



**HAL**  
open science

## La fabrication additive de pièces comestibles fonctionnelles.

Laurent Chaunier, Stéphane Portanguen

► **To cite this version:**

Laurent Chaunier, Stéphane Portanguen. La fabrication additive de pièces comestibles fonctionnelles.. 2020. hal-02960014

**HAL Id: hal-02960014**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02960014>**

Submitted on 7 Oct 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# A3DM

## ADDITIVE MANUFACTURING

IMPRIMEZ  
VOTRE FUTUR  
EN GRAND EST

P. 52

IMPRESSION  
DE PIÈCES  
COMESTIBLES  
FONCTIONNELLES

P. 42

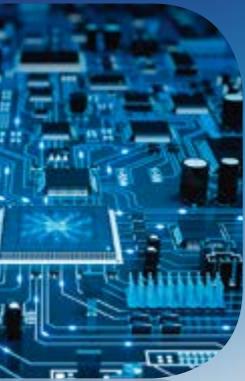
R&I  
AU DÉBAT  
EUROPÉEN

P. 36

LA FABRICATION  
ADDITIVE  
POLYMÈRE

N°27 - 2020 - 10 €





**13<sup>ÈME</sup>**  
ÉDITION

**1,500**  
sociétés

**3,000**  
participants

**16,000**  
rendez-vous d'affaires

**45**  
pays

# **AEROMART** **TOULOUSE 2020**

CONVENTION D'AFFAIRES INTERNATIONALE  
DES INDUSTRIES AÉRONAUTIQUE ET SPATIALE

**1-3 DÉCEMBRE 2020**

**NOUVEAU !**  
**AEROMART TOULOUSE**  
**VOUS DONNE**  
**RENDEZ-VOUS AU MEETT !**

Un événement organisé et financé par



Organisation générale

En partenariat avec



**Contact :**  
aeromart@advbe.com  
ou +33 1 41 86 41 60  
www.aeromart-toulouse.com

  #AeromartTLS

FABRICATION ADDITIVE / IMPRESSION 3D  
PROTOTYPAGE RAPIDE / DÉVELOPPEMENT PRODUIT

#### Édité par :

**G+G MEDIA GROUPE SAS**

SAS au capital de 14 000 €

SIRET : 815 083 506 00015

10, rue de Penthièvre • 75008 Paris

Tél. : 01 60 11 57 46

ISSN 2496-6835

#### Directeur de la publication – directeur de la publicité

**Guillaume Mouhat** • guillaume@a3dm-magazine.com

Tél. : 01 60 11 57 46

Tél. : 06 63 33 39 14

#### Rédacteur en chef

**Gaëtan Lefèvre** • gaetan@a3dm-magazine.com

Tél. : 06 67 09 01 76

#### Comité technique

**Philippe Bauer** • philippe.bauer@thalesgroup.com

**Alain Bernard** • alain.bernard@ec-nantes.fr

**Giorgio Magistrelli** • gmagistrelli@hotmail.com

#### Rédaction

**Éric Baustert, Laurent Chaunier, Kevin Crespin, Christophe Eschenbrenner, Christophe Grosjean, Gaëtan Lefèvre, Giorgio Magistrelli, Stéphane Portanguen**

#### Correctrice

**Françoise Le Maguet** • francoise.lemaguet@wanaddo.fr

Tél. : 06 63 95 00 40

#### Direction artistique

**Melissa Chalot** • m\_chalot@hotmail.fr

Tél. : 06 78 20 89 38

#### Conception web

**Graciet & Co** • **Stéphane Graciet** • stephane@graciet.info

Tél. : 09 72 66 57 94

#### Fabrication

**Caractere & Sira imprimeurs** • ZI Delta Industries -

57, montée de St Menet • 13011 Marseille •

Tél. : 04 91 87 80 80 • Dépôt légal à parution



#### Abonnement

**France & Europe** • voir le bon abonnement en page 4

**Reste du monde** • voir le bon abonnement en page 4

#### Crédits photo

Couv. : R\_Boe/shutterstock • 5 : 3D System, F.Hrehorowski Open Edge • 18 : R\_Boe/shutterstock • 24 : MarinaGrigorivna/shutterstock • 25 : Stratasy • 29 : R\_Boe/shutterstock • 32-35 : Chabloz Orthopédie/HP • 36 : Per Bengtsson/shutterstock • 38 : Giorgio Magistrelli/A3DM • 40 : NicoElNino/shutterstock • 42-49 : INRAE • 50-51 : CETIM/VOLUM-e • 52 : Irepa Laser • 53-54 : Cirtes • 55 : Irepa Laser • 56 : Cirtes • 58 : Irepa Laser • 59 : Cirtes • 60 : FabrikaSimf/shutterstock • 64-66 : Mesago/Mathias Kutt

Toute reproduction, même partielle, des articles et iconographies publiés dans A3DM sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite, conformément à la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique. Tous droits réservés France et étranger.

La rédaction n'est pas responsable de la perte ou de la détérioration des textes ou des photographies non demandés qui nous sont adressés.



www.a3dm-magazine.fr

Rejoignez la communauté

A3DM



Articulation de l'essieu en poudre  
EOS Aluminium AISi10Mg : réduction du  
poids de 660gr, rigidité augmentée  
(Source : EOS/ Rennteam Uni Stuttgart)

## Systèmes et Equipement pour Production en Métal

Pour chaque solution,  
notre ligne directrice est  
l'innovation de qualité :  
EOS offre des systèmes de  
frittage direct laser  
(DMLS) pour la production  
économique de prototypes  
de haute qualité, de  
produits finis aussi bien  
que de produits de série.

Think the impossible.  
You can get it.

www.eos.info



# ABONNEZ-VOUS

AU MAGAZINE RÉFÉRENT  
DE LA FABRICATION ADDITIVE  
ET DE L'IMPRESSIION 3D

# A3DM

ADDITIVE  
MANUFACTURING

L'UNIQUE  
MAGAZINE  
DÉDIÉ À LA  
FABRICATION  
ADDITIVE

TOUS  
LES DEUX MOIS  
SUR VOTRE  
BUREAU

NOUVELLE  
FORMULE



" A3DM nous sert  
de **support de connaissance**  
pour la fabrication additive. "

Jean-Pierre A. Dassault Aviation

# A3DM

ADDITIVE  
MANUFACTURING

## JE SOUHAITE M'ABONNER À A3DM MAGAZINE

- ABONNEMENT COMPLET A3DM Magazine : 90 €  
(6 numéros papier + les 6 éditions numériques)
- ABONNEMENT PAPIER A3DM Magazine : 60 €  
(6 numéros papier)
- ABONNEMENT NUMÉRIQUE A3DM Magazine : 50 €  
(6 éditions numériques)

TOTAL : \_\_\_\_\_ €

PRÉNOM: .....

E-MAIL\*: .....

NOM: .....

PROFESSION\*: .....

ADRESSE: .....

DATE ET SIGNATURE :

.....

CODE POSTAL: .....

VILLE: .....

RÈGLEMENT À ENVOYER À :

**G+G MEDIA  
GROUPE**

1, IMPASSE REILLE,  
75014 - PARIS - FRANCE

CHÈQUE À L'ORDRE DE  
**G+G MEDIA GROUPE**

## SERVICE ABONNEMENT

- abonnements@a3dm-magazine.com
- +33 (0)1 84 79 80 57

Pour un abonnement à l'étranger  
ou **tout autre moyen de paiement** :  
NOUS CONTACTER !

# La fabrication additive face à la crise sanitaire et écologique ?



La fabrication additive sort renforcée de la crise sanitaire du Covid-19. Elle s'est montrée sous son bon jour. Elle a su jouer de ses atouts – son agilité, sa flexibilité, sa capacité à produire localement, etc. – pour répondre au manque de dispositifs médicaux et d'autres pièces ayant subi les problèmes des chaînes d'approvisionnement. Cependant, les rapports financiers du premier trimestre 2020 montrent un ralentissement fort du secteur de la fabrication additive – baisse de 14,4 % pour Stratasys, de 11,4 % pour 3D Systems, de 11 % pour Prodways. Des sociétés du secteur sont et seront fortement impactées : faillite, perte d'autonomie ou autres récessions. Mais la technologie aura peut-être, un peu plus encore, influencé l'industrie du futur et les décisions politiques à venir.

La Commission européenne (CE) a été l'une des premières institutions à lancer un appel pour recenser les imprimeurs 3D en Europe ayant des capacités/possibilités pour la production de masques, de ventilateurs et d'autres dispositifs médicaux. Aujourd'hui, les investissements pour le projet « Horizon Europe » (suite d'« Horizon 2020 ») et les budgets de 2021-2027 y sont discutés et votés. La crise sanitaire a rebattu les cartes et altéré les discussions et les budgets. Les investissements en R&D sont au cœur du débat européen, comme vous pourrez le découvrir dans l'article, en page 36. Les plans de relance pour l'innovation ont déjà commencé et devraient être importants. Certains projets de fabrication additive ont ainsi reçu un financement du Conseil européen de l'innovation (*European Innovation Council - EIC*), comme le projet « Repair3D » sur le recyclage des matériaux polymères.

Cet investissement n'est pas anodin car il existe un autre enjeu majeur, une autre bataille à mener en même temps que celle de la relance économique : l'écologie et le développement durable. La pollution due aux objets en plastique est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus importants. La Commission européenne a placé le concept d'« économie circulaire » en tête de son agenda. La fabrication additive polymère pourrait, ici aussi, avoir son mot à dire pour un nouveau monde. Des solutions à découvrir dans le dossier de ce numéro 27 d'*A3DM Magazine*. Bonne lecture.

Additivement...

Par **Gaëtan Lefèvre**, rédacteur en chef.



# A3DM

ADDITIVE  
MANUFACTURING

**L'ACTUALITÉ DE LA FABRICATION ADDITIVE**  
**DES DOSSIERS INDUSTRIELS**  
**Des analyses techniques**  
**DES FICHES PRATIQUES**  
**Des cas d'applications**  
**DES IMMERSIONS INDUSTRIELS**  
**LA DÉCOUVERTE DE PROJETS R&D**  
**LES APPELS EUROPÉENS & SUBVENTIONS**  
**L'APPRENTISSAGE DE L'ANGLAIS POUR L'INGÉNIEUR**  
**L'AGENDA DE LA FABRICATION ADDITIVE**



**JE SOUHAITE M'ABONNER À A3DM MAGAZINE**

- ABONNEMENT COMPLET *A3DM Magazine* : 90 €  
(6 numéros papier + les 6 éditions numériques)
- ABONNEMENT PAPIER *A3DM Magazine* : 60 €  
(6 numéros papier)
- ABONNEMENT NUMÉRIQUE *A3DM Magazine* : 50 €  
(6 éditions numériques)

**TOTAL : \_\_\_\_\_ €**

PRÉNOM: .....

E-MAIL\*: .....

NOM: .....

PROFESSION\*: .....

ADRESSE: .....

DATE ET SIGNATURE :

.....

CODE POSTAL: .....

VILLE: .....

RÈGLEMENT À ENVOYER À :

**G+G MEDIA  
GROUPE**

1, IMPASSE REILLE,  
75014 - PARIS - FRANCE

**CHÈQUE À L'ORDRE DE  
G+G MEDIA GROUPE**

**SERVICE ABONNEMENT**

- abonnements@a3dm-magazine.com
- +33 (0)1 84 79 80 57

Pour un abonnement à l'étranger  
ou [tout autre moyen de paiement](#) :  
NOUS CONTACTER !



## A3DM Magazine évolue et change de formule



Chère Lectrice, Cher Lecteur,

Au nom de l'équipe d'*A3DM Magazine*, je tiens tout d'abord à vous remercier, vous qui êtes toujours plus nombreux, de votre fidélité, de votre attention et de votre reconnaissance. L'intérêt que vous portez à *A3DM Magazine* ainsi que vos retours sur nos contenus, uniques en France, ne peuvent que nous conforter dans nos choix et nous motiver à continuer dans cette voie. Toujours avec l'objectif de vous accompagner dans ce secteur en plein développement.

En pleine crise du Covid-19, l'engagement du secteur de la fabrication additive et de l'impression 3D, notre communauté, a été plus qu'essentiel. Nous avons tous bon espoir, j'en suis sûr, que ce coup de projecteur amènera l'ensemble des acteurs, privés et publics, à appréhender les technologies de fabrication additive non plus comme des outils de prototypage uniquement, mais bien comme des outils de production à part entière, pouvant s'intégrer avec agilité dans la chaîne de valeur industrielle française (potentiel que nous avons continuellement traité au sein de notre initiative « Relocaliser par l'impression 3D ».)

En ce sens, les acteurs de l'information et des médias jouent et continueront à jouer un rôle clé dans l'évangélisation technologique de la fabrication additive. La crise sanitaire actuelle affaiblit cependant de nombreuses rédactions. En effet, la chute des investissements publicitaires, la mise à l'arrêt du secteur événementiel, l'augmentation des coûts du papier et du transport, entre autres, placent les éditeurs dans une situation sensible, et ce, malgré une hausse nette de la consommation des médias et de la reconnaissance du travail des journalistes.

Pour toutes ces raisons et afin de continuer à vous informer et garder sa liberté de ton ainsi que son exigence déontologique, *A3DM Magazine* doit adapter son modèle économique en se tournant vers vous, ses lecteurs. Après quatre années de gratuité, *A3DM Magazine* devient un titre payant à partir de son numéro 28, daté d'août-septembre.

Seuls juges de notre qualité, nous nous en remettons donc à vous pour assurer la continuité de votre publication, unique en France par son format et ses contenus.

Cette transition est accompagnée d'une nouvelle formule : plus de pages, de nouvelles rubriques, des contenus exclusifs qui sauront vous garantir l'information la plus complète et la plus indépendante.

Nous sollicitons votre bienveillance et espérons avoir la chance de vous compter parmi nos soutiens.

Toute l'équipe d'*A3DM Magazine* se joint à moi pour vous souhaiter le meilleur malgré ces temps difficiles et espère vous retrouver au plus vite lors des différents événements qui lient notre communauté.

Additivement,

**Guillaume Mouhat**, président de G+G Media Groupe





# SEPEM INDUSTRIES

SALON DES SERVICES, ÉQUIPEMENTS, PROCESS ET MAINTENANCE

**LA RÉPONSE À TOUTES VOS PROBLÉMATIQUES :**  
 PRODUCTION, MAINTENANCE,  
 SÉCURITÉ, ENVIRONNEMENT...

## 7 SALONS NATIONAUX EN RÉGIONS

**ANGERS**  
 12>14 OCTOBRE 2021  
 Pôle Sous-traitance  
 + Forum de l'électronique

**ROUEN**  
 25>27 JANVIER 2022  
 Pôle Sous-traitance

**NOUVELLE DATE**  
**AVIGNON**  
 29 SEPT. > 01 OCT. 2020  
 Pôle Sous-traitance  
 + Forum de l'électronique

**NOUVELLE DATE**  
**COLMAR**  
 17>19 NOVEMBRE 2020  
 Pôle Sous-traitance

**NOUVELLE DATE**  
**DOUAI**  
 26>28 JANVIER 2021  
 Pôle Sous-traitance &  
 Pôle Machine-outil & robotique

**TOULOUSE**  
 01>03 JUIN 2021  
 Pôle Sous-traitance  
 + Forum de l'électronique

**GRENOBLE**  
 08>10 FÉVRIER 2022  
 Pôle Sous-traitance  
 + Forum de l'électronique

**ITALIE**  
 17>19 NOVEMBRE  
 2020 - TURIN

**SEPEM INDUSTRIES**  
 SALON PERMANENT

DES MILLIERS D'ÉQUIPEMENTS  
 ET DE SERVICES  
 24H/7J  
 WWW.SEPEM-PERMANENT.COM

**SEPEM INDUSTRIES**  
 DATA

LOCATION DE FICHIERS  
 INDUSTRIELS MULTI-REQUÊTES  
 63 350 sites de production / 276 800 mails directs  
 WWW.SEPEM-DATA.COM

### Forum de l'électronique

Le salon de l'innovation et des solutions électroniques

MÊMES LIEUX / MÊMES DATES

- SEPEM Avignon 2020
- SEPEM Toulouse 2021
- SEPEM Angers 2021
- SEPEM Grenoble 2022

En partenariat avec

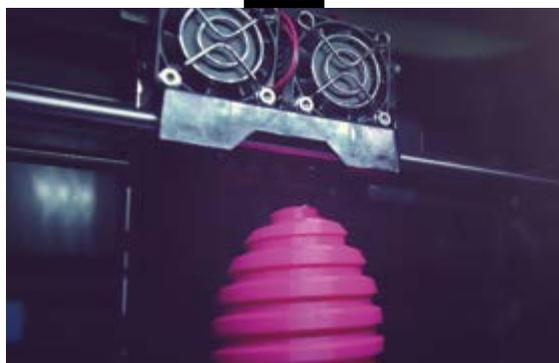


CREDIT PHOTO : ISTOCK / RÉALISATION PUBLIFORM

## NEWS

- 10** Retrouvez les dernières actualités du secteur de la fabrication additive

## DOSSIER



- 18** Les polymères continuent de dominer le marché

Les polymères présentent des caractéristiques différentes en termes de propriétés physiques, de couleurs, de biocompatibilité, de résistance, de dureté, d'élasticité, etc. L'une des richesses de l'impression 3D.

## SPEAKING

- 28** Plastic 3D printing

« Speaking » est une nouvelle rubrique d'*A3DM Magazine*, dédiée à l'apprentissage de l'anglais dans les secteurs de la fabrication additive, de l'impression 3D, du prototypage rapide, mais aussi de l'ingénierie.

## INSIDE

- 32** L'impression 3D polymère transforme la chaîne de production de Chabloz Orthopédie

En 2017, Chabloz Orthopédie intègre la fabrication additive polymère à sa chaîne de production. Une révolution numérique entamée au début des années 2000. Aujourd'hui, l'impression 3D a transformé son métier d'orthoprothésiste. Explication.

## INNOVATION

- 36** Les investissements en R&I au centre du débat européen

En pleine crise sanitaire du Covid-19, le débat sur les investissements en R&I est au centre de la politique européenne. La Commission européenne doit, dans les prochaines semaines, définir sa stratégie 2021-2027.

## PROJET R&amp;D

- 42** Fabrication additive de pièces comestibles fonctionnelles

Des travaux de recherche ont été menés à l'INRAE sur la mise en œuvre de biopolymères à l'état fondu et leur dépôt sous forme de gels. Présentation !

## ÉTUDE

- 50** Un nouvel acier de mécanicien : la nuance 32CDV13

Le Cetim & VOLUM-e se sont associés pour étendre le champ applicatif de la fabrication additive en développant l'acier 32CDV13. Ce dernier est couramment utilisé pour produire des éléments mécaniques fortement sollicités.

## FOCUS RÉGIONAL

- 52** Imprimez votre futur en Grand Est

La France regroupe de nombreux acteurs de la fabrication additive sur l'ensemble du territoire – institutionnels, académiques et industriels – qui engagent de plus en plus d'initiatives pour développer la technologie... comme en Région Grand Est.

## LES ÉCHOS DE L'AFPR



- 60** Une filière française prête à contribuer à la relance économique

Aujourd'hui plus que jamais, l'industrie et l'économie française ont besoin d'un institut français de la fabrication additive tel que l'Association française du prototypage rapide et de la fabrication additive (AFPR).

## AGENDA

- 64** Les événements industriels en 2020

La crise du Covid-19 a bouleversé l'année 2020. Une grande partie des salons, mais aussi des petits événements *B to B* – conférences, conventions d'affaires, journées techniques, etc. – ont été annulés ou reportés. *A3DM Magazine* fait le point.

# & MACHINES ÉQUIPEMENTS

## DES CHIFFRES EN BAISSÉ POUR LE PREMIER TRIMESTRE

Si l'on ne cesse de dire que le secteur de la fabrication additive ressort renforcée de la crise sanitaire du Covid-19, qu'il a montré ses capacités d'agilité et d'autonomie, qu'il a gagné en notoriété, il a toutefois été affecté par le ralentissement de différentes activités telles que l'aéronautique, le spatial ou encore l'automobile – conséquence directe de la crise. Les rapports financiers du premier trimestre 2020 – baisse de 14,4 % pour Stratasys, de 11,4% pour 3D Systems, de 11 % pour Prodways – montrent un fort ralentissement du secteur de la fabrication additive. Même si d'autres sociétés comme SLM Solutions ou Protolabs ont annoncé des chiffres en croissance sur la même période, le premier trimestre 2020 est dur pour de nombreux acteurs du secteur. L'un des leaders mondiaux, la société Stratasys, a même annoncé sa décision de réduire de 10 % ses effectifs mondiaux. La fin de l'année ne sera pas un long fleuve tranquille.

## UN TRIO FRANÇAIS DÉVELOPPE UNE GAMME SILICONE

Un trio français composé de Lynxter, constructeur d'imprimantes 3D industrielles modulables, de Silinove, spécialiste des silicones – qui appartient au groupe Erpro, fabricants de prototypes, de pré-séries et de grandes séries – et de Gaches Chimie, spécialisée dans la distribution de produits chimiques, a développé une gamme de silicones exclusive à l'impression 3D. Celle-ci a été établie et paramétrée sur l'imprimante 3D S600D de Lynxter et ses outils liquides. Elle couvre les silicones techniques industriels mono et bi-composants. Cette technologie s'adresse à différents secteurs tels que le luxe, la défense, l'aéronautique, le paramédical ou encore l'éducation.



## EOS ÉLARGIT SA GAMME DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

La société allemande EOS a annoncé la sortie d'un nouveau matériau premium nommé « EOS ToolSteel 1.2709 » et de sept nouvelles références core pour les imprimantes 3D EOS M 290, EOS M 300-4 et EOS M 400-4 : AlSi10Mg, Ti64 Grades 5 et 23, EOS NickelAlloy IN718, EOS MaragingSteel MS1, EOS Titanium Ti64 Grade 5 et EOS Titanium Ti64 Grade 23.

## UN NOUVEAU BÂTIMENT POUR INITIAL ET PRODWAYS GROUP

Lancé il y a deux ans, le projet de Prodways Group et de sa filiale Initial, consistant à regrouper toutes leurs équipes françaises, devrait arriver à son terme à l'automne 2020. Aujourd'hui réparties sur trois sites, celles-ci seront accueillies dans un bâtiment de plus de 4 500 m<sup>2</sup>, avec la possibilité d'envisager des extensions additionnelles. Cette structure hébergera le siège social d'Initial ainsi que de nombreuses technologies de fabrication : frittage de poudre plastique, stéréolithographie, fusion métal, mécanique, duplication sous vide, injection thermoplastique, etc.

Le 1<sup>er</sup> avril, Luc Eckenfelder, précédemment directeur en charge de la stratégie et du développement, avait pris officiellement la direction générale d'Initial.

## FORMLABS ÉLARGIT SA GAMME DE RÉSINES

La société Formlabs a annoncé la sortie de nouvelles résines pour ses imprimantes 3D Form 3, Form 3B et Form 2 : la résine 80A Resin avec un short de 80A, la flexible Elastic 50A Resin, les biocompatibles BioMed Clear Resin et BioMed Amber Resin, ainsi que les dentaires Dental LT Clear Resin V2, Custom Tray Resin et Temporary CB Resin.

## UN NOUVEAU POLYPROPYLÈNE (PP) CHEZ HP

Le polypropylène est un matériau polyvalent, idéal pour un grand nombre d'applications grâce à son excellente résistance aux produits chimiques, à sa faible absorption d'humidité et à sa haute durabilité. Il convient par exemple aux canalisations, aux systèmes hydrauliques et aux conteneurs. Développé en partenariat avec BASF pour la gamme d'imprimantes 3D HP Jet Fusion 5200, le nouveau PP à haute réutilisabilité contribue à réduire les déchets et les coûts en assurant une réutilisabilité du surplus de poudre pour le prochain job d'impression.



## 3D SYSTEMS ÉLARGIT SA GAMME DE MATÉRIAUX PLASTIQUES

3D Systems a lancé, au mois de juin, plusieurs matériaux conçus pour les technologies d'impression Figure 4 et de stéréolithographie (SLA) de l'entreprise : Figure 4 RUBBER-65A BLK, Accura FidelityTM, Accura Bond, Accura Patch et Figure 4 JEWEL MASTER GRY.



