

# La fabrication additive ou impression 3D

L'impression 3D [par pulvérisation de matière ou jet de matière] repose sur le dépôt contrôlé de matériau liquide couche par couche pour créer des objets en trois dimensions. Une fois refroidi, le matériau se solidifie, donnant forme à la pièce finale.

Si cette technologie permet une grande liberté de conception, elle engendre également des surfaces parfois rugueuses ou insuffisamment homogènes. C'est pourquoi une étape de post-traitement, telle que le polissage ou le lissage, est essentielle pour améliorer la qualité et la fonctionnalité des pièces imprimées.

## Les principales technologies d'impression 3D :

Aujourd'hui, plusieurs procédés de fabrication additive sont utilisés selon les matériaux et les applications visées :

- **Dépôt de fil fondu (FDM/FFF)** : extrusion de filaments thermoplastiques pour des pièces résistantes et économiques.
- **Photopolymérisation (SLA/DLP/MSLA)** : durcissement de résines liquides par exposition lumineuse, idéal pour des pièces détaillées et lisses.
- **Fusion et frittage de poudre (SLS/SLM/DMLS)** : utilisation d'un laser ou d'un faisceau d'électrons pour fusionner des poudres plastiques, métalliques ou céramiques.
- **Jet de matière (MJM/PJ/BJ)** : pulvérisation de gouttelettes de matériau polymérisable pour des impressions haute précision.
- **Lamination (LOM)** : superposition de couches découpées pour obtenir des pièces complexes et robustes.

Chaque technologie présente des avantages distincts, mais elles nécessitent la plupart du temps des finitions adaptées pour répondre aux exigences des clients finaux.

## L'importance du post-traitement en impression 3D :

Une fois imprimées, les pièces doivent souvent être traitées afin d'améliorer leur esthétique, leurs performances mécaniques ou leurs propriétés de surface. Les solutions de post-traitement incluent :

- **Le polissage mécanique ou chimique**, pour réduire la rugosité et améliorer la douceur des surfaces.
- **Le sablage et le microbillage**, qui permettent d'uniformiser la texture des pièces.
- **Les traitements thermiques**, essentiels pour renforcer les pièces métalliques.
- **L'application de revêtements** (peinture, vernis, métallisation) pour améliorer l'apparence et la résistance des objets.

**ABC Swiss Tech** propose des solutions innovantes pour optimiser la qualité des pièces imprimées en 3D. Grâce à des technologies classiques comme la **tribofinition** ou des technologies avancées, nous garantissons des surfaces homogènes et conformes aux standards industriels les plus exigeants.

Nos solutions s'adaptent aux besoins de multiples secteurs tel que l'aéronautique, les dispositifs médicaux, l'ingénierie de précision l'automobile, ou encore le luxe...

En optimisant l'état de surface des pièces imprimées, nous permettons aux entreprises de maximiser la performance et l'esthétique de leurs productions.

L'impression 3D révolutionne les méthodes de fabrication, et le post-traitement joue un rôle clé dans son adoption à grande échelle. Avec l'expertise d'ABC Swiss Tech, les pièces imprimées gagnent en qualité et en fiabilité, offrant ainsi des performances optimales pour toutes les applications industrielles.

