   

**Offre de stage**

**Projet ANR SiBio** “Sintering & Biodegradation of carbonated hydroxyapatite ceramics elaborated by additive manufacturing for the reconstruction of large bone defect”

Offre à pourvoir dès mars 2022

**Sujet du stage:** “Etude de la stabilité thermique d’apatites carbonatées sous traitement thermique micro-ondes”

**Mots clés:** stabilité thermique, micro-onde, phosphate de calcium, biocéramique

**Contexte.** L’École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (Mines Saint-Etienne), École de l’Institut Mines Télécom, sous tutelle du Ministère de l’Économie et des Finances est chargée de missions de formation, de recherche et d’innovation, de transfert vers l’industrie et de culture scientifique, technique et industrielle. Ce stage de Master Recherche s’inscrit dans le cadre du projet de recherche SiBio (2021-2025) financé par l’Agence Nationale de la Recherche (ANR), projet qui vise à développer des implants biodégradables sur mesures permettant de régénérer l’os dans les grands défauts osseux. Le biomatériau constitue ici un échafaudage éphémère permettant la vascularisation et la croissance du néo-tissu osseux.

Les matériaux étudiés sont des céramiques en hydroxyapatite carbonatée (CHA) dont la biodégradation peut être modulée selon la quantité de carbonate substitué dans l'hydroxyapatite (HA, Ca10(PO4)6(OH)2). Ces ions carbonates peuvent s’insérer en substitution des ions hydroxydes OH- (substitution de type A) ou en substitution des ions phosphate PO43- (substitution de type B) de l’HA. Les CHA de type B (CBHA) sont obtenues par précipitation en voie aqueuse à basse température tandis que celles de type A (CAHA) résultent d'une réaction thermique entre la structure apatitique et une atmosphère riche en dioxyde de carbone (CO2).

La production de céramique en CHA requière une étape de frittage, *i.e.* un traitement thermique à haute température pour consolider la pièce. Ce frittage, classiquement réalisé dans un four résistif, se déroule sous atmosphère riche en CO2 afin d’éviter toute décomposition thermique. L’utilisation d’une telle atmosphère occasionne en retour un enrichissement en carbonates de type A. Le frittage micro-ondes (MO) étant un procédé de chauffage volumétrique lié aux propriétés diélectriques du matériau chauffé, les temps de traitements thermique sont jusqu’à 10 fois plus rapides que pour un frittage résistif. Ainsi, de nouvelles compositions chimiques ainsi que des microstructures plus fines et donc biologiquement plus réactives peuvent être envisagées grâce au frittage MO.

Le *Centre Ingénierie et Santé* ([CIS](https://www.mines-stetienne.fr/recherche/5-centres-de-formation-et-de-recherche/centre-ingenierie-et-sante/)) des Mines de Saint-Etienne (MSE) étudie depuis plusieurs années le frittage résistif de CHA [Thèse S. Guillou, MSE, 2020]. Le Centre *Science des Matériaux et des Structures* ([SMS](https://www.mines-stetienne.fr/recherche/5-centres-de-formation-et-de-recherche/sciences-des-materiaux-et-des-structures/)) de MSE est quant à lui reconnu pour ses travaux sur le frittage MO [Thèse D. Zymelka, MSE, 2013]. Des travaux préliminaires menés conjointement sur des matériaux en CHA, sans contrôle de l’atmosphère de traitement thermique, confirment la faisabilité de réaliser le frittage de ces matériaux sous MO.

**Objectif du stage.** Il s’agit d’étudier la stabilité thermique de CHA contenant différentes teneurs en carbonates de type B au cours de traitements thermique micro-onde réalisés sous CO2. Différents dispositifs de traitement thermique MO sont d’ores et déjà disponibles pour travailler sous atmosphère contrôlée. Après une revue de la littérature et en collaboration avec les tuteurs, le/la stagiaire proposera un plan de travail expérimental. Après mise au point des protocoles et réalisation des traitements thermiques, les moyens de caractérisation physico-chimique (diffraction des rayons X, spectroscopie infrarouge, analyse carbone, mesure de surface spécifique, microscopie électronique à balayage) disponibles au sein de l'école pourront être employés pour analyser les évolutions physico-chimiques et morphologiques des produits préparés. Ce stage offre également la possibilité de participer à une action de médiation scientifique autour des biocéramiques dans le cadre du projet « Partage Ta recherche » d’élèves ingénieur des Mines, mené en collaboration avec [La Rotonde](https://www.larotonde-sciences.com/), Centre de Culture Scientifique Technique et Industrielle de MSE.

**Encadrement.** Nathalie Douard, Maître de Conférences (CIS, MSE, Sainbiose) ; Clémence Petit, Maître de Conférence (SMS, MSE, LGF) ; Christophe Meunier, Ingénieur de Recherche (SMS, MSE, LGF)

**Profil recherché.** Etudiant niveau M1 ou M2 ou bac +4/+5 en école d’ingénieurs avec une formation dans le domaine des matériaux inorganiques, idéalement dans les céramiques. Stage expérimental qui demande rigueur et organisation. Une motivation pour le développement de nouveau protocoles sera appréciée.

**Comment candidater.** CV, lettre de motivation et dernier bulletin de notes à envoyer par mail à Nathalie Douard : [douard@emse.fr](mailto:douard@emse.fr)