## UNE FERME MILITAIRE D'IMPRIMANTES 3D

Courant avril, en pleine crise sanitaire du Covid-19, l'armée de terre a créé sa propre ferme d'impression constituée de 50 imprimantes Ultimaker S5. Située à l'école militaire du matériel et de la logistique, à Bourges, celle-ci permet à l'armée de terre de produire « rapidement et en masse de petites pièces nécessaires à la maintenance des véhicules, confrontée au fait que certaines entreprises qui approvisionnent l'armée de terre étaient fermées ou avaient un fonctionnement diminué du fait de la crise », a expliqué le général Philippe Baldi à France 3. Elle a ainsi permis d'imprimer plus de 60 000 pièces en quelques semaines, dont les dispositifs utilisés contre la propagation du Covid-19, tels que des poignées de portes mains libres ou encore des visières.

Le parc d'imprimantes 3D de Bourges permet également à l'armée de terre de former ses opérateurs matériels qui pourront être opérationnels sur les terrains d'intervention. Par exemple, l'armée de terre imprime des pièces de rechange et de maintenance comme des commutateurs de véhicule, mais aussi des petits équipements améliorés comme des pieds de support de caméra thermique ou encore des protections pour éviter que les bouteilles médicales ne se brisent lors des opérations. De manière générale, cette ferme "éphémère" a pour vocation de renforcer l'autonomie de production, de maintenance et même d'innovation de l'armée de terre.

## ALLOYED REMPORTE LE PRESTIGIEUX PRIX DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE IOP

La société Alloyed, née en 2019 de la fusion d'OxMet Technologies et de Betatype, a remporté le prestigieux prix Business Award 2020, catégorie « Création d'entreprise », de l'Institut de physique IOP pour sa marque Alloys By Design (ABD).

Alloys By Design établit de nouvelles normes en développement de matériaux métalliques pour des applications de fabrication avancée dans un large éventail de secteurs industriels. La commercialisation des alliages ABD-850AM et ABD-900AM, spécifiquement développés pour la fabrication additive, met en évidence le réel potentiel de la plateforme et souligne ses capacités à concevoir des matériaux personnalisés qui répondent aux exigences spécifiques de l'industrie.



## UNE NOUVELLE IMPRIMANTE 3D INTAMSYS

Le fournisseur chinois Intamsys a dévoilé sa nouvelle imprimante 3D industrielle « Flex 510 ». Conçue pour l'impression de matériaux flexibles comme le TPU, celle-ci utilise le procédé de dépôt de matière. Elle est équipée de quatre extrudeurs qui lui permettent d'imprimer jusqu'à quatre matériaux différents et/ou quatre couleurs à la fois, ainsi que de la technologie AALTM (Active Automatic Leveling) afin d'ajuster automatiquement les réglages du plateau. Son volume d'impression est de 508 x 508 x 450 mm et sa vitesse atteint les 200 mm/s.

## FALCONTECH DÉVELOPPE SON PARC MACHINES

En Chine, la société Falcontech a annoncé l'augmentation de sa capacité de fabrication additive en s'équipant de systèmes de l'entreprise chinoise Farsoon Technologies. Vingt machines devraient être installées d'ici la fin de l'année, mais le fournisseur de services de fabrication dans les secteurs de l'aéronautique et du spatial ambitionne d'atteindre rapidement 50 machines.

## UN NOUVEAU LOGICIEL POUR RÉSOUDRE LES ERREURS D'IMPRESSION 3D

3DOptimizer est un logiciel permettant d'optimiser les paramètres d'impression 3D FFF / FDM qui prennent en charge le G-Code. Ainsi, il fonctionne avec la plupart des imprimantes 3D et guide l'utilisateur pour imprimer en fonction de sa configuration et des entrées tests précédentes.

## UN NOUVEAU BIOPOLYMÈRE ANTIBACTÉRIEN

BENVIC a développé un nouveau matériau pour soutenir les entreprises pendant la pandémie du Covid-19, issue de sa gamme de biopolymères Plantura. Sa technologie innovante permet aux composés polymères de bénéficier de propriétés bactériostatiques et d'empêcher la prolifération des bactéries.

## UNE IMPRIMANTE 3D SHOP SYSTEM AU CETIM

Le Cetim a annoncé récemment un partenariat visant à accélérer l'adoption de la fabrication additive métallique avec la société Desktop Metal. L'Institut technologique labellisé Carnot devient l'un des premiers utilisateurs de l'imprimante 3D Shop System de Desktop Metal.

## BMW OUVRE UN NOUVEAU CAMPUS DÉDIÉ À LA FABRICATION ADDITIVE

Le constructeur automobile allemand BMW vient d'ouvrir son nouveau campus dédié à la fabrication additive à Munich, en Allemagne. Annoncé en 2019, ce centre, nommé « Additive Manufacturing Campus », regroupe la production de prototypes et de pièces de série, la recherche sur les nouvelles technologies de fabrication additive et la formation associée. Le campus, au coût annoncé de 15 millions d'euros, exploite une cinquantaine d'imprimantes 3D industrielles. Avec 300 000 pièces produites l'année dernière, la société allemande ambitionne maintenant d'augmenter la production pour l'année à venir.



## UN ALLIAGE DE HAUTE PERFORMANCE

Poly-Shape a signé un contrat avec Constellium SE pour le développement et la production de composants innovants à partir des nouvelles poudres de Constellium. Aheadd est une nouvelle offre de poudres d'aluminium de haute température et de haute performance grâce à laquelle les experts de Poly-Shape ont récemment réussi à imprimer en 3D une plaque de blocs hydrauliques fonctionnels.

Plus  
d'informations sur  
[a3dm-magazine.fr](http://a3dm-magazine.fr)

Retrouvez des compléments d'informations à toutes ces actualités sur le site. Vous y trouverez également les différents articles parus dans les magazines, ainsi que de nombreux outils comme un annuaire des entreprises de la fabrication additive ou un catalogue des formations.



# 3D SOLUTIONS

Spécialiste de la chaîne numérique 3D

Découvrez notre nouvelle gamme  
d'imprimantes 3D SLS de bureau

# SINTERIT



*Lisa Pro*



*Lisa*

Imprimez des pièces fonctionnelles  
pour tout type d'application



☎ 01 30 60 03 33

✉ [devis@3dsolutions.fr](mailto:devis@3dsolutions.fr)

🌐 [3dsolutions.fr](http://3dsolutions.fr)

# & RECHERCHE INNOVATION

## FORTE HAUSSE DES DEMANDES DE BREVETS EN FA

À l'heure où nous bouclons ce magazine, l'Office européen des brevets (OEB) publie son rapport intitulé « Brevets et fabrication additive - Tendances en matière de technologies d'impression 3D », daté de juillet 2020. Ainsi, entre 2015 et 2018, la croissance annuelle moyenne des demandes de brevets pour la fabrication additive (FA) est de 36 %. C'est une forte hausse, dix fois supérieure à la croissance annuelle moyenne de l'ensemble des demandes de brevets, tous domaines confondus, qui ont été déposées auprès de l'Office pendant la même période (3,5 %). Voici les principaux chiffres :

- Entre 2010 et 2018, les entreprises et les inventeurs européens ont été à l'origine de près de la moitié des demandes de brevets en FA : 47 % (7 863 demandes de brevets).
- À l'échelle mondiale, les États-Unis sont le premier pays d'origine des demandes de brevets européens en matière de fabrication additive. Ils regroupent à eux seuls 35 % des demandes (5 747).
- L'Allemagne, leader européen, se place en deuxième position mondiale avec 19 % (3 155 demandes de brevets) des demandes mondiales de brevets en FA. Le Japon suit avec 9,2 %.
- La France ne compte que 4,8 % des demandes mondiales de brevets en FA : troisième pays européen et cinquième dans le monde. Elle possède un faible indice d'avantage technologique révélé (ATR), de 0,75, soit une faible spécialisation dans la technologie.
- Vingt-cinq entreprises, principalement américaines et allemandes (aucune française), représentent quelque 30 % de toutes les demandes de brevets liées à la FA qui ont été déposées auprès de l'OEB entre 2000 et 2018.
- Depuis 2010, le secteur de la santé a généré le plus grand nombre de demandes de brevets (4 018 demandes), suivi par l'énergie et les transports (respectivement 2 001 et 961 demandes).

## S'ENGAGER ENSEMBLE POUR UNE INDUSTRIE ÉCORESPONSABLE

« Ensemble, s'investir pour une industrie sobre et écologiquement respectueuse ; humaine ; efficiente et innovante ; collaborative et solidaire et, enfin, stratégique et souveraine. » C'est avec ces mots que se sont engagés, le 4 juin 2020, près de 35 dirigeants d'entreprises du Grand Ouest à travers un manifeste intitulé « Pour une industrie écoresponsable », et qui aujourd'hui rassemble plus de 50 signatures. C'est dans cette optique que le Pôle EMC2 s'est mobilisé pour lancer, au début du mois de juin, « MEET3D », sa plate-forme de mise en relation entre ressources et besoins en impression 3D.

Cette plate-forme Web de mise en relation constitue le premier jalon d'un programme ambitieux que souhaite porter le Pôle de compétitivité EMC2 afin d'accélérer le développement de la production distribuée pour relocaliser une partie des chaînes logistiques et soutenir l'économie, en lien avec l'ambition partagée de ses membres s'engageant vers une industrie écoresponsable. Ainsi, MEET3D s'attache à mettre en réseau un parc machines d'impression 3D disponibles et distribuées afin d'accélérer les cycles et permettre la production rapide, en circuits courts, d'éléments en impression 3D sur tout le territoire. Dès son lancement, ce sont près de 250 machines qui avaient déjà été recensées via l'application en ligne : [www.meet3d.fr](http://www.meet3d.fr)

## UN NOUVEAU POLYMÈRE CAPABLE DE CHANGER DE COULEUR

Des chercheurs de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, aux États-Unis, ont synthétisé un tout nouveau matériau capable de changer de couleur lors de l'impression 3D. Ce dernier est créé à partir de blocs de polymères nommés « rince-bouteilles » ; c'est un mélange de polymères, sous forme de poudre blanche et de solvant organique volatil. La couleur change en contrôlant la réflexion de la lumière, en modifiant notamment la température et la vitesse d'application de l'encre.

## UN PIED PROTHÉTIQUE AUX PIÈCES IMPRIMABLES

L'entreprise française Exoneo a développé une prothèse de pied nommée « Upya ». Upya est un pied prothétique conçu sur la base du biomimétisme, dans le but d'offrir un produit accessible et performant. Un « nouveau départ », comme son nom l'indique en Afrique de l'Est pour le patient.

La prothèse est conçue en kit avec des pièces en différents matériaux comme de l'aluminium, du polyéthylène, des fibres de verre ou du polyuréthane expansé. Si la société utilise l'impression 3D – des machines d'impression 3D Volumic Stream Pro et Stream 20 Pro – pour concevoir des prototypes et des moules, elle propose surtout d'utiliser la technologie afin de réparer certaines pièces qui seraient amenées à casser ou à être remplacées.

## UN MASTÈRE SPÉCIALISÉ « PROCÉDÉS DU FUTUR & ROBOTISATION »

L'École supérieure des technologies industrielles avancées (ESTIA) et l'école d'ingénieurs Sigma Clermont lancent conjointement, pour la rentrée de septembre 2020, un mastère spécialisé (MS) « Procédés du futur & robotisation ». Ce cursus, encore rare aujourd'hui, s'adresse aux étudiants déjà titulaires d'un master et aux professionnels en activité ou en reconversion. Dédié aux procédés de fabrication additive, ce cursus bac +6 propose deux spécialisations dans le champ des procédés de fabrication avancée.

Sigma Clermont et l'ESTIA lancent également une nouvelle chaire de recherche pour repenser les procédés de fabrication industriels. Nommée « DREAM », celle-ci a pour objectif d'accompagner la transition du secteur industriel vers les nouveaux procédés de fabrication. La mise en commun de leurs moyens de recherche est entièrement tournée vers la définition de méthodes permettant d'accroître leur performance et la création de nouveaux matériaux pour les procédés additifs destinés à l'industrie.

## DES MASQUES RÉUTILISABLES EN PA11

Pour en finir avec la pollution des masques à usage unique, l'industriel normand Dediene Multiplasturgy Group a conçu des masques réutilisables à l'infini. Baptisés « Protectiv », ceux-ci sont fabriqués à partir du bioplastique Rilsan polyamide 11 (PA11) élaboré par Arkema. Ce matériau est totalement recyclable et obtenu à partir d'huile de ricin. Il a cependant un prix : pour un masque, il faut compter une soixantaine d'euros.

Selon les modèles, les masques Protectiv sont fabriqués soit sur des imprimantes 3D grandes séries, soit sur des machines d'injection. Le groupe a la faculté d'adapter son outil de production en fonction de la demande pour pouvoir produire rapidement et en grande quantité, jusqu'à 10 000 masques par jour.



## DES SIMULATEURS DE TESTS RHINO-PHARYNGÉS IMPRIMÉS EN 3D

La société Bone 3D possède une expérience dans la conception de simulateurs de chirurgie imprimés en 3D. Grâce à la technologie PolyJet, elle a pu fabriquer en une seule fois un simulateur multi-matière avec différentes couleurs et textures, qui améliore le retour sensoriel des tests rhino-pharyngés. Celui-ci reproduit les composants suivants : les fosses nasales (y compris les cornets), le nasopharynx, le palais mou, la peau du visage, ainsi que les muqueuses.

## PROJET POLYLINE : UNE CHAÎNE DE PRODUCTION AUTOMATISÉE

En Allemagne, 15 partenaires industriels, scientifiques et acteurs académiques se sont associés pour développer une chaîne de production numérisée de nouvelle génération. Officiellement lancé le 4 mars, ce projet nommé « POLYLINE », mène des travaux de recherche et développement (R&D) sur la création d'un *process* de fabrication additive par frittage sélectif par laser (SLS) de pièces plastiques pour l'industrie automobile complètement automatisée. L'objectif est évidemment d'augmenter la productivité et de réduire le coût des pièces.

Présentation du projet  
POLYLINE sur le site  
[a3dm-magazine.com](http://a3dm-magazine.com)



## UNE CHAMBRE DE COMBUSTION IMPRIMÉE 3D

ArianeGroup est aujourd'hui une société experte dans l'application de la fabrication additive métal à des équipements et moteurs de haute performance. Les équipes « Propulsion liquide », en Allemagne, ont conçu et réalisé une chambre de combustion intégralement obtenue en impression 3D dans le cadre du programme FLPP (*Future Launchers Preparatory Programme*) de l'ESA, destiné aux moteurs d'étage supérieur des futurs lanceurs européens. Celle-ci a été testée à feu 14 fois avec succès entre le 26 mai et le 2 juin, sur le banc P8 du DLR à Lampoldshausen. Ce succès marque une nouvelle étape majeure vers des moteurs de fusée à propulsion liquide de haute performance.

Cette chambre de combustion comporte donc de nombreuses innovations, dont le circuit de refroidissement, qui est constitué d'un alliage de cuivre à bas coût et un habillage extérieur obtenu par projection type « gaz froid ». Le tout est complété par une tête d'injection monobloc, c'est-à-dire regroupant tous les injecteurs, réalisée en impression 3D par fusion laser. Ceci constitue une formule idéale pour réduire significativement les délais de réalisation et les coûts de production des futurs moteurs.



## LA FIA APPROUVE LE SCALMALLOY

La FIA (Fédération internationale de l'automobile) a officiellement approuvé l'utilisation de l'alliage d'aluminium Scalmalloy d'APWORKS et l'a ajouté à la liste des matériaux en fabrication additive autorisés pour la Formule 1. Spécifiquement développé pour la technologie additive, il présente de bonnes propriétés spécifiques : une résistance à la traction (UTS 520 MPa), une limite d'élasticité (480 MPa) élevée, une excellente ductilité (allongement 13 %) et une résistance naturelle à la corrosion tout en démontrant un haut degré de stabilité microstructurale par rapport au vieillissement thermique.



## UN STEAK VÉGÉTAL IMPRIMÉ EN 3D

Fondée en 2018, Redefine Meat a conçu une technologie – en attente de brevet – qui réplique la texture, la saveur et l'expérience de consommation d'une véritable pièce de bœuf et d'autres produits carnés haut de gamme en utilisant des ingrédients d'origine végétale. Pour ce faire, l'entreprise utilise des imprimantes 3D industrielles pour créer les produits Alt-Steak à partir de formulations qui reproduisent le muscle, le gras et le sang.

« Disposer d'une technologie d'impression 3D de précision est crucial pour parvenir à une alchimie parfaite entre texture, couleur et saveur. Grâce à cette spécificité, qui est unique à notre technologie 3D, nous assurons un contrôle sans précédent sur ce qu'il se passe à l'intérieur de la matrice du substitut de viande. Et la collaboration avec un leader de l'industrie comme Givaudan nous a permis d'élaborer un produit non seulement sain et durable, mais qui offre en outre les saveurs, les textures et les arômes d'une véritable viande », a expliqué Eshchar Ben-Shitrit, P.-D.G. et cofondateur de Redefine Meat. Après avoir pris en compte des retours d'expérience des chefs et des bouchers, la société passera à la phase de production de ses « imprimantes pour viande » 3D et de ses formulations alimentaires en vue d'une commercialisation en 2021.

Une autre société, SavorEat, développe un appareil pour imprimer en 3D et cuire simultanément des steaks végétaux. Elle espère rapidement boucler une levée de fonds pour industrialiser son appareil.

## L'EMBALLAGE SUR MESURE

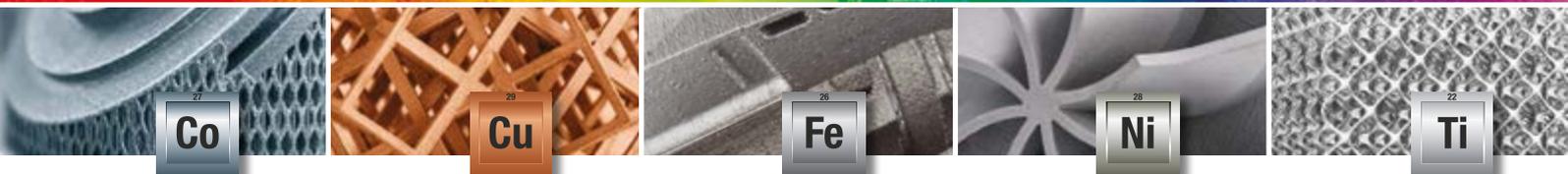
Marchesini Group S.p.A. est un fabricant italien de machines d'emballage dans les secteurs de la pharmacie, des cosmétiques et de l'agroalimentaire. Le groupe possède des locaux dédiés à l'impression 3D et équipés de dix imprimantes 3D FDM Stratasys : une Fortus 900mc de grandes dimensions, quatre Fortus 450mc et cinq systèmes F270, ainsi que deux imprimantes 3D multimatériaux PolyJet. La technologie est utilisée tout au long de la phase de conception, du développement et de la fabrication des encartonneuses, qui sont le produit phare de l'entreprise, parmi d'autres lignes d'emballage. Ces capacités ont permis d'améliorer – en plus de la maintenance et de la réparation des machines – la production « des pièces complexes et sur mesure avec les méthodes de fabrication traditionnelles, [qui] s'avérait extrêmement coûteuse et chronophage, un inconvénient aujourd'hui devenu incompatible avec les demandes croissantes du secteur actuel de l'emballage », a expliqué Mirko Fortunati, responsable de la coordination des ateliers mécaniques chez Marchesini Group.

### Plus d'informations sur a3dm-magazine.fr

Retrouvez des compléments d'informations à toutes ces actualités sur le site. Vous y trouverez également les différents articles parus dans les magazines, ainsi que de nombreux outils comme un annuaire des entreprises de la fabrication additive ou un catalogue des formations.



# Make the future with proven powders created by Praxair



**TruForm™** metal powders support every part you make with capacity, quality and experience.

- Used by leading OEMs across AM industry
- Custom alloys and particle sizing available
- Aerospace-grade

It's  
Tru:

Tru2Spec™ is the **leading custom alloy formulation process for OEMs** looking to go beyond conventional powders.

Learn more: [praxairsurfacetechologies.com/am](http://praxairsurfacetechologies.com/am)  
To order: Praxair Surface Technologies GmbH  
Am Mühlbach 13, 87487 Wiggensbach  
Germany  
Tel: +49 (0) 837 0 9207 0  
Fax: +49 (0) 837 0 9207 20  
Email: [AME\\_Europe@praxair.com](mailto:AME_Europe@praxair.com)

A Linde company

**PRAXAIR**  
SURFACE TECHNOLOGIES



Depuis l'origine de la technologie, les plastiques sont les matériaux les plus utilisés en fabrication additive. Ils présentent des caractéristiques très différentes en termes de propriétés physiques, de couleurs, de transparence, de biocompatibilité, de résistance, de rigidité, de dureté, d'élasticité, etc. Ils se présentent sous forme de poudre, de granulé ou de filament. Un vaste choix pour de nombreuses applications.

Par **Giorgio Magistrelli**, expert en fabrication additive, gestionnaire d'entreprises et de projets

# LES POLYMÈRES CONTINUENT DE DOMINER LE MARCHÉ

**A**près une période faste pour les technologies de fabrication additive, c'est au tour du marché des matériaux de connaître une croissance exponentielle. L'augmentation des consommables est constante en termes tant de gammes de matériaux que de fournisseurs. Le secteur a connu, en 2018, une croissance dont une grande partie est assurée par les métaux. Les revenus de ces derniers ont augmenté d'environ 41,9 %. Pourtant, ce sont bien les polymères qui continuent de domi-

ner le marché. Ils connaissent également une forte croissance, avec des ventes record pour les poudres plastiques. Diverses évaluations, de différents *think tanks*, positionnent la valeur du marché mondial des matériaux de fabrication additive, en 2019, entre 1,5 milliard de dollars pour Markets and Markets et 8,4 milliards de dollars pour Market Insight Reports. Les prévisions les plus optimistes estiment le marché à 36,61 milliards de dollars d'ici la fin de l'année 2025. De belles perspectives !



## Le marché de la fabrication additive polymère

Bien que la définition de la « fabrication additive » soit universellement acceptée et approuvée par les principaux organismes de normalisation dont l'ISO (Organisation internationale de normalisation) et l'ASTM (Organisation américaine de la normalisation), les frontières de la technologie sont plus floues. La fabrication additive couvre un ensemble de procédés et de technologies diversifiés. Ceux-ci sont généralement liés à l'utilisation d'un ou de plusieurs matériaux (figure 1).

### La fabrication additive plastique

Il existe de nombreux procédés de fabrication additive, dont sept ont été normalisés par l'ISO (Organisation internationale de normalisation), chacun regroupant plusieurs technologies. Différentes technologies permettent l'impression 3D plastique, chacune possédant ses caractéristiques propres.