## SOMMAIRE

I.	LES PRINCIPAUX TYPES D'IMPRIMANTES 3D .....	3
1.	<i>Les principales techniques de fabrication additive polymère</i> .....	3
a.	<i>Extrusion et dépôt de fil fondu (FDM et FFF)</i> .....	3
b.	<i>Résine et photopolymérisation (SLA, DLP)</i> .....	3
c.	<i>Frittage de poudre et fusion (SLS, SLM)</i> .....	4
d.	<i>Pulvérisation de matière (Jetting)</i> .....	5
e.	<i>Lamination (papier)</i> .....	5
2.	<i>Les principales techniques de fabrication additive métal</i> .....	6
a.	<i>Impression directe en métal (DMP/DMLS)</i> .....	6
b.	<i>Fusion sélective par laser (SLM)</i> .....	6
c.	<i>Fusion de lit de poudre métallique (PBF)</i> .....	6
d.	<i>Dépôt de fil/filament fondu (FDM)</i> .....	6
e.	<i>Extrusion de métal</i> .....	6
f.	<i>Dépôt sous énergie concentrée/direct d'énergie (DED)</i> .....	7
g.	<i>Projection de liant</i> .....	7
h.	<i>Fabrication additive ultrasonique</i> .....	7
3.	<i>Les autres techniques de fabrication additive</i> .....	7
a.	<i>L'impression 3D céramique</i> .....	7
4.	<i>Quelques fabricants d'imprimantes 3D</i> .....	8
5.	<i>Quelques distributeurs d'imprimantes 3D</i> .....	8
6.	<i>Quelques prestataires en fabrication additive</i> .....	9
7.	<i>Quelques sociétés de conseils</i> .....	9
II.	LES PRINCIPALES MATIÈRES UTILISÉES EN FABRICATION ADDITIVE .....	9
1.	<i>Les principaux polymères utilisés en fabrication additive</i> .....	9
2.	<i>Les principaux métaux utilisés en fabrication additive</i> .....	10
3.	<i>Les autres matériaux utilisés en fabrication additive</i> .....	10
4.	<i>Quelques fabricants de consommables pour l'impression 3D</i> .....	10
5.	<i>Quelques distributeurs de consommables pour l'impression 3D</i> .....	10
III.	LES TECHNIQUES DE POST-TRAITEMENT .....	11
1.	<i>Les techniques existantes</i> .....	11
a.	<i>Le traitement thermique</i> .....	11
b.	<i>Séchage UV</i> .....	11
c.	<i>L'enlèvement de support</i> .....	11
d.	<i>L'usinage</i> .....	12
e.	<i>Le revêtement ou infiltration</i> .....	12
f.	<i>La teinture</i> .....	12
g.	<i>Dépoudrage</i> .....	12
2.	<i>Les techniques de polissage actuelles</i> .....	12
h.	<i>Sablage</i> .....	12
i.	<i>Le ponçage</i> .....	12
j.	<i>Polissage traditionnel</i> .....	12
k.	<i>Analyse comparative des différentes technologies existantes</i> .....	13
l.	<i>La tribofinition classique</i> .....	13
m.	<i>Comparatifs des différentes technologies en tribofinition</i> .....	14
3.	<i>Les nouvelles techniques de polissage</i> .....	14
IV.	LEXIQUE .....	15
V.	QUELQUES SOURCES WEB .....	15

## I. LES PRINCIPAUX TYPES D'IMPRIMANTES 3D

### 1. LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE FABRICATION ADDITIVE POLYMERE

#### a. Extrusion et dépôt de fil fondu (FDM et FFF)

##### Dépôt de fil fondu

La technologie d'impression 3D par dépôt de fil fondu utilise du filament polymère comme consommable.

- Il s'agit de la technique d'impression 3D la plus répandue.

Le filament polymère est chauffé et fondu dans la tête d'impression de l'imprimante 3D puis ressort à travers une fine buse.

L'imprimante 3D dépose le filament fondu par couches successives en suivant les axes X et Y pour former l'objet en 3D. Lorsqu'une couche est complète, le plateau d'impression s'abaisse légèrement sur l'axe Z (vertical) et le processus d'extrusion reprend en déposant une nouvelle couche de filament fondu au-dessus de la première.

Quelques exemples :

Bambu Lab A1 Mini Combo

Kobra S1 Combo

##### Dépôt d'énergie directe (DED)

La technologie de DED peut être utilisée avec des polymères ou des matériaux céramiques.

Cette imprimante est généralement utilisée pour réparer ou ajouter des composants à des pièces existantes.

Le fonctionnement de l'imprimante DED est presque le même que la technologie FDM/FFF (dépose de la matière fondue sur une surface, où elle se solidifie), la différence étant que la buse se déplace dans de multiples directions et non pas seulement le long de deux axes.

Avantage : le matériau d'impression peut être déposé selon n'importe quel angle et est fondu en même temps qu'il est déposé par un laser ou un faisceau à électrons.

#### b. Résine et photopolymérisation (SLA, DLP)

Les imprimantes 3D SLA et DLP utilisent de la résine liquide photosensible, c'est-à-dire des résines qui réagissent en se solidifiant lorsqu'elles sont exposées à certains rayons lumineux.

Ces imprimantes sont le plus souvent utilisées dans le mode de la joaillerie ou dans l'industrie dentaire.

##### Imprimantes 3D SLA

Plusieurs technologies de SLA :

- La stéréolithographie laser utilise un laser pour solidifier la résine point par point.
- La stéréolithographie à projection de lumière (DLP, LCD, MSLA, ...) sont capables de solidifier des couches entières en une seule fois.

Le laser « dessine » l'objet 3D à imprimer.

Avantage : permet d'imprimer des détails fins, résolution d'impression élevée et état de surface final lisse

Quelques exemples :  
EP-A650 (par Eplus3D)  
Phrozen Sonic Mini 8K S

### Imprimante 3D DLP

Avec ce type d'imprimante, l'objet est formé par la solidification de la résine photo sensible grâce aux rayons UV émis par un projecteur.

Les imprimantes 3D DLP sont de plus en plus courantes, notamment car leur vitesse d'impression est supérieure aux imprimantes 3D SLA, grâce au projecteur qui solidifie d'un coup une surface formant une couche de l'objet tandis que le laser utilisé en SLA fonctionne point par point.

