

Rapport de veille technologique - Technifutur Campus Francorchamps - Projet PAE
Date de création : 12/06/2020
Rédacteur : Marc NELIS

Technologie concernée
Domaine concerné : la fabrication additive ou "additive manufacturing" (AM)
Lien avec secteur automobile : techniques de fabrication pour industrie, PME, old timer, R&D

Contexte

La fabrication additive (AM) est une technologie apparue vers 1980 avec un seul procédé, la stéréolithographie (SLA). La technologie a commencé à trouver des applications industrielles entre 2000 et 2010 pour devenir mature aujourd'hui. Des équipements rentables et fiables sont disponibles sur le marché. On trouve aussi bien des machines de bureaux que des outils industriels permettant de produire des pièces dans une large gamme de matériaux. Cette technologie ne prétend pas remplacer les méthodes de fabrications traditionnelles que sont l'usinage, l'injection ou la coulée, mais elle s'inscrit dans les procédés comme un outil complémentaire.

Le secteur automobile, en pleine mutation et faisant face à de nouveaux enjeux environnementaux et économiques, intègre cette nouvelle technologie dans des scénarios raisonnables. Citons les applications suivantes :

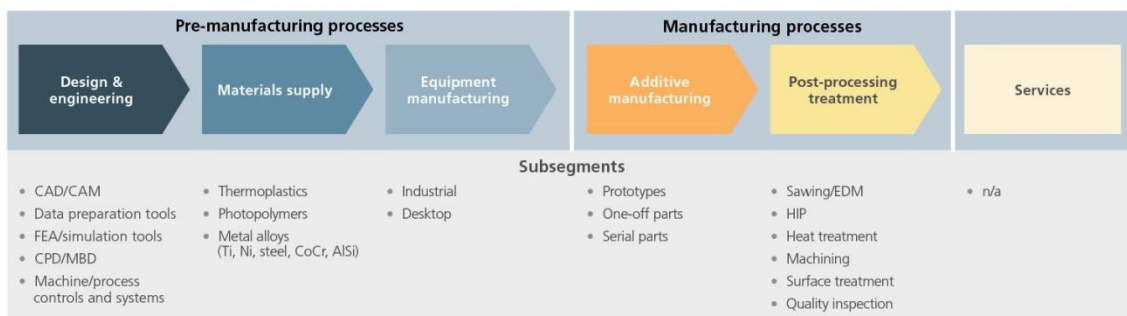
- Fabrication rapide de moules d'injection pour fabriquer 1000 pièces
- Fabrication d'un prototype de pièce pour tests de validation
- Fabrication urgente d'une maquette pour le département marketing
- Fabrication rapide d'une pièce pour animer une réunion d'engineering
- Fabrication d'une pièce très complexe
- Fabrication d'une pièce optimisée, de forme organique
- ...

Applications qui sont compatibles avec les avantages et inconvénients de la technique :

Avantages : rapidité de réaction même si la fabrication est très lente, pièces très complexes

Inconvénients : dimensions limitées, précision moyenne, post-traitement nécessaire

Par ailleurs, cette technologie est porteuse d'emplois de qualité vu qu'elle s'inscrit dans une chaîne de valeurs beaucoup plus vaste, celle de la conception, CAO, matériaux, machines d'AM, post-traitements et services [1].



Notes: FEA = Finite element analysis; CPD = Composites part design; MBD = Model-based definition ; EDM = Electrical discharge machining ; HIP = Hot isostatic pressing
Source: L.E.K. analysis

La chaîne de valeurs complète dans le domaine AM [1]

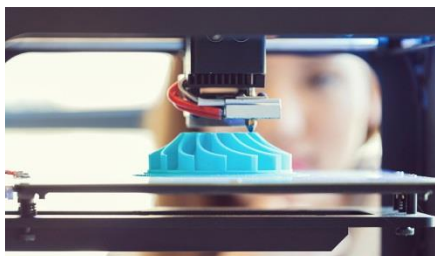
Description

La fabrication additive est en fait un nom générique pour parler de fabrication de pièces « couche par couche ». La technologie SLA apparue en 1980 a fortement évolué tout en attirant des variantes

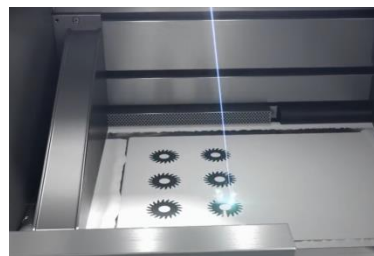
sur le marché des équipements. On dénombre aujourd'hui 7 grandes familles de procédés de fabrication.

