



**Revue de presse
Pollen AM**

Support : Primante 3D
Date de publication : 04 mars 2020

« Plusieurs start-up innovantes et grands équipementiers comme Pollen AM, Desktop Metal, HP ou encore GE Additive, sont arrivés avec de nouveaux procédés d'impression 3D métal sans laser »

Le MIM appliqué à l'impression 3D métal en 10 questions

PUBLIEE LE 4 MARS 2020

VERSION ORIGINALE : <http://www.primante3d.com/mim-like-metallique-04032020/>



Pignon en acier inoxydable 17-4 PH imprimée sur une imprimante 3D PAM à l'état fritté.

Depuis 2015, le marché de la fabrication additive métallique est un segment en plein essor dont le potentiel de croissance suscite l'intérêt de nombreux acteurs. Si la vente d'équipements classiques à fusion laser a marqué le pas en 2018, l'arrivée de technologies alternatives a permis de soutenir cette dynamique. Plusieurs start-up innovantes et grands équipementiers comme Pollen AM, Desktop Metal, HP ou encore GE Additive, sont arrivés avec de nouveaux procédés d'impression 3D métal sans laser. Inspirés du MIM (Metal Injection Molding), technique dérivée du moulage par injection bien connue dans le monde industriel, ces imprimantes 3D d'un nouveau genre « Mim Like », facilitent l'accès financier à cette technologie. Pour vous faire découvrir les autres avantages et limites de cette approche innovante par apport aux techniques à fusion laser, Primante 3D a interrogé Pollen AM, le spécialiste français de l'impression 3D MIM-Like par extrusion de granulés.

« Le MIM est un candidat idéal pour la fabrication additive métallique et en particulier comparé aux procédés de fusion laser sur lit de poudre »



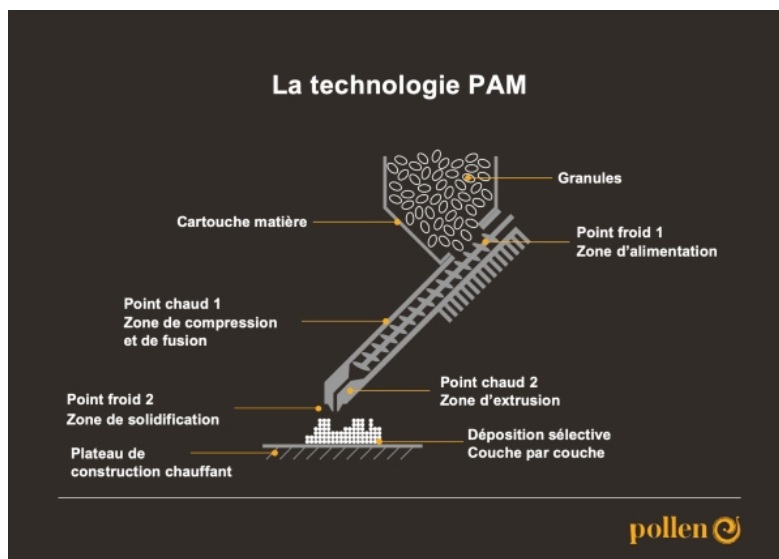
*Didier Fonta Directeur
des opérations chez
Pollen AM*

Didier bonjour, pour ceux qui vous ne vous connaîtraient pas encore pourrais-tu nous présenter Pollen AM ?

Bonjour Alexandre, Pollen AM est un fabricant français d'imprimantes 3D industrielles. Créée en septembre 2013, après 2 années de Recherche et Développement, Pollen AM a mis au point une nouvelle technologie de fabrication additive de type FDM, la technologie PAM (acronyme de Pellet Additive Manufacturing, ou en français, fabrication additive à partir de granules).

Véritablement ouverte sur les matériaux industriels, la PAM permet de s'affranchir des filaments, poudres, résines liquides ou tout autre format spécifique à la fabrication additive. Offrant l'avantage d'utiliser des matériaux bruts au coût le plus bas du marché, la PAM ouvre une bibliothèque de matières compatibles virtuellement infinie tout en bénéficiant des certificats matières disponibles (contact peau, contact alimentaire, feu fumée, etc.).

Il est désormais possible de produire des prototypes, outillages, gabarits, pièces en petites et moyennes séries en utilisant la même matière qu'en moulage par injection et ce sans investir dans des outillages spécifiques.