La principale différence entre les imprimantes 3D SLA et DLP est la manière dont la résine photosensible est polymérisée :

- Les imprimantes 3D DLP solidifient la résine couche par couche avec un projecteur
  - Les imprimantes SLA solidifient la résine point par point avec un laser.
- La technique SLA est plus précise et potentiellement plus lente que la DLP
- Les lasers sont aussi plus coûteux et difficiles à entretenir au contraire des projecteurs que l'on peut trouver facilement et qui utilisent des lampes facilement remplaçables.

Quelques exemples :  
Varseo XS (par BEGO)  
Elegoo Saturn 4 Ultra

### c. Frittage de poudre et fusion (SLS, SLM)

Les principales technologies d'impression 3D basées sur de la poudre sont le frittage sélectif par laser par laser (SLS) et la fusion sélective par laser (SLM).

Ces imprimantes 3D SLS ou SLM sont en général destinées à des applications industrielles comme la production de pièces complexes.

### Imprimante 3D SLS

La technologie d'impression 3D SLS est basée sur l'utilisation d'un laser pour fritter un matériau sous forme de poudre.

L'énergie dégagée par le laser permet d'agglomérer entre eux les grains de matière en poudre pour former une structure solide (sans pour autant les fusionner).

Les imprimantes 3D SLS sont dotées d'un bac où est contenu la poudre consommable. Le laser, piloté par le logiciel de l'imprimante 3D, vient "tracer" dans le bac à poudre la forme de l'objet à imprimer, formant ainsi l'objet désiré, couche par couche.

Quelques exemples :

S600DL (par TPM3D)  
3D Systems SLS 380  
Formlabs Fuse 1+ 30W

### Imprimante 3D SLM

Les imprimantes 3D SLM utilisent un procédé proche de la technologie par frittage sélectif de poudre : la différence est que pour l'impression 3D par fusion laser, le matériau en poudre est fusionné et pas simplement fritté par le laser.

Le laser va ainsi faire fusionner les particules de poudres pour former un objet solide.

Les imprimantes 3D SLM sont utilisées dans de nombreux secteurs dont l'aéronautique et le médical.

### d. Pulvérisation de matière (Jetting)

#### Projection de matière (MJM)

L'impression 3D par pulvérisation de matière ou jet de matière consiste à utiliser une tête d'impression pour déposer du matériau d'impression liquide sur la plateforme d'impression. En refroidissant, le matériau liquide se solidifie pour former l'objet final en 3D, couche par couche.

Avantage : permet de fabriquer des objets avec un haute résolution et de finition (surfaces).

#### Photopolymer Jetting (PJ)

Dans ce cas, la tête d'impression projette le matériau photopolymère sur le lit d'impression. La résine liquide ainsi projetée est immédiatement solidifiée par une source de lumière, en général une lampe à UV attachée aux têtes d'impression.

#### Binder Jetting (BJ)

Cela consiste à déposer de manière sélective un agent liant (« binding agent ») sur un matériau en poudre, afin de lier les particules de poudres entre elles et de former ainsi un objet solide.

Avantage : impression d'objet en couleur avec un haut niveau de détail

*Quelques exemples :*

*VisionEngine (par Luxexcel)*

*PartPro350xBC (par XYZprinting)*

*Stratasys J55 Prime*

*3D Systems Projet MJP 2500*

### e. Lamination (papier)

Cette technique utilise comme consommable du matériau sous forme de feuilles très fines (papier, aluminium, polymère...) pour fabriquer des objets très détaillés, en couleurs.

Les feuilles sont d'abord empilées et découpées selon le modèle 3D souhaité, par un laser ou une lame très coupante. Les couches de matière sont ensuite recouvertes d'un adhésif et collées ensemble couche par couche.

La précision du résultat final dépend principalement de l'épaisseur des feuilles de papier ou du matériau utilisé.

Quelques exemples :

CBAM-2 (par Impossible Objects)

Mcor ARKePro

## 2. LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE FABRICATION ADDITIVE METAL

### a. Impression directe en métal (DMP/DMLS)

Une imprimante 3D pour impression directe en métal (DMP) utilise un laser pour souder de fines couches de poudre métallique et produire des pièces métalliques très complexes, ayant des détails précis.

Avantages : souplesse de conception illimitée, surmonte les limites des techniques de fabrication traditionnelle en termes de géométrie et de rétention de surface, les coûts de fabrication dépendent non pas de la complexité des pièces mais du nombre de pièces.

### b. Fusion sélective par laser (SLM)

Le processus ressemble à l'impression directe en métal mais diffère par rapport à la puissance du laser. Cette technologie demande un temps de refroidissement plus long car la poudre nécessite d'être fondue entièrement.

