

DEPOUDRAGE DE PIÈCES ISSUES DE FABRICATION ADDITIVE

Cathy MATOS DA SILVA, Christophe REYNAUD, Benoît VERQUIN, Patricia SIRE ¹

¹ CETIM, 7 rue de la Presse, 42000 Saint-Étienne

Résumé : Le Powder Bed Fusion (PBF) est un procédé de fabrication additive utilisant un laser haute densité pour fusionner des grains de poudre afin de fabriquer une pièce. À la fin du procédé de fabrication, les pièces sont immergées au sein d'un lit de poudre, et possèdent une quantité de poudre résiduelle importante, qu'il faudra éliminer.

De par les structures complexes créées, cette étape de dépoudrage de pièce représente un nouveau défi dans le domaine du nettoyage, les méthodes de nettoyage conventionnelles pouvant se retrouver limitées.

Cette étude met en avant différents moyens de nettoyage testés pour le dépoudrage afin de comparer leur performance sur une pièce type.

Ces travaux sont issus du projet Orthopée financé par la région Rhône-Alpes-Auvergne.

1. INTRODUCTION

1.1. Fabrication additive et procédé PBF

Le Powder Bed Fusion est un procédé de fabrication additive utilisant un laser haute densité afin de fusionner des grains de poudre métalliques entre eux et ainsi créer une pièce. À ce jour, il s'agit de la technique de fabrication additive poudre métallique la plus utilisée.

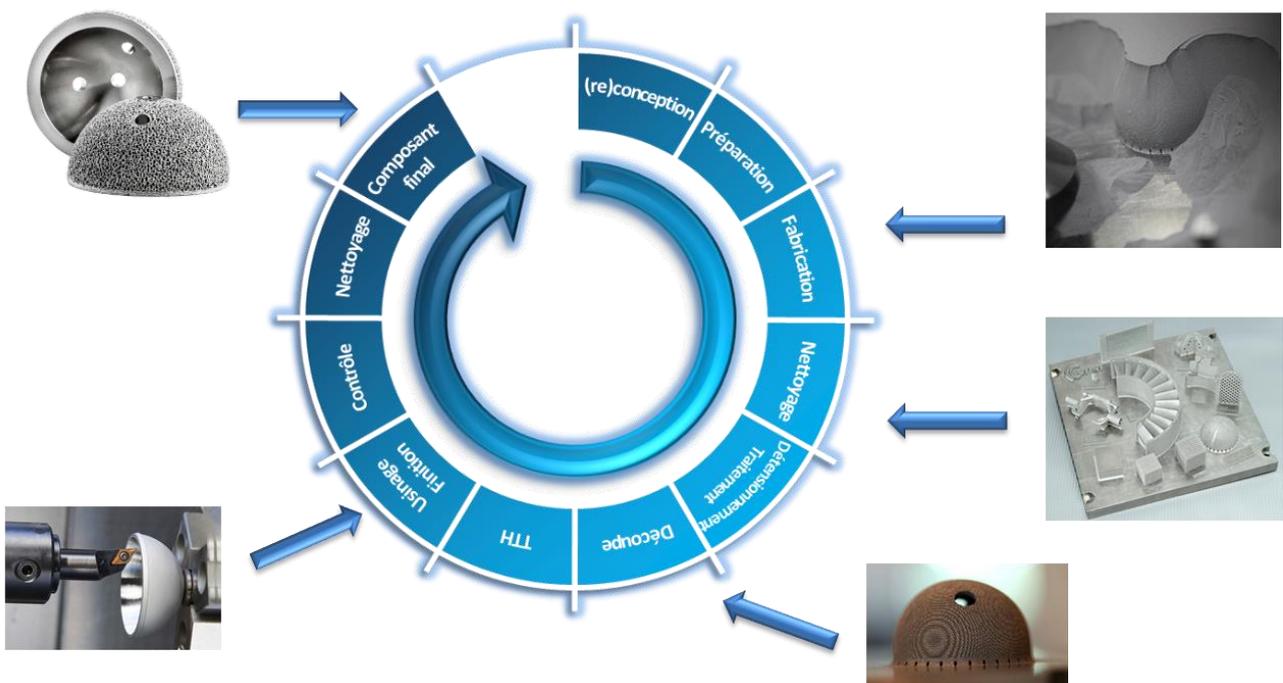


Figure 1 – Cycle de fabrication d'une pièce en PBF

La fabrication additive PBF conduit cependant à des pièces déposées sur support, immergées dans un lit de poudre comme le décrit la figure 1. La quantité de poudre résiduelle dépend de plusieurs facteurs mais atteint en général plusieurs grammes par pièces, avec une granulométrie majoritairement située entre 50 et 100 μm (soit le diamètre d'un cheveu).