1. **La projection de matière** (material jetting): déposer la matière à partir d'une buse qui se déplace horizontalement, la solidification est produite à l'aide d'une lumière UV [2].
2. **L'extrusion de matière** (material extrusion): déposer le matériau couche par couche à travers une buse, il se solidifie ensuite en se refroidissant. La buse peut se déplacer suivant trois axes. (aussi appelé FDM) [3][4]
3. **La projection de liant** (binder jetting): déposer un liant entre les couches de poudre pour les agglomérer. [5][6]
4. **La fusion sur lit de poudre** (powder bed fusion): utilise un laser ou un faisceau d'électrons pour fondre et fusionner la poudre couche sur couche. (aussi DMLS) [7][8]
5. **Le dépôt sous flux d'énergie** (direct energy deposition): déposer du métal fondu sur la surface où il se solidifie. [9][10]
6. **La polymérisation en cuve** (vat photopolymerisation): utilise une cuve de résine photopolymère liquide et une lumière UV pour la durcir localement, une plate-forme déplace l'objet vers le bas après chaque couche. (aussi SLA) [11][12][13]
7. **La stratification en couche** (sheet lamination) consiste à coller des feuilles découpées.

Toutes ces technologies sont expliquées sous forme de cours illustrés et webinaires disponibles gratuitement, par exemple aux adresses [14][15][16]. Nous illustrons ci-après les procédés les plus typiques, la fusion de fil pour les imprimantes de bureau et la fusion laser comme procédé industriel d'atelier.



Machine de dépôt de fil FDM



Fusion sur lit de poudre

Les matériaux utilisables avec ces technologies sont classés en quatre grandes catégories: les plastiques, les métaux, les céramiques et les matériaux organiques. Tous les procédés ne sont pas compatibles avec tous les matériaux, raison pour laquelle nous avons regroupé l'information ci-après, collectée aux références [17][18][19].

Matériaux plastiques

Plastiques	Forme	T° de fusion °C	Procédé	Remarque
PLA (Acide Polylactique)	- bobine de fil	160-220°	- Extrusion de matière	Ne se ponce pas bien, existe en matériau flexible
ABS (Acrylonitrile butadiène styrène)	- bobine de fil - polymère liquide	200-250° plateau chauffant	- Extrusion de matière - Polymérisation en cuve (SLA)	Exemple type, la brique LEGO Rendu plus lisse que PLA
PET (Polytéréphtalate d'éthylène)	- bobine de fil	220°	- Extrusion de matière	Plus solide que l'ABS
PA (Polyamides)	- poudre	235-260°	- Frittage laser (et FDM)	Compatible alimentaire
PEEK	- bobine de fil	370-450°	- Extrusion de matière	Plateau chauffant > 120 °C chambre chauffée
Résines	- liquide	---	- Polymérisation en cuve (SLA) - Material jetting	Rendu lisse, formes très complexes
PVA (Alcool polyvinylique)	---	---	---	Matériau de SUPPORT, soluble dans l'eau
HIPS (High Impact Polystyrène)	---	---	---	Matériau de support, soluble dans le D-limonène

Matériaux métalliques

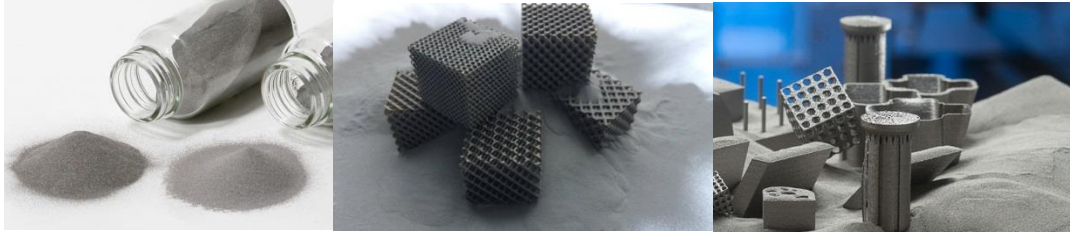
Nuances spéciales d'Aluminium, Acier, Cobalt-chrome, titane sous forme de poudre