→ Cette imprimante 3D Métal est plus adaptée aux métaux durs (titane)

### c. Fusion de lit de poudre métallique (PBF)

Cette technique, qui regroupe le DMLS et le SLM, est adaptée aux exigences des industrielles aérospatiales et automobiles car elle est exempte de contraintes résiduelles et d'imperfections internes.

Cependant, les coûts de fabrications sont relativement élevés.

Quelques exemples :

EP-M650 (par Eplus3D)

EOS M 300-4 (par EOS)

### d. Dépôt de fil/filament fondu (FDM)

Comme pour l'impression 3D plastique, cette imprimante 3D métal utilise des filaments déposés couche par couche pour construire la pièce. C'est un des procédés les plus utilisés par le grand public.

Cette technique convient au prototypage rapide de pièces simples, car elle présente la résolution et la précision la plus basse en comparaison des autres techniques.

Avantage : coût de fabrication relativement bas, utilisation simple

Quelques exemples :

Creality Ender 3 (par Creality)

### e. Extrusion de métal

Un filament ou une tige constituée d'un polymère et fortement chargé de poudre métallique est extrudée à travers une buse (comme dans le procédé FDM) pour former la pièce « verte », recevant ensuite des opérations de post-traitement (ébavurage et frittage) pour créer une pièce entièrement métallique.

Quelques exemples :

X7 Field Edition (par Markforged)

Forge 1 (par Raise3D)

#### *f. Dépôt sous énergie concentrée/direct d'énergie (DED)*

La poudre ou le fil métallique est fondu par une source à haute énergie et est déposé sélectivement couche par couche sur un substrat, guidé par un bras robotisé multi-axes.

Il y a ensuite une opération de finition qui est appliquée grâce à un usinage CNC.

Avantages : grand volume de fabrication, impression rapide, le fil métallique est la forme la plus abordable de matériau d'impression 3D métallique

Quelques exemples :

M1 (par MX3D)

D800 (par Romi)

#### *g. Projection de liant*

Cette méthode fritte la poudre en utilisant un agent liant, couche après couche. Lorsque cette étape est terminée, l'impression 3D métal est terminée en étant placée dans un four.

Ces machines sont beaucoup demandées pour la fabrication de petites séries de production (car plus grandes que d'autres imprimantes FA)

Avantages : grand volume de fabrication, impression rapide, production de pièces plus grandes

Quelques exemples :

H1 (par GE Additive)

S-Print (par ExOne)

#### *h. Fabrication additive ultrasonique*

Les feuilles de métal sont collées couches par couche avec un soudage par ultrason, puis formées à l'aide d'un usinage CNC.

Avantage : cette technique ne chauffe pas la matière, il est donc possible d'intégrer dans la structure des appareils électroniques par exemple

### 3. LES AUTRES TECHNIQUES DE FABRICATION ADDITIVE

#### *a. L'impression 3D céramique*

Liage de poudre

Le processus consiste à solidifier de la poudre de céramique à l'aide d'un liant qui, couche par couche, viendra former la pièce en 3D.

Avantage : technique capable de créer des pièces en couleurs sans support d'impression

#### La stéréolithographie céramique (SLA)

La technique dite stéréolithographie est particulièrement adaptée à l'impression 3D de céramique. La céramique est mélangée à une résine photosensible. Ce mélange sera polymérisé et solidifié grâce à une source de lumière.

Avantage : offre un haut niveau de détails, peu voire pas de support d'impression, homogénéité des traitements UV sur l'ensemble de la surface d'impression

#### Liquid Deposition Modeling (LDM)

Appelée aussi dépôt de matériau, cette technique consiste à déposer des couches de matériau céramique afin de former la pièce finale.

Avantage : moins coûteuse que certaines techniques

#### NanoParticle Jetting (NJP)

Cette technique de pulvérisation de matériaux utilise des suspensions de matériau en poudre de céramique afin de former la pièce en 3D.

Le NJP jete un liquide qui contient des nanoparticules de céramique en suspension, tout en jetant simultanément un matériau de support.

### 4. QUELQUES FABRICANTS D'IMPRIMANTES 3D

- EOS ([www.eos.info](http://www.eos.info))
- Stratasys ([www.stratasys.com](http://www.stratasys.com))
- Trumpf ([www.trumpf.com](http://www.trumpf.com))
- 3D Systems ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com))
- Ultimaker ([www.ultimaker.com](http://www.ultimaker.com))
- Kreos ([www.kreos.fr](http://www.kreos.fr))
- Protolabs ([www.protolabs.fr](http://www.protolabs.fr))
- Addup ([www.addupsolutions.com](http://www.addupsolutions.com))
- Raise 3D ([www.raise3d.com](http://www.raise3d.com))
- Creality 3D ([www.creality.com](http://www.creality.com))
- 3D Freesculpt ([www.3dfreesculpt.fr](http://www.3dfreesculpt.fr))
- Formlabs ([www.formlabs.com](http://www.formlabs.com))
- Full Spectrum Laser ([www.fslaser.com](http://www.fslaser.com))
- Leapfrog ([www.lpfrog.com](http://www.lpfrog.com))
- APS Tech Solution ([www.aps-techsolutions.com](http://www.aps-techsolutions.com))
- Volumic ([www.imprimante-3d-volumic.com](http://www.imprimante-3d-volumic.com))
- ExOne ([www.exone.com](http://www.exone.com))
- ...