Présentation de la technologie PAM développée par la société Pollen AM.

1. Il y a environ deux ans, Pollen AM s'est attaquée au marché de la fabrication additive métallique avec le système Pam Series M, une imprimante 3D métal utilisant votre technologie Pam et les matériaux issus du moulage par injection de métal (MIM). Qu'est-ce que le procédé MIM et comment est-il employé dans l'industrie classique ?

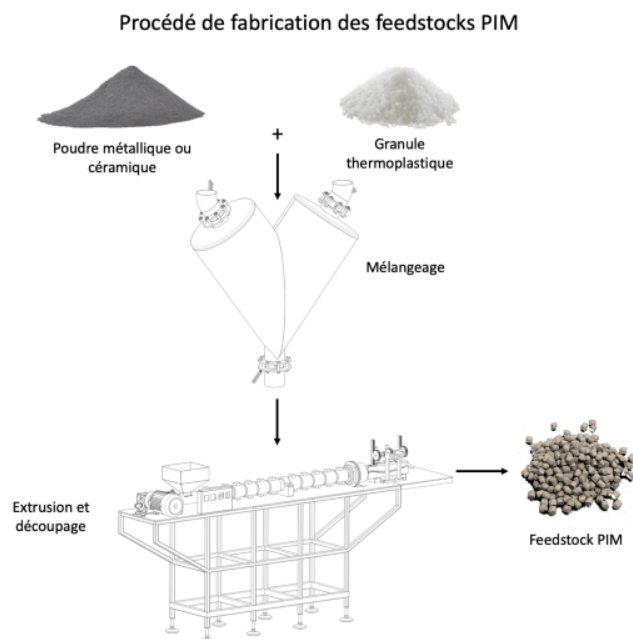
Comparé à la forge ou à la fonderie de pièces métalliques, le MIM (Metal injection moulding ou en français, Moulage par Injection de Métal) est très récent, cette technique appartient à la famille des PIM's (Particle Injection Moulding, ou en français, Moulage par Injection de Poudres).

Des travaux sont initiés aux États-Unis dans les années 1920's sur de la céramique (CIM – Ceramic injection Moulding, ou en français Moulage par Injection de Céramique). L'idée originelle était de plastifier des poudres, c'est-à-dire leur donner des propriétés plastiques en les enrobant de matières organiques. Ce « composite » au comportement thermoplastique est par la suite formé à l'aide d'une presse et d'un moule d'injection pour obtenir une pièce plus ou moins complexe.

Pendant la seconde guerre mondiale, les travaux ont été étendus sur de la poudre métallique, ce n'est qu'à partir des années 1970's que les applications industrielles du procédé MIM font surfaces.

Depuis, le marché du MIM c'est énormément développé et sur un large éventail d'applications industrielles, telles que l'automobile, l'horlogerie, la défense, l'aérospatial, le médical (prothèses, implants, sondes, etc.), la connectique, etc. Bref, nous croisons tous dans notre quotidien et sans en avoir conscience des pièces issues des procédés MIM.

« pour obtenir une pièce 100 % métallique il est nécessaire de post-traiter les pièces formées »



2. Le MIM requiert plusieurs étapes de post-traitement pour arriver à la pièce finale. Quelles sont-elles ?

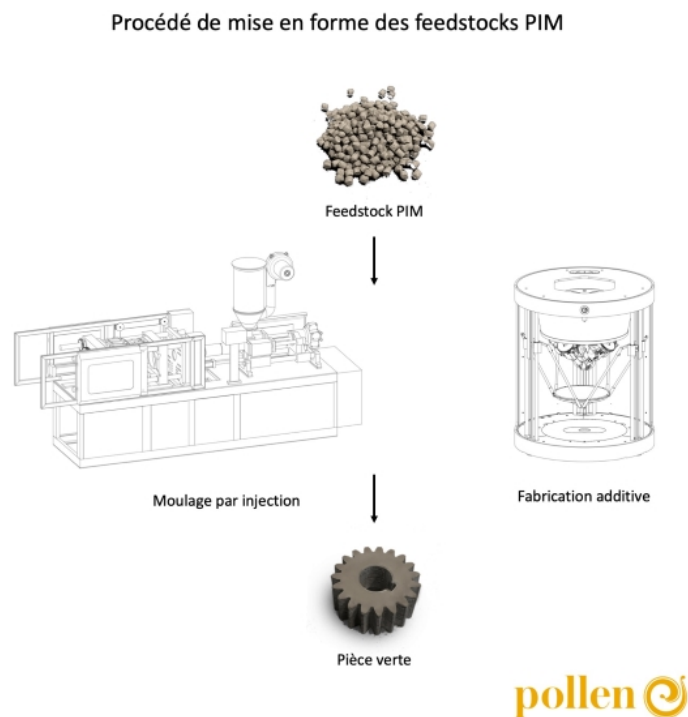
En effet, le MIM fait partie des techniques de fabrication de pièces métalliques dites « indirectes ». C'est-à-dire que pour obtenir une pièce 100 % métallique il est nécessaire de post-traiter les pièces formées.

