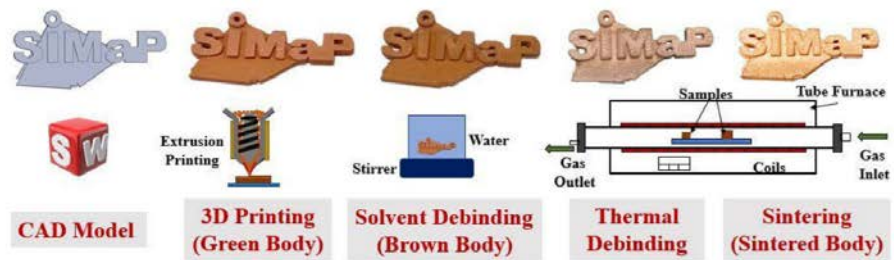
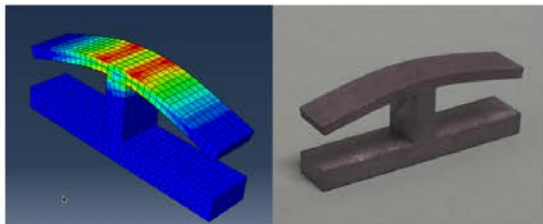


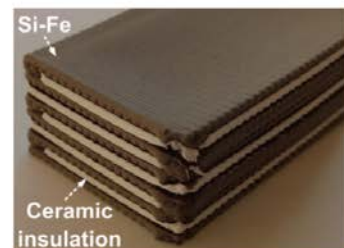
## Fabrication additive de pièces multi-matériaux en impression 3D par extrusion et frittage : études expérimentale et numérique



Copper 3D Extrusion printing and sintering (SIMaP)



FEM modeling of sintering stage (SIMaP)



Multimaterial application in the field of magnetic materials from ref. [3].

### Contexte

La fabrication additive par extrusion 3D d'une pâte chargée en poudre suivie d'une étape de frittage a le potentiel de produire des géométries complexes multi-matériaux métalliques et céramiques intéressantes pour plusieurs applications (par exemple intégration d'éléments chauffants, réduction des pertes dans les alliages ferromagnétiques par insertion de couches isolantes) [1-3]. Le procédé est polyvalent, rentable et basé sur des feedstock céramiques ou métalliques commerciaux développées pour le moulage par injection de poudre, un procédé établi industriellement. Les granulés de matière première, qui consistent en un système de liant polymère chargé d'une poudre de céramique ou de métal, sont introduits dans une extrudeuse à vis et déposés couche par couche par une buse chauffée, sous forme de filament. On peut ainsi obtenir une pièce complexe en 3D, qui sera ensuite déliantée et frittée. Un des défis de ce procédé est le contrôle de l'étape de frittage afin d'obtenir des pièces sans défaut et directement aux cotes. En effet, les densités inhomogènes, le retrait anisotrope ou le fluage par gravité sont difficiles à éviter. Dans le cas du co-frittage de pièces multi-matériaux, des défis supplémentaires s'ajoutent car des contraintes mécaniques apparaissent à cause de vitesses de frittage différentes et/ou, pendant le refroidissement, de retraits thermiques différents. Pour ces raisons, la démonstration de pièces multi-matériaux obtenues par extrusion 3D puis frittage est très rare dans la littérature [1-3].

### Objectifs et programme de travail

Dans ce contexte, les objectifs de ce travail de thèse sont :

- développer le procédé pour plusieurs matériaux céramiques et métalliques à partir de feedstocks commerciaux : optimisation des paramètres d'impression et de frittage, caractérisation microstructurale et mécanique des pièces finales.
- étudier les étapes d'impression et de frittage pour un ou plusieurs systèmes bi-matériaux.
- développer et calibrer une modélisation 3D par éléments finis de l'étape de frittage d'abord pour décrire la déformation de pièces mono-matériaux, puis pour prédire les effets de retraits différentiels dans les systèmes multi-matériaux.
- démontrer la pertinence de l'approche par la réalisation d'une pièce complexe d'inspiration industrielle.

Une approche expérimentale classique de science des matériaux (élaboration- caractérisation) sera mise en œuvre et couplé à des approches de caractérisation in-situ (dilatométrie optique, tomographie X) et de modélisation par éléments finis de l'étape de frittage.