### 5. QUELQUES DISTRIBUTEURS D'IMPRIMANTES 3D

- 3D industries ([www.3dindustries.fr](http://www.3dindustries.fr))
- 3DZ ([www.3dz.fr](http://www.3dz.fr))
- Sotec3D ([www.sotec3d.com](http://www.sotec3d.com))
- 3D Advance ([www.3dadvance.fr](http://www.3dadvance.fr))

- 3D New Print ([www.3dnewprint.com](http://www.3dnewprint.com))
- Technocast ([www.technocast.fr](http://www.technocast.fr))
- 3D solution ([www.3dsolution.fr](http://www.3dsolution.fr))
- Decip ([www.decip.fr](http://www.decip.fr))
- Machines 3D ([www.machines-3d.com](http://www.machines-3d.com))
- Vos ID en 3D ([www.vosiden3d.fr](http://www.vosiden3d.fr))
- Cad Vision ([www.cadvision.fr](http://www.cadvision.fr))
- Polyfab3D ([www.polyfab3d.fr](http://www.polyfab3d.fr))
- ...

## 6. QUELQUES PRESTATAIRES EN FABRICATION ADDITIVE

- Sculpteo ([www.sculpteo.com](http://www.sculpteo.com))
- Protolabs ([www.protolabs.fr](http://www.protolabs.fr))
- Th Industries ([www.thindustries.fr](http://www.thindustries.fr))
- Erpro Group ([www.erpo-group.com](http://www.erpo-group.com))
- Spartacus ([www.farinia.com](http://www.farinia.com))
- Volum-e ([www.volum-e.com](http://www.volum-e.com))
- Spare Parts 3D ([www.spare-parts-3d.com](http://www.spare-parts-3d.com))
- Shapeways ([www.shapeways.com](http://www.shapeways.com))
- Materialise OnSite ([www.materialise.com](http://www.materialise.com))
- Kraftwurx ([www.kraftwurx.com](http://www.kraftwurx.com))
- 3ERP ([www.3erp.com](http://www.3erp.com))
- GMP Additiv' ([www.gmp-additiv.com](http://www.gmp-additiv.com))
- ...

## 7. QUELQUES SOCIETES DE CONSEILS

- 3DPM ([www.3dprintingmarkets.com](http://www.3dprintingmarkets.com))
- Cylaos ([www.cylaos.fr](http://www.cylaos.fr))
- Di Studio 3D ([www.distudio3d.com](http://www.distudio3d.com))
- Infill Conseil ([www.infillconseil.fr](http://www.infillconseil.fr))
- ...

## II. LES PRINCIPALES MATIÈRES UTILISÉES EN FABRICATION ADDITIVE

### 1. LES PRINCIPAUX POLYMERES UTILISES EN FABRICATION ADDITIVE

Quelques matières les plus fréquentes dans la FA polymère :

- **PLA (polymère d'acide lactique)** : consommable très couramment utilisé
- **ABS (acrylonitrile butadiène styrène)** : il s'agit du matériau très polyvalent car compatible avec presque toutes les imprimantes 3D
- **PET (polyéthylène téréphtalate)** : offre une bonne résistance aux pièces
- **PC (polycarbonate)** : apprécié pour sa solidité et sa transparence
- **PS (polystyrène)** : permet de produire de grandes quantités à moindre coûts
- **PPSF/PPSU (polyphénylesulfone)** : possède la meilleure résistance à la chaleur des matériaux actuellement disponibles pour l'impression 3D
- **Le nylon** : idéal pour la production de pièces qui vont nécessiter une grande résistance à la fatigue et à la tension
- **La poudre de polyamide** : beaucoup utilisé pour imprimer des prototypes en plastique blanc

- **La poudre d'alumide** : avantage de pouvoir réaliser des pièces à la fois très solides et très flexibles avec une importante résistance à la chaleur
- **La résine liquide** : dispose d'un large choix de couleur
- **Les cires** : surtout utilisées en bijouterie et en dentisterie, ces matières ont l'avantage de produire des pièces avec un aspect lisse sans porosité
- ...

