

# Fabrication additive de composites céramique/métal WC-Co par binder jetting : de la poudre aux propriétés des pièces frittées

## Résumé :

Les carbures cémentés sont utilisés dans l'industrie sous forme d'outils coupants et pièces d'usures (Fig.1) du fait de leurs très grandes duretés et résistances à l'usure. Ce sont des composites traditionnellement constitués de Carbure de Tungstène (WC) et d'un liant métallique en Cobalt (Co) (Fig. 2), sont fabriqués par métallurgie des poudres et doivent être denses à plus de 99.5%. Le contexte actuel pousse à proposer des solutions pour économiser la matière nécessaire à produire des pièces industrielles par l'utilisation/développement de procédés innovants tels que la **fabrication additive ou impression 3D**.

**Le projet FACET** (partenaires : Evatec-Tools, le CEA Grenoble et les laboratoires MATEIS et LMI) vise à développer une solution française de fabrication d'outils en carbure de tungstène par fabrication additive servant des industries de pointe telles que l'aéronautique, l'énergie ou le naval. La chaîne de valeur est abordée dans son ensemble : de la poudre à la pièce, afin de viser des retombées sociétales fortes dans la filière carbures (développement de nouveaux métiers et compétences) ainsi que des économies d'énergie et de ressources de matériaux rares tels que le Co.

Cependant, d'importants verrous technologiques et scientifiques subsistent : (i) développement de poudres compatibles avec les procédés de FA (ii) compréhension du lien entre paramètres d'impression, propriétés physico-chimiques des poudres, microstructures des pièces imprimées et propriétés mécaniques des pièces frittées. Cette thèse s'inscrit dans ce second besoin : comprendre le lien entre procédé, microstructure, défauts, et propriétés des pièces finales. Pour cela, la/le doctorant(e) devra :

- 1) Etudier le lien entre les paramètres d'impression par binder jetting (Fig. 3) et les propriétés des pièces à vert (défauts, homogénéité, résistance). Un lien particulier sera fait avec la nature et morphologie des poudres WC-Co développées par le CEA. Il/elle devra établir un cahier des charges poudres pour le binder jetting de WC-Co, en lien avec la machine utilisée par l'entreprise partenaire Evatec-Tools.
- 2) Déterminer et maîtriser le retrait au frittage : quantifier l'anisotropie, déterminer sa cause et la corriger si nécessaire ; pour cela, des essais de dilatométrie et des mesures par tomographie aux rayons X sur pièces à vert et pièces complexes seront réalisés afin de déterminer les lois de comportement au frittage.
- 3) Prendre en compte les spécificités du frittage en phase liquide et réaliser les expériences dédiées pour nourrir un modèle de simulation numérique du frittage
- 4) Prédire la microstructure en fonction des conditions de déliantage/frittage, par une analyse microstructurale fine (composition, taille de grain, phases présentes) et des calculs thermodynamiques dans les fenêtres de frittage (ThermoCalc)
- 5) Faire le lien entre microstructure et propriétés mécaniques des pièces frittées, par une série d'essais mécaniques (dureté, ténacité, essai de flexion).

Les impressions seront réalisées au sein de l'entreprise Evatec-Tools et les caractérisations seront réalisées au sein des laboratoires MATEIS et LMI et ponctuellement au CEA Grenoble. La thèse est basée à l'INSA Lyon (MATEIS), sur le campus de Villeurbanne (<https://mateis.insa-lyon.fr/fr>).

## Références

- [1] « Evatec-tools ». [En ligne]. Disponible sur: [www.evatec-tools.com](http://www.evatec-tools.com).
- [2] J. M. Tarragó *et al.*, « Microstructural effects on the R-curve behavior of WC-Co cemented carbides », *Materials & Design*, vol. 97, p. 492-501, mai 2016.
- [3] A. Lores, N. Azurmendi, I. Agote, E. Zuza, A review on recent developments in binder jetting metal additive manufacturing: materials and process characteristics, *Powder Metall.* 62 (2019) 267–296. <https://doi.org/10.1080/00325899.2019.1669299>.