Procédés compatibles: - **La fusion sur lit de poudre** (powder bed fusion)

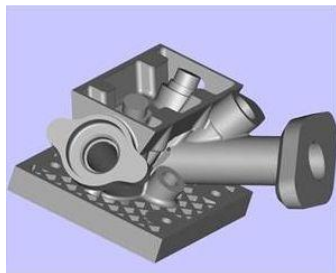
- **La projection de liant** (binder jetting)

- **Le dépôt sous flux d'énergie** (direct energy deposition)

Les propriétés mécaniques dépendent beaucoup du post traitement thermique



Les matériaux métalliques pour AM sous forme de poudre



Culasse de moteur « Eco-Shell marathon »
fabriquée en titane par le centre de R&D SIRRIS
pour l'école HEPL [18]

Matériaux céramiques

Exemples: oxyde de zirconium ZrO_2 , oxyde d'aluminium Al_2O_3 , nitrure de silicium Si_3N_4 , silice SiO_2
appelée aussi « sable de fonderie » sous forme de poudre

Procédés compatibles: - **La fusion sur lit de poudre** (powder bed fusion)

- **La polymérisation en cuve** (mélange de résine et de poudre)

- **La projection de liant** (binder jetting)

Suivi d'un nettoyage, déliantage / frittage, émaillage à plus de 1000°C



Exemples de pièces réalisées par AM en matériaux céramiques [19]

Matériaux organiques

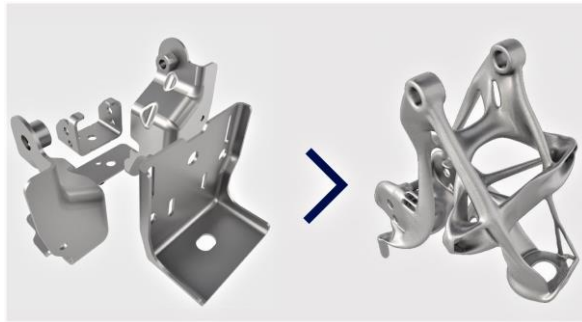
CIRES^(*) (WAX) pour fonderie à modèle perdu

Procédés compatibles: -polymérisation en cuve SLA (vat photopolymérisation)

-projection de matière (material jetting)

Polymère + bois (extrusion de matière FDM, fil spécial)

Nous pouvons conclure que le domaine de l'additive manufacturing est véritablement occupé à trouver sa place dans la filière de la R&D et de la production industrielle. Nous souhaitons finalement illustrer cela par des réalisations remarquables découvertes sur le web.



Support de sièges [20]



Support allégé [21]



Etrier de frein [22]

Sources d'information

- [1] <https://www.lek.com/insights/ei/additive-manufacturing-disruptive-potential-metal-printing>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=Cz7pKRcuTgs>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=iT9A0pBBL2A>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=xf4sdomlKbs>
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=Z8MaVaqNr3U>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=97doBH9jSXY>
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=yiUUZxp7bLQ>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=te9OaS20kf8>
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=ruTo9hIYQGw>
- [10] <https://mx3d.com/arc-bike-ii/>
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=8tn5zA5bNSE>
- [12] <https://www.edag-engineering.de/en/stories/cocoon/>
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=nVK9PsXVOMM>
- [14] <https://www.3dhubs.com/fr/guides/impression-3d/>
- [15] <https://www.3dsystems.com/webinars>
- [16] <http://ceal-aluquebec.com/fabrication-additive/>
- [17] <https://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d.html>
- [18] <https://www.sirris.be/fr/area-expertise/additive-manufacturing>
- [19] <http://3dceram.com/en/applications/industrie/>
- [20] <http://www.auto-innovations.com/actualite/2709.html>
- [21] <https://www.machinedesign.com/3d-printing/how-design-3d-printing-direct-metal-laser-sintering>
- [22] <https://www.youtube.com/watch?v=F2yJ0RjwAEo>