## 2. LES PRINCIPAUX METAUX UTILISES EN FABRICATION ADDITIVE

Quelques métaux les plus fréquents dans la FA :

- **Aluminium** : utilisé pour son poids (aéronautique, automobile)
- **Acier inoxydable** : utilisé pour ses propriétés mécaniques (matériau très utilisé dans l'industrie)
- **Colbat-chrome** : beaucoup utilisé pour le domaine médical
- **Titane** : biocompatible, utilisé pour sa résistance à la corrosion
- **Métaux précieux (or, argent, bronze)** : coût élevé mais beaucoup utilisé dans la bijouterie-joaillerie.

## 3. LES AUTRES MATERIAUX UTILISES EN FABRICATION ADDITIVE

- **La céramique** : matériau alimentaire et biocompatible, la céramique est beaucoup utilisée pour la création de vaisselles ou d'implants médicaux
- **L'oxyde de zirconium** : ce matériau dispose d'une bonne conduction électrique et thermique ; une bonne résistance à l'usure, une bonne inertie chimique ainsi qu'une bonne résistance aux attaques des métaux. Il peut également être coloré
- **La fibre de verre** : très utilisée dans l'industrie du composite pour son coût assez faible
- **La fibre d'aramide (ou KEVLAR)** : cette fibre est très résistante à la température et à certains composants chimiques (comme l'essence)
- ...

## 4. QUELQUES FABRICANTS DE CONSOMMABLES POUR L'IMPRESSION 3D

- ArianePlast ([www.arianeplast.com](http://www.arianeplast.com))
- Arcam EBM ([www.ge.com](http://www.ge.com))
- Hoganas ([www.hoganas.com](http://www.hoganas.com))
- BLT ([www.xa-blt.com](http://www.xa-blt.com))
- Francofil ([www.francofil.fr](http://www.francofil.fr))
- Addifrance ([www.addifrance.fr](http://www.addifrance.fr))
- Slovay ([www.solvay.com](http://www.solvay.com))
- Nanovia ([www.nanovia-technologies.com](http://www.nanovia-technologies.com))
- Actifil3D ([www.actifil-3d.com](http://www.actifil-3d.com))
- Capifil Extrusion plastique ([www.capifil-extrusion-plastique.fr](http://www.capifil-extrusion-plastique.fr))
- Stainless ([www.stainless.eu](http://www.stainless.eu))
- ...

## 5. QUELQUES DISTRIBUTEURS DE CONSOMMABLES POUR L'IMPRESSION 3D

- Project 3D ([www.3d-project.fr](http://www.3d-project.fr))
- Grossiste 3D ([www.grossiste3d.com](http://www.grossiste3d.com))
- Filimprimante 3D ([www.filimprimante3d.fr](http://www.filimprimante3d.fr))
- Inmac Wstore ([www.inmac-wstore.com](http://www.inmac-wstore.com))

- Usine Nouvelle ([www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com))
- Renishaw ([www.renishaw.fr](http://www.renishaw.fr))
- 5D impression ([www.5d-impression.com](http://www.5d-impression.com))
- A4 technologie ([www.a4.fr](http://www.a4.fr))
- Multistation ([www.multistation.com](http://www.multistation.com))
- ...

### III. LES TECHNIQUES DE POST-TRAITEMENT

#### 1. LES TECHNIQUES EXISTANTES

Le post-traitement est un terme qui désigne les différents procédés par lesquelles les pièces issues de la fabrication additive doivent passer avant de pouvoir être utilisées par l'utilisateur final. Le but est d'éliminer les propriétés indésirables qui ont été intégrées au produit final au cours du processus de fabrication additive.

Les techniques de post-traitement résolvent les problèmes de finition de surface, de porosité, de densité, de stress résiduel, de fissures, de gauchissement....

##### a. *Le traitement thermique*

Utilisée pour la consolidation et la densification des pièces métalliques, céramique ou encore plastiques, ce processus permet d'éviter toutes déformations importantes. Les pièces imprimées en 3D seront soumises à une relaxation des contraintes ainsi qu'à un traitement thermique après avoir été coupées de la plateforme de construction.

Avantages : technique capable de réduire la contamination de surface, maximise les propriétés mécaniques

##### b. *Séchage UV*

Ce processus de post-traitement est le plus souvent compatible avec des impressions 3D qui ont été produites à l'aide de procédés de photopolymérisation.

Les composants sont exposés à la lumière UV pour durcir complètement.

Avantage : améliore la qualité physique de la pièce, renforce les caractéristiques esthétiques.

##### c. *L'enlèvement de support*

Il existe deux types de supports :

- Insoluble : les matériaux insolubles sont les matériaux génériques (PLA, ABS, PVA...). Ils sont enlevés à la main ou à l'aide de spatule.
- Soluble : les matériaux solubles (HIPS, PVA...) sont beaucoup plus faciles à utiliser car ils se dissolvent à l'aide d'un produit chimique appelé Limonène.