- Inventée en 1986 par Charles Hull, fondateur de la société 3D Systems, la **stéréolithographie (SLA)** utilise le principe de photo-polymérisation, où une lumière UV solidifie une couche de résine photopolymère liquide. Le procédé d'impression 3D SLA possède de nombreux avantages, dont la qualité des détails et la finition des objets imprimés. Elle offre une bonne résistance inter-couche à la pièce grâce à la réaction de polymérisation qui se fait aussi avec les couches précédentes. Cependant, le prix des machines SLA peut s'avérer plus élevé que celui d'autres procédés technologiques d'impression 3D. La technologie nécessite une étape de post-traitement, principalement la solidification dans un four, pouvant déformer légèrement la pièce. Enfin, les pièces fabriquées peuvent également se modifier avec le temps et au contact de la lumière.
- Inventée par S. Scott Crump, fondateur de la société Stratasys, en 1988, le **dépôt de matière fondue (FDM ou Fused Deposition Modeling)** fonctionne par dépôts successifs de couches d'un filament chauffé et fondu par une tête d'impression guidée par un moteur. Les principaux avantages de la technologie résident dans sa simplicité d'utilisation, le faible prix de certaines imprimantes, ainsi que le faible coût de production par pièce. Mais, la précision de l'impression et le rendu final ne sont pas toujours convenables et appropriés.
- Le **frittage sélectif par laser (SLS - Selective Laser Sintering)**, inventé, dans les années 1980, par Carl R. Deckard, utilise un laser pour concevoir la pièce couche par couche, en frittant ou en fusionnant une poudre polymère. Ce procédé a fait ses preuves tant pour la qualité et la productivité du système de fabrication que pour la large gamme de matériaux qu'il offre. Cependant, l'impression SLS peut se révéler coûteuse en fonction du matériau, mais aussi parce que le laser est un produit cher. Enfin, l'utilisation de la poudre pose des problèmes d'hygiène, de sécurité et d'environnement. L'investissement pour sécuriser sa manipulation est un coût supplémentaire.
- Appartenant à la famille du procédé par jet de matériau (*Material Jetting*), l'**impression 3D PolyJet** a été inventée et brevetée par la société Objet Ltd. Elle consiste à déposer des couches de résine photopolymère goutte par goutte avant un traitement ultraviolet pour durcir le matériau. Elle permet la production de pièces rapidement, avec une bonne précision, une haute résolution, une finition optimale et de la couleur ou de la transparence.
- Le procédé d'**impression 3D par jet de liant** est un procédé utilisant un agent liant, déposé localement sur une fine couche de poudre, couche par couche, selon le modèle 3D. Cette technologie est rapide et économique. Ses capacités de fabrication sont excellentes pour la production de petites et de moyennes séries. Mais, la qualité d'impression est souvent moindre et les objets imprimés par jet de liant sont aussi moins résistants que d'autres techniques de fabrication additive.
- La technologie **Multi Jet Fusion (MJF)** a été inventée en 2016 par l'entreprise américaine HP. Elle est proche de la technique d'impression 3D par projection de liant ou *Binder Jetting*. Elle permet de fabriquer rapidement des pièces avec des formes complexes à faible coût, que ce soit pour de la petite série ou pour des prototypes afin de tester la forme, l'ajustement et la fonctionnalité. Elle offre des caractéristiques mécaniques comparables à celles des pièces moulées par injection.

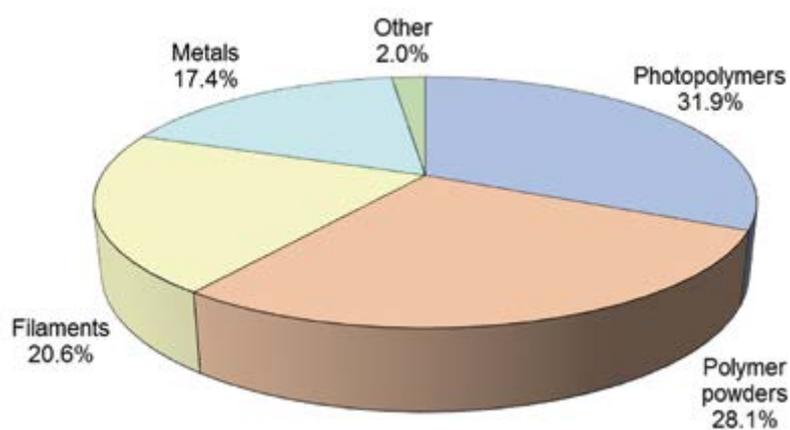
## 1 Procédés et matériaux en fabrication additive

Procédé	Technologies	Matériaux
Jet de liant	Lit de poudre et tête d'impression à jet d'encre	Poudres céramiques, métaux, polymères, mélanges de polymères, acryliques, sables
	Impression 3D plâtre	Plâtre et composite de plâtre
Dépôt d'énergie dirigée	Dépôt métallique par laser	Métaux et alliages métalliques, métaux hybrides
Extrusion de matière	Dépôt de matière fondue	Thermoplastiques, polymères, mélanges de polymères
Jet de matériaux	Modélisation à jet multiple	Photopolymères, cires, composites
Fusion sur lit de poudre	Fusion par faisceaux d'électrons	Titane, cobalt-chrome
	Frittage thermique sélectif	Thermoplastiques
	Frittage sélectif par laser	Plastiques, métaux, papiers, verres, céramiques, composites
	Frittage laser direct de métal	Acier inoxydable, cobalt-chrome, alliage de nickel
Laminage de feuilles	Fabrication d'objets laminés	Plastiques, métaux, papiers, céramiques, composites
	Consolidation par ultrasons	Métaux et alliages métalliques
Polymérisation en cuve	Stéréolithographie	Liquides photopolymères et composites
	Traitement numérique de la lumière	Liquides photopolymères

### Marché et perspectives

Parmi l'ensemble des procédés et matériaux qui ne cessent de se multiplier, ce sont les photopolymères et les polymères en poudre et en filament qui trident le marché. Selon le dernier rapport Wohlers, ils représentent 80,6 % du marché. Les photopolymères accaparent ainsi 31,9 %, soit presque un tiers du marché global. Ils sont suivis par les poudres polymères avec 28,1 %, puis par les filaments avec 20,6 %. Le métal, avec 17,4 %, se trouve au pied du podium. Le reste des matériaux (céramiques, cires, feuilles...) représentent uniquement 2 % des ventes (figure 2). Au sein des polymères, le marché est réparti de la manière suivante : 56,6 % pour le polyamide, 22,9 % pour les photopolymères, 7,2 % pour l'ABS, 3,6 % pour le PLA, 3,6 % pour l'ULTEM et 6 % pour les autres.

### 2 Division du marché des matériaux



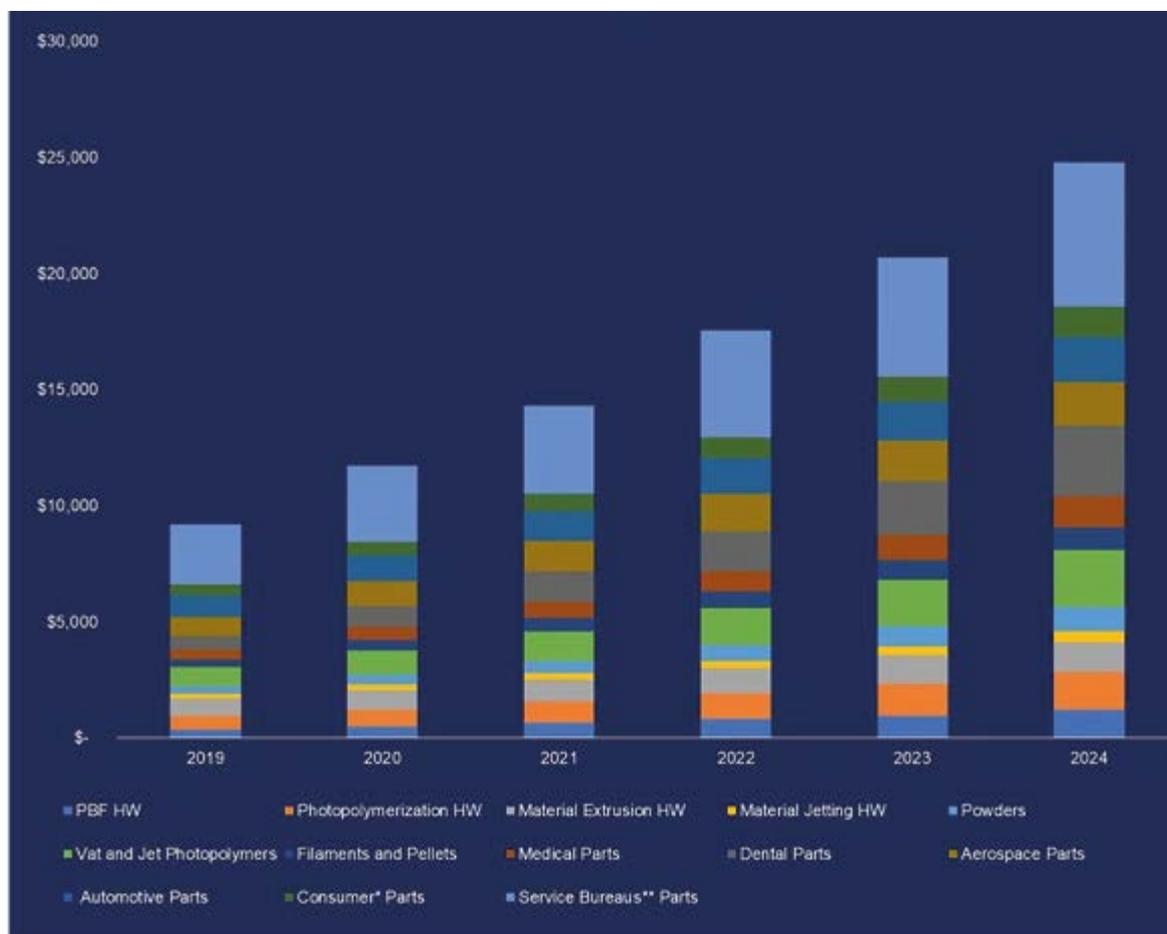
Source: rapport Wohlers 2020

Si la photopolymérisation et le dépôt de matière fondue restent – en raison de leurs histoires – des procédés incontournables, SmarTech Analysis met en lumière les procédés en lit de poudre qui ont connu, ces dernières années, une forte augmentation. Dans son rapport publié en mars dernier (figure 3), l'analyste américain, spécialisé dans l'industrie de la fabrication additive, estime que le marché de la poudre polymère pourrait générer, à partir de 2024, plus de revenus que l'extrusion de matière et se rapprocher de la photopolymérisation. La technologie est surtout appréciée par les industriels, principaux acteurs de son développement constant. Ses propriétés en font effectivement un bon prétendant aux applications industrielles : un volume d'impression suffisant, un haut niveau de productivité et de répétabilité, ainsi que la possibilité de fabriquer des pièces en couleur et possédant de bonnes propriétés mécaniques.

Le marché des polymères en fabrication additive devrait bien se porter dans les prochaines années. Le quatrième rapport annuel de SmarTech Analysis comprend une analyse détaillée des revenus générés par les pièces imprimées et propose une perspective du marché de 2019 à 2024. Il prévoit ainsi une croissance continue du marché qui pourrait générer jusqu'à 11,7 milliards de dollars en 2020 et atteindre 24 milliards de dollars en 2024 (figure 3). En termes de développement sectoriel, l'automobile et l'aéronautique devraient rester, « au cours des 10 prochaines années, les plus grands utilisateurs des procédés polymères principalement pour des applications d'outillage et de prototypage ». Le troisième secteur qui pourrait tirer son épingle du jeu est celui des biens de consommation, particulièrement intéressés par la personnalisation et la fabrication sur mesure qu'offre la technologie. « Le total des pièces imprimées en plastique imprimées devrait atteindre 40 milliards de dollars d'ici 2030, un chiffre en croissance, mais encore relativement faible par rapport à l'industrie manufacturière dans son ensemble. »

### 3 Marché des polymères en fabrication additive de 2019 à 2024

Source: SmarTech - montant en USD



## 4 Matériaux polymères et procédés d'impression 3D

Matériaux polymères	Photopolymérisation	Jet de matériau	Binder jetting	Extrusion de matériau	Fusion de lit de poudre	Frittage thermique sélectif	Stratification de feuille
<b>Liquides</b>							
Expoxy resin	×	×	×				
Acrylic resin	×	×	×				
Binder / powder hybrids		×					
<b>Poudres</b>							
PA 12					×	×	
PA 11						×	
PC				×	×	×	
PS				×	×	×	
ABS				×			
ABS - PC Blend				×			
PP						×	
PPSU				×			
Starch		×	×				
Elastomer / cellulose		×	×				
PLA		×	×				
TPU		×	×	×			
HDPE				×			
PEEK				×		×	
PEI				×			
<b>Feuilles solides</b>							
Polyester film							×
Polyolefin film							×
Polyvinyl copolymer film							×
Other thermoplastic film							×
Other thermosetting film							×
<b>Melt (molten liquid)</b>							
ABS				×			
ABS - PC Blend				×			
PPS				×			

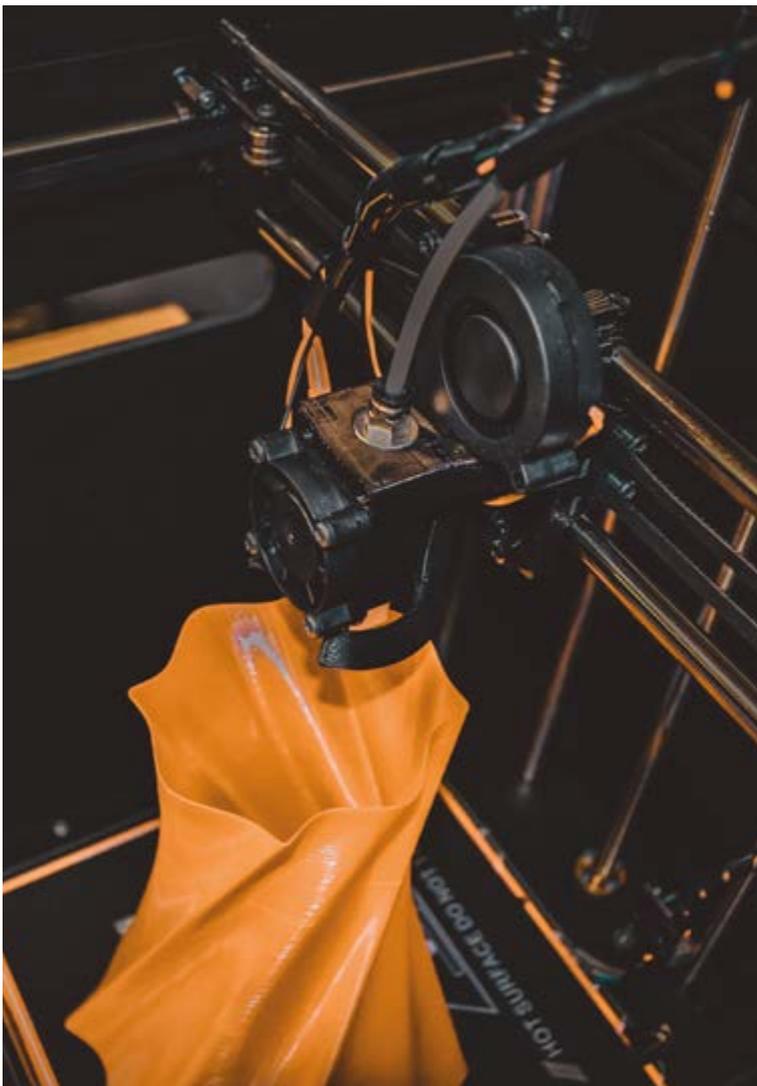
## Les principaux polymères utilisés en fabrication additive

### Propriétés des matériaux polymères pour la fabrication additive

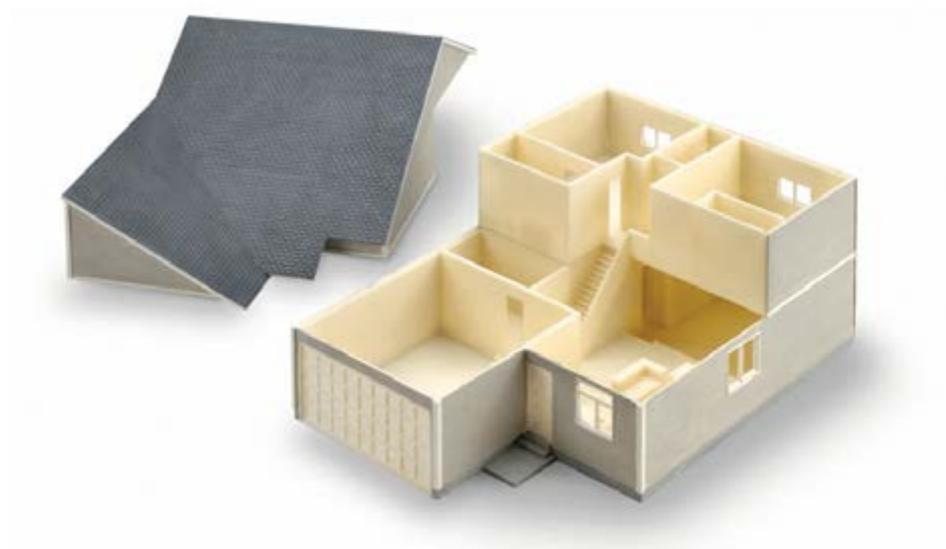
Le marché de l'impression 3D est directement lié aux matériaux disponibles qui possèdent différentes propriétés. Ceux-ci doivent donc répondre aux besoins des utilisateurs, tout en respectant la valeur ajoutée offerte par la fabrication additive par rapport aux procédés traditionnels. Certaines de ces propriétés sont clés pour les industriels, et donc essentielles pour le développement du marché des matériaux en impression 3D. Voici quelques-unes des propriétés les plus demandées :

- **Stabilité mécanique.** Le matériau ne doit pas se déformer durant l'ensemble du processus de fabrication mais également après. La stabilité mécanique définit la durée de vie du produit, permet sa manipulation et offre une imitation de propriété des matériaux traités de manière conventionnelle (par exemple, par moulage par injection).
- **Stabilité chimique.** Le matériau doit avoir une structure chimique cohérente. Il doit être inerte lorsqu'il est en contact avec d'autres matériaux pendant et après le traitement. Cela permettra une combinaison possible avec d'autres matériaux, sans réactions indésirables.
- **Stabilité thermique.** Le matériau doit avoir des propriétés (indice de fusion, taille des particules, adhérence, etc.) requises pour les processus de fabrication additive choisis. Il doit également posséder des propriétés thermiques (température de transition vitreuse, résistance au fluage, résistance aux basses et hautes températures, etc.) requises pour l'application finale.
- **Biocompatibilité.** La biocompatibilité est essentielle pour les applications médicales et biologiques telles que les implants corporels et l'orthodontie. Elle est également importante pour les pièces qui doivent être recyclées ou déposées dans une installation de traitement des déchets. Ces pièces doivent avoir un effet toxique faible ou nul sur l'environnement et, si possible, être biodégradables.

De nombreuses autres caractéristiques définissent les polymères : la couleur, la transparence, la résistance, la rigidité, la dureté, l'élasticité, etc. Chaque procédé offre une gamme de matériaux avec des propriétés précises. Par exemple, la stéréolithographie utilise des photopolymères (c'est-à-dire des polymères qui changent de propriétés lorsqu'ils sont exposés à la lumière, comme les UV), alors que les procédés en lit de poudre utilisent plus généralement des polyamides.



## 5 Modèle de concept architectural imprimé en 3D en ABS-M30



### Les principaux polymères utilisés en fabrication additive

L'ABS est défini comme le plastique « Lego ». Ce matériau est très utilisé en impression 3D pour sa résistance, sa flexibilité, son usinabilité et son prix. Un prototype ABS peut posséder jusqu'à 80 % de la résistance d'une pièce moulée par injection, convenant parfaitement aux applications fonctionnelles. Une gamme d'ABS est disponible en impression 3D :

- L'ABSi est un type d'ABS à haute résistance aux chocs. Le matériau semi-translucide est approuvé « USP classe VI » et présente un bon mélange de propriétés mécaniques et esthétiques. (Les normes de tests de classe USP sont déterminées par la Pharmacopée des États-Unis et le National Formulary USP-NF, l'organisation responsable de la qualité et de la sécurité des dispositifs médicaux et des aliments. Les tests en classe sont fréquemment menés sur des matières plastiques qui entrent en contact avec des drogues injectables et d'autres fluides trouvés à diverses étapes du processus de fabrication de drogues).
- L'ABS-M30 est 25 à 75 % plus résistant que le matériau ABS standard. La surface des pièces est également plus lisse, avec des détails plus fins. L'ABS-M30 est aussi un matériau biocompatible ISO 10993, norme relative à « l'évalua-

tion biologique des dispositifs médicaux ». Ces propriétés en font un matériau très approprié pour les industries de l'emballage médical et des secteurs pharmaceutique et alimentaire. Il est également utilisé pour des applications spécifiques comme les prototypes fonctionnels, les gabarits, les fixations, la fabrication d'outils et de pièces de production. Il est stérilisable par rayonnement gamma ou par des méthodes de stérilisation à l'oxyde d'éthylène (EtO).

- L'ABS-ESD7 est un matériau dissipatif durable et électrostatique adapté aux produits électroniques, aux équipements industriels ainsi qu'aux gabarits et accessoires pour l'assemblage de composants électroniques.

**Le PLA (polylactide ou acide polylactique)** est un thermoplastique créé à partir de la transformation de produits végétaux comme le maïs, les pommes de terre ou les betteraves à sucre. Ce matériau est à la fois léger et solide. Il est disponible en différentes couleurs. Il offre également des vitesses d'impression élevées, des hauteurs de couche inférieures et des coins imprimés plus nets. Ce plastique est très populaire chez les particuliers, les imprimeurs amateurs et dans les écoles. ➤

Le **PC (polycarbonate)** nécessite une imprimante équipée d'une buse haute température. Ce matériau de bonne précision, durable et stable pour imprimer des pièces solides, est un thermoplastique très utilisé chez les industriels. Il possède des propriétés mécaniques et de bonnes résistances à la chaleur et à la traction :

- Le PC-ABS est un mélange de polycarbonate et de plastique ABS. Il combine la force du PC avec la flexibilité de l'ABS. Ce matériau possède des propriétés mécaniques et une résistance à la chaleur supérieures au PC classique, une résistance aux chocs élevée et une finition de surface proche de celle de l'ABS.
- Le PC-ISO est un plastique d'ingénierie solide et résistant à la chaleur, couramment utilisé dans la fabrication de dispositifs médicaux, ainsi que pour les emballages alimentaires et pharmaceutiques. Il est biocompatible et il peut être stérilisé par rayon gamma et EtO. Il est également conforme à la norme ISO 10993 et USP classe VI, d'où il tire son nom : un matériau en polycarbonate certifié ISO.

**L'ULTEM 9085** est un mélange de polyétherimide haute performance qui offre une excellente résistance, une excellente stabilité thermique et ignifuge (homologué UL 94-V0). L'ULTEM 9085 est un matériau

idéal pour le prototypage fonctionnel et l'impression finale de pièces pour les industries aéronautique et spatiale, ainsi que pour des applications de niche. Il présente un très bon rapport résistance / poids et une température de déviation thermique élevée (160 ° C).

Le **polyphénylsulfone (PPSU)** est un thermoplastique possédant les résistances thermique et chimique les plus élevées de tous les matériaux de la technologie d'extrusion. Il est idéal pour les environnements caustiques nécessitant une résistance élevée à la chaleur. Il est également stérilisable et solide, ce qui permet d'utiliser ce polymère dans les industries médicales et alimentaires.

Le **PA (polyamide)** est le polymère le plus couramment utilisé dans de nombreuses technologies comme la fusion sur lit de poudre, le frittage sélectif par laser (SLS) ou encore la projection de liant. Le nylon est un polyamide synthétique.

Le **PVA (alcool polyvinylique)** est utilisé comme matériau de support soluble ou pour des applications spéciales.

Le **SOFT PLA (acide polylactique)** est caoutchouteux et flexible, disponible en couleur.

Le **TPU (polyuréthane thermoplastique)** est un polymère performant. Il offre ténacité, résistance et élasticité, en particulier le TPU 92A-1.

## KIMYA, NÉE D'UNE POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

La division impression 3D du groupe français Armor, Kimya, est née d'une politique de développement durable, plus exactement du souhait de recycler ses propres cartouches jet d'encre. Il y a cinq ans, lorsque le groupe Armor a décidé de recycler ses propres déchets, il a eu l'idée de les transformer en filaments pour l'impression 3D. D'abord commercialisé sous le nom d'OWA, le produit est devenu Kimya et a constitué une division propre du groupe. Rapidement, cette dernière a proposé des matériaux techniques pour les industriels. Aujourd'hui, la gamme de filaments Kimya éco-conçus continue de s'agrandir avec les matériaux TPU-R ou HIPS-R, récemment lancés, et qui rejoignent le PLA-R. Un matériau PLA avec du lin est aussi en cours de développement.

Depuis peu, l'entreprise française teste la mise en place d'un programme de collecte des déchets, le Programme « Kimya Collecte ». Le groupe français souhaite mettre en place un système de récupération des bobines vides, des chutes de filaments et des produits imprimés inutilisés auprès des industriels dans le but de les recycler. Il s'est également engagé avec L'Oréal pour concevoir des filaments à partir de ses bouteilles recyclées de shampoing, ou encore avec Évian pour revaloriser les bouchons plastiques.

