



## Proposition de sujet de thèse- Contrats Doctoraux MESRI 2026-2029

<b>Titre du sujet</b>	Modélisation à l'échelle microscopique du comportement mécanique de composites à matrice céramique oxyde-oxyde : fissures de retrait de frittage et fluage
<b>Directeur de thèse*</b> *HDR	CUTARD Thierry ICA UMR 5312 / IMT Mines Albi thierry.cutard@mines-albi.fr
<b>Co-Directeur de thèse*</b> *HDR	
<b>Laboratoire</b>	Institut Clément ADER - ICA UMR CNRS 5312 Doctorat en Génie mécanique, mécanique des matériaux

### Description du sujet

**Contexte** - Les motoristes aéronautiques souhaitent introduire davantage de Composites à Matrice Céramique (CMC) dans les moteurs [1] afin de contribuer à réduire les émissions polluantes (augmentation des températures de fonctionnement, réduction de la masse) et faire face à des problématiques d'approvisionnement de certains métaux. Les CMC oxyde-oxyde sont pressentis pour des pièces d'arrière corps, faiblement chargées et travaillant à des températures inférieures à 1000°C. Le comportement en traction des CMC oxyde-oxyde est souvent bilinéaire, avec une diminution du module tangent pour des contraintes inférieures à 100 MPa [2-4]. Selon tous les scénarios d'endommagement proposés, une fissuration matricielle constitue la première étape d'endommagement. Cette fissuration se propage ensuite, entraînant des délaminages.

La fissuration matricielle est nécessaire pour obtenir un comportement non fragile du composite (concept de matrice faible permettant de retarder la rupture des fibres). Cependant, les premiers endommagements sont liés à des défauts (fissures de retrait de frittage, porosité due au procédé). De plus, l'état initial de fissuration du matériau, lié au retrait de la matrice au cours du frittage et lors du refroidissement après frittage, dépend de la séquence d'empilement [3,5].

**Problématique** - Une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement matriciel autour des défauts initiaux permettrait d'envisager de limiter leurs conséquences négatives. Du fait du caractère architecturé du matériau, la propagation des endommagements matriciels peut suivre un processus stochastique. La dimension des particules, de l'ordre de 0,2 µm, entraîne de nombreuses difficultés expérimentales pour étudier ces phénomènes locaux, dans un matériau présentant une grande variabilité et affectant les comportements à une échelle beaucoup plus grande (matériau considéré homogène à l'échelle de plusieurs plis).

**Objectifs** - L'objectif de cette thèse est de contribuer à une meilleure compréhension de l'endommagement matriciel dans les CMC oxyde-oxyde par une approche multi-échelle, dans lequel la matrice est modélisée à l'échelle submicronique par un réseau stochastique d'éléments connecteurs. Il s'agira d'enrichir le modèle élastique proposé dans la thèse de T. Canet [6] par une modélisation de l'endommagement matriciel sous chargement quasi-statique et thermomécanique afin de simuler les mécanismes à l'œuvre à l'issue du frittage et lors des premières étapes d'endommagement des composites oxyde-oxyde.

### **Références**

- [1] Bouillon E., SiC-Based Ceramic Matrix Composite Behavior Enhancement for Gas Turbines Hot Sections, E-abstract book, HT-CMC11, Jeju (Korea), p366, 2023
- [2] Ben Ramdane, C., Julian-Jankowiak, A., Valle, R. et al., 2017. Microstructure and mechanical behaviour of a Nextel TM610/alumina weak matrix composite subjected to tensile and compressive loadings. J Eur Ceram Soc 37, 2919–2932
- [3] Guel, N., Comportement mécanique de composites oxydes : relations procédé-microstructure-propriétés. Univ. Lyon 2018
- [4] Marin E., Comportement mécanique de composites oxyde/oxyde pour structures aéronautiques. Univ. Bordeaux, 2021
- [5] Shi Y., Jain N., Koch D., Investigation and modeling of tensile failure properties of wound ceramic matrix composites, Compos Part A, Vol. 114, pp. 316-26, 2018
- [6] Thierry Canet, Gilles Dusserre, Thierry Cutard, Contribution of microscale stochastic truss models to investigate the macroscale elasticity constants of porous ceramics, Eur J Mech/A, 111, p.105561, 2025