Globalement, le procédé MIM se décompose en trois principales étapes :

– Mise en forme : la première étape dans la fabrication de pièces MIM se fait soit par un procédé conventionnel en injectant un feedstock dans un moule sous pression à l'aide de presse d'injection, soit en utilisant des technologies de fabrication additive métal compatibles avec ces matériaux.

La pièce ainsi produite est une préforme, appelée « pièce verte ». Le taux de liant contenu dans les pièces vertes varie en fonction de sa nature chimique et des poudres utilisées ; le pourcentage de liant est généralement compris entre 35 et 50 % en volume.

« enlever environ 98 % des liants organiques contenus dans la pièce verte »

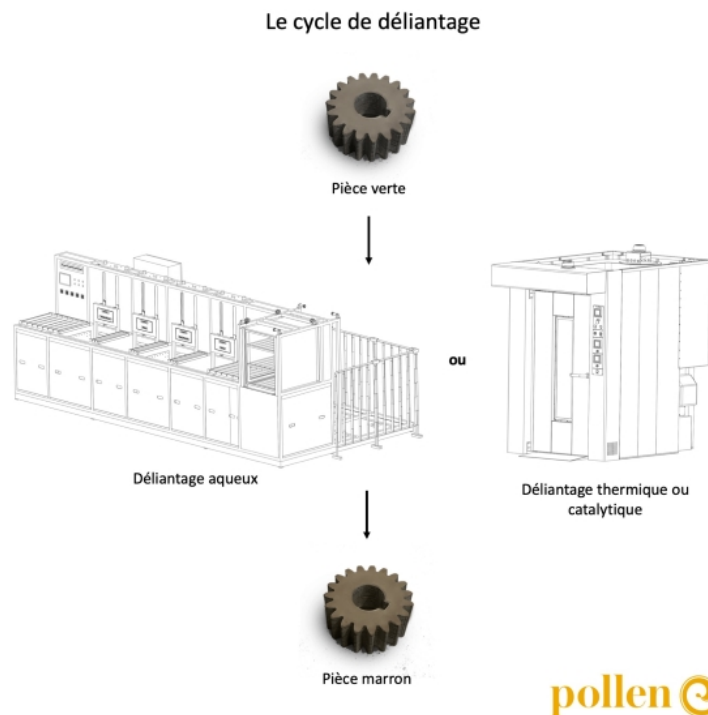


Présentation du procédé de mise en forme du feedstock PIM.

– Déliantage : il s'agit d'une opération clés du procédé PIM, elle permet de préparer les pièces pour le cycle de frittage et consiste à enlever environ 98 % des liants organiques contenus dans la pièce verte. Le liant résiduel est nécessaire à la manutention de la pièce déliantée, appelée « pièce brune » et permet de lui assurer une bonne stabilité lors du processus de frittage.

La qualité de cette opération est fondamentale pour ne pas provoquer de dégradations physiques (fissurations) ou chimiques (carburation) à la pièce. Une part très importante des défauts qui apparaissent après frittage est générée par un déliantage inadapté.

Selon la nature chimique du liant, le déliantage pourra être effectué par voie catalytique, thermique ou par solvant. À l'issue du cycle de déliantage, la pièce n'a pas subi de changement dimensionnel (retrait).