## Économie circulaire, durabilité et fabrication additive

Ces dernières années, les plastiques n'ont pas bonne presse. La pollution d'objets en plastique est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus importants. La Commission européenne a d'ailleurs placé le concept d'« économie circulaire » en tête de son agenda. L'économie circulaire « vise à maintenir la valeur des produits, des matériaux et des ressources le plus longtemps possible en les remplaçant dans le cycle des produits à la fin de leur utilisation, tout en minimisant la production de déchets ». Ce processus débute dès la conception d'un produit, dans un design intelligent ou encore dans le choix des processus de production. Il « peut aider à économiser des ressources, éviter une gestion inefficace des déchets et créer de nouvelles opportunités commerciales ». La fabrication additive trouve sa place dans l'économie circulaire voulue par la Commission européenne. Elle offre des opportunités durables, notamment en termes de réduction du CO<sup>2</sup>, conséquence directe de chaînes d'approvisionnement plus efficaces, basées sur une production localisée.

Plusieurs projets de recherche et développement (R&D) se penchent sur la question du développement durable de plastique pour l'impression 3D. ValueBioMat est un projet financé par le *Strategic Research Council* (SRC) de l'Académie de Finlande, qui vise à créer des biomatériaux pour l'impression 3D. Développés en laboratoire, ceux-ci ont pour finalité de remplacer les matériaux traditionnels à base d'énergies fossiles, d'améliorer la durabilité des produits manufacturés et de produire des pièces aux propriétés supérieures en utilisant des fibres naturelles. « Les

biomatériaux, tels que le nylon, provenant de matières premières entièrement renouvelables, seront utilisés pour fabriquer des pièces par dépôt de matière ou par fusion sur lit de poudre. Des composants de résines et de charges biologiques, telles que la lignine et la farine de bois, seront utilisés pour créer de grandes pièces qui, jusqu'à maintenant, n'étaient pas réalisables en impression 3D. » Le projet étudie également l'impression 3D sans couche pour créer des pièces orientées de manière optimale avec des fibres continues. De son côté, le projet Novum évalue les opportunités d'utilisation de matériaux à base de cellulose pour la fabrication additive et leur impact positif sur l'environnement. L'Université de Cranfield et la Fondation Ellen MacArthur ont également réalisé un projet sur la « faisabilité de la réutilisation des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) pour l'impression 3D ». La société Nature Works a placé son énergie dans les « polymères durables » (c'est-à-dire le plastique réalisé à partir de matières végétales renouvelables plutôt que de sources fossiles), avec sa gamme de matériaux performants à base d'acide polylactique (PLA), appelés « Ingeo ».

Le recyclage est un autre élément important du développement durable et un enjeu fondamental pour la Commission européenne. Plusieurs filaments issus du recyclage sont disponibles, comme ceux de Kimya, filiale impression 3D d'Armor (voir encadré), ou encore de GreenGate3D, une société américaine fondée en 2018).

### 6 Principaux fournisseurs de polymères





# Plastic

## 3D printing

« Speaking » est une nouvelle rubrique d'*A3DM Magazine* dédiée à l'apprentissage de l'anglais dans les secteurs de la fabrication additive, de l'impression 3D, du prototypage rapide, mais aussi de l'ingénierie. Une aide pour progresser en anglais, préparer les prochains événements internationaux et vos relations clients.

There is a wide range of 3D printing plastic materials from thermoplastics for functional parts to high detail resins (thermosets) for visual prototypes.

### ABS

Commodity plastic, improved mechanical and thermal properties compared to PLA.

ABS is a common thermoplastic with good **mechanical properties**<sup>1</sup> and excellent impact strength, superior to PLA but with less defined details. Commonly used for enclosure prototypes, functional prototypes, **jigs**<sup>2</sup>, fixtures, manufacturing tools and production parts.

### ASA

UV stability and high **chemical resistance**<sup>3</sup>, preferred material for outdoor applications.

ASA is a thermoplastic with properties similar to ABS but with improved thermal, chemical and weather resistance. Perfect for outdoor applications.

### Composites

Composites are extremely beneficial, when making lightweight yet strong parts.

The **fibers**<sup>4</sup> add strength to a part without adding weight, which is why we also refer to composites as fiber reinforced materials. There are two types of reinforcements, short fiber or continuous fiber. In the first case, chopped fibers, which consist of segments less than a millimeter in length, are mixed into traditional 3D printing plastics to increase the **stiffness**<sup>5</sup> and to a lesser extent the strength of components. Chopped fibers can be mixed with thermoplastics such as nylon, ABS or PLA.

### Nylon

Used to substitute functional **injection moulded**<sup>6</sup> parts, good chemical resistance.

Nylon or polyamide (PA) is a thermoplastic with excellent mechanical properties, high chemical and abrasion resistance. Perfect for functional applications.

Standard PA 12 has all-around great mechanical properties and chemical resistance and is ideal for functional parts and prototypes. Glass filled PA 12 contains glass particles that give parts high stiffness and improved thermal and abrasion resistance over standard Nylon.



<sup>1</sup> **mechanical properties** : propriétés mécaniques

<sup>2</sup> **Jigs** : gabarits

<sup>3</sup> **chemical resistance** : résistance chimique

<sup>4</sup> **fibers** : fibres

<sup>5</sup> **Stiffness** : rigidité

<sup>6</sup> **injection moulded** : moulées par injection

## PEI

Engineering plastic, high performance applications, **flame retardant**<sup>7</sup>.

PEI is an engineering thermoplastic with good mechanical properties and exceptional **heat**<sup>8</sup>, chemical and flame resistance.

## PETG

Good for mechanical parts with high impact resistance and flexibility.

PETG is a thermoplastic with improved properties over PLA, with high impact resistance and excellent chemical and **moisture**<sup>9</sup> resistance. PETG can be **sterilized**<sup>10</sup>.

## PLA

High stiffness, good detail, **affordable**<sup>11</sup>.

PLA is a biodegradable thermoplastic for low-cost, non-functional prototyping. It gives more details than ABS, but more brittle. **Unsuitable**<sup>12</sup> for high temperatures.

## Polycarbonate (PC)

Industrial thermoplastic with high **accuracy**<sup>13</sup>, durability and high strength.

PC (polycarbonate) is **widely**<sup>14</sup> used in automotive, aerospace, medical and many other applications. PC offers accuracy, durability and stability, creating strong parts that withstand functional testing.

## Polypropylene (PP)

PP is known for its resistance to abrasion and its ability to absorb shocks, as well as relative rigidity and flexibility.

However, drawbacks of the material include its low temperature resistance, and **sensitivity**<sup>15</sup> to UV rays which can cause it to expand. Due to this, several manufacturers have developed alternative types of PP, simili-propilénos, that are stronger both physically and mechanically. Polypropylene is a thermoplastic widely used in the automotive sector, professional textiles sector, and in the manufacturing of hundreds of everyday objects.

## Resin

High detail and **smooth**<sup>16</sup> surface, injection mold-like prototyping.

Resins are **thermoset photopolymers**<sup>17</sup> that solidify when exposed to light, producing high detail parts with a smooth, injection mold-like surface finish.

## Soluble Materials

Soluble materials are materials printed with the intention of being **dissolved**<sup>18</sup> in a future stage of the manufacturing process.

The two most **common**<sup>19</sup> soluble filament materials are HIPS (High Impact Polystyrene) and PVA (Polyvinyl Acetate). HIPS is associated with ABS, and can be dissolved with limonene, whereas PVA is associated with PLA and can be dissolved using just water.

## TPU

Rubber-like material, suitable for tubes, grips, seals and gaskets.

TPU is a thermoplastic elastomer with low Shore **hardness**<sup>20</sup> and a rubber-like feel that can be easily **flexed**<sup>21</sup> and compressed.

7. **flame retardant** : retardateur de flamme

8. **Heat** : chaleur

9. **moisture** : humidité

10. **Sterilized** : stérilisé

11. **Affordable** : abordable

12. **Unsuitable** : ne convient pas

13. **Accuracy** : précision

14. **Widely** : largement

15. **Sensitivity** : sensibilité

16. **Smooth** : lisse

17. **thermoset photopolymers** : photopolymères thermodurcissables

18. **dissolved** : dissous

19. **Common** : courant

20. **Hardness** : dureté

21. **Flexed** : plié

PROCESS Procédé	TECHNOLOGIES Technologies	MATERIALS Matériaux
<b>Binder Jetting</b> Jet de liant	<b>Powder Bed And Inkjet Head Printing</b> Lit de poudre et tête d'impression à jet d'encre	<b>Ceramic Powders, Metal Laminates, Acrylic, Sand, Composites, Polymers, polymer blends</b> Poudres céramiques, métaux, polymères, mélanges de polymère, acryliques, sables
	<b>Plaster Based 3D Printing</b> Impression 3D plâtre	<b>Bonded Plaster, Plaster Composites</b> Plâtre et composite de plâtre
<b>Directed Energy Deposition</b> Dépôt d'énergie dirigée	<b>Laser Metal Deposition</b> Dépôt métallique par laser	<b>Metals And Metal Alloys, hybrid metals</b> Métaux et alliages métalliques, métaux hybrides
<b>Material Extrusion</b> Extrusion de matière	<b>Fused Deposition Modelling</b> Dépôt de matière fondue	<b>Thermoplastics, Polymers, polymer blends</b> Thermoplastiques, polymères, mélanges de polymère
<b>Material Jetting</b> Jet de matériaux	<b>Multi-Jet Modelling</b> Modélisation à jet multiple	<b>Photopolymers, Wax, Composites</b> Photopolymères, cires, composites
<b>Powder Bed Fusion</b> Fusion sur lit de poudre	<b>Electron Beam Melting</b> Fusion par faisceaux d'électrons	<b>Titanium Powder, Cobalt Chrome</b> Titane, cobalt-chrome
	<b>Selective Heat Sintering</b> Frittage thermique sélectif	<b>Thermoplastic Powder</b> Thermoplastiques
	<b>Selective Laser Sintering</b> Frittage sélectif par laser	<b>Plastic, Metal, Paper, Glass, Ceramic, Composites</b> Plastiques, métaux, papiers, verres, céramiques, composites
	<b>Direct Metal Laser Sintering</b> Frittage laser direct de métal	<b>Stainless Steel, Cobalt Chrome, Nickel Alloy</b> Acier inoxydable, cobalt-chrome, alliage de nickel
<b>Sheet Lamination</b> Laminage de feuilles	<b>Laminated Object Manufacturing</b> Fabrication d'objets laminés	<b>Plastic, Metal Laminates, Paper, Ceramics, Composites</b> Plastiques, métaux, papiers, céramiques, composites
	<b>Ultrasonic Consolidation</b> Consolidation par ultrasons	<b>Metal And Metal Alloys</b> Métaux et alliages métalliques
<b>Vat Polymerization</b> Polymérisation en cuve	<b>Stereolithography</b> Stéréolithographie	<b>Liquid Photopolymer, Composites</b> Liquides photopolymère et composites
	<b>Digital Light Processing</b> Traitement numérique de la lumière	<b>Digital Light Processing</b> Traitement numérique de la lumière

## LES RÈGLES EN ANGLAIS

### Les adjectifs sont invariables

En anglais, les adjectifs s'écrivent toujours au singulier. Ils ne s'accordent pas avec le nom comme en français.

### Les adjectifs se placent avant le nom

Les adjectifs anglais se placent avant le nom sauf cas exceptionnel. Un adjectif qui est placé seul après un verbe est un attribut. Dans ce cas, il est placé après le nom.

### Les adjectifs au comparatif

Le comparatif est utilisé, en anglais, pour parler des différences (*larger, smaller, faster, higher*). Les phrases comparatives se forment avec les deux noms comparés. Les adjectifs de une ou deux syllabes forment le comparatif en ajoutant *-er*, alors que ceux de trois syllabes sont précédés du mot *more*.

*Nom (sujet) + verbe + adjectif au comparatif + than + nom (complément d'objet).*

► *PLA gives more details than ABS.*

### Les adjectifs au superlatif

Le superlatif est employé pour décrire un objet qui est à la limite maximale ou minimale d'une qualité pour un groupe donné (*the tallest, the smallest, the fastest, the highest*). Le superlatif se constitue dans des phrases avec un nom et son groupe de comparaison. Les adjectifs peuvent former le superlatif soit en ajoutant la terminaison *-est*, soit en mettant *most* devant l'adjectif de trois syllabes.

*Nom (sujet) + verbe + the + adjectif au superlatif + nom (complément objet)*

► *The two most common soluble filament materials are HIPS and PVA.*



## L'IMPRESSION 3D POLYMÈRE TRANSFORME LA CHAÎNE DE PRODUCTION DE CHABLOZ ORTHOPÉDIE

En 2017, Chabloz Orthopédie intègre la fabrication additive polymère à sa chaîne de production. Une nouvelle étape dans la révolution numérique entamée au début des années 2000 avec le scan, les logiciels de CFAO et les outils de fraisage numérique. Aujourd'hui, l'impression 3D a transformé son métier d'orthopédiste. Explication.

Par **Gaëtan Lefevre**, rédacteur en chef

Ces dernières années, Marc Souply, orthoprothésiste membre de l'équipe R&D de Chabloz, a vu son métier révolutionné par l'impression 3D polymère, passant de la fabrication artisanale au numérique. « Il est aujourd'hui possible d'envisager de faire en ½ journée ou une journée de travail ce qui nous aurait pris trois jours auparavant. L'impression 3D est en train d'apporter un vrai gain en production, en précision et en répétabilité. Elle permet d'optimiser et de personnaliser le produit. Elle offre également la possibilité d'utiliser d'autres matériaux, comme du PA 12 (biocompatible), afin de diminuer le poids des prothèses. » L'entreprise française d'orthopédie est un bon exemple de la transition vers le numérique.

### Un virage numérique qui bouleverse le métier

La société française Chabloz Orthopédie, rachetée en 2015 par la filiale française de la firme allemande Ottobock, réalise des appareils médicaux personnalisés et uniques, pour suppléer ou combler un handicap. Elle est spécialisée dans les grands appareillages sur mesure comme les prothèses, les orthèses, les corsets, mais aussi dans les appareils d'aide à la marche et d'assises personnalisés. Il y a encore peu de temps, ces appareils étaient conçus de manière très artisanale. Un positif en plâtre était réalisé à partir d'un moule du membre du patient – le négatif. Des corrections étaient ensuite apportées à cette réplique avant que le dispositif médical soit fabriqué par thermoformage ou stratification de matériaux composites. À ces différentes étapes, il fallait rajouter la finition, souvent l'intégration d'une « seconde peau » pour protéger le patient. Au début des années 2000, la société a connu un virage vers le numérique. L'apparition du scan a permis la numérisation du membre du patient en forme 3D. Celle-ci peut ensuite être modifiée numériquement, avant d'être usinée avec un robot ou une fraiseuse dans une mousse dense pour servir de support de fabrication à l'appareil définitif.

En 2017, Chabloz Orthopédie passe en *scan to print*. Grâce à l'impression 3D, elle va prolonger son virage numérique et terminer sa transformation du métier d'orthoprothésiste. Pendant plusieurs mois, elle se lance dans un *benchmark* de toutes les technologies et des fournisseurs de systèmes de fabrication additive polymères. Elle teste le prototypage en FDM qui ne répond pas à ses attentes. Jules Revais, ingénieur R&D « produit et process » chez Chabloz Orthopédie, participe à la recherche du bon procédé. « La technologie HP était la plus adaptée à nos besoins en termes de rapidité, de productivité, de matériaux et de propreté d'utilisation. Elle nous a également fait prendre conscience qu'il était possible d'utiliser cette technologie à grande échelle avec un bon rapport productivité/prix, compatible dans certains cas avec notre système de remboursement. Elle répondait également à notre recherche d'un matériau modifiable, pouvant être découpé ou encore chauffé, ce que ne permet pas de faire la résine. Enfin, la qualité de finition ne nécessitait que peu, voire pas de post-traitement. »



En plus de transformer la *supply chain* de Chabloz, l'impression 3D a considérablement réduit les temps de certaines productions. Or, les délais de livraison sont un enjeu important dans le monde de l'orthopédie. Les patients ont besoin de recevoir leurs aides médicales le plus rapidement possible. Aujourd'hui, il faut compter environ sept jours entre la numérisation et l'appareillage du patient, un délai qu'il n'aurait pas été possible d'atteindre en sous-traitant. C'est pourquoi, la société française s'est directement tournée vers l'intégration de la technologie.



## De la R&D à la fabrication, une montée en compétence

La transition numérique a commencé, chez Chabloz Orthopédie, dès le début des années 2000 avec l'intégration des logiciels de scan et de CFAO pour l'usinage. Il faudra toutefois attendre 2017 pour que l'équipe d'ingénieurs de la société s'engage sur la voie de l'impression 3D polymère. Fin janvier 2018, l'entreprise s'équipe d'une imprimante 3D Multi Jet Fusion 4 200 de HP. « La première étape a été l'intégration de la machine au pôle R&D afin de réaliser les premiers tests et lancer les premières impressions. Un technicien était alors dédié au pilotage et à la gestion de la machine : nettoyage, maintenance, utilisation des logiciels, etc. Il a suivi une formation assurée par HP et son revendeur Visiativ lors de l'installation de la machine. Celle-ci a permis d'apprendre à maîtriser l'imprimante 3D et de comprendre l'influence des paramètres machine sur la qualité des pièces. Après une certaine quantité de pièces fabriquées, la gestion de la machine a été transférée à la division fabrication. La transmission des compétences s'est faite en interne. Chabloz était déjà expérimentée, de par son expérience en fabrication traditionnelle, à la montée des compétences en interne. L'équipe R&D qui a développé les procédés de fabrication additive et les techniciens au travail des nouveaux matériaux », poursuit Jules Revais. Aujourd'hui, la montée en compétence continue, avec des formations en externe. Par exemple, les techniciens formés à la gestion de la machine apprennent maintenant l'utilisation des logiciels CAO et gagnent ainsi en polyvalence.



Globalement, ces nouveaux outils apportent une évolution des compétences requises, et il faut alors prévoir un budget formation important pour mettre à niveau les équipes. Pour certifier les dispositifs médicaux, Chabloz a mis en place une salve de tests. Celle-ci a permis d'assurer les validations procédé / machine / produits, de confirmer la répétabilité du *process* et le respect des propriétés des matériaux annoncées par le fabricant HP. Une fois cette étape de validation terminée, un contrôle continu a été mis en place. Par exemple, tous les mois, plusieurs éprouvettes sont imprimées pour vérifier que le dimensionnement de la machine est toujours correct.

### De nouvelles relations acheteurs / vendeurs

Toute cette intégration, Chabloz l'avait budgétisée. Elle avait ainsi prévu une enveloppe d'environ de 400 000 euros, comprenant également les travaux dans les locaux ainsi que la mise en production. La machine est actuellement en *leasing* avec une possibilité d'achat à la fin du contrat pour « une somme symbolique ».

L'exemple de Chabloz met aussi en évidence l'une des principales évolutions du secteur ces dernières années, qui est la transformation des relations entre les fabricants de systèmes (vendeurs) et les utilisateurs (acheteurs). Fini la simple communication entre acheteur et vendeur. Les relations ont basculé dans des collaborations permettant de comprendre les contraintes de chacun et dans des travaux conjoints de R&D pour développer de nouveaux matériaux ou encore faire évoluer les systèmes. Ce sentiment, Jules Revais l'a ressenti. Il a ainsi pu tester le polypropylène de HP un an avant sa commercialisation. Une collaboration gagnant-gagnant. La société d'orthopédie a fourni au fabricant des retours de terrain, tandis qu'elle s'imprégnait des technologies de demain. HP et Chabloz sont également tous les deux engagés au centre d'innovation Y.SPOT au sein du CEA de Grenoble. Des relations bénéfiques pour les deux parties et pour l'ensemble du secteur de la fabrication additive et de l'impression 3D.



### PROTHÈSE MYOÉLECTRIQUE, UNE NOUVEAUTÉ POUR DENIS GAUTHIER

À l'occasion du dernier salon 3D Print, *A3DM Magazine* avait rencontré Denis Gauthier qui nous avait présenté sa prothèse myoélectrique qu'il peut contrôler grâce à des capteurs au niveau de la peau (photo ci-dessus). Réalisée sur une imprimante 3D Multi Jet Fusion 4 200 de HP par Chabloz Orthopédie, celle-ci est conçue sur mesure, personnalisée et plus légère – de l'ordre de 30 à 40 % par rapport à une conception classique. Elle est équipée de batteries et d'un moteur au niveau de la main. Une complexité qu'il a été possible de réaliser grâce à l'impression 3D. La technologie a permis « de créer un effet miroir, c'est-à-dire un dire un volume corporel identique, de personnaliser la prothèse comme le patient le souhaite, mais aussi d'anticiper tout l'encastrement électronique », nous explique Marc Souply.

Plus d'informations sur le site [a3dm-magazine.com](http://a3dm-magazine.com).



## LES INVESTISSEMENTS EN R&I AU CENTRE DU DÉBAT EUROPÉEN

Les investissements en R&I aux niveaux mondiaux et européens continuent d'augmenter. L'innovation est même l'un des enjeux des politiques de relance. En pleine crise sanitaire du Covid-19, le débat sur les investissements en R&D est au centre de la politique européenne. La Commission européenne définit actuellement sa stratégie 2021-2027.

Par **Giorgio Magistrelli**, expert en fabrication additive, gestionnaire d'entreprises et de projets

**D**epuis plusieurs années, les dépenses mondiales en recherche et développement (R&D) ne cessent d'augmenter. Toutes les grandes régions du monde investissent dans ce que nous pourrions appeler le « futur » ou l'« industrie du futur ». L'innovation est au cœur des politiques de l'Union européenne, mais aussi des États-Unis et maintenant de la Chine. Les derniers rapports de la Commission européenne montrent que le poids relatif des investissements en R&D diminue. En 2017, l'UE représentait encore 17 % des dépenses totales en R&D dans le monde, contre 22 % en 2000. La baisse est encore plus marquée pour les États-Unis, qui sont passés de 37 % en 2000 à 26 % en 2017. Cette chute est principalement due à l'augmentation rapide des investissements chinois qui ont presque quintuplé, passant de 5 % en 2000 à 24 % en 2017.

### Objectif : 3 % du PIB

« La recherche, la science et l'innovation ont été placées au cœur de la stratégie de l'Union européenne pour créer de la croissance et des emplois. » Cette déclaration de la Commission européenne (CE) est plus que jamais d'actualité alors que sont en discussion les politiques de relance après la crise sanitaire du Covid-19. Nonobstant les positions antagoniques d'enthousiasme total ou de scepticisme absolu à l'égard des politiques de la Commission européenne, le financement public de la recherche, de la science et des activités en innovation (R&I) est un domaine plutôt apprécié. Pour l'Union européenne, il s'agit d'un levier d'action important de son implication sur la vie des 500 millions de citoyens européens. Ces investissements sont réalisés par le biais de programmes-cadres pluriannuels de recherche et innovation, avec les objectifs suivants :

- Renforcer la position de l'Union européenne dans le domaine scientifique.
- Renforcer l'innovation industrielle, en soutenant notamment les petites entreprises.
- Soutenir tous les domaines horizontaux touchant à l'innovation comme l'Internet des objets, l'industrie 4.0, la fabrication de pointe (dont la fabrication additive et l'impression 3D), le développement durable, la sécurité énergétique ou encore la santé publique.
- Rendre l'innovation viable avec un réel potentiel commercial en nouant notamment des partenariats entre l'industrie et les gouvernements.
- Intensifier la coopération internationale sur la recherche et l'innovation.





LA COMMISSAIRE MARIYA GABRIEL  
AVEC LE MINISTRE ITALIEN DES AFFAIRES  
ÉTRANGÈRES À L'OCCASION DE LA SIGNATURE  
DU PROTOCOLE BLOCKCHAIN.

Depuis une dizaine d'années, la stratégie de l'Union européenne pour la croissance et l'emploi était inscrite dans le programme « Stratégie Europe 2020 ». Elle se concentrait sur une croissance intelligente, durable et inclusive afin d'améliorer la compétitivité et la productivité de l'Europe. Elle visait également à soutenir une économie sociale de marché durable. Son objectif était de « porter l'investissement combiné public et privé en R&D à 3 % du PIB d'ici 2020 », chaque état membre fixant ses propres objectifs nationaux. Au terme de cette stratégie, l'objectif de 3 % du PIB n'a pas été atteint. Malgré des investissements en hausse, il manque environ 110 milliards d'euros supplémentaires par an pour atteindre cet objectif. Ces investissements sont également très disparates d'un pays à l'autre, et l'écart pourrait encore se creuser dans le futur. Cet objectif de 3 % du PIB s'est toutefois révélé mobilisateur et stimulant pour la politique de R&I, de croissance et de compétitivité de l'Union européenne. Il constitue également un accélérateur à l'innovation mais aussi au développement durable, social et économique.

