



## Proposition de sujet de thèse - Institut Clément Ader Contrats Doctoraux : IMT Mines Albi – Région Occitanie - 2021

<b>Titre du sujet</b>	<b>Couple matériau procédé virtuel pour des céramiques à hautes performances mécaniques et impact environnemental réduit (COMPROMI)</b>
<b>Directeur de thèse</b>	Thierry CUTARD, Professeur, IMT Mines Albi / Institut Clément ADER (ICA) / Groupe Matériaux et Structures Composites e-mail : thierry.cutard@mines-albi.fr tél. : 05 63 49 31 61
<b>Co-Directeur de thèse</b>	Gilles DUSSERRE, Maître-Assistant, IMT Mines Albi / Institut Clément ADER (ICA) / Groupe Matériaux et Structures Composites e-mail : gilles.dusserre@mines-albi.fr tél. : 05 63 49 33 09
<b>Laboratoire</b>	ICA UMR CNRS 5312 - Spécialité du doctorat : génie mécanique, mécanique des matériaux

### **Contexte**

Les céramiques poreuses sont présentes dans de nombreuses applications. En particulier, elles peuvent constituer la matrice de composites céramiques. Cette thèse porte sur des céramiques oxydes qui présentent certains atouts environnementaux. Leur procédé de fabrication requiert néanmoins de les porter à haute température pour obtenir un matériau à haute performances à partir d'un milieu granulaire. Afin de réduire l'impact environnemental, une diminution de la température de frittage peut être recherchée par l'introduction de particules formant des phases visqueuses à haute température et activant des mécanismes de frittage par flux visqueux.

### **Problématique**

Le procédé de mise en œuvre envisagé pour les composites oxyde-oxyde requiert de formuler une suspension à partir de poudres, d'en imprégner un renfort fibreux, puis de consolider le composite (séchage, puis frittage). Afin de déterminer la composition et le procédé optimaux pour une application visée, on propose de construire une modélisation des différentes étapes permettant de décrire les évolutions de paramètres microstructuraux et de les relier aux propriétés du matériau (couple matériau-procédé virtuel).

Cette thèse s'intéresse en particulier à l'étape de frittage, qui détermine la porosité finale de la matrice, et à l'impact de la présence des fibres sur les mécanismes de frittage par flux visqueux qui entraînent des non-uniformités de densité matricielle.

Plus généralement, les fibres simuleront la présence de constituants de grandes dimensions devant celles des particules d'oxydes. Introduits volontairement ou accidentellement (fibres dans un composite, agrégats dans un réfractaire, dégraissant dans un mélange argileux, impureté dans une matière recyclée, ...), ils peuvent limiter le retrait de frittage et modifier localement les compétitions écoulement/tension de surface par la présence de surfaces de nature et/ou de courbure différentes. Il en résulte des hétérogénéités de densité qui modifient les propriétés du matériau.

La **première partie du travail a pour objectif** d'approfondir la compréhension de l'évolution du système oxyde/oxyde au cours du frittage :

- **description des relations procédé-microstructure-propriété** : élaboration de compacts de poudre de différentes compositions et porosités / frittage à différents niveaux de porosité / caractérisation des propriétés mécaniques sous divers types de chargements / observation de la microstructure des différents états / analyse des évolutions du matériau et description des mécanismes.
- **modélisation des relations procédé-microstructure-propriété** : modélisation et simulation des évolutions de microstructure / relations microstructures-propriétés.

La **deuxième partie du travail** vise à caractériser et simuler l'effet de la présence de fibres sur les mécanismes de frittage. Malgré des phénomènes physiques identiques à ceux précédemment évoqués, les modèles numériques devront être adaptés à ces situations plus complexes. Des fibres d'alumine, inertes et rigides, seront ajoutées au système oxyde/oxyde étudié précédemment.

**Profil recherché** : titulaire d'un master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en sciences et/ou mécanique des matériaux, possédant des aptitudes en méthodes expérimentales, ainsi qu'en modélisation et simulation numérique.

### **Modalités de candidature**

Déposer votre candidature sur <https://www.adum.fr> (consulter le menu "Procédure/Candidature") et informer les co-directeurs de thèse par courriel lorsque le dépôt a été réalisé.

**Date limite de candidature : lundi 31 mai 2021.**



## Thesis proposal for a Doctoral position 2021-2024

<b>Title</b>	<b>COMPROMI - Virtual material-process couple for high mechanical performance ceramics and low environmental impact</b>
<b>Supervisor</b>	Thierry CUTARD, Professor, IMT Mines Albi / Institut Clément Ader (ICA) / Composites Materials and Structures Group e-mail : thierry.cutard@mines-albi.fr tél. : 05 63 49 31 61
<b>Second Supervisor</b>	Gilles DUSSERRE, Assistant-Professor, IMT Mines Albi / Institut Clément Ader (ICA) / Composites Materials and Structures Group e-mail : gilles.dusserre@mines-albi.fr tél. : 05 63 49 33 09
<b>Laboratory</b>	ICA UMR CNRS 5312 – PhD specialty: Mechanical engineering, mechanics of materials

### Context

Porous ceramics are widely used in many applications, in particular, as matrix of ceramic composites (CMCs). This PhD work deals with oxide ceramics, of interest for some environmental issues. Nonetheless, their elaboration process requires a high temperature treatment to obtain high performance materials from granular media. In order to reduce the environmental impact, a lower sintering temperature can be expected by introducing particles able to form a viscous phase at high temperature, activating viscous flow sintering mechanisms.

### Issue

The process intended for oxide-oxide composites requires formulating suspensions from powders, impregnating the reinforcement and then consolidating the composite (drying and sintering). In order to achieve optimum composition and process for a given application, it is proposed to build a model of the different stages, allowing a description of the evolution of microstructure parameters and a relationship with the material properties (so-called virtual material-process couple).

This PhD work deals specifically with the sintering stage, that controls the final porosity of the matrix, and with the effect of fibres on the viscous flow sintering mechanisms that lead to matrix density heterogeneities. More generally, the fibres are seen as models of large constituents compared to fine oxide particles. Introduced either as part of the formulation or accidentally (fibres in a composite, aggregates in a refractory, temper in a clay paste, impurity in a recycled matter...), these constituents may constrain the shrinkage and modify locally the competition between viscous flow and surface tension because of surfaces of different nature or curvature. It results in density heterogeneity that changes the local properties of the material.

The first part of the work is devoted to deepen the knowledge of oxide/oxide system evolution during sintering:

- **describing process-microstructure-properties relationships:** elaboration of compacts of different compositions and porosity levels / sintering up to several porosity levels / characterization of mechanical properties under various loading modes / observation of the microstructure at different states / analysis of material evolution and description of the mechanisms.
- **modelling the process-microstructure-properties relationships:** modelling and simulation of microstructure evolutions / microstructure-properties relationships.

**The second part of the work** deals with characterizing and simulating the effect of fibres on sintering mechanisms. In spite of physical phenomena similar to those previously studied, the numerical models should be adapted to such more complex simulations. Alumina fibres, inert and rigid, will be added in the oxide-oxide system.

**Required profile:** holder of a master 2 or engineer diploma in material sciences and/or mechanics, with skills in experimental methods, and in modelling and numerical simulation.

### Application

Upload CV and motivation letter on <https://www.adum.fr/> and send an e-mail to the supervisors (deadline **monday 31<sup>th</sup> may 2021**).