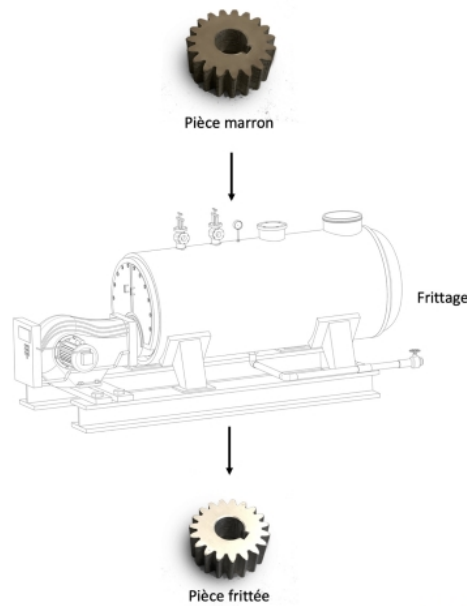


Présentation du cycle de déliantage.

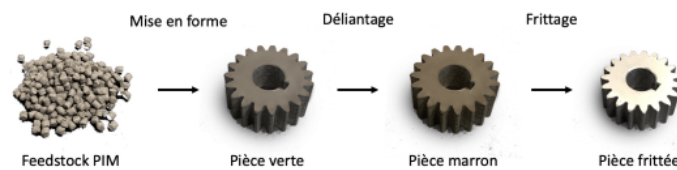
– Frittage : un cycle de pré-frittage, également appelé 2nd déliantage, est généralement réalisé en amont du frittage. Il a pour objectif d'éliminer le liant organique résiduel conservé à l'issue du cycle de déliantage. S'en suit un cycle de chauffe, appelé frittage, permettant de souder les particules métalliques entre elles, c'est lors de cette étape que les propriétés mécaniques sont données à la pièce finale, appelée « pièce frittée ». Cette opération se déroule à une température avoisinant le point de fusion du métal traité, sous atmosphère contrôlée et parfois sous vide. Le mélange gazeux composant l'atmosphère de frittage est spécifique pour chaque métal à fritter, il a pour objectif de réduire entre autres l'oxyde présent à la surface des poudres. Le retrait accompagnant le frittage est important, contrôlé et isotrope.

« un retrait dimensionnel se produit, il est dû à l'élimination de la porosité dans l'agglomérat de poudres »

Le cycle de frittage



Présentation du cycle de frittage.



Présentation du procédé de fabrication de pièce PIM.

3. La phase de déliantage et de frittage impliquent aussi certaines précautions à prendre lors de la conception de la pièce. Quelles sont-elles ?

En effet les cycles de déliantage et de frittages sont des étapes cruciales nécessitant maîtrise et expertise. Pour obtenir des pièces aux qualités désirées, plusieurs règles de conceptions sont à prendre en compte dont :

- Épaisseur de paroi : il est conseillé de concevoir des pièces avec des épaisseurs de paroi uniforme afin d'éviter la distorsion et les fissures. Des variations brusques de ces épaisseur peuvent entraîner des variations de retrait pendant le frittage, rendant ainsi le contrôle dimensionnel difficile. Plus l'épaisseur de paroi sera importante, plus le cycle de déliantage sera long et incertain.
- Structure d'appui : il est préférable pour les pièces PIM de concevoir une surface plane sur laquelle elles pourront être positionnées pour le frittage et d'éviter leur affaissement. Des

structures de support peuvent être créées pour minimiser l'affaissement des pièces lors du processus de frittage.

– Retrait : la « pièce brune » obtenue après le cycle de déliantage a une structure poreuse, due à l'élimination du liant organique. Lors du processus de frittage, les particules de poudre sont portées à une température proche de leurs points de fusion permettant aux poudres de se rapprocher les unes des autres, réduisant ainsi la quantité des pores présents dans la pièce.

Simultanément, un retrait dimensionnel se produit, il est dû à l'élimination de la porosité dans l'agglomérat de poudres. Ce retrait est linéaire, c'est-à-dire identique dans les trois directions, sa valeur est fonction de la teneur initiale en volume de liant organique, il se situe entre 12 et 20 %. Le coefficient de retrait est une valeur communiquée par les fournisseurs de matériaux PIM. Il est à anticiper lors de la phase de conception des pièces en appliquant ce coefficient multiplicateur à la préforme.

4. Comment le MIM s'applique-t-il à l'impression 3D métal ?

La PAM offre l'avantage de ne pas bouleverser la chaîne de post-traitements existantes dédiée à la production « traditionnelle » de pièces MIM. Les équipements de post-traitement et les cycles de déliantage et de frittage sont donc identiques. De plus, utilisant des matériaux industriels, ne nécessitant pas des formats spécifiques, ni d'ajustement de recettes (ratio poudres / liant organique), les retraits des pièces sont équivalents.