### 2021-2027, un nouveau plan de relance

Le financement futur de la R&I en Europe est défini par l'approbation du prochain budget européen pour la période 2021 à 2027. Celui-ci est actuellement en discussion au sein de la Commission européenne, mais la crise du Covid-19 a altéré les débats... et le budget. Une nouvelle proposition liée à un plan de relance est intégrée. Cette dernière vise à aider l'Union européenne à sortir de la récession déclenchée par la pandémie du coronavirus.

Les États membres ont eu du mal à se mettre d'accord sur les priorités du budget 2021-2027. Une partie de la Commission européenne plaide pour une augmentation des investissements dans les technologies vertes et numériques, tandis qu'une autre fraction souhaite préserver les allocations pour l'agriculture et le développement régional. Alors qu'une intervention rapide est nécessaire, l'Union européenne est bloquée par des exigences nationales propres, un manque de volonté générale, l'implication du Parlement européen (qui est la seule institution européenne directement élue par les citoyens) et des discussions sans fin.

L'économie européenne a été durement touchée par la crise sanitaire du Covid-19. Les dernières prévisions économiques présentées par la Commission européenne, début mai, suggèrent une contraction d'au moins 7,4 % en 2020. Le 2 mai 2018, la Commission européenne a adopté sa première proposition de budget à long terme dans le cadre financier pluriannuel (CFP) 2021-2027. Celle-ci comprend un instrument de rétablissement d'urgence, nommé « Next Generation EU », dont l'objectif est de réparer les dommages immédiats causés par la pandémie. Elle vise également à préparer le plan de relance. Elle comprend un budget de 1 850 milliards d'euros sur sept ans :

- Un budget révisé à long terme de l'UE de 1 100 milliards d'euros pour 2021-2027.
- Un renforcement temporaire de 750 milliards d'euros pour relancer les économies frappées par la crise du Covid-19.
- Un budget total de 80,9 milliards d'euros pour « Horizon Europe », un chiffre inférieur à la proposition de 94,4 milliards d'euros présentée par la Commission européenne en mai dernier. Ce budget a été réduit à plusieurs reprises tout au long du sommet.

## La réponse spécifique de la CE et le fort soutien à la R&D

La Commission européenne, emmenée par ses commissaires européens à la Recherche, à l'Innovation et à la Science – Carlos Moedas de 2014 à 2019 et Mariya Gabriel depuis 2019 –, s'engage pour soutenir la recherche, l'innovation, la culture, l'éducation et la jeunesse. Ces dernières semaines, en situation de crise sanitaire, elle a mobilisé 122 millions d'euros supplémentaires pour la recherche contre le coronavirus, budget de son programme « Horizon 2020 ». Début mai, lors de l'événement « Coronavirus Global Response », la Commission a enregistré 7,4 milliards d'euros de promesses de dons de la part de donateurs du monde entier, dont une promesse de 1,4 milliard d'euros de sa propre part. L'objectif de cet événement était de réunir des fonds importants pour assurer le développement en collaboration et le déploiement universel de diagnostics, de traitements et de vaccins contre les coronavirus. La présidente de la Commission européenne, Ursula von der Leyen, a déclaré le 4 mai : « Aujourd'hui, le monde a fait preuve d'une extraordinaire unité pour le bien commun. Les gouvernements et les organisations mondiales de la santé ont uni leurs forces contre le coronavirus. Avec un tel engagement, nous sommes sur la bonne voie pour développer, produire et déployer un vaccin pour tous. Toutefois, ce n'est qu'un début. Nous devons poursuivre l'effort et nous tenir prêts à contribuer davantage. Le marathon des promesses de dons se poursuivra. Après les gouvernements, la société civile et les populations du monde entier doivent se joindre à nous, dans une mobilisation mondiale d'espoir et de détermination. »

## AMABLE, FABRICATION ADDITIVE ET LOGISTIQUE

Le projet « AMable », financé par la CE, a récemment lancé un « Appel ouvert pour la fabrication additive et la logistique » (date limite pour y répondre : 1<sup>er</sup> août 2010), envisageant le financement d'un ou deux projets traitant du lien entre la fabrication additive et la logistique.

Un produit conçu par fabrication additive passe par de nombreuses étapes où la logistique entre en jeu. Dans un premier temps, l'équipement d'impression doit être installé et recevoir la matière première. Les suites logicielles entrent en action. Les paramètres d'impression doivent être programmés. La ou les pièces doivent être retirées de la machine et transférées aux phases de post-traitement. Tout au long de cette chaîne, la manipulation des pièces soulève des problèmes divers. Il est difficile de généraliser car chaque chaîne de production est individuelle, mais elle contient toujours des règles, des conditions limites, des données numériques, des équipements et la partie physique. Cet appel porte sur le lien entre la fabrication additive et la logistique. Il vise à démontrer comment des chaînes de production complexes de fabrication additive peuvent être réalisées. Il encourage l'utilisation de véhicules à guidage automatique (AGV) inter-usines en combinaison avec des robots. En ce qui concerne la logistique numérique, il impose un transfert de données numériques totalement transparent, parallèlement à la partie physique.



La Commission et les ministères nationaux ont également convenu d'un premier plan d'action « ERAvsCorona ». Celui-ci définit dix actions prioritaires et complète les initiatives antérieures de développement de diagnostics, de traitements et de vaccins, en renforçant les capacités de fabrication et de déploiement de solutions. Il permettra également d'améliorer la compréhension des impacts comportementaux et socio-économiques de l'épidémie. « Nous mobilisons tous les moyens mis à notre disposition pour lutter contre cette pandémie avec des tests, des traitements et de la prévention. Mais pour réussir, nous devons aussi comprendre comment il affecte notre société et quels sont nos moyens d'action. Nous devons explorer des solutions technologiques pour fabriquer plus rapidement du matériel et des fournitures médicales, pour surveiller et prévenir la propagation de la maladie et pour mieux soigner les patients », a déclaré Mariya Gabriel. L'actuel commissaire à la Recherche, à l'Innovation et à la Science soutient également un appel pour placer le financement de la R&D au cœur du plan de relance pandémique de l'UE.

Le 21 juillet, les dirigeants européens se sont mis d'accord sur un budget de 80,9 milliards d'euros dédié à la recherche et à l'innovation dans son prochain programme « Horizon Europe ». Un montant inférieur aux 94,4 milliards annoncés en mai par la Commission européenne. « Ces coupes dans le budget de

la recherche, de l'innovation et de l'éducation sont regrettables », a déclaré Mariya Gabriel sur twitter. Cet investissement contribue à un plan budgétaire massif sur sept ans pour aider à surmonter la crise Covid-19. Il comprend une injection de trésorerie de 13,5 milliards d'euros du *Next Generation Fund*, un nouveau fonds d'investissement de 750 milliards d'euros. Si ces budgets restent très incertains, des fonctionnaires européens ont déclaré que les fonds supplémentaires pour la recherche seraient alloués à plusieurs domaines de recherche, notamment la santé, l'économie verte ou encore l'innovation industrielle. Des acteurs européens comme EU-LIFE, une alliance de centres de recherche en sciences de la vie, souhaitent un budget plus important. « Sans un budget d'« Horizon Europe » d'au moins 150 milliards d'euros, l'UE ne disposera pas des ressources nécessaires pour garantir la sécurité sanitaire de ses citoyens. » L'alliance a exhorté les dirigeants européens à augmenter le financement d'« Horizon Europe » et à veiller à ce que la recherche fondamentale joue un rôle clé dans le programme, avec au moins 35 % du budget consacré à celui-ci. Devant le Parlement européen, Ursula von der Leyen, présidente de la Commission européenne, a déclaré que « le fonds de relance ira au-delà d'un plan de sauvetage économique habituel : il stimulera la science, la recherche innovante et l'investissement dans les technologies de l'avenir ».

## « Horizon 2020 » et le soutien aux nouvelles technologies

Ce budget R&I complète un investissement de 48,2 millions d'euros investis dans 18 projets pour développer des diagnostics, des traitements, des vaccins et la préparation aux épidémies, auxquels s'ajoutent 117 millions d'euros investis dans huit projets sur les diagnostics et les traitements à travers l'Initiative des médicaments innovants et des mesures pour soutenir les idées innovantes par le biais du Conseil européen de l'innovation (EIC - the European Innovation Council).

Le programme « ERAvsCorona » cible le financement d'innovations capables de produire rapidement des résultats pertinents pour la société, en se concentrant sur les impacts sociaux et économiques de la réponse à l'épidémie, les technologies médicales et les applications des TIC, ainsi que la préparation des systèmes de santé (y compris la fabrication). Il couvrira les cinq domaines suivants :

- Réorientation de la fabrication de fournitures et d'équipements médicaux vitaux (23 millions d'euros).
- Technologies médicales, outils numériques et analyse de l'intelligence artificielle pour améliorer la surveillance et les soins à des niveaux de préparation technologique élevés (56 millions d'euros).
- Impacts comportementaux, sociaux et économiques des ripostes aux flambées (20 millions d'euros).
- Cohortes paneuropéennes Covid-19 (20 millions d'euros).
- Collaboration des cohortes européennes et internationales existantes et pertinentes pour le Covid-19 (3 millions d'euros).

Les cohortes citées mènent des études prospectives et des collectes de données tout en examinant les données déjà recueillies.

## Deux projets de fabrication additive pour la lutte contre le COVID-19

La Commission européenne est consciente des actions menées par le secteur de la fabrication additive dans son ensemble. Certains projets ont ainsi reçu un financement du Conseil européen de l'innovation (*European Innovation Council* - EIC) pour soutenir leur action.

**Le projet « Repair3D »**, dirigé par la société italienne Warrant Hub, mène des travaux sur les nouvelles voies de recyclage dont celui des polymères courants, utilisés dans les produits de tous les jours. Ce recyclage a pour objectif de réutiliser la matière pour fabriquer des produits compétitifs et hautement personnalisés à des coûts de production bas. Durant la crise sanitaire, les chercheurs du projet « Repair3D » ont – comme de nombreux acteurs – adapté leurs outils et équipements d'études afin de produire des écrans faciaux de protection et de lutter contre le manque de dispositifs médicaux dans les hôpitaux. Les matériaux recyclés seront repensés et remodelés afin de fabriquer des produits utiles pour les hôpitaux.

**Le projet « M3DLoC »**, dirigé par l'Université technique nationale d'Athènes, en Grèce, travaille sur les connaissances et les technologies en ingénierie des matériaux et en impression 3D plastique biodégradable. Ces travaux doivent aboutir à des applications médicales développées, dont la mise en place de solutions pour répondre aux pénuries critiques d'équipements de protection individuelle (EPI) pour les hôpitaux.



## LA FABRICATION ADDITIVE DE PIÈCES COMESTIBLES FONCTIONNELLES

**La fabrication additive permet l'obtention de pièces comestibles. Il devient alors possible de contrôler l'apport en calories et en ingrédients de façon précise, par exemple pour les applications thérapeutiques personnalisées. Mais l'impression se complexifie. Des travaux de recherche sont menés à INRAE sur la mise en œuvre de biopolymères à l'état fondu et leur dépôt sous forme de gels. Présentation !**

Par **Laurent Chaunier**, INRAE-Centre Pays de la Loire, UR 1268 BIA,  
et **Stéphane Portanguen**, INRAE-Centre Clermont Auvergne-  
Rhône-Alpes, UR 370 QuaPA.

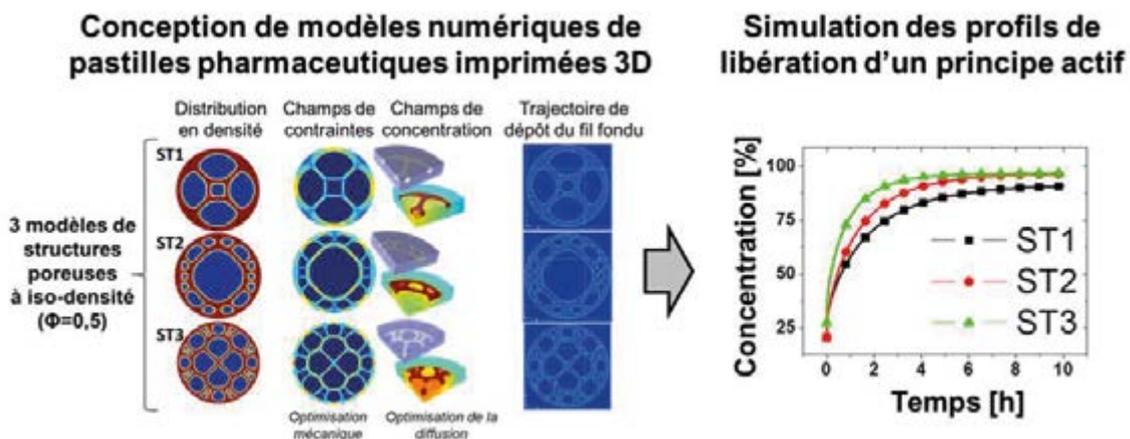
L'impression 3D peut être appliquée aux domaines pharmaceutique et alimentaire pour la réalisation de pièces comestibles obtenues à façon. Leur porosité, leur texture et le relargage de composés d'intérêt (c.-à-d. nutriments, principes actifs) sont alors contrôlés à l'échelle microstructurale. La mise au point de matrices et de dispositifs de dépôt de matière permettant l'obtention de pièces comestibles imprimées en 3D sera illustrée par deux exemples de travaux de recherche menés à l'INRAE (l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique ayant fusionné avec l'IRSTEA) sur la conception de biopolymères à l'état fondu et leur dépôt sous forme de gels.

## Le dépôt d'un biopolymère thermoplastique

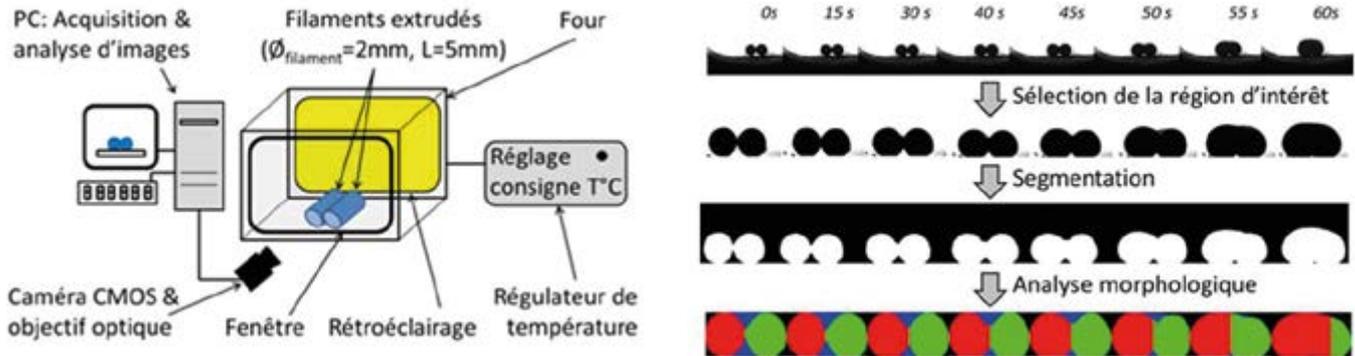
La mise en œuvre de biopolymères naturels par fabrication additive par dépôt de fil fondu (FA-DFF) ouvre des perspectives pour des applications dans le domaine pharmaceutique ou pour l'alimentation personnalisée, en bénéficiant de leur comestibilité et de leur résorbabilité [1, 2]. Elle nécessite tout d'abord la mise au point de modèles numériques de pièces imprimées 3D permettant de cibler le relargage d'une molécule d'intérêt, tel un principe actif depuis une pastille pharmaceutique, selon la porosité contrôlée par le procédé de fabrication additive (figure 1). Ensuite, l'obtention de telles pièces nécessite le développement de matériaux à base de biopolymères thermoplastiques formulés, de façon à garantir leur mise en œuvre à l'état fondu au cours des phases d'écoulement, d'adhésion puis de rigidification lors de leur impression tridimensionnelle.

Les travaux de recherche réalisés dans l'unité BIA d'INRAE Nantes montrent que la zéine, une protéine extraite des grains de maïs, plastifiée par 20 % de glycérol peut être extrudée sous forme de filaments à une température de l'ordre de 130 °C. Ces filaments extrudés présentent alors des propriétés thermomécaniques correspondant aux spécifications du procédé FA-DFF visé. En effet, ils ont une température de transition vitreuse  $T_g$ , de l'ordre de 42° C après stockage en conditions standards, à une humidité relative de 59 % et pour une température de 20° C. Ils sont alors rigides dans les conditions ambiantes, permettant ainsi l'obtention de pièces mécaniquement stables après leur impression. Ces filaments extrudés présentent une relaxation mécanique principale à  $T_a=55°$  C, suivie de l'obtention d'un fondu au comportement viscoélastique rhéofluidifiant pour une température supérieure à 80° C [3, 4]. Les conditions d'obtention de fondus à base de zéine plastifiée, ainsi que leurs propriétés en écoulement à haute température, permettent d'envisager le dépôt de ce biopolymère sous la forme d'un fil fondu, donnée par la filière de la buse d'une imprimante 3D de type FA-DFF.

Figure 1. Optimisation des propriétés de transfert de structures poreuses à base d'un biopolymère d'après une approche multiphysiques (adapté de [3]).



**Figure 2.** Schéma du dispositif expérimental permettant le suivi de la fusion-adhésion de deux filaments extrudés à base de zéine (a-). Représentation schématique des principales étapes du traitement d'images de fusion-adhésion entre deux filaments juxtaposés ( $\varnothing_{\text{filament}} \approx 2\text{mm}$  ;  $T = 130^\circ\text{C}$ ) (b-) (adapté de [5]).



Lors du dépôt de matière, en sortie de filière de la buse, les mécanismes à la base de la coalescence des fondus par soudage thermoplastique garantissent la cohésion entre les couches de matière déposées au cours de l'impression 3D. Ils impliquent leur tension de surface,  $\Gamma$ , force motrice de ce phénomène, et leur viscosité,  $\mu$ . Ces propriétés sont peu détaillées dans la littérature dans le cas des biopolymères, alors qu'elles sont d'une importance capitale pour la mise au point de matériaux dont l'imprimabilité 3D est visée. Un dispositif expérimental, inspiré du procédé FA-DFF, a donc été mis au point pour suivre la coalescence de deux filaments extrudés à base de zéine, placés dans un four instrumenté lors d'essais en conditions isothermes. Une analyse automatisée des images acquises pendant la fusion-adhésion des deux filaments juxtaposés permet alors le suivi de la longueur du front de fusion entre eux (**figure 2** ; [5]).

L'application de modèles du phénomène de coalescence de polymères thermoplastiques placés à haute température a permis la détermination du temps caractéristique de frittage visqueux des fondus à base de zéine plastifiée ( $t_{vs}$ ), ainsi que sa dépendance à la température.

Entre 120 et 130° C, ce temps caractéristique est proche de celui de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), polymère synthétique amorphe standard en FA-DFF, à sa température classique de mise en œuvre à l'état fondu en impression 3D ( $t_{vs\_ABS\_240^\circ C} \approx 41s$ ) [5]. Ces valeurs peuvent être rap-

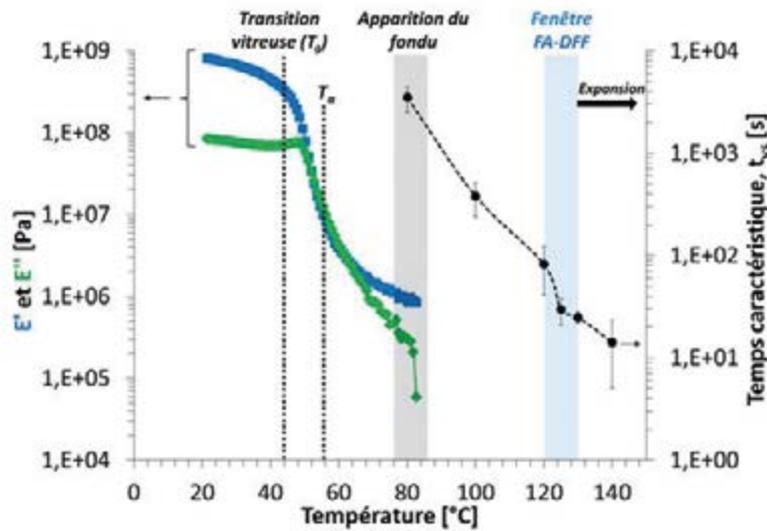
prochées de celles déterminées en calorimétrie ( $T_g = 42^\circ\text{C}$ ) et en analyse mécanique dynamique ( $T_a = 55^\circ\text{C}$ , avec l'apparition de l'état fondu à partir de 80° C). Elles permettent ainsi de définir la fenêtre d'impression 3D de la zéine plastifiée dans cette gamme de températures (**figure 3**).

Les filaments extrudés à base de zéine plastifiée ont donc des propriétés thermomécaniques, rhéologiques et de surface du même ordre de grandeur que celles de polymères synthétiques standards en FA-DFF à leurs températures d'impression 3D. Ils présentent de bonnes capacités de coalescence à l'état fondu, dans une fenêtre relativement étroite de mise en œuvre, pour des températures de  $120 \leq T \leq 130^\circ\text{C}$ , ce qui correspond à  $T_g + 80$  à  $90^\circ\text{C}$ , respectivement.

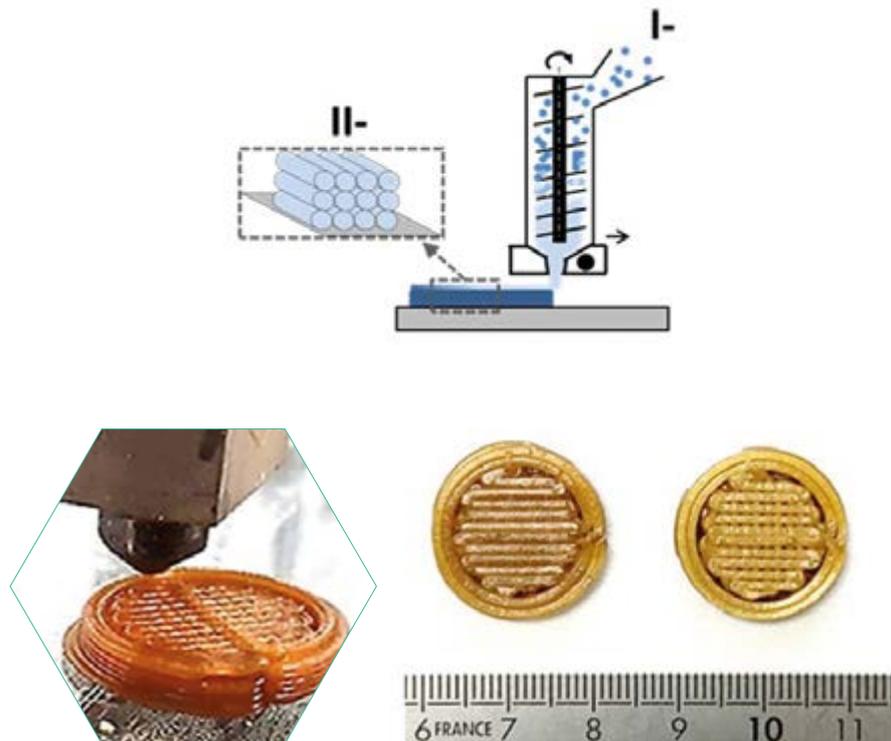
Au cours de cette étude, en collaboration avec le plateau technique CompositIC de l'Université de Bretagne-Sud, la zéine plastifiée a pu être mise en œuvre par l'un de leur prototype de fabrication additive par dépôt de fil fondu. La buse de dépôt de cette imprimante 3D ( $\varnothing_{\text{filière}} = 1\text{mm}$ ) est alimentée par une extrudeuse mono-vis miniaturisée ( $\varnothing_{\text{vis}} = 8\text{mm}$  ;  $L_{\text{vis}} = 42\text{mm}$  ; **figure 4**) qui permet l'obtention d'un fondu sans l'extrusion préalable d'un filament calibré, limitant ainsi l'agrégation thermique de la zéine.