Un nettoyage spécifique est donc nécessaire, aussi appelé dépoudrage.

1.2. Propreté : pourquoi ?

La propreté des pièces issues de fabrication additive peut avoir trois origines principales :

- Les contraintes d'hygiène et sécurité pouvant être liées à la présence de particule libre. En effet, en fonction de la nature et de la granulométrie de la poudre, celle-ci peut générer des risques lors de la manipulation des pièces.
- L'intégrité des outils de parachèvement, la poudre libre pouvant générer des dégradations des outils de coupe ou d'usinage par exemple.
- Les exigences fonctionnelles des pièces, notamment les exigences dimensionnelles, d'état de surface et plus généralement de propreté (fiabilité des systèmes mécaniques, compatibilité des implants, etc.).

1.3. Les difficultés de la fabrication additive vis-à-vis de la propreté

Les pièces issues de fabrication additive présentent plusieurs difficultés de nettoyage :

- La présence de poudre libre ou pré-frittée en grande quantité
- L'existence de grains de poudre partiellement fusionnés sur les surfaces
- La complexité des structures, générant de nombreuses zones de rétentions :
 - les structures lattices ;
 - les canaux internes de faible diamètre ;
 - les voiles minces ;
 - les rétentions créées par les supports de fabrication ;
- La structuration de surface et la porosité associée.

1.4. Objectif de l'étude

L'objectif de ce projet est de comparer différentes solutions de dépoudrage vis-à-vis de leur efficacité à retirer des particules de pièces issues de fabrication additive PBF.

1.5. Pièce d'étude

Une pièce (voir figure 2) a été conçue afin de représenter l'ensemble des défis technologiques qui peuvent être rencontrés en dépoudrage après fabrication additive. La pièce est restée sur support et le matériau utilisé est du TA6V ELI.

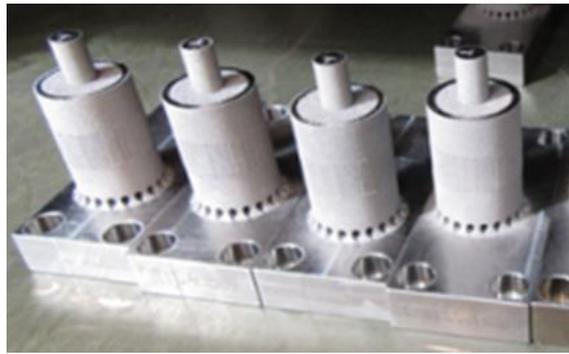


Figure 2 – Pièce utilisée pour les essais de dépoudrage

2. TECHNOLOGIES DE NETTOYAGE / DEPOUDRAGE

2.1. Panorama des technologies existantes

Les technologies de nettoyages sont aujourd’hui classées en 3 familles (voir figure 3) :

- Les techniques par immersion
 - On retrouve dans cette catégorie les procédés classiques en chambre, solvant ou lessiviels, avec intégration d’ultrasons ou de turbulences
- Les techniques par aspersion ou projection
 - On retrouve ici à la fois les technologies classiques solvant et lessives mais également la projection d’air, d’azote ou de dioxyde de carbone
- Les autres technologies
 - Cette catégorie regroupe les nettoyages non fluidiques comme le plasma et le laser mais également les technologies vapeur sèche et ultrasons atmosphériques ou encore le nettoyage par contact adhésif.