Pour la production de pièces unitaires, en petites et moyennes séries, les imprimantes Pam Series M se substituent aux presses à injecter en apportant plus de flexibilité et de liberté ; limitant ainsi les coûts d'outillages (moules d'injection).



Imprimante 3D Pam Series M

5. Quelles sont aujourd'hui les autres technologies d'impression 3D métal disponibles sur le marché exploitant le MIM ?

Sur le marché de la fabrication additive, il existe deux principales technologies d'impression 3D MIM-Like : les technologies FDM et Binder Jetting. Les principales différences entre ces solutions viendront à la fois du format de la matière, de la nature chimique du liant, du ratio métal / liant et du procédé de fabrication des pièces. L'ensemble de ces éléments impactera entre-autres le comportement de la matière pendant la phase de mise en forme, les équipements et les cycles de post-traitement, la résistance des pièces à l'« état vert », le retrait, et finalement la qualité finale de la pièce à l'état fritté.

En plus du procédé PAM, il existe des imprimantes 3D de type FDM utilisant du MIM sous forme de filament ou encore de barreau. Ces matériaux se différencient des granulés MIM industriels par leurs formes, par la nature et du ratio du mélange poudre / liant. En effet, pour les rendre compatibles avec les procédés d'impression FDM, la quantité de liant organique contenu dans le mélange est généralement supérieur aux granulés de feedstock MIM industriels. Cela impactant ainsi le comportement de la pièce lors des phases de post-traitement, comme par exemple un taux de retrait supérieur. De plus, la nature même des liants organiques utilisés est très souvent différente, empêchant l'intégration de ces pièces imprimées dans les flux existants des industriels. En effet, elles nécessitent des cycles de déliantage et de frittage dédiés.

On distingue également, les imprimantes 3D de type Metal Binder Jetting (MBJ) utilisant quant à elles de la poudre « libre ». Dans ce procédé, les pièces sont produites par dépôt sélectif de liant sur un lit de poudre couche après couche. Le liant étant déposé en très faible quantité, le cycle de déliantage est évité. Toutefois, il s'avère que les pièces produites par MBJ disposent d'un taux de porosité supérieur aux autres technologies. Outre le fait qu'elles proposent des cadences de production plus rapide que les technologies FDM ; le MBJ nécessite de plus forts investissements (coûts machines, équipements de sécurité, entretien, coûts consommables, etc.).

« la prise en main et l'opérabilité des systèmes FDM sont très accessibles »

6. En quoi est-il avantageux d'utiliser l'impression 3D métal MIM plutôt que des procédés classiques à fusion laser sur lit de poudre ? A contrario quelles sont ses limites et contraintes ?

Le MIM est un candidat idéal pour la fabrication additive métallique et en particulier comparé aux procédés de fusion laser sur lit de poudre, qui restent des solutions onéreuses et contraignantes (sécurité, utilisation, etc.).

En effet, la prise en main et l'opérabilité des systèmes FDM sont très accessibles. Les investissements initiaux, les coûts de maintenance et de fonctionnement sont relativement faibles comparés aux solutions de type DMLS / SLM. De plus, la poudre étant plastifiée, elle n'est pas volatile. La poudre, ne représente donc aucun risque d'hygiène et de sécurité contrairement aux solutions classiques à fusion laser sur lit de poudre, où elle est « libre ».

Par rapport à une solution DMLS / SLM, une machine Pam Series M, dédiée aux applications MIM-Like, représente :

- un investissement initial 5 à 10 fois inférieur,
- un coût de consommable le plus bas du marché, en moyenne 10 fois inférieur,
- pas d'investissement en équipements et infrastructures spécifiques (salle blanche, combinaisons de sécurité, ventilation, etc.).

D'un point de vue investissement, il faut bien entendu considérer les installations déjà en place, en effet, la production de pièces MIM nécessite des équipements de post-traitement. Pour une entreprise disposant déjà de ces équipements, l'investissement dans une Pam Series M est particulièrement compétitif. A l'inverse, les investissements concernant une station de déliantage et un four de frittage peuvent être coûteux et exigent une expertise pour les qualifier vis-à-vis des applications et des matières envisagées. Même s'il existe des équipements dits « de bureau », représentant des investissements modérés ; ils restent limités et ne permettent pas un traitement optimum des matériaux.