L'impression 3D de ce biopolymère permet alors l'obtention de pastilles pharmaceutiques à porosité maîtrisée grâce à ses propriétés thermorhéologiques et ses capacités de fusion-adhésion déterminées au cours des travaux de recherche.

**Figure 3.** Détermination de la fenêtre d'ouvrabilité de la zéine plastifiée par 20 % de glycérol en fabrication additive par dépôt de fil fondu (FA-DFF) : 120-130° C. Évolution des propriétés thermomécaniques ( $E'$  [Pa],  $E''$  [Pa], module de stockage; module de perte) et du temps caractéristique de frittage visqueux ( $t_{vs}$  [s], -●-). Avec :  $T_g = 42^\circ\text{C}$ , la température de transition vitreuse ;  $T_m = 55^\circ\text{C}$ , la température de relaxation mécanique principale et l'apparition de l'état fondu à partir de  $80^\circ\text{C}$  (adapté de [5]).



**Figure 4.** Schéma d'illustration de l'imprimante 3D FA-DFF par extrusion-dépôt et impression 3D de la zéine plastifiée : extrusion (I-) simultanée au dépôt de fondu (II-) (a-). Zéine à l'état fondu en sortie de filière ( $\varnothing_{\text{filière}} = 1\text{ mm}$  ;  $V_{\text{dépôt}} = 2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et obtention de pièces imprimées cohésives, telles que des pastilles pharmaceutiques modèles, par l'adhésion des filaments juxtaposés et superposés ( $\varnothing_{\text{pastille\_modèle}} = 20\text{ mm}$ ,  $h_{\text{pastille\_modèle}} = 4,8\text{ mm}$  -soit 8 couches de filament superposées, avec un pas de déplacement vertical de 0,6 mm- ; b- et c-). Collaboration : INRAE Pays de Loire, BIA/GEPEA/CompositIC-IRD.



## Le dépôt de gels

Fabrication additive et alimentation ne sont pas des termes que nous associons spontanément. Néanmoins, depuis deux à trois ans, de nombreuses applications alimentaires émergent à travers le monde. Il est d'ailleurs possible de les discriminer en deux catégories : 1) les applications liées à la créativité et au design alimentaire ; et 2) la personnalisation de l'alimentation et la conception d'aliments fonctionnels.

La première catégorie consiste le plus souvent à déstructurer un aliment et à le réimprimer sous une autre forme dans le but de le rendre plus appétent ou de lui apporter une plus-value d'un point de vue commercial. Les aliments concernés par cette forme de transformation sont essentiellement issus du monde végétal. En effet, la présence de chaînes glucidiques (amidon, pectine...) est un prérequis pour une imprimabilité correcte. L'imprimabilité d'un matériau se définit comme l'ensemble des propriétés permettant à celui-ci d'avoir une stabilité dimensionnelle suffisante pour supporter son propre poids [6]. Les aliments types utilisés pour ces impressions sont les pâtes alimentaires, les pâtes à gâteaux, ou bien encore le chocolat qui, grâce à son taux en matières grasses (lubrification de l'extrudeur) et à son point de fusion, est un bon candidat pour cette technologie. Mais, bien souvent, la présence de glucides est insuffisante pour structurer l'aliment imprimé, en partie à cause des phénomènes de cisaillement engendrés par le passage au travers de la buse. Le recours à des additifs texturants est alors nécessaire (gomme de guar, dextrane...).

La seconde catégorie, celle des aliments fonctionnels et de la personnalisation, est pour l'essentiel encore cantonnée aux laboratoires. D'ailleurs, cette catégorie peut, elle-même être scindée en deux sous-catégories en fonction de la population visée. Tout d'abord, le concept de personnalisation qui, comme le montre une étude [7], permet d'adapter la diète aux besoins de la personne en fonction de son mode de vie. Le champ d'application devient alors très vaste selon que l'on parle des enfants, des sportifs ou des sédentaires. Il devient ainsi possible de contrôler l'apport en calories et en ingrédients de façon précise. En ce qui concerne la conception d'aliments fonctionnels, une dimension thérapeutique est ajoutée. Les travaux de l'unité QuaPA (INRAE) se concentrent sur ces aspects en prenant pour population cible les personnes âgées. Le contexte mondial est tel que cette population va fortement augmenter au cours des prochaines décennies (2 milliards de personnes de plus de 60 ans en 2050, dont 434 millions de plus de 80 ans), entraînant de ce fait une hausse des pathologies liées à l'âge, et notamment le risque de malnutrition protéino-énergétique aboutissant souvent à la sarcopénie. Cette pathologie, multifactorielle, est fortement corrélée à une carence en protéines due, pour partie, à des problèmes de mastication et/ou de déglutition [8]. Dans ce contexte, l'aliment qui disparaît en premier de la diète est la viande ; or, elle constitue une source de protéines majeure et plus facilement biodisponible que les protéines d'origine végétales [9]. Mais, du côté de la fabrication

GÉLATINE PURE IMPRIMÉE EN 3D SANS  
ADDITIFS EN CONTRÔLANT LE DÉBIT AINSI  
QUE LES TEMPÉRATURES D'EXTRUSION  
ET SURTOUT DE DÉPÔT.



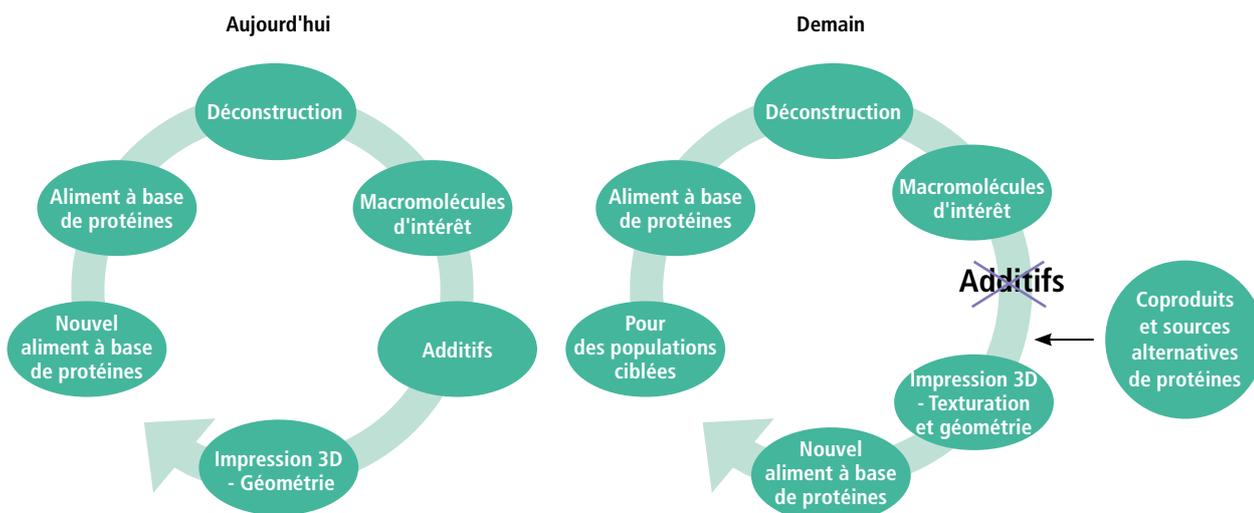
additive, un verrou technologique important perdure : celui de l'utilisation de produits carnés. À l'heure actuelle, personne n'est capable d'imprimer des produits animaux sans ajouter d'additifs de type transglutaminase (enzyme interdite en France, permettant la formation de liaisons covalentes au niveau protéique) ou autres agents texturants [10]. L'évolution des tendances que nous envisageons pour l'impression d'aliments riches en protéines est schématisée dans la **figure 5**.

Afin de passer outre l'utilisation d'additifs, la voie du procédé est à privilégier. En effet, la texturation d'une matrice est très fortement dépendante des paramètres physiques du procédé, et en parti-

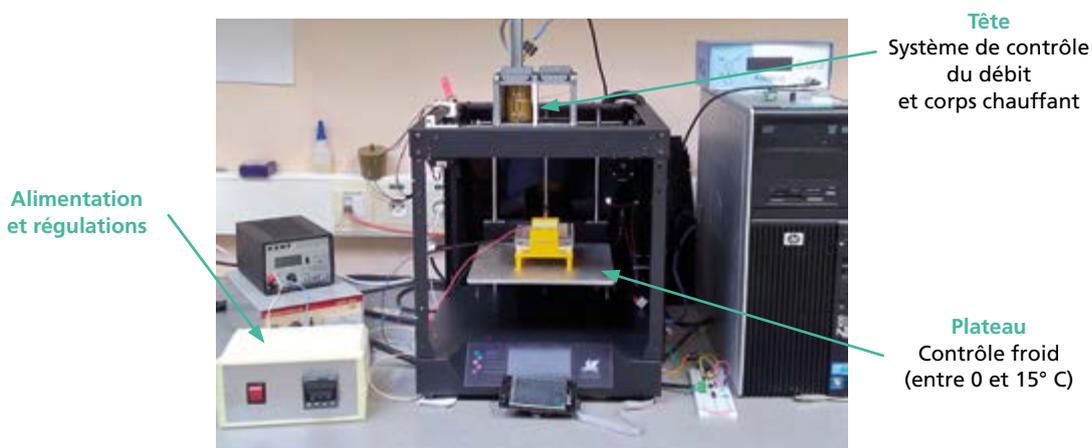
culier de la température. Alors que la plupart des études portent sur la température et le débit d'extrusion, la température de dépôt revêt également une grande importance. Les premiers travaux de l'unité QuaPA ont donc consisté à développer une imprimante 3D capable de déposer des couches de milieu modèle (gélatine) avec des paramètres parfaitement contrôlés. La **figure 6** montre les différents éléments modifiés et/ou développés à partir d'une imprimante 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*) du commerce.

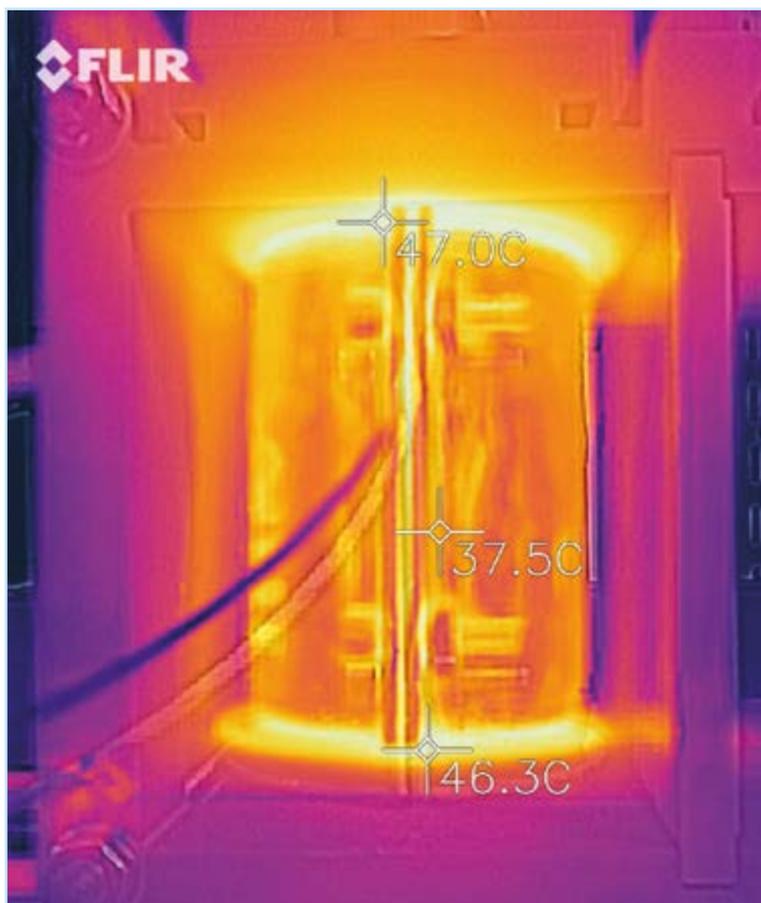
Les têtes d'impression des imprimantes commerciales fonctionnent, pour la plupart, avec des moteurs pas à pas permettant d'extruder un filament. ▶

**Figure 5. Évolution envisagée pour l'impression 3D de nouveaux aliments à base de protéines dans les années à venir.**



**Figure 6. Imprimante 3D commerciale modifiée pour l'impression d'aliments fonctionnels.**





Cette technique peut être adaptée afin de fabriquer un pousse-seringue en remplaçant le système d'entraînement du filament par un réservoir muni d'un piston ou d'une vis sans fin. Lors de précédents travaux, nous avons développé une tête basée sur cette méthode de pousse-seringue, mais qui a rapidement montrée ses limites. En effet, le contrôle de la descente du piston est délicat et les vitesses dépendent de la matrice utilisée. Pour des gels relativement visqueux (mélange gélatine/polysaccharides), la rétraction pose un réel problème. Malgré une inversion de la rotation du moteur assurant le déplacement du piston, un écoulement de la matrice est constaté durant plusieurs minutes en raison de la pression accumulée à l'intérieur de la seringue. La conséquence est qu'il est très difficile de maîtriser la géométrie de l'objet imprimé. Afin de s'affranchir de ce problème, un doseur magnétique de précision a été couplé à l'imprimante. Ce système a l'avantage, grâce à un contrôle extrêmement précis de son moteur, de permettre de déposer des matrices de viscosité très

différentes, allant de l'eau au gel cité ci-dessus. Ce dispositif de contrôle du débit est intégré dans un support dessiné et imprimé en acide polylactique (PLA). Celui-ci permet un montage / démontage facile du doseur pour les phases de remplissage et de nettoyage, voire de changement de consommables. Cette dernière phase n'est que très rarement optimisée sur les imprimantes 3D modifiées. Ce dispositif est composé de deux parties mobiles permettant de maintenir le doseur, et il est possible d'installer deux doseurs volumétriques sur la tête d'impression dans l'objectif d'enrichir le nombre d'ingrédients utilisés pour imprimer l'aliment. Un espace suffisant est également réservé à la mise en place d'un collier chauffant qui va permettre de réguler en température la partie utile du doseur volumétrique, buse comprise. Le plateau d'origine de l'imprimante est remplacé par une plaque d'aluminium sur laquelle est fixé un dispositif, lui aussi dessiné et imprimé, comprenant un module à effet Peltier reposant sur un dissipateur de chaleur muni d'un ventilateur. Le module Peltier est recouvert d'une plaque de verre servant de plateau d'impression, offrant ainsi une surface d'impression de 16 cm<sup>2</sup>. Les premiers résultats montrent qu'il est possible d'imprimer un gel à base de produits carnés sans additifs, en contrôlant le débit ainsi que les températures d'extrusion et surtout de dépôt (figure 7).

Maintenant, il reste à fabriquer un aliment fonctionnel qui devra présenter des propriétés texturales adaptées à la population cible, mais également permettre un apport nutritionnel optimal. En effet, la gélatine, utilisée comme milieu modèle, n'est qu'un support relativement pauvre en acides aminés essentiels. D'autres sources de protéines devront donc être intégrées, y compris, dans une démarche de développement durable, celles issues de produits carnés actuellement mal valorisés. Un autre verrou technologique reste également à surmonter : l'effet de la température d'extrusion sur la dénaturation protéique, et en particulier celle du collagène. Nos travaux ont permis de mettre en évidence qu'une température de 40° C avait déjà un impact sur la résistance à la pénétration du gel et que celle-ci décroissait de façon quasi linéaire jusqu'à 60° C (force de pénétration divisée par 3 par rapport au témoin à 20° C).

## Conclusions

La fabrication additive permet l'obtention de pièces comestibles à porosité contrôlée pour la libération de molécules d'intérêt nutritionnel ou thérapeutique, à partir de biopolymères. Les défis à relever maintenant, pour aller plus loin vers l'alimentation et les applications thérapeutiques personnalisées, sont multiples. Tout d'abord, il s'agit de la connaissance des interactions entre les principes actifs, ou nutriments, et les matrices biopolymères, pour la conception de modèles numériques 3D de pièces imprimées aux cinétiques de relargages optimisées. Ensuite, il y a l'amélioration des dispositifs de dépôt de matière, pour correspondre aux spécificités de la mise en œuvre de biopolymères, notamment des températures plus faibles que celles nécessaires à l'impression 3D de polymères synthétiques et pour des temps de séjour relativement courts.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Éric LEROY et Sofiane BELHABIB (GEPEA, UMR CNRS 6144), Guy DELLA VALLE, Denis LOURDIN et sofiane GUES-SASMA (BIA, UR INRAE 1268), Yves GROHENS, Yves-Marie CORRE et Erwan LENEVEU (plateau technique CompositIC, IRDL, UMR CNRS 6027), ainsi que Pierre-Sylvain MIRADE et Pascal TOURNAYRE (QuaPA, UR INRAE 370).

**Figure 7.** Gélatine pure imprimée en 3D en fonction des paramètres du procédé (photos page 46).

Buse (Ø mm)	Ep. couche (mm)	V impr. (mm.s <sup>-1</sup> )	Remplissage
1,55	0,2	40	20, linéaire
1,19	0,2		
1,19	0,4		
1,19	0,3	20	50, concentrique
1,19	0,3	10	

## Références bibliographiques

- [1] A. Goyanes, A. B. M. Buanz, A. W. Basit, S. Gaisford. "Fused-filament 3D printing (3DP) for fabrication of tablets". *International Journal of Pharmaceutics*, 476(1-2) :88-92, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.09.044>.
- [2] H. De Vries, M. Mikolajczak, J.M. Salmon, J. Abecassis, L. Chaunier, S. Guessasma, D. Lourdin, S. Belhabib, E. Leroy, G. Trystram. "Engineering food processes at small scale, challenges and perspectives". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 46 : 122-130. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.009>.
- [3] L. Chaunier, S. Guessasma, S. Belhabib, G. Della Valle, D. Lourdin, E. Leroy. "Material extrusion of plant biopolymers: Opportunities & challenges for 3D printing". *Additive Manufacturing*, 20 : 220-233. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.016>.
- [4] L. Chaunier, G. Della Valle, M. Dalgalarondo, D. Marion, D. Lourdin, E. Leroy. "Rheology and structural changes of plasticized zeins". *Rheologica Acta*, 56(11) : 941-953. 2017. <https://doi.org/10.1007/s00397-017-1045-9>.
- [5] L. Chaunier, G. Della Valle, D. Lourdin, A. L. Réguerre, K. Cochet, E. Leroy. "Viscous sintering kinetics of biopolymer filaments extruded for 3D printing". *Polymer Testing*, 77 (105873). 2019. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.04.020>.
- [6] F. C. Godoi, S. Prakash, B. R. Bhandari. "3D printing technologies applied for food design: Status and prospects". *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.
- [7] A. Derossi, A. Husain, R. Caporizzi, C. Severini. "Manufacturing personalized food for people uniqueness. An overview from traditional to emerging technologies". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-19. 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1559796>.
- [8] S. Saffel-Shrier, M.A. Johnson, S.L. Francis. "Position of the Academy of Nutrition and Dietetics and the Society for Nutrition Education and Behavior: Food and Nutrition Programs for Community-Residing Older Adults". *Journal of Nutrition Education Behavior*, 51(7), 781-797. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.03.007>.
- [9] A. I. C. Donaldson, A.M. Johnstone, B. de Roos, P.K. Myint. "Role of protein in healthy ageing". *European Journal of Integrative Medicine*, 23, 32-36. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2018.09.002>.
- [10] A. Dick, B. Bhandari, S. Prakash. "3D printing of meat". *Meat Science*, 153, 35-44. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>.



# UN NOUVEL ACIER DE MÉCANICIEN

## LA NUANCE 32CDV13

Le CETIM & VOLUM-e se sont associés pour étendre le champ applicatif de la fabrication additive en développant l'acier 32CDV13. Cet acier, très souvent nitruré pour renforcer sa surface, est couramment utilisé pour produire des éléments mécaniques fortement sollicités tels que des engrenages, des bagues de roulement, des pièces de précision dans de très nombreux domaines dont l'aéronautique et la mécanique générale.

Christophe Grosjean, chef de projet en fabrication additive au Cetim,  
et Éric Baustert, responsable R&D chez VOLUM-e

La fabrication additive métallique se heurte actuellement à de nombreux freins, et en particulier à un choix restreint d'alliages, principalement constitué du quatuor de familles suivant : aciers inox, aluminiums, titanes et base nickel. Des problématiques particulières s'appliquent dans la famille des aciers. De nombreux alliages se révèlent peu soudables et donc difficiles à mettre en œuvre. Cela limite généralement la fabrication additive aux aciers peu alliés (à faible taux de carbone). Pour lever un pan de ce frein technologique, VOLUM-e s'est associé au CETIM pour étudier la mise en œuvre d'un alliage à plus fort taux de carbone : le 33CrMoV12-9, aussi connu sous son ancienne désignation « 32CDV13 ».

### Paramétrage et caractérisation

Spécialiste de la fusion laser sur lit de poudre (PBF-LB), VOLUM-e a produit, pour cette étude, des éprouvettes avec une paramétrie développée en interne, notamment avec une température élevée de la plateforme de fusion. Une procédure a également été mise en place pour assurer une protection de l'alliage à la corrosion pendant les phases de post traitement. Plusieurs configurations de traitement thermique ont été testées :

- l'état brut de fabrication additive,
- l'état trempé – revenu.

Le CETIM a pris en charge les analyses et essais mécaniques pour la caractérisation du matériau. Les performances ont été comparées avec un produit de même nuance, laminé et traité thermiquement simultanément.

## Structure et performance

L'analyse chimique réalisée sur cette production a montré la proximité du métal fusionné avec la norme aéronautique EN 3527 Série aérospatiale – Acier FE-PL1504 (33CrMoV12) ainsi qu'avec la norme générale NF EN 10085 sur les aciers pour nitruration. L'analyse micrographique a elle aussi montré une microstructure martensitique après trempe-revenu typique de cette nuance. Un taux de porosité faible, aux alentours de 0,1 %, a également été observé. Les micrographiques ont aussi démontré l'aptitude des pièces réalisées en fabrication additive à la nitruration, ne montrant pas de différence notable avec le produit référence. Ces résultats ont été confirmés par des profils de dureté.

Du point de vue mécanique, les performances à l'état brut ont largement excédé les exigences normatives et les performances du produit laminé. Toutefois, la présence d'importantes contraintes résiduelles ne permet pas de conserver cet état métallurgique en service.

Après un traitement usuel de trempe et revenu, les performances mécaniques restent élevées et légèrement supérieures au produit laminé. Elles sont largement conformes voire dépassent les critères normatifs retenus. Les contraintes résiduelles issues de la fabrication ont quant à elles été totalement relaxées.

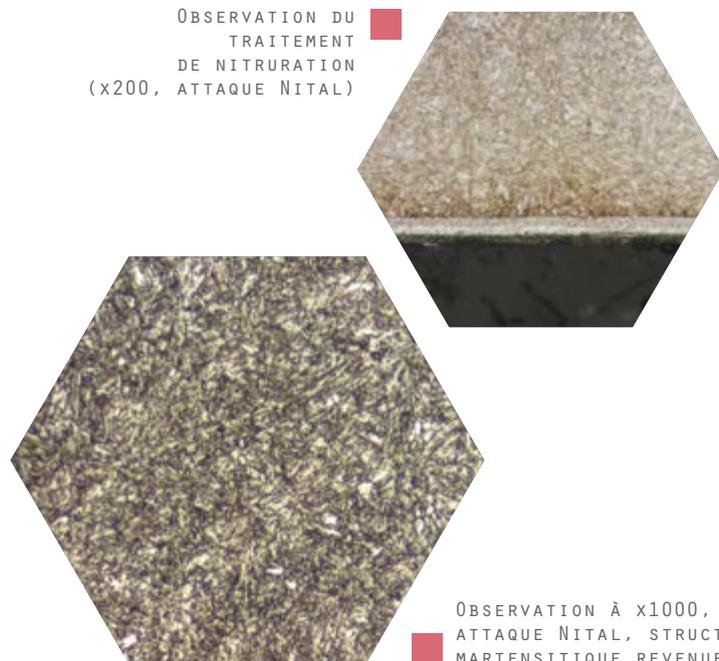
Enfin, un démonstrateur produit a validé la possibilité de fabriquer des pièces de géométrie complexe. Il a notamment été démontré la possibilité de réaliser des canaux internes. En outre, l'état de surface mesuré est courant pour ce procédé. Aucune fissuration ni déformation particulière n'a été observée.