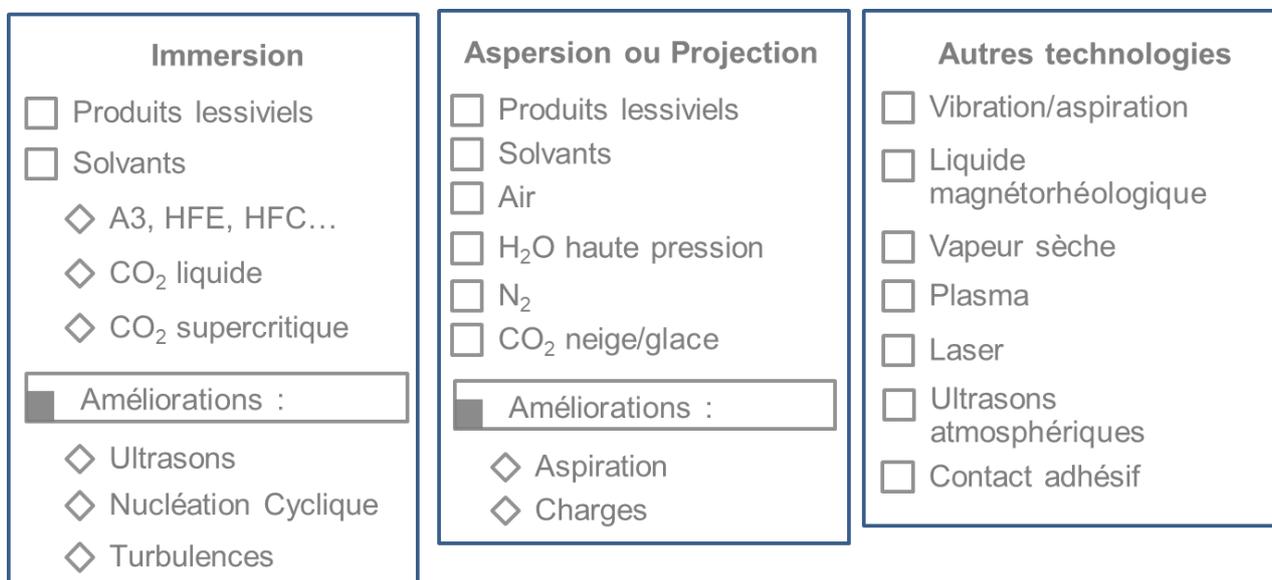


Figure 3 – Panorama des technologies de nettoyage

2.2. Technologies testées

Une première série d’essais de dépoudrage a été effectuée avec les technologies suivantes :

- Projection manuelle d’air comprimé
- Nettoyage lessiviel par immersion combinée aux ultrasons

- Aspersion d'eau haute pression (400 bars)
- Nettoyage par vapeur sèche (140 °C)
- Projection de glace carbonique à des pressions entre 3,4 et 9,7 bars
- CO₂ supercritique combiné aux ultrasons
- Projection d'azote cryogénique à des températures entre -150°C et -170°C et des pressions entre 750 et 2 700 bars
- Vibration combinée à l'aspiration
- Ultrasons atmosphériques, propagés de manière très localisée dans l'air ambiant

3. ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES

3.1. Mesure de propreté

Afin de qualifier les différents procédés, des mesures de propreté ont été effectuées. Le processus de mesure de propreté est résumé en figure 4.

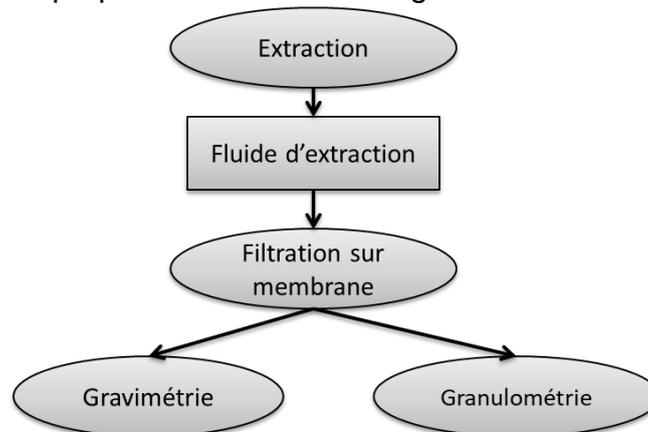


Figure 4 – Synoptique de mesure de la propreté

Une vidéo explicative de cette mesure est également disponible [sur le site du Cetim](#).