## Environnement scientifique

Le [laboratoire SIMaP](#) a déjà développé et étudié l'extrusion 3D et le frittage de plusieurs alliages métalliques (cuivre [4], acier [5], alliage de Ti) au cours des dernières années pour des applications telles que des dissipateurs thermiques ou des implants médicaux. Le doctorant travaillera sur l'équipement [AIM3D Exam 255](#) disponible au laboratoire SIMaP, qui comprend deux têtes d'impression. Il bénéficiera également de l'expérience et du savoir-faire du laboratoire SIMaP dans l'étude du frittage, qui comprend l'utilisation d'outils et de techniques avancés comme la dilatométrie optique [6], la tomographie synchrotron à rayons X in situ [7], la modélisation par éléments finis [8] et la modélisation discrète [9]. En outre, le SIMaP participe à un programme européen sur un sujet connexe, ce qui crée un environnement de travail international dynamique pour le.a doctorant.e.

## Compétences et formation recherchée

Le.a candidat.e doit être diplômé.e d'une école d'ingénieur et/ou d'un master en science des matériaux ou dans un domaine connexe. Nous recherchons un.e étudiant.e avec un intérêt marqué pour la science expérimentale des matériaux, la mécanique des matériaux et également prêt.e à travailler sur des approches de simulation numériques.

## Démarrage:

Oct. 2023

## Encadrement:

David Jauffrès, Jean-Michel Missiaen

## Rémunération:

2044€/mois, brut

## Contact et candidature (dès que possible et avant 01/05/2023):

[david.jauffres@grenoble-inp.fr](mailto:david.jauffres@grenoble-inp.fr)

## Références:

- [1] Gonzalez-Gutierrez J, Cano S, Schuschnigg S, Kukla C, Sapkota J, Holzer C. Additive manufacturing of metallic and ceramic components by the material extrusion of highly-filled polymers: A review and future perspectives. *Materials*. 2018;11(5). doi:10.3390/ma11050840
- [2] Schroffenegger M, Penner D. Multi-material ceramic material extrusion 3D printing with granulated injection molding feedstocks. 2023;49:6361-6367. doi:10.1016/j.ceramint.2022.10.170
- [3] Selema A, Beretta M, Van Coppenolle M, et al. Evaluation of 3D-Printed Magnetic Materials For Additively-Manufactured Electrical Machines. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2023;569:170426. doi:10.1016/j.jmmm.2023.170426
- [4] Singh G, Missiaen JM, Bouvard D, Chaix JM. Copper extrusion 3D printing using metal injection moulding feedstock: Analysis of process parameters for green density and surface roughness optimization. *Additive Manufacturing*. 2021;38:101778. doi:10.1016/j.addma.2020.101778
- [6] Singh G, Missiaen JM, Bouvard D, Chaix JM. Additive manufacturing of 17–4 PH steel using metal injection molding feedstock: Analysis of 3D extrusion printing, debinding and sintering. *Additive Manufacturing*. 2021;47:102287. doi:10.1016/j.addma.2021.102287
- [6] Lichtner A, Roussel D, Röhrens D, Jauffres D, et al. Anisotropic sintering behavior of freeze-cast ceramics by optical dilatometry and discrete-element simulations. *Acta Materialia*. 2018;155:343-349. doi:10.1016/j.actamat.2018.06.001
- [7] Venkatesh AM, Bouvard D, Lhuissier P, Villanova J. 3D Analysis of Ceramic Powder Sintering by Synchrotron X-ray Nano-tomography. *Journal of the European Ceramic Society*. December 2022:132949. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2022.12.065
- [8] Largiller G, Dong L, Bouvard D, Carry CP, Gabriel A. Deformation and cracking during sintering of bimaterial components processed from ceramic and metal powder mixes. Part II: Numerical simulation. *Mechanics of Materials*. 2012;53:132-141. doi:10.1016/j.mechmat.2012.05.012
- [7] Paredes-Goyes B, Jauffres D, Missiaen J-M, Martin CL. Grain growth in sintering: A discrete element model on large packings. *Acta Materialia*. 2021;218:117182. doi:10.1016/j.actamat.2021.117182