology, KTH Royal Institute of Technology (Stockholm)

**Invité(s)**

Eric LE BOURHIS

Professeur des Universités, Institut Pprime, Université de Poitiers

**Titre :** Caractérisation multi-échelle des matériaux et processus avancés : de la fabrication additive à la biomécanique

**Mots clés :** Microstructures complexes, Comportement mécanique, Biomécanique, Caractérisation multi-échelle, Fabrication additive, Ingénierie tissulaire

**Résumé :** Tout au long de ma carrière, mes travaux de recherches ont visé à déchiffrer la relation complexe entre microstructure et comportement mécanique des matériaux. À l'interface de la fabrication additive et du génie tissulaire, j'étudie des systèmes où des phénomènes multiphysiques couplés — thermiques, métallurgiques, mécaniques et biologiques — gouvernent les performances. La fabrication additive illustre ces défis par la génération de microstructures hétérogènes, de gradients et de contraintes résiduelles, tandis que l'ingénierie tissulaire ou la médecine régénératrice les met en évidence dans l'architecture évolutive de l'os pendant la régénération. Dans ces deux domaines, comprendre et maîtriser ces mécanismes requièrent une caractérisation multi-échelle, capable de relier

structure et réponse mécanique. Mon expertise réside dans le développement et la mise en œuvre de telles approches, de par des expérimentations *in situ* et l'utilisation des grands instruments, afin d'extraire des descripteurs pertinents aux différentes échelles. Au sein du triptyque élaboration–caractérisation–modélisation, les données expérimentales multi-échelles assurent un rôle pivot permettant la validation et l'affinement des modèles prédictifs. Ce travail, intrinsèquement pluridisciplinaire, s'appuie sur des collaborations étroites avec des spécialistes des procédés, des modélisateurs et des biologistes, contribuant à élargir les connaissances fondamentales en science des matériaux et au développement d'innovations tant industrielles que biomédicales.

**Title:** Multiscale Characterization of Advanced Materials and Processes: From Additive Manufacturing to Biomechanics

**Keywords:** Complex microstructure, Mechanical behavior, Biomechanics, Multiscale characterization, Additive manufacturing, Tissue engineering

**Abstract:** Throughout my career, my research has focused on deciphering the intricate relationship between microstructure and mechanical behavior in complex materials. Positioned at the crossroads of additive manufacturing and tissue engineering, I investigate systems where coupled multiphysics phenomena—thermal, metallurgical, mechanical, and biological—govern performance. Additive manufacturing illustrates these challenges through the generation of heterogeneous microstructures, gradients, and residual stresses, while tissue engineering or regenerative medicine highlights them in the evolving architecture of regenerating bone. In both domains, understanding and controlling these mechanisms require comprehensive multiscale characterization that bridges structure and mechanical response.

My expertise lies in developing and implementing such approaches, through *in situ* experiments and the use of large facilities, enabling the extraction of meaningful descriptors across scales. Within the framework elaboration, characterization, and modeling, multiscale experimental data serve as pivot enabling predictive models to be validated and refined. This work, inherently multidisciplinary, thrives on close collaboration with process specialists, modelers, and biologists, expanding fundamental knowledge in material science and ensuring that advances in material design translate into both industrial and biomedical innovations.