Cette technique est généralement utilisée pour des pièces produites avec la technologie d'impression 3D résine ou la technologie FDM.

#### *d. L'usinage*

Cette technique est nécessaire pour les procédés métalliques qui ne permettent pas d'obtenir des géométries proches du contour final.

#### *e. Le revêtement ou infiltration*

Le revêtement permet d'infiltrer des composants microporeux avec des polymères afin d'obtenir une surface de meilleure qualité.

Avantage : produire des composants étanches aux gaz ou aux liquides.

#### *f. La teinture*

Très souvent utilisée à la suite d'une technologie Multi-Jet Fusion de HP, elle permet d'améliorer l'aspect visuel des pièces en polymère.

La teinture peut être faite soit manuellement soit à l'aide d'une machine automatisée.

#### *g. Dépoudrage*

L'enlèvement des poudres permet d'enlever les résidus de poudres qui restent dans les pièces à l'issue de la FA. Mais, selon les pièces, il peut être difficile d'enlever toutes les particules, et, dans certaines situations, cela peut devenir très dangereux (secteur médical : reste de poudre libérée dans le corps).

Pour réaliser cette étape, on utilise le plus souvent une brosse et un aspirateur. Selon la pièce, d'autres étapes de post-traitement peuvent s'ajouter à celle-ci.

## 2. LES TECHNIQUES DE POLISSAGE ACTUELLES

#### *h. Sablage*

Cette technique de nettoyage utilise des abrasifs qui vont être projeté avec une grande vitesse sur la pièce. Le sablage permet d'éliminer les impuretés, comme le la rouille ou l'oxyde.

Avantage : crée une rugosité qui facilite l'adhérence, décape et nettoie

Inconvénients : technique agressive, possible déformation, contient de la silice qui peut provoquer une maladie pulmonaire.

#### *i. Le ponçage*

C'est l'une des techniques les plus simples de post-traitement. Le ponçage doit être effectuer progressivement, en partant d'un papier de verre à faible grain en allant vers des papiers de verre à grain plus élevé.

Inconvénient : cette technique demande beaucoup d'effort et de temps.

#### *j. Polissage traditionnel*

L'étape du polissage est souvent réalisée après le ponçage. Celui-ci peut être manuel ou robotisé.

Inconvénient : reproductibilité souvent insuffisante, action parfois longue et coûteuse, nouvelles contraintes liées à la réglementation des conditions de travail (troubles musculo-squelettiques)

### k. Analyse comparative des différentes technologies existantes

Ce tableau récapitule les différentes technologies industrielles et automatisés ; elle ne reprend pas les procédés manuels qui ne sont pas en mesure d'offrir une reproductibilité suffisante.

	Tribofinition	Polissage laser	Polissage chimique	Polissage électrolytique « à sec »	Sablage	Polissage plasma
Puissance de traitement	1-8	6	2-9	2-9	3-6	2-9
Temps de cycle	2-5	8	2-6	3-9	2-8	1-7
Ergonomie	1-4	5-8	6-10	4-8	1-5	5-9
Simplicité	1-3	5-8	6-9	4-8	1-5	6-10
Investissement	1-3	4-8	5-9	4-9	1-5	6-10
Coût d'exploitation	1-3	4-6	4-7	6-10	1-5	6-9
Coût de maintenance	1-3	3-6	5-8	6-9	3-5	5-9
Homogénéité	2-9	7-8	2-7	5-7	5-8	2-4

Échelle de 1 à 10 : de très bon à mauvais

### l. La tribofinition classique

La tribofinition s'inspire de phénomènes naturels d'écoulement de l'eau, et permet plusieurs familles de traitements : le polissage, l'ébavurage, le brillantage, le rayonnage, la désoxydation pour les métaux, le sablage, le lissage...

Plusieurs techniques permettent de modifier l'état de surface de la pièce :

- Tonnelage
- Vibration
- Centrifugation à fond tournant
- Centrifugation satellitaire
- Centrifugation magnétique
- Smuritropie

Ces procédés utilisent des médias abrasifs, des additifs (liquide, poudre...) et la plupart du temps de l'eau.

Chaque solution technique présente des avantages et inconvénients.

Cependant, les pièces issues de FA présentent en général des états de surfaces de qualité très dégradée et nécessitent des solutions techniques plus puissantes.

La plupart des solutions techniques présentent l'inconvénient de générer une faible puissance et par conséquent des temps de cycle très longs.

En parallèle, les technologies les plus puissantes présentent un inconvénient lié à l'hétérogénéité du polissage. En effet, les zones les plus exposées et accessibles sont polies beaucoup plus rapidement que les zones difficiles d'accès ce qui entraîne un enlèvement de matière non homogène.