## Production et perspectives

Cette étude conjointe du CETIM et de VOLUM-e a mis en avant la possibilité réelle d'utiliser l'acier 32CDV13 pour la production de pièces par fusion laser sur lit de poudre. Cette nouvelle nuance offre des possibilités supplémentaires pour l'industrie. De surcroît, la capacité de l'alliage à être nitrurée, permet d'envisager des applications avec des contraintes mécaniques particulièrement sévères. Enfin, cela permet d'ouvrir la voie à l'utilisation d'autres aciers au carbone.

VOLUM-e fabrique aujourd'hui une pièce dans cet alliage 32CDV13 pour Safran Transmissions Systems qui se charge ensuite de l'usinage. Plusieurs autres projets autour de ce matériau sont en cours notamment pour un autre industriel resté confidentiel.

OBSERVATION DU  
TRAITEMENT  
DE NITRURATION  
(x200, ATTAQUE NITAL)



OBSERVATION À x1000,  
ATTAQUE NITAL, STRUCTURE  
MARTENSITIQUE REVENUE

		Traction				Dureté	Énergie de rupture
		R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	A% base 25	Z%	HV30	KV <sub>2</sub>
Fabrication additive	Brut	1524	1352	17	47	488	54
	Trempé + revenu	1354	1160	17	60	415	76
Laminé (référence)	Trempé + revenu	1314	1113	18	64	406	74
Exigences de la norme NF EN 10085 16 ≤ d ≤ 40 mm à l'état trempé/revenu		1150 à 1 350	>950	>11	-		>30
Exigences de la norme EN 3527 à l'état trempé/revenu		1200 à 1350	>1000	>10	-		>40



## IMPRIMEZ VOTRE FUTUR EN GRAND EST

Depuis quelques années, le marché de la fabrication additive croît de plus de 20 % par an. La technologie s'industrialise et révèle ses atouts en contexte de crise. La France regroupe de nombreux acteurs sur l'ensemble du territoire – institutionnels, académiques et industriels – qui engagent de plus en plus d'initiatives pour développer la technologie... comme en Région Grand Est.

Par **Gaëtan Lefèvre**, rédacteur en chef

**D**e Strasbourg à l'est à Nogent-sur-Seine à l'ouest, la Région Grand Est s'étend sur 57 500 km<sup>2</sup>. Elle compte dix départements : Ardennes, Aube, Bas-Rhin, Haute-Marne, Haut-Rhin, Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges. Elle est un lieu important pour le secteur français de la fabrication additive. Premièrement, elle regroupe de nombreux acteurs tels le pôle de compétitivité Materalial, des centres de R&D et de transfert de technologies, des plateformes comme INORI, CIRTES, IREPA LASER, l'Institut de Soudure,

Platinum 3D, des laboratoires universitaires, ainsi que de nombreux autres offreurs de solutions. Deuxièmement, elle est l'un des berceaux de la technologie avec les procédés Stratoconception et CLAD. La Région mise également sur la technologie pour être plus attractive. Ainsi elle a lancé le projet de « Filière Fabrication Additive Grand Est », ou encore la FrenchFab Grand Est, un collectif de partenaires qui accompagne les entrepreneurs et les industriels vers l'industrie 4.0 et la transition numérique.

## Berceau de la fabrication additive

### La Stratoconception et l'origine de la technologie

Dans les années 1980, entre Nancy et Saint-Dié-des-Vosges, la fabrication additive française faisait ses premiers pas. Si l'on parle généralement du professeur émérite Jean-Claude André et de la stéréolithographie pour aborder les origines de l'impression 3D en France, il faut noter que le professeur Claude Barlier et son équipe de génie mécanique ont également joué un rôle pionnier. Dès les années 1980, ils ont su percevoir le potentiel du prototypage rapide, et ils ont très tôt travaillé sur les procédés de fabrication additive. Il faudra, toutefois, attendre 1991 pour que naisse le CIRTES (Centre européen de développement rapide de produit) et que soit déposé le brevet de la Stratoconception, l'un des procédés les plus anciens.

La Stratoconception utilise un procédé de découpe (fil, laser ou cutter) ou le micro-fraisage rapide pour fabriquer des couches. Pour concevoir une pièce, un matériau – bois, polymère, métal – est tranché en plaques (panoplie recto/verso) avant d'être assemblée par imbrication de strates 3D. Ce procédé permet la fabrication de pièces mécaniques, de maquettes, de modèles et d'outillages, quel que soit le matériau, sans limitation de forme intérieure ou extérieure ni de taille. À l'inverse de nombreux procédés, il nécessite une étape d'assemblage qui est entièrement intégrée dans le processus (station automatique) ou sur un poste de post-traitement séparé (semi-automatique). Le pourcentage de déchets reste faible (découpe en panoplie) et le système nécessite une faible puissance installée, rapportée à la taille des pièces réalisées (jusqu'à 10 fois moins qu'en soustractif).

Aujourd'hui, le CIRTES diffuse le procédé de Stratoconception dont il est propriétaire, et l'utilise également pour fabriquer au quotidien des pièces pour ses clients tels qu'Airbus, la SNCF, EDF, Safran ou encore ArianeGroup, sur ses deux sites de Saint-Dié et Carmaux. Il possède et maîtrise historiquement l'ensemble des technologies de fabrication additive et de fabrication soustractive qu'il utilise sur sa plate-forme pour réaliser des démonstrations et des comparaisons. Il est acteur de projets collaboratifs nationaux (C-FAST) et européens (KYKLOS). Il est également à l'origine de la création d'INORI (voir ci-dessous) et du pôle d'excellence VirtuReal, spécialisée dans le développement rapide de produits et la fabrication additive. Il a aussi développé et breveté l'emballage rapide 3D Pack&Strat et la surveillance de l'usinage Actarus. Enfin, en juin 2019, sollicité par la Région, il a créé, avec d'autres industriels régionaux, la Filière Fabrication Additive du Grand Est, AddAGE.



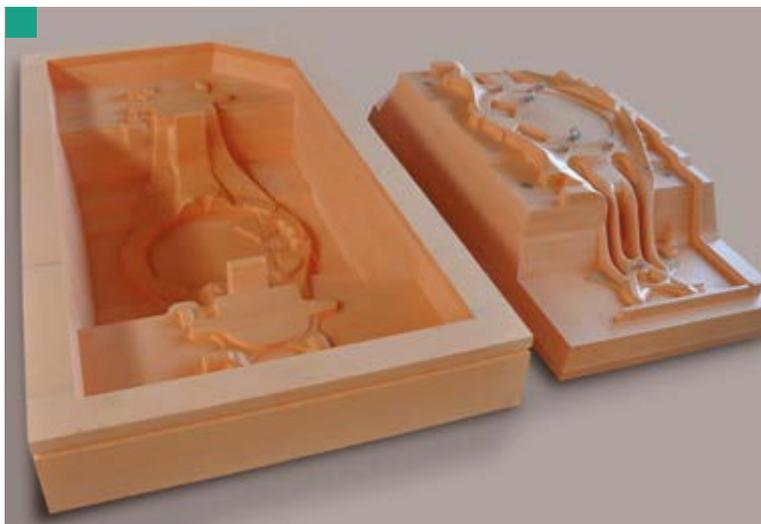
OUTILLAGE DE THERMOFORMAGE AVEC CANAUX CONFORMABLES, POUR L'AÉRONAUTIQUE, RÉALISÉ EN STRATOCONCEPTION ALUMINIUM (1 MÈTRE).



## AddAGE, une filière régionale à vocation nationale et internationale

Il y a environ un an, la Région Grand Est s'est dotée d'un outil encore trop rare sur notre territoire : une plateforme dont le but est de regrouper l'ensemble des acteurs du secteur de la fabrication additive. Sollicité par la Région, un groupe d'industriels dont le CIRTES, Irepa Laser, l'Institut de Soudure, le pôle de compétitivité Materialia et l'Institut Mines-Télécom s'est rassemblé autour de la plateforme INORI SAS pour lancer la « Filière Fabrication Additive du Grand Est », nommée « AddAGE ». Celle-ci doit permettre de structurer et de fédérer, avec une priorité donnée au développement économique, des acteurs de la fabrication additive régionale. L'initiative est réalisée à la suite de l'appel à projets « Be Est-Filières d'Avenir », dans le cadre du programme d'investissement d'avenir (PIA). Situé au pôle VirtuReal à Saint-Dié-des-Vosges, ce consortium souhaite développer une filière de fabrication additive de référence et accélérer l'intégration de ces technologies pour les entreprises industrielles, en particulier les petites et moyennes entreprises (PME) et les entreprises de taille intermédiaire (ETI). « Aujourd'hui, nous arrivons à maturité et nous devons réfléchir à avancer ensemble », nous explique Claude Barlier, président du directoire, fondateur du Cirtes et d'INORI. La plateforme est également un outil permettant de rendre la Région attractive et de la positionner sur le plan national et international.

OUTILLAGE DE FONDERIE  
SABLE FABRIQUÉ  
PAR STRATOCONCEPTION  
EN RÉSINE (2 MÈTRES).



AddAGE regroupe et propose l'ensemble des procédés de fabrication additive. Grâce aux expertises de la Région et notamment de l'Institut de Soudure, elle travaille, par exemple, sur l'hybridation et les procédés fil. Son histoire, toutefois, place la plateforme comme expert en fabrication de pièces de grandes dimensions (maquettes, prototypes et outillages). Cette expérience vient des deux technologies qui fondent la réputation de la Région : la Stratoconception du CIRTES et le CLAD d'Irepa Laser.

Une trentaine de membres – industriels utilisateurs, sociétés de service, fabricants, centres techniques, plateformes, laboratoires, centres de formations – adhèrent déjà à la filière AddAGE. La filière a déjà recensé une centaine d'acteurs clés. Un annuaire est en cours de rédaction. Elle a également lancé un nouveau bachelor « Fabrications Additive et Innovantes » qui ouvre à la rentrée 2020. Il s'agit d'un diplôme de l'Institut Mines-Télécom. Le dernier CA de l'IMT vient en effet d'adopter sa création à Paris, le vendredi 26 juin. Le bachelor est piloté et géré par l'Institut Supérieur d'Ingénierie de la Conception (INSIC) à Saint-Dié-des-Vosges, avec ses partenaires UIMM Lorraine, Télécom Physique Strasbourg, Irepa Laser de Strasbourg et le CIRTES de Saint-Dié-des-Vosges. Cette formation est une année de spécialisation pour des techniciens supérieurs qui recevront des compétences sur l'ensemble des procédés de fabrication additive, en utilisant le parc machines des partenaires cités.

### Lasers et procédé CLAD

Autre technologie née dans la région, le procédé CLAD (« Construction Laser Additive Directe ») appartient à la famille du dépôt sous énergie dirigée (DED - Directed Energy Deposition). Inventé par Irepa Laser, un centre de ressources technologiques (CRT) spécialisé dans les procédés laser et les matériaux, il permet la fabrication de pièces de grandes dimensions, l'ajout de nouvelles fonctionnalités, la réparation de pièces ou encore la fabrication de pièces multimatériaux (multicouches) ou à gradient de matières (mélange progressif de différentes matières pour obtenir des gradients de propriétés). En 2012, la société BeAM naissait et devenait le premier fournisseur européen de machines de fabrication additive basées sur la technologie CLAD. L'entreprise strasbourgeoise, rachetée par AddUp en 2018, a été fondée par Irepa Laser avec comme objectif le développement d'une nouvelle génération de solutions DED.



PIÈCE DE STRUCTURE AÉRONAUTIQUE EN ALLIAGE  
Ti6Al4V FABRIQUÉE PAR PROCÉDÉ DED-CLAD  
(L. 110 CM) POUR LE PROJET EUROPÉEN AMAZE.

#### PROJET PAM-PROD D'IREPA LASER

Le projet PAM-PROD (« Procédés Additive Manufacturing - PROductivité ») vise la conception d'une plateforme de fabrication additive à destination des industriels ayant des besoins en fabrication de pièces métalliques de grandes dimensions. Plusieurs partenaires industriels mènent ce projet : APERAM Alloys, coordinateur du projet, IREPA LASER, PRODWAYS et TPSH, mais aussi des partenaires académiques : l'Institut Jean LAMOUR et l'ESTIA.

À l'heure actuelle, la grande dimension est synonyme de temps longs de fabrication. Or, la vitesse de dépôt est un paramètre important pour la rentabilité. Le projet PAM-PROD devrait permettre d'obtenir un coût d'exploitation plus en phase avec le marché. « Tous les indicateurs vont actuellement dans le bon sens : l'objectif des 800 cm<sup>3</sup>/h de matière déposée est atteint, ce qui est une belle performance en soi. Passer à plus de 1 000 cm<sup>3</sup>/h est réaliste », nous a récemment expliqué Jean-Paul Gauffillet, président de Irepa Laser. Cette machine hybride associe des technologies de dépôt de fil et de dépôt de poudre sur la même installation robotisée. Elle est destinée à fabriquer des pièces pouvant peser jusqu'à plusieurs tonnes et mesurer plus de 3 mètres de longueur. Une capacité qui répond aux besoins des secteurs de l'aéronautique, du nucléaire et de l'énergie. Il sera ainsi possible de construire ou reconstruire des pièces, de rapporter des fonctions ou réparer des parties de pièces existantes de grande taille, etc. Un système de contrôle de procédé permettra de garantir la performance de dépôt et la qualité finale de la pièce produite, et alertera l'opérateur en cas de dysfonctionnement. L'opérateur pourra alors intervenir à tout moment pour ajuster les paramètres opératoires. À terme, la machine doit pouvoir avoir une autonomie relative. La simulation thermomécanique fait également l'objet d'un développement spécifique, adapté aux grandes dimensions, dans le but de pouvoir prédire le comportement de la pièce pendant sa fabrication et ainsi permettre des corrections en fonction des déformations calculées.

La machine devrait être opérationnelle au second semestre 2020, puis débutera une phase de commercialisation. La dernière étape sera le transfert de la machine dans un bâtiment dédié, avec l'ensemble des moyens de fabrication additive. Cela permettra de démontrer la faisabilité auprès des industriels, tant sur la réalisation que sur la R&D. « Il s'agit pour nous d'un important projet structurant, représentant 7,5 millions d'euros, avec une aide obtenue de 4 millions dont 1,8 million d'avance remboursable. Dans cette optique, depuis fin 2019, nous avons quitté le statut associatif pour un statut coopératif. La gouvernance d'Irepa Laser regroupe aujourd'hui des salariés, des industriels et des partenaires : nous avons basculé vers une vraie logique entrepreneuriale », conclut le président.



DÉTAIL DU BUSAGE SUR UN OUTIL DE THERMOFORMAGE PAR STRATOCONCEPTION.

Irepa Laser est une société de recherche et développement industrielle, spécialisée dans les procédés lasers et les matériaux. Spécialiste de la fabrication additive et concepteur de la technologie CLAD, le membre fondateur de l'Institut Carnot Mica dispose d'un important parc machines pour accompagner les entreprises dotées d'équipements laser de haute technologie, allant de 10 W à 6 kW, de machines multi axes, de robots, mais aussi de centres de micro-usinage de dernière génération. Elle propose ainsi les technologies de lasers, de fabrication additive, de micro-usinage, de texturation 3D ou encore de soudage, et forme le public à leur utilisation. Elle est un acteur majeur de la Région Grand Est, qui mise beaucoup sur l'industrie du futur.

## Plans d'action en Région Grand Est

### Plan régional « Industrie du futur »

La Région Grand Est possède son schéma régional de développement économique, d'innovation et d'internationalisation (SRDEII). Baptisé « Be EST », ce dernier met à disposition un ensemble d'outils adaptés au service des entreprises et des industriels pour faire « de l'économie du Grand Est est une économie volontariste, innovante et prête à relever et anticiper les nouveaux défis de la 4<sup>e</sup> révolution industrielle ». Le plan régional « Entreprise 4.0 » propose ainsi un plan d'action aux PME industrielles, artisanales et agricoles regroupant des solutions technologiques innovantes, afin de transformer leurs sites de production en unités plus « intelligentes », plus flexibles, plus connectées et respectueuses de leur environnement.

Depuis son lancement en octobre 2016, trois cents entreprises ont bénéficié du diagnostic « Industrie du futur ». Elles ont ainsi pu profiter d'un diagnostic réalisé par des experts recrutés sur appel d'offres et basé sur six axes :

- La performance organisationnelle de l'entreprise.
- Une brique technologique au choix parmi celles référencées par l'« Industrie du futur » : data, réalité virtuelle, intelligence artificielle, robotique, fabrication additive...
- Les ressources humaines.
- Le développement durable.
- La digitalisation et la transformation numérique.
- L'évolution du mode de fonctionnement.

Le diagnostic est réalisé sur trois jours en entreprise, après une réunion de cadrage avec l'équipe dirigeante. Il en ressort une proposition de pistes d'action à court, moyen et long terme, des orientations financières ainsi qu'un accompagnement pour la mise en œuvre de ces actions *via* le dispositif « Grand Est Compétitivité », tant sur l'expertise complémentaire que sur la mise en œuvre.

### Recensement des formations en fabrication additive

La Région Grand Est s'investit également dans la formation des étudiants et des professionnels sur la fabrication additive. Elle a ainsi soutenu la création d'une action collective, la FabAdd-Académie, lancée par cinq établissements d'enseignement supérieur troyens : l'EPF de Troyes, l'ESD - Yschools, l'ESTP, l'IUT de Troyes et l'UTT. Ce projet est destiné à fédérer les formations sur la fabrication additive et à développer la montée en compétences du tissu industriel du Grand Est.

La FabAdd-Académie recense les formations sur tous les secteurs concernés par l'introduction de la fabrication additive, du processus créatif jusqu'à la normalisation des matériaux et procédés, en passant par la chaîne numérique. Elle publie également des formations en ligne et organise des événements afin de transmettre des connaissances indispensables à la montée en compétences des étudiants et des entreprises sur le processus de conception et de fabrication additive.

### D'autres acteurs majeurs en grand est

#### Mutualiser les moyens avec la plateforme INORI

Créée en 2010 par le CIRTES, INORI SAS est une plateforme d'innovation labellisée au niveau national, dédiée au développement rapide de produits et à la fabrication additive par l'utilisation d'outils et outillages rapides et intelligents pour les procédés de mise en forme des matériaux. Localisée sur le pôle VirtuReal, elle offre aux entreprises des moyens mutualisés pour réaliser des essais, pour caractériser des pièces et outillages de production et mettre au point et valider de nouveaux procédés industriels. Tous les secteurs industriels sont concernés : énergie, mécanique, automobile, aéronautique, défense, plasturgie, emballage, bâtiment, luxe, etc. INORI industrialise et diffuse le procédé d'emballage numérique 3D Pack&Strat, issu des travaux du CIRTES. La mise en œuvre de cette plateforme d'innovation relève d'une volonté régionale, mais aussi d'une démarche nationale et européenne. La SAS INORI associe 18 partenaires industriels et financiers, dont neuf en Région Grand Est.

### La fabrication additive fil au sein de l'Institut de Soudure

L'Institut de Soudure (IS) est le centre technique industriel de l'assemblage et des contrôles associés en France. Il a pour objectif de fournir aux industriels, où qu'ils soient dans le monde, des solutions performantes à leurs besoins en phase de conception, de fabrication et de maintenance d'équipements. Il s'intéresse aux nouvelles technologies et notamment à la fabrication additive fil, comme le projet FAMAF (« Fabrication Additive Métallique Arc-Fil »). Acteur clef en France, il contribue activement à l'intégration des procédés de fabrication additive dans l'industrie, via la participation de ses experts à de nombreuses sociétés et aux comités de normalisation CEN et ISO.

#### Compétitivité et industrialisation autour du pôle Materalia

Materalia est le pôle de compétitivité spécialiste des matériaux structurants et des procédés de mise en œuvre en Région Grand Est. Créé à l'initiative de l'État et de la Région, le pôle est l'interface entre le monde de la recherche et le monde industriel pour favoriser le développement économique de cette filière sur ce territoire donné. Le pôle de compétitivité Materalia aide ses membres – les entreprises, les industriels, les laboratoires, les centres scientifiques et techniques ainsi que les collectivités territoriales – à préparer « l'industrialisation de leurs innovations dans le domaine des matériaux, des procédés et des produits » pour conquérir de nouveaux marchés, à travers cinq thèmes : fabrication additive, métallurgie, usine du futur, procédés propres et durables et matériaux structurants. ▶

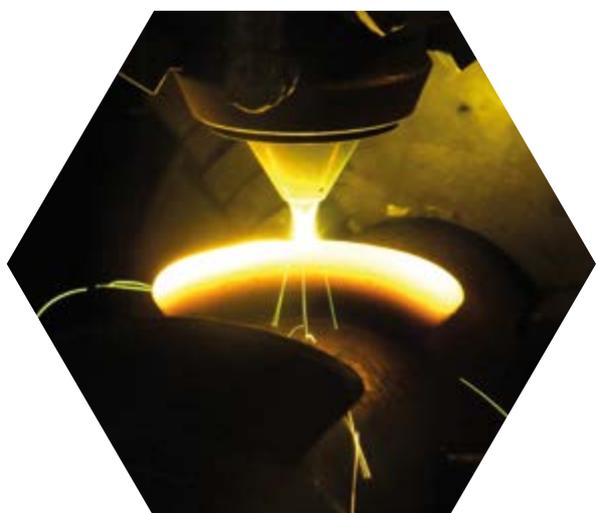
### 3D Métal Industrie regroupe les fondeurs

En mai 2019, sept fondeurs ardennais se sont associés pour acheter une imprimante 3D à sable ExOne d'un montant d'environ 1,2 million d'euros. La machine S-Max Furane, aux dimensions maximales de 1800x 1000 x 700 mm, permet de produire des moules en sable de fonderie complexes en une seule pièce. « Cette technologie qui révolutionne la fonderie permet de fabriquer vite et mieux plusieurs pièces de fonderie dans différents alliages et sans coût d'outillage. Elle offre ainsi des perspectives de diversification sur des marchés à forte valeur ajoutée tout en permettant d'être plus compétitifs, performants et réactifs et de réaliser des économies de transport », explique le président Renaud Mignolet.

Pour ce faire, les fondeurs ont mutualisé les moyens au travers de la société 3D Métal Industries. Installée à Charleville-Mézières, celle-ci a pu voir le jour grâce à l'expertise en impression 3D de Platinum 3D.

#### Industrialisation et accompagnement avec Platinum 3D

Platinum 3D est une plateforme technologique et scientifique dédiée à l'obtention de pièces métalliques par les procédés de fabrication additive. Ouverte aux entreprises, aux laboratoires publics et privés, aux centres techniques, aux organismes de formation..., elle accompagne ses clients dans l'industrialisation des procédés de fabrication additive, notamment dans les domaines clés de l'outillage, des pièces d'usure et de grandes dimensions.



### De la conception à la fabrication d'imprimantes 3D

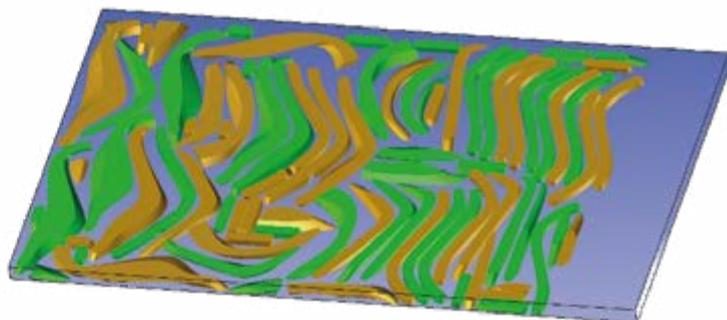
Basé à Dieuze, en Moselle, le groupe Alchimies est un fabricant d'imprimantes 3D par dépôt de fil thermoplastique et métal. Il développe des machines standards, mais réalise aussi d'autres systèmes répondant à des cahiers des charges spécifiques, notamment des imprimantes de fabrication additive métal pour l'Institut de Soudure. La société met également son expertise au service de formation aux métiers de la fabrication additive.

