

# Modélisation du lien entre microstructure, traitement thermomécanique et performance mécanique de produits réfractaires

**Julia Cristina GUIMARAES DE CARVALHO BONALDO**

Sous la direction de C. Martin

**Vendredi 21 janvier 2022 à 9h30**

Salle conférence rdc bâtiment Rassat (UFR Chimie)

## **Jury :**

Gérard VIGNOLES, PR. DES UNIVERSITES, Université Bordeaux 1			Rapporteur
Mohamed GUESSASMA, PR. DES UNIVERSITES, Université de Picardie Jules Verne			Rapporteur
Patrick PIZETTE	MAITRE DE CONFERENCE	Ecole IMT Lille	Examineur
Claire SILVANI	MAITRE DE CONFERENCE	INSA Lyon	Examineur
Gaël COMBE	PROFESSEUR DES UNIVERSITES	Grenoble INP	Examineur

**Résumé :** Les réfractaires en alumine et graphite sont des composites granulaires hétérogènes et complexes composés d'alumine grossière, de pastilles de graphite et d'une matrice (mélange de grains fins d'alumine et de liant). Ces composites sont utilisés pour les applications de coulée de l'acier. Les propriétés finales des réfractaires sont dictées à la fois par les propriétés des composants et par les étapes de traitement (mélange, compactage et traitement thermique). Selon la forme finale de la pièce industrielle, le composite en poudre peut être compacté de manière isostatique ou uniaxiale. Le compactage peut conduire à des gradients de densité le long de la pièce, ce qui entraîne une discontinuité des propriétés thermo-mécaniques et, par conséquent, une concentration de contraintes et une possible rupture pendant le traitement thermique. Des efforts ont été déployés pour la modélisation du comportement constitutif de la compaction des pièces industrielles réfractaires par la méthode des éléments finis (FEM) en utilisant des modèles élastoplastiques. Cependant, les paramètres matériau de ces modèles doivent être identifiés par des expériences complexes. La méthode des éléments discrets (DEM) peut être une alternative pour fournir ces paramètres. La DEM peut modéliser l'étape de compactage et les propriétés mécaniques finales du composite compacté en prenant explicitement en compte la nature discrète de la poudre. De plus, la DEM peut être appliquée pour générer des équations constitutives afin de simuler la compaction à l'échelle macro en utilisant la FEM. Dans ce travail, nous développons un modèle numérique basé sur le DEM pour simuler le comportement à la compaction de poudres composites et leurs propriétés mécaniques après compactage et cuisson. Il est basé sur des observations de tomographie aux rayons X, et des données expérimentales provenant de tests de compaction et d'essais triaxiaux. Les paramètres d'entrée de la DEM sont calibrés sur les données expérimentales de compactage. Quatre composites sont représentés comme un mélange de particules discrètes (alumine fine), de clusters de particules (alumine grossière et graphite) avec différentes fractions volumiques. Le liant est représenté par une

coque élastique souple recouvrant des particules d'alumine grossières et fines. Le comportement pendant le compactage et les propriétés à vert dépendent principalement du contact entre ces particules enrobées. Les échantillons numériques compactés sont soumis à divers états de contraintes complexes pour générer des surfaces de plasticité et de rupture ajustées par le modèle élasto-plastique Drucker-Prager Cap (DPC). Après le compactage, les échantillons numériques sont virtuellement cuits en DEM, et leur comportement à la fracture est étudié. Les comportements mécaniques au compactage, les comportements à vert et après-cuisson sont comparés aux données expérimentales. Les résultats sont en bon accord à la fois qualitativement et quantitativement. En particulier, les simulations saisissent bien l'effet adoucissant d'une quantité croissante de liant. Enfin, une tentative de modélisation du comportement de la compaction du composite dans une matrice rigide à l'aide de la FEM est présentée. Elle utilise le modèle DPC avec les paramètres du matériau identifiés par DEM. Ce modèle pourra être utilisé à l'avenir pour le compactage de pièces industrielles.