Ainsi les pièces présentant des surfaces intérieures (canaux par exemple) seront la plupart du temps très mal polies par les techniques classiques.  
C'est la raison pour laquelle une nouvelle famille de technologies (Tribo+) a été développée.

### m. Comparatifs des différentes technologies en tribofinition

	Tonneaux totalif	Vibrateur	Centrifugeuse satellitaire	Centrifugeuse fond tournant	Centrifugeuse magnétique	Smuritropie	Centrifugeuse à flux	Tribo+
Puissance de traitement	10	7	1	7	5	2	2	2
Temps de cycle	10	7	1	7	5	2	2	2
Ergonomie	8	1	7-8	4	3	8	8	8
Simplicité	2	2	7-8	9	4	10	9	9
Investissement	7-8	3	7	8	3	10	10	7-8
Coût d'exploitation	2	3	6	9	3	10	9	6
Coût de maintenance	2	3	5	10	3	10	10	7
Homogénéité	3	1	8	8	2	9	8-9	1

Échelle de 1 à 10 : de très bon à mauvais

### 3. LES NOUVELLES TECHNIQUES DE POLISSAGE

Le polissage des pièces issues de FA comporte deux challenges simultanés :

- Des états de surface souvent de mauvaise qualité (Ra entre 15 et 50 microns)
- Des formes particulièrement complexes générant des difficultés en terme d'accessibilité

L'ensemble des technologies classiques évoquées précédemment présentent systématiquement des points faibles, que ce soit des temps de cycles très longs ou une hétérogénéité du polissage.

Les nouvelles technologies (famille Tribo+) permettent de répondre à ces deux inconvénients :

- des temps de cycles très réduits (divisés par 5 à 50),
- une homogénéité très sensiblement améliorée

Cette famille de procédés permet ainsi d'améliorer sensiblement la rugosité dans des délais beaucoup plus brefs.

Ils permettent également de polir les surfaces intérieures de manière beaucoup plus efficace.

## IV. LEXIQUE

**DLP** : Digital Light Processing (en français : traitement numérique de la lumière)

**DMLS** : Direct Metal Laser Sintering (en français : frittage de laser métal)

**Extrudeur** : Il s'agit de la tête d'impression par laquelle sort le plastique fondu

**FDM** : Fused Deposition Modeling (en français : dépôt de matière fondue)

**FFF** : Fused Filament Fabrication (en français : fabrication de filaments fondus)

**Filament 3D** : il s'agit d'une bobine de filament de matériau qui est progressivement fondu à travers l'extrudeur afin de modéliser couche par couche l'objet désiré.

**Frittage** : vitrification préparatoire de certains matériaux

**Gauchissement** : défaut de distorsion dimensionnelle qui apparaît à la fin du processus d'impression 3D

**SLA** : abréviation de « stéréolithographie »

**SLM** : Selective Laser Melting (en français : fusion sélective par laser)

**SLS** : Selective Laser Sintering (en français : frittage sélective par laser)

**Stéréolithographie** : technique d'impression 3D ; solidification d'une matière liquide grâce à un rayonnement UV

## V. QUELQUES SOURCES WEB

Les différentes techniques d'impressions 3D

<https://www.3dnatives.com/impression-3d-metal/#>

<https://www.aniwaa.fr/guide/imprimantes-3d/categories-imprimantes-3d/>

<https://www.kreos.fr/fabrication-additive/les-technologies-de-fabrication-additive-metal/>

<https://fr.3dsystems.com/how-does-metal-3d-printing-work>

<https://www.sculpteo.com/fr/centre-apprentissage/impression-3d-entreprises/comment-implementer-impression-3d-metal-dans-votre-entreprise/>

<https://www.3dnatives.com/impression-3d-ceramique-17042019/>

Les différentes techniques de polissage par tribofinition

<https://abcswisstech.com/fr/polissage-pieces-complexes/>

Les principales matières utilisées

[http://www.polymere.wikibis.com/liste\\_des\\_codes\\_des\\_polymeres.php](http://www.polymere.wikibis.com/liste_des_codes_des_polymeres.php)

<http://www.primante3d.com/materiaux/>

<https://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d/quels-sont-materiaux-utilises-en-impression-3d-a1884.html>

<https://www.kreos.fr/fabrication-additive/quels-sont-les-materiaux-utilises-dans-l-impression-3d/>

Les imprimantes

<https://www.futura-sciences.com/tech/comparatifs/meilleure-imprimante-3d-comparatif/>

Les acteurs du domaine

<http://www.primante3d.com/rapport-materiau-16082016/>

<https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/poudre-imprimante-3d-226403.html>