### Thesis proposal for a Doctoral position 2026-2029

<b>Title</b>	Micro-scale modelling of the mechanical behaviour of oxide-oxide ceramic matrix composites: shrinkage cracks and creep
<b>Supervisor*</b>	CUTARD Thierry ICA UMR 5312 / IMT Mines Albi *HDR thierry.cutard@mines-albi.fr
<b>Second Supervisor*</b>	*HDR
<b>Laboratory</b>	Institut Clément ADER - ICA UMR CNRS 5312 PhD in mechanical engineering, mechanics of materials

#### **Research project description :**

**Context** - Aircraft engine manufacturers want to introduce more ceramic matrix composites (CMCs) into engines [1] in order to reduce pollutant emissions (increased operating temperatures, reduced weight) and address supply issues for certain metals. Oxide-oxide CMCs are being considered for rear body parts that are lightly loaded and operate at temperatures below 1000°C. The tensile behaviour of oxide-oxide CMCs is often bilinear, with a decrease in the tangent modulus for stresses below 100 MPa [2-4]. According to all proposed damage scenarios, matrix cracking is the first stage of damage. This cracking then propagates, leading to delamination.

Matrix cracking is necessary to achieve non-brittle behaviour of the composite (the concept of a weak matrix delays fibre breakage). However, initial damage is linked to defects (sintering shrinkage cracks, process induced porosity). In addition, the initial crack density in the matrix, linked to constrained shrinkage during sintering and cooling after sintering, depends on the stacking sequence [3,5].

**Issue** - A better understanding of the mechanisms of matrix damage around initial defects would make it possible to consider limiting their negative consequences. The propagation of damage in an architecture material, like the matrix, can follow a stochastic process. Due to the particle size, around 0.2 µm, numerous experimental difficulties arise for studying these local phenomena in a material that exhibits high variability and affects the composite behaviour on a much larger scale (material considered as homogeneous at the scale of several plies).

**Objective** - The objective of this thesis is to contribute to a better understanding of matrix damage in oxide-oxide CMCs through a multiscale approach, in which the matrix is modelled at the submicron scale by a stochastic network of connector elements. The aim is to enhance the elastic model proposed in [6] by modelling matrix damage under quasi-static and thermomechanical loading in order to simulate the mechanisms at work after sintering and during the early stages of damage in oxide-oxide composites.

#### **References**

- [1] Bouillon E., SiC-Based Ceramic Matrix Composite Behavior Enhancement for Gas Turbines Hot Sections, E-abstract book, HT-CMC11, Jeju (Korea), p366, 2023
- [2] Ben Ramdane, C., Julian-Jankowiak, A., Valle, R. et al., 2017. Microstructure and mechanical behaviour of a Nextel TM610/alumina weak matrix composite subjected to tensile and compressive loadings. J Eur Ceram Soc 37, 2919–2932
- [3] Guel, N., Comportement mécanique de composites oxydes : relations procédé-microstructure-propriétés. Univ. Lyon 2018
- [4] Marin E., Comportement mécanique de composites oxyde/oxyde pour structures aéronautiques. Univ. Bordeaux, 2021
- [5] Shi Y., Jain N., Koch D., Investigation and modeling of tensile failure properties of wound ceramic matrix composites, Compos Part A, Vol. 114, pp. 316-26, 2018
- [6] Thierry Canet, Gilles Dusserre, Thierry Cutard, Contribution of microscale stochastic truss models to investigate the macroscale elasticity constants of porous ceramics, Eur J Mech/A, 111, p.105561, 2025