Étant donnée la quantité de particules restant sur les pièces après nettoyage, les niveaux de propreté ont été évalués par gravimétrie (masse de particules) après filtration sur membrane de 0,8 µm de porosité.

La méthodologie d'extraction a consisté en la répétition d'étapes d'immersion combinée aux ultrasons des pièces dans de l'hexane filtré, suivi d'un rinçage par aspersion. Chaque étape correspondait à 5 minutes d'ultrasons et 800 ml de solvant.

Pour chaque pièce, les étapes unitaires ont été répétées jusqu'à ce que les quantités de particules extraites soient inférieures à la limite de quantification de la balance. En fonction des essais, cela représente de 6 à 18 étapes de nettoyage, comme illustré sur la figure 5.

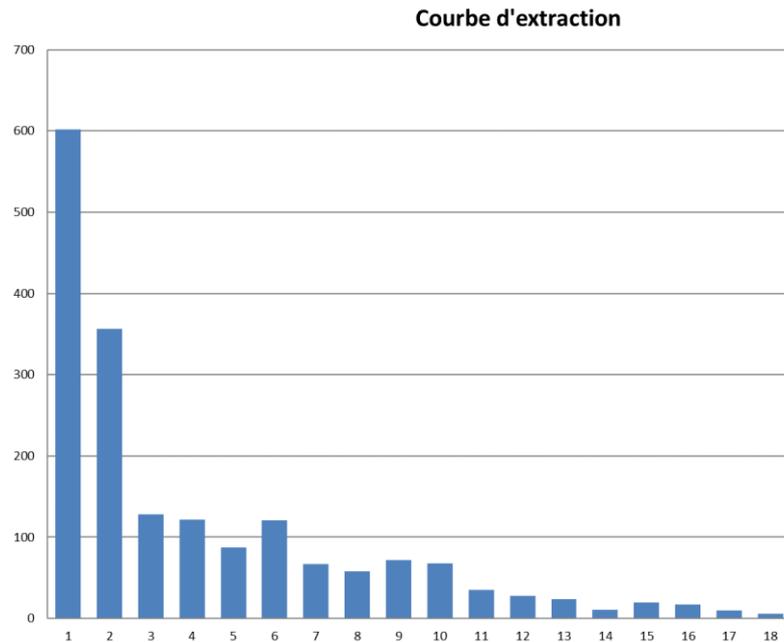


Figure 5 – Évolution de la masse de particules récoltée par étape d'extraction

Ce protocole d'analyse est dérivé des normes NF ISO 16232-4:2011, NF ISO 16232-6:2011 et ASTM F 2459:2012.

3.2. Résultats

Lors de ces essais, l'air comprimé s'est avéré la solution la plus efficace et la plus facile à mettre en œuvre. La vibration mécanique combinée à l'aspiration est également très prometteuse notamment grâce à l'efficacité des vibrations basse fréquence.

Même si l'azote cryogénique a atteint de très bons résultats, sa mise en œuvre industrielle semblait très compliquée. Les ultrasons atmosphériques sont également efficaces mais nécessite un outillage spécifique adapté à la morphologie de chaque pièce.

En ce qui concerne le dioxyde de carbone supercritique, l'efficacité est très dépendante de la morphologie des pièces et peut être coûteuse par rapport à d'autres solutions.

Les résultats de la glace carbonique peuvent être optimisés par une augmentation de la pression, mais la technologie reste moins efficace que d'autres solutions comme l'air comprimé.

Enfin, le jet d'eau sous pression, la vapeur sèche et le nettoyage par immersion combinée aux ultrasons se sont avérés peu efficaces.

Ces résultats sont cohérents avec les études existantes sur le sujet [2].

Une synthèse de l'efficacité de chaque technologie est proposée à la Figure 6.