En résumé, le déliantage et le frittage sont une affaire d'experts. C'est pourquoi Pollen AM et la société Alliance MIM (leader français de la production de pièce MIM depuis plus de 25 ans) proposent une solution de service pour le déliantage et le frittage de pièces imprimées. Elle permet de bénéficier du savoir-faire des ingénieurs d'Alliance MIM et de leurs installations.

D'ailleurs, Alliance MIM disposant d'un parc machines important et ayant des cadences de production quotidiennes, les pièces MIM-Like peuvent s'intégrer dans les flux de post-traitement de manière flexible, rapide et à coût compétitif.

Également, la géométrie de certaines pièces nécessite l'utilisation d'un matériau de support pour être imprimée. Ce support pourra être réalisé avec la même matière, il sera alors retiré mécaniquement (par usinage par exemple), ou avec une matière spécifique, idéalement non compatible au frittage. Cette dernière devra avoir un comportement similaire à la matière de structure lors des cycles de déliantage et de frittage (même liant organique pour une compatibilité au cycle de déliantage et un ratio poudre / liant permettant un retrait similaire lors de la phase de frittage).



Alliance-mim 

Alliance MIM est le leader français de la production de pièces MIM, son usine est située à Saint-Vit, en Bourgogne-Franche-Comté.

7. Que sait-on du niveau de résistance d'une pièce MIM-Like, par apport aux pièces MIM et imprimées par frittage laser par exemple ?

Il existe assez peu de littérature à ce sujet, d'autant plus que les performances des pièces dépendent pour beaucoup des réglages machines et de la nature de la matière première. Toutefois, il est à noter que les pièces produites par ces différents procédés respectent les valeurs minimales normatives.

Par exemple, l'ASTM International, a encadré à travers la norme B883 19, les propriétés mécaniques minimales de l'Acier Inoxydable 316L issu du procédé MIM (contrainte à la rupture : 450 MPa ; limite élastique : 140 MPa ; Allongement à 25,4mm : 40%, etc.). Le choix technologique est majoritairement effectué en fonction des besoins et des contraintes du projet. Le tableau ci-dessous permet d'avoir une vision globale des avantages et inconvénients des différentes technologies.

	DMLS/SLM	MBJ	MIM	MIM-Like – FDM	MIM-Like – Pam
Investissements initiaux	€€€€	€€€	€€€	€€	€€
Coût matière	€€€€	€€€€	€	€€€	€
Diversité des matériaux	++	++	+++	+	+++
Petite série	+++	+++	-	+++	+++
Pièces complexes	+++	+++	++	+++	+++
Productivité	-	+	+++	-	-
Résolution	+	++	+++	+	+
Taille des pièces	++	+	+	+	+
Multi-extrusions	N/A	N/A	N/A	+	+++

Tableau comparatif des technologies MIM et MIM-Like.

Le MIM-Like à partir de granulés industriels est un outil de production versatile offrant un rapport qualité prix comparable aux procédés conventionnels.

« **Le nombre d'alliages disponibles pour l'impression 3D MIM-Like est intimement lié à la technologie utilisée** »

8. En MIM quels sont les principaux avantages à imprimer avec des granulés plutôt qu'avec d'autres technologies ?

Le nombre d'alliages disponibles pour l'impression 3D MIM-Like est intimement lié à la technologie utilisée et au caractère ouvert sur les matériaux de celle-ci. En effet, en faisant le choix d'une machine dite « fermée » (où le consommable est développé et commercialisé par le fournisseur de machines), l'utilisateur sera limité par le potentiel d'innovation et la capacité de mise sur le marché de nouvelles matières premières. Par ailleurs, le coût matière sera bien supérieur à son équivalent en granulé, car la fabrication de formats spécifiques (filaments, barreaux, etc.) nécessite des étapes de fabrications supplémentaires, des ajustements de formulation et de composition.

A l'inverse l'utilisation d'un système dit « ouvert » sur les matériaux et compatible avec les granulés industriels permettra à l'utilisateur de bénéficier de l'ensemble du catalogue matière MIM déjà disponible, à son coût le plus bas et de ne pas être dépendant d'un fournisseur, etc.