#### Des services de sous-traitance

Avec l'intégration, la sous-traitance est la deuxième solution offerte aux entreprises pour utiliser la fabrication additive. Si l'intégration de la technologie nécessite d'importantes ressources internes financières et humaines importantes, des sociétés sous-traitantes comme CINI ou 3D Prod possèdent leurs propres équipements, leur organisation et leur personnel pour répondre aux besoins des industriels. L'avantage premier de la sous-traitance est l'accompagnement et l'assistance aux entreprises et aux bureaux d'études. Le sous-traitant est capable d'expliquer l'intérêt, ou non, de la technologie et d'impliquer son client dans la compréhension de ce procédé de production. En Région Grand Est, CINI et 3D Prod sont « des précurseurs de la fabrication additive polymère, dont la stéréolithographie et le frittage de poudre, en application industrielle », nous affirme Claude Barlier.

#### Centre européen de recherches et de formation aux arts verriers

Autre acteur important de la Région Grand Est, le CERFAV est le Centre européen de recherches et de formation aux arts verriers. Créé en 1991 et situé à Vannes-le-Châtel, il est devenu la référence en matière de formation professionnelle et de développement des arts verriers. Il s'est doté de moyens en matière de recherche, de transfert de technologies et d'innovation. L'impression 3D appliquée au matériau verre fait partie des projets de recherche menés par le Cerfav. Les innovations dans ce secteur sont très rapides et de nouvelles opportunités d'applications croisées apparaissent, notamment pour les matériaux minéraux. Il travaille notamment sur le projet « Glass printing », visant la mise au point d'un procédé innovant d'impression en verre GLAM (*Glass Laser Additive Manufacturing*).



FAUTEUILS RÉALISÉS SOUS  
TOPSOLID'STRATO, PANOPLIE  
ET RÉALISATION (ÉCHELLE 1).

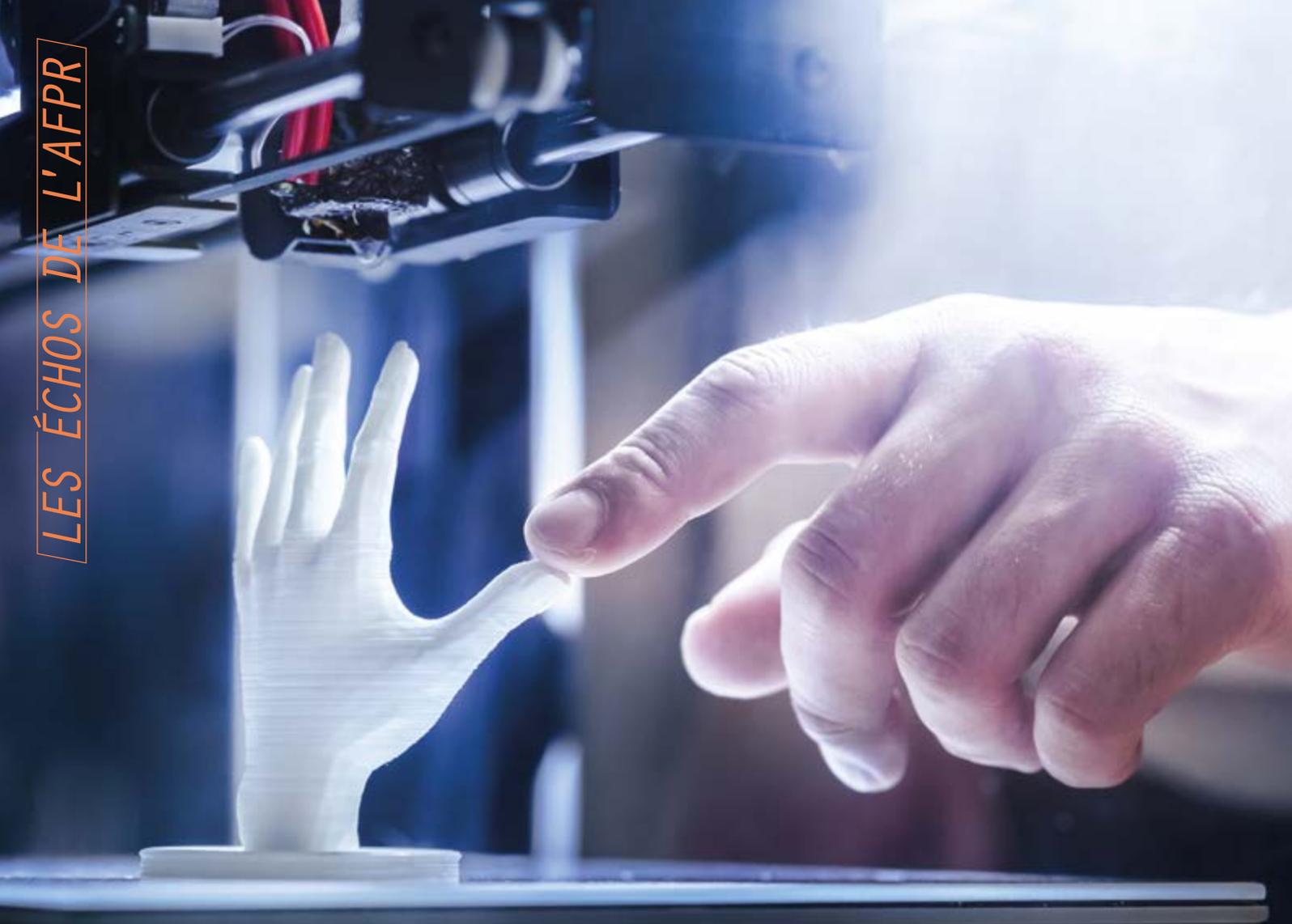
#### PROJET C-FAST DU CIRTES ET DE TOPSOLID (MISSLER SOFTWARE).

Le projet C-FAST (« Conception pour la fabrication additive par Stratoconception sous TopSolid ») est un projet industriel d'avenir (PIA) qui a été sélectionné lors de l'appel à projets « Industrie du futur » en mars 2017.

Les deux partenaires innovent et proposent le développement de la première chaîne numérique unifiée, continue et automatique, de conception et fabrication additive intégrée, robotisée, basée sur le procédé breveté de Stratoconception® et couplée à la CAO TopSolid. L'application industrielle principale est la conception-fabrication de produits (pièces et outillages) personnalisés, fonctionnalisés, de grandes dimensions, multimatériaux, destinés en priorité aux PME et ETI multisectorielles.

Le projet a permis le dépôt de nouveaux brevets et a déjà obtenu des résultats importants : la sortie en 2019 du logiciel TopSolid'Strato et en juillet 2020 de la machine Strat'Auto (11 000 x 3 000 x 3 000), entièrement robotisée, pour réaliser des pièces et outillages de grandes dimensions en bois et polymères.

C'est un projet au cœur des thématiques de l'Usine du Futur, permet de renforcer la position des deux partenaires français, le CIRTES et TopSolid, leaders dans leur domaine.



## UNE FILIÈRE FRANÇAISE PRÊTE À CONTRIBUER À LA RELANCE ÉCONOMIQUE !

La crise du Covid-19 a révélé le niveau d'agilité et de réactivité que la fabrication additive offre. Elle a montré que la technologie est un outil industriel et non pas seulement une technologie de prototypage rapide. Aujourd'hui plus que jamais, l'industrie et l'économie française ont besoin d'un institut français de la fabrication additive tel que l'Association française du prototypage rapide et de la fabrication additive (AFPR).

Par **Christophe Eschenbrenner**,  
digital supply chain innovation leader, membre de l'AFPR

**D**epuis quelques semaines, l'impression 3D est apparue au grand jour en tant que réponse industrielle locale dans la lutte contre le Covid-19. Georges Taillandier, président de l'AFPR, prend la parole, en premier, pour remercier tous les acteurs qui ont contribué à lutter contre la pandémie, dont les membres de l'AFPR.

*Je souhaite rendre hommage aux makers, cette « armée 3D de l'ombre » qui dans les fablabs, voire même à leur domicile, fabrique, nuit et jour, des supports de visières, des accessoires sanitaires... Ils font preuve d'un esprit collectif extraordinaire, doublé d'une capacité entrepreneuriale époustouflante. Je souhaite également remercier les équipes additives des grands industriels tels Renault, Décathlon, L'Oréal, Alstom, Aereco, Safran, Michelin... Elles ont démontré qu'avec un peu de marge de manœuvre leur capacité de production en série de pièces polymères était réelle ! C'est vraiment prometteur et en mesure d'insuffler la confiance du côté des bureaux d'études encore trop frileux. Les membres de l'association AFPR ont également contribué à l'effort collectif en cours pour soutenir les acteurs de la santé publique en France et en Europe.*

L'Association française du prototypage rapide et de la fabrication additive lutte depuis des années pour la création d'un institut français dédié à cette technologie. Celui-ci pourrait aider à son développement, à son intégration sur le territoire, mais également coordonner des actions dans une situation comme celle que nous venons de vivre. Le président de l'association nous la présente.

*L'Association française du prototypage rapide et de la fabrication additive, AFPR, est une association à but non lucratif fondée en 1992. Je la préside depuis 1993 et j'ai le plaisir de compter à mes côtés un groupe pluridisciplinaire dynamique et expert : Alain Bernard et Philippe Vannerot en tant que vice-présidents, Didier Boisselier en tant que secrétaire, Jean-Daniel Penot, Philippe Bertrand et Christophe Eschenbrenner en tant que membres du comité.*

*Nous sommes un acteur neutre et indépendant, au service de toute la filière française. Notre singularité réside dans la diversité de nos membres, issus de la recherche, de l'académique, du secteur et de l'industrie. Citons à titre non exhaustif les laboratoires LIMSI CNRS ou LNE, les instituts Irepa Laser, Jean Lamour, Cetim et Cetif, les académiques UTBM, Centrale Nantes, ENISE, Polytechnique, Université*

*de Tours, S.MART ou encore CESI, les fournisseurs de technologie Prodways, BeAM, Ad-dUp, Dassault Systèmes et des industriels utilisateurs tels Audemars Piguet ou Naval Group.*

*Notre action se divise entre le partage et la dissémination des savoirs, la contribution à la construction de projets et l'émergence de nouveaux sujets, la participation active de ses membres aux groupes de normalisation et l'organisation d'une rencontre annuelle, Les Assises européennes de la fabrication additive.*

Alain Bernard, universités à l'École centrale de Nantes et vice-président de l'AFPR, porte un regard instruit sur la filière française au regard des autres pays.

*La France dispose de toutes les compétences et des capacités d'innovations exclusives. Nous comptons tous les atouts pour que la révolution industrielle en cours soit créatrice de valeur, tant pour les acteurs impliqués directement que pour l'ensemble de l'économie.*

- *Des autorités nationales et régionales qui soutiennent l'innovation et l'investissement.*
- *Des centres de recherche technologique performants, ouverts sur l'international.*
- *Des centres techniques innovants, qui disséminent et font progresser.*
- *Des plateformes d'innovations bien équipées et couvrant le territoire.*
- *Des centres de formation proposant des cycles universitaires ou continus.*
- *Des sociétés de conseil et d'ingénierie capitalisant de l'expertise.*
- *Des services bureaux maîtrisant les procédés et les process industriels.*
- *Des acteurs de la chaîne numérique, de la conception à la fabrication et à la data.*
- *Des fabricants de machines innovants, avec des parcs installés croissants.*
- *Des chimistes et sidérurgistes disposant de matériaux à forte valeur ajoutée.*
- *Des clients finaux, allant de la PME innovante aux grands donneurs d'ordres.*

*Nous sommes dans la course, mais ne faisons néanmoins pas (encore) partie du peloton de tête. Les USA, l'Allemagne, Israël particulièrement détiennent le leadership, la Chine progresse vite, avec certes des sources financières supérieures d'origine publique ou privée, mais aussi grâce à une meilleure combinaison recherche, transfert, dissémination, appropriation.*

*J'attire l'attention des autorités sur la proche fin des grands projets structurants français (AMANDE, FAIR, SOFIA). À l'instar de l'Allemagne qui vient de lancer de multiples programmes pour renforcer sa filière nationale, la filière française a besoin d'une aide massive pour accélérer. Il faudrait aussi créer une entité vraiment représentative du monde de la fabrication additive et lui faire confiance ! Un institut national ?*

Philippe Vannerot, entrepreneur historique de la fabrication additive métal en France, œuvre aujourd'hui à la dissémination des savoirs. Il connaît les enjeux de formation et de montée en compétence.

*La fabrication additive est un procédé spécial, qui demande des compétences plurielles. Son industrialisation entraîne le transfert entre des passionnés multi-compétences à une chaîne de professionnels en mesure d'exécuter toutes les étapes du process, avec la qualité et la productivité attendue.*

*À des besoins de compétences techniques propres aux divers procédés s'ajoutent des besoins métiers afin de répondre aux spécificités des applications : une pièce série certifiée pour l'aéronautique, un implant personnalisé pour le médical, des outillages rapides pour la plasturgie, un mur monté en site extérieur dans le bâtiment, etc.*

Didier Boisselier, spécialiste des développements du procédé DED (Digital Energy Deposition), observe, au travers de son expérience, les avantages de la technologie pouvant entraîner une dynamique de relocalisation.

*En dehors de la fabrication directe, les procédés DED et WAAM permettent également la réparation de pièces métalliques de toutes dimensions au plus près du besoin, une pièce de moteur d'avion par exemple. Il est donc possible de réparer à proximité, évitant ainsi des coûts onéreux de transport voire même la mise au rebut. C'est donc très positif en termes d'impact environnemental et pourvoyeur d'activité pour les entreprises nationales.*

*Signalons que la France compte un fabricant de machine de ce type, innovant et performant. Les consulter lorsque vous envisagez d'investir, c'est aussi un moyen de dynamiser l'industrie française.*

Pour Philippe Bertrand, ces travaux permettent d'affirmer que le « terrain » français est prêt pour monter en volume, notamment avec la normalisation.

*La normalisation joue un rôle clé au niveau du développement économique et de la création d'emploi. Elle permet de structurer le marché, donne confiance à la demande et contribue à la montée en puissance de l'offre.*

*J'ai, par exemple, animé le groupe de travail international ISO/TC 261/WG 3 « Méthodes d'essai » qui a identifié quelles étaient les méthodes d'essais qui pourraient correspondre ou être utilisées pour tester des pièces élaborées en fabrication additive.*

*Un offreur dispose ainsi d'un référentiel pour travailler et les acheteurs d'un cadre qui les met en confiance.*

Parallèlement, les modèles de production se transforment. Les outils de fabrication de demain sont en cours de construction. Jean-Daniel Penot invite les usines françaises à se réinventer, notamment en France.

*Pour faciliter la prise de décision chez nos décideurs et l'apprentissage des nouveaux acteurs, j'ai ouvert récemment un démonstrateur opérationnel : une usine autonome qui offre un niveau de sécurité exceptionnel pour l'utilisation d'une imprimante 3D métal au procédé de fusion sur lit de poudre (SLM) : salle blanche, environnement ATEX zone 22, équipements de protection collectifs et individuels (EPC/EPI)... Elle peut également être déplacée et installée en quelques jours.*

*L'avenir est à la fabrication des pièces au plus près de l'utilisation. L'impression 3D fait donc pleinement sens dans une logique de réappropriation de notre industrie. La mobilité est un plus en termes d'agilité, elle permettra de déplacer l'atelier si l'utilisation change de lieu.*

*Signalons que Bpifrance est très présente auprès des PME/PMI et les aide dans une dynamique d'industrie 4.0. Le réseau FrenchFab qu'elle anime est très dynamique.*

La filière est donc prête, pour Christophe Eschenbrenner, spécialiste digital supply chain. Elle est assez mature pour contribuer à la relance économique.

*Local, connecté, agile : trolis forces de l'impression 3D sur lesquelles la relance économique peut s'appuyer. Elle n'est pas le seul vecteur industriel, mais bien le catalyseur de l'innovation et d'une nouvelle chaîne de valeur dans le médical, le transport, l'alimentaire, les loisirs ou encore le bâtiment.*

*Oui, la filière dispose de belles capacités sur l'ensemble du territoire, mais elle est en danger. À ce jour, après l'effervescence due au Covid-19, nous sommes revenus à la situation précédente : une part des unités de production françaises tournent en sous-capacité. Des entrepreneurs ont bâti des sites industriels dédiés, se sont dotés d'équipes compétentes et ont acquis des machines productives. Ils ont su répondre présent auprès des « premiers adopteurs », mais les commandes des « suiveurs », synonymes de croissance, tardent à tomber. Ce manque de dynamisme de la demande impacte leur rentabilité et leur capacité d'investissement, dans un domaine à fort taux d'obsolescence tout particulièrement du côté des machines.*

*Plus que la relocalisation, le distributisme est un thème qui m'est cher : l'achat local est porteur de sens, tant socialement qu'écologiquement. Peut-être un peu plus onéreux, mais il peut donner rapidement un coup de fouet économique, déclenchant une spirale positive bénéfique pour tous. J'invite ainsi les acheteurs à mettre à plat leur supply chain et à détecter des « suspects », soit des cas qui méritent investigations : des outillages de fabrication, des longues distances, des pièces aux assemblages complexes, des attentes clients en termes de personnalisation... Pas besoin d'une révolution globale, cela peut démarrer progressivement par classes d'achat.*

Au président Georges Taillandier est laissé le mot de la fin...

*Oui l'impression 3D est bien un moteur pertinent pour relancer l'économie française.*

## DEVENEZ, VOUS AUSSI, ACTEUR EN REJOIGNANT L'AFPR

La fabrication additive touche de nombreux domaines et impacte les organisations. Nous invitons ainsi à rejoindre notre association toute personne qui se sent concernée par l'évolution de la pénétration de la fabrication additive dans les pratiques quotidiennes, par cette révolution en marche, et qui cherche des clés tant pour son épanouissement personnel que pour la réussite de ses projets.

En complément des experts techniques – ingénierie, matériaux, procédés, outils – nous invitons tout particulièrement les dirigeants ainsi que les métiers transverses qui sont les clés de voûte de l'aboutissement des succès du futur : chefs de projets, designers, managers de supply chain, acheteurs, responsables de maintenance, financiers et financeurs ou investisseurs !

Nous invitons également des acteurs publics qui structurent la démarche et lui donnent les moyens financiers nécessaires. Les acteurs clefs des plateformes qui dynamisent les territoires et accompagnent les PME-PMI dans la transformation en marche sont également attendues.

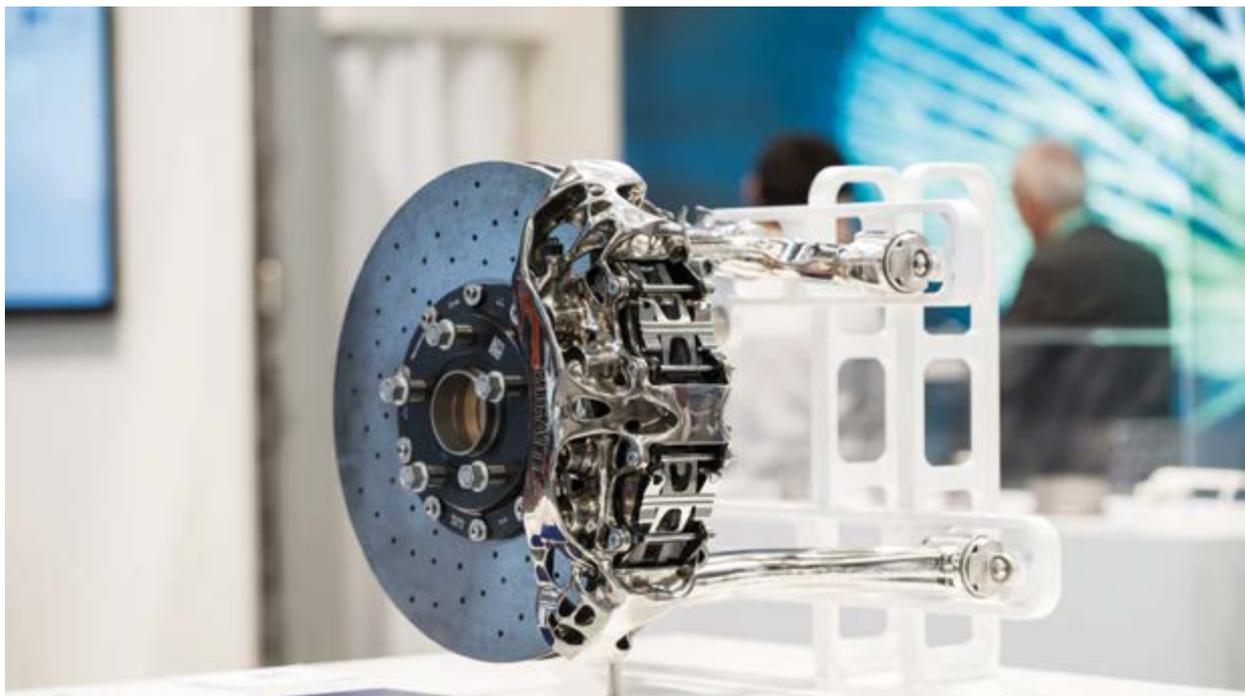
Enfin, nous invitons tous ceux qui souhaitent faire de la fabrication additive leur cœur de métier – étudiants, salariés et indépendants – ainsi que ceux qui contribuent au développement des compétences et au recrutement des talents.

Retrouvez nous sur <https://www.afpr.asso.fr/adherer/>



# Les événements industriels en 2020

La crise du Covid-19 a bouleversé l'année 2020. Une grande partie des salons, mais aussi des petits événements *B to B* – conférences, conventions d'affaires, journées techniques, etc. – ont été annulés ou reportés. *A3DM Magazine* fait le point sur le second semestre 2020.



À l'heure actuelle, nous avons peu de certitude sur les conditions d'organisation des événements industriels. Difficile de prédire comment se dérouleront ces événements dans les prochaines semaines et les prochains mois. Seule certitude : les rassemblements de plus de 5 000 personnes sont interdits jusqu'en septembre. Mais qu'en sera-t-il à partir d'octobre ? Qu'en est-il des rencontres en *B to B*, des journées techniques et autres ? La France fera-t-elle comme l'Allemagne en distinguant le *B to B* des autres événements ? Quelles seront les règles d'hygiène et de distanciation à respecter ?

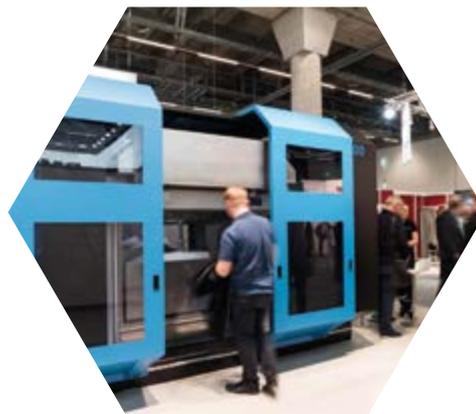
Les mesures sanitaires sont au cœur des décisions – gestion des visiteurs, espace dans les allées et devant les stands, nettoyage, respect des gestes barrières, etc. Difficile de s'avancer. « Techniquement, la mise en place de ces mesures n'est pas compliquée » répètent les organisateurs de ces salons. Mesago Messe Frankfurt GmbH, qui organise le grand et incontournable salon dédié au secteur de la fabrication additive Formnext, a publié ses mesures de protection (voir sur [a3dm-magazine.fr](http://a3dm-magazine.fr)). Mais les contraintes restent lourdes, notamment pour les petits événements.

En plus de la situation sanitaire, les événements seront affectés par les politiques internes des entreprises qui laisseront ou non leurs employés se déplacer dans les salons. Face à ce manque de perspective, difficile donc d'y voir clair. En attendant, voici le calendrier des événements industriels, en France, pour le deuxième semestre 2020.

- Deux salons **SEPEM Industries** se dérouleront lors du dernier semestre 2020 : le **SEPEM Sud-Est** à Avignon, du 29 septembre au 1<sup>er</sup> octobre, en même temps que le **Forum de l'électronique** (remplaçant du salon ENOVA), et le **SEPEM du Grand-Est** à Colmar, du 17 au 19 novembre.
- La convention d'affaires dédiée au secteur de