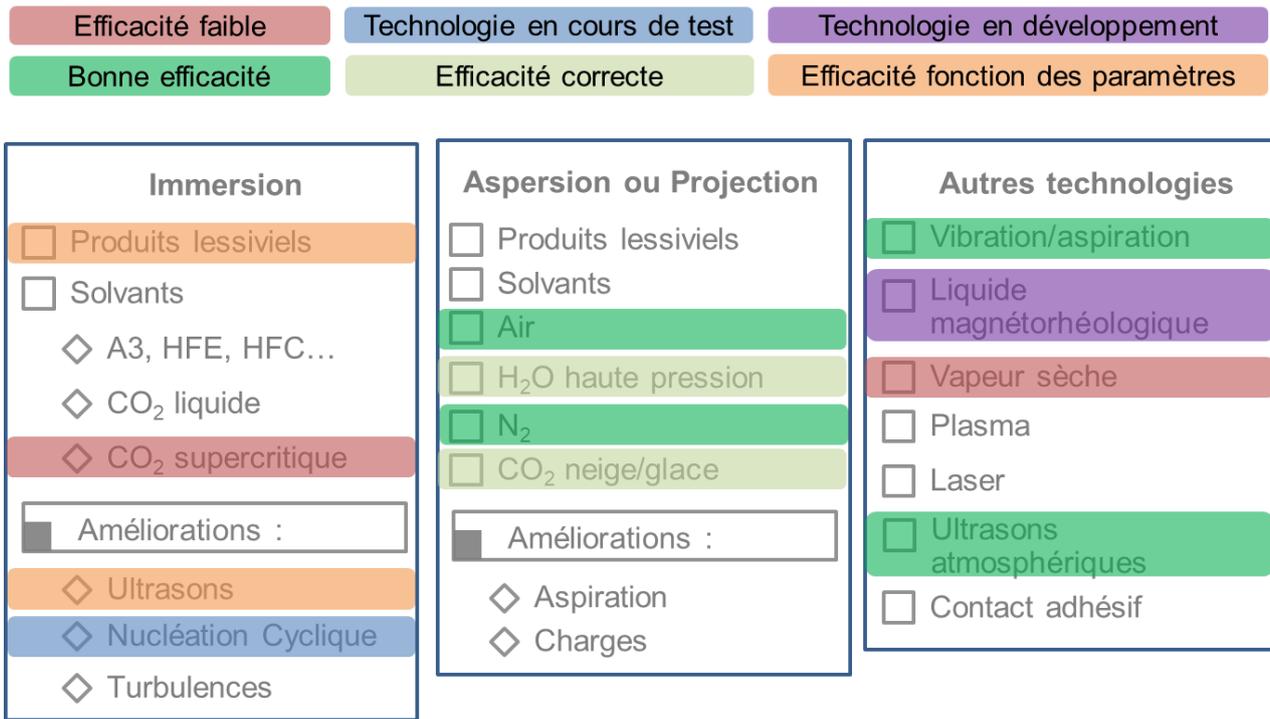


Figure 6 : Efficacité du dépoudrage par les différentes technologies sur la pièce de test

Les masses de particules résiduelles après dépoudrage s'étendaient de 0,57 à 3,12 mg, en fonction des technologies et de leurs paramètres.

À noter que certaines technologies sont encore à l'étude, sur de nouvelles configurations de pièces.

4. CONCLUSIONS

Alors que la fabrication additive se développe, de nouveaux défis sont également découverts. Le nettoyage des contaminants particulaires (ou dépoudrage) provenant de la fabrication additive en fait partie, tant en termes de définition de niveaux acceptables que de choix de procédés de nettoyage efficaces.

Les quantités de particules mises en jeu étant supérieures à celles présentes sur les pièces issues de fabrication « conventionnelles », les méthodes de nettoyage classiques se sont montrées relativement peu efficaces. Certaines innovations et combinaisons de procédés ont donc été nécessaires pour atteindre les niveaux de propreté appropriés.

Dans le cadre du projet Orthopée, une solution de nettoyage a été développée, en combinant différentes technologies. Les résultats obtenus avec cette solution sont très prometteurs puisqu'ils sont conformes à la valeur de 0,8 mg par implant proposée par Zimmer lors du comité ASTM [1].

5. REFERENCES

- [1] Zimmer, *Medical device cleanliness: How clean is enough?*, ASTM Committee F04 workshop - San Antonio, Nov. 2010.
- [2] Urszula Anna Sykurska, *Cleaning and treatment of lattice structures for bone implants, produced from Ti-6Al-4V with Direct Metal Laser Sintering method*, Jan. 2014