

## Procédés d'élaboration innovants (Thématique transversale)

### Activités

Cette thématique transversale a pour objet la mise en place de procédés innovants d'élaboration de céramiques pouvant être employés pour la préparation de matériaux dans les deux thématiques de recherche principales du laboratoire : Matériaux pour la santé et Matériaux pour les transports et le développement durable. Les deux aspects étudiés sont la mise en forme par fabrication additive (ou impression 3D) et le frittage micro-ondes.

### Thèmes de recherche

- ❖ FDM : Fused Deposition Modeling ou dépôt de fil fondu,
- ❖ SLA : stéréolithographie,
- ❖ Robocasting : micro-extrusion,
- ❖ Développement de formulations imprimables,
- ❖ Traitements thermiques de déliantage et frittage,
- ❖ Déliantage par chauffage micro-ondes,
- ❖ Frittage par micro-ondes.

### Compétences

- **Impression 3D**

*FDM, Stéréolithographie, Robocasting*

Le département DMP développe depuis plusieurs années un savoir-faire lié à la fabrication additive de céramiques techniques, notamment au travers de la thèse de Marion Dehurtevent (2014-2017, Elaboration d'une céramique dentaire par stéréolithographie), puis du projet INTERREG TECH2FAB lors duquel le département DMP a piloté l'Unité de Démonstration portant sur les technologies de fabrication alternatives de matériaux céramiques et composites. La thèse de Hugo Curto (2017-2020, Couplage de la stéréolithographie et du frittage par micro-ondes pour l'élaboration rapide de pièces céramiques en alumine et zircone) s'est d'ailleurs déroulée dans le cadre de ce projet Interreg.

Le département DMP du CERAMATHS est également membre du consortium ayant mis en place le projet européen DOC-3D-PRINTING (2018-2022). Ce projet a permis de financer 14 thèses, dont 3 co-encadrées par le DMP et le Belgian Ceramic Research Centre. Ces 3 thèses ont concerné chacune une technique différente d'impression 3D, notamment celle de Nicolas Somers avec le développement de formulations pour imprimer des substituts osseux par robocasting (2018-2021, Dopages de phosphate tricalcique beta et mise en forme de macroporeux par robocasting).

Le laboratoire CERAMATHS obtiendra de plus dans le cadre du CPER 2021-2027 – CHEMACT – deux nouveaux appareils de fabrication additive versatiles (un appareil de Robocasting et une SLA), qui pourraient être utilisés pour la préparation de céramiques à partir de poudres préparées à façon.

- **Traitements thermiques par chauffage micro-ondes**

*Frittage, déliantage*

Le chauffage par micro-ondes permet de chauffer des échantillons par interaction directe entre les matériaux et les micro-ondes. Cette technique conduit à un chauffage volumique, c'est-à-dire que seul le volume de l'échantillon est chauffé, et non pas l'ensemble du four, comme c'est le cas pour le chauffage conventionnel. Cette particularité permet notamment de réduire la durée des traitements thermiques mais également la quantité d'énergie nécessaire au chauffage. Par conséquent, il est fréquent d'observer des microstructures plus fines pour ces échantillons, conduisant, par exemple, à des propriétés mécaniques améliorées. De plus, cette interaction directe rayonnement/matière offre la possibilité d'un chauffage sélectif qui peut être exploité dans le cas du déliantage.

Le département DMP du CERAMATHS développe depuis 2015 ces procédés de chauffage à travers des thèses et post-doctorats. La thèse de Hugo Curto (2017-2020, Couplage de la stéréolithographie et du frittage par micro-ondes pour l'élaboration rapide de pièces céramiques en alumine et zircone) a permis d'initier le déliantage par micro-ondes de céramiques obtenues par impression 3D mais également de développer le procédé de frittage par micro-ondes, notamment en augmentant le nombre de pièces traitées simultanément. Le post-doctorat de Maria Canillas Perez a, quant à lui, permis une étude paramétrique du déliantage par micro-ondes et l'optimisation de cette étape, en particulier en termes de temps. La thèse de Maxence Renaux (2017-2021, Contribution à la modélisation du frittage de l'alumine par chauffage micro-ondes) a conduit au développement d'un modèle permettant d'anticiper les champs thermiques et les propriétés microstructurales d'échantillons en alumine en fonction des conditions de frittage. Les deux premières études se sont déroulées dans le cadre du projet INTERREG TECH2FAB, pendant lequel ces techniques de chauffage ont fait l'objet de démonstrations auprès d'industriels.

Enfin, le département DMP du CERAMATHS présente un parc de fours micro-ondes important avec un four monomode à 2,45 GHz 2kW pour le frittage, un four monomode automatisé à 2,45 GHz 1kW pour le déliantage et le frittage, un four multimode 2,45 à GHz 6kW pour le traitement thermique de pièces de grandes dimensions et un four de synthèse en voie liquide par micro-ondes à 2,45 GHz 200W.

**Contact : Pascal LAURENT - [pascal.laurent@uphf.fr](mailto:pascal.laurent@uphf.fr)**