Fig. 1 : Composants en WC-Co : outils coupants (a) et pièces d'usures (b) [1].

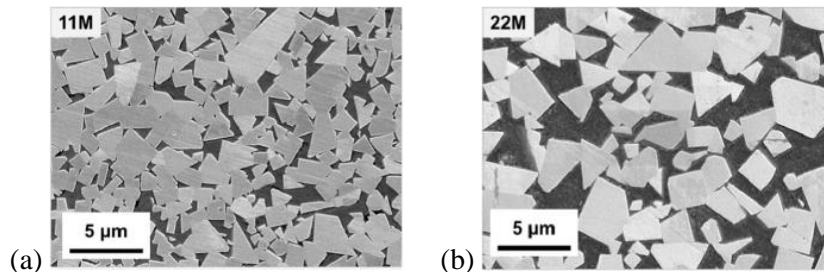


Fig. 2 : Microstructure d'un composite WC-Co avec (a) 11% Co et (b) 22% Co (d'après [2]).

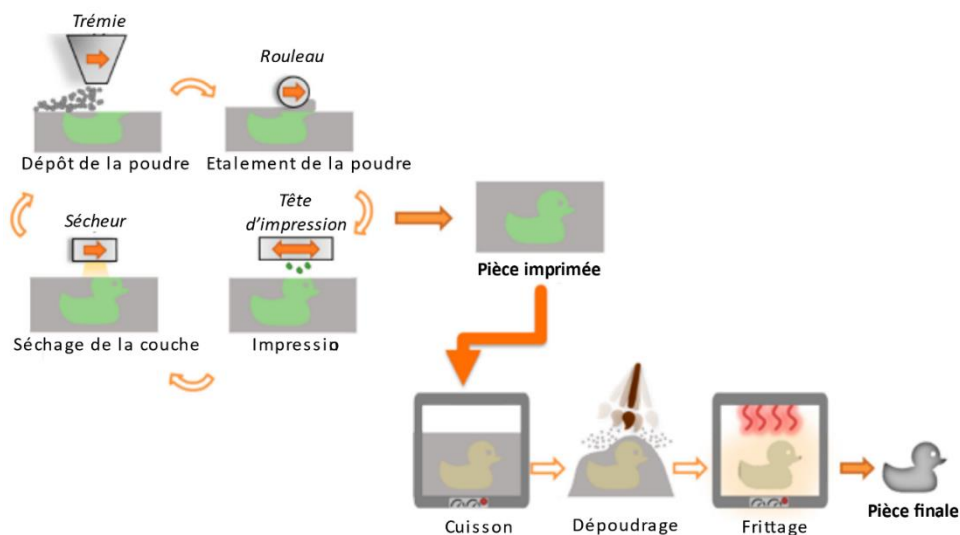


Fig. 3 : Principe de fonctionnement de la fabrication additive par binder jetting [3]

### Profil recherché :

Ingénieur et/ou Master avec spécialité Matériaux/Procédés. Première expérience souhaitée (stage en laboratoire universitaire ou industriel) en lien avec les matériaux ou les procédés.

Forte appétence pour l'expérimental : le projet implique des essais sur machine d'impression 3D et des caractérisations microstructurales et mécaniques diverses, avec un dialogue important vers le numérique pour l'implémentation de lois de comportement de frittage. Curiosité scientifique indispensable, autonomie, rigueur. Capacité de synthèse et reporting vers tous les acteurs du projet.

### Dossier de candidature :

CV, lettre de motivation, et adresses mail des références (côté école et dernier stage)

A envoyer à xavier.boulmat(at)insa-lyon.fr et olivier.dezellus(at)univ-lyon1.fr avant le **23 juin 2023**.

**Contrat** : CDD Insavalor de 36 mois. Démarrage : 1<sup>er</sup> septembre 2023.

Salaire : ~1700€ nets + 8 semaines de congés payés et RTT.

Enseignement possible (complément de salaire suivant volume horaire à définir).

Inscription à Ecole doctorale ED34 Matériaux de Lyon (<https://ed34.universite-lyon.fr>)

Inscription universitaire à l'INSA de Lyon (<https://www.insa-lyon.fr/>)