La technologie PAM, ouverte sur les matériaux est compatibles avec les feedstocks traditionnels du marché.

9. Que peux-tu nous dire sur les différents matériaux disponibles aujourd'hui pour l'impression 3D métal MIM ?

La PAM étant ouverte sur les matériaux, le consommable est largement disponible, sous son format industriel, c'est-à-dire à son juste prix. C'est bien cette différence technologique qui permet d'accéder à la plus large bibliothèque de matériaux MIM du marché.

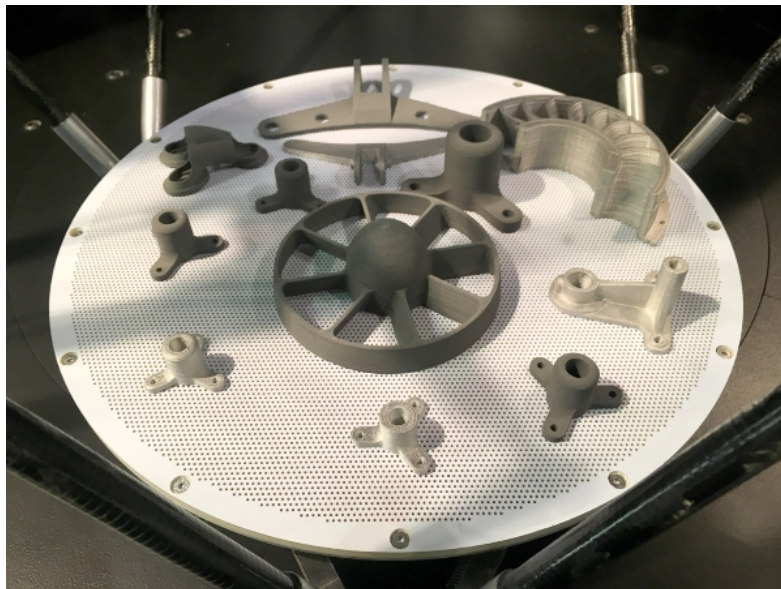
Notons que presque tous les alliages pouvant être atomisés sous forme de poudre peuvent être traités en MIM et donc avec la PAM.

Ces alliages peuvent être classés en quatre catégories :

- Alliages ferreux : aciers, aciers inoxydables, aciers à outils, alliages magnétiques fer-nickel et alliages ferreux spéciaux ;
- Alliages de tungstène : alliages lourds de tungstène et tungstène-cuivre ;
- Matériaux durs : carbures cémentés (Carbure de tungstène) et cermets (matériau composite composé d'un renfort en céramique (Cer) et d'une matrice métallique (Met)) ;
- Matériaux spéciaux comprenant les métaux précieux (argent, cuivre, or, etc.), les alliages de titane, l'aluminium, le chrome-cobalt, le nickel, les superalliages à base de nickel, le molybdène, et les composites particuliers.

Bref, vous l'aurez compris, le MIM offre une gamme de matériaux utilisable très large et ils sont compatibles avec la PAM. Pour cela, l'utilisateur pourra régler les paramètres machine spécifique au feedstock MIM choisi et rendre la production de pièces reproductibles.

« L'objectif à terme est de produire des petites pièces de structure, connecteurs et enfin des ébauches de type forge »



Exemples de pièces MIM imprimées (Acier inoxydable 317L, Acier inoxydable 17-4PH, Titane).

10. Pour finir quelles sont les applications possibles avec l'impression 3D métal MIM et les secteurs concernés ?

Notre collaboration avec la société Alliance MIM a démarré en 2018 avec l'intégration d'une Pam Series M au sein de son bureau d'études. La Pam Series M a permis à Alliance MIM de repousser les limites de la fabrication additive de type FDM conventionnelle (limitée à l'impression de thermoplastiques). Désormais Alliance MIM utilise la technologie PAM lorsque que les thermoplastiques atteignent leurs limites de résistance.

Actuellement, les principales applications réalisées par Alliance MIM sont dédiées à la production d'outillage de mise en position, de pinces de préhension, et autres éléments de support à la production. L'objectif à terme est de produire des petites pièces de structure, connecteurs et enfin des ébauches de type forge qui tendront vers la réalisation de pièces « net shape » permettant de minimiser la part matière et d'éliminer les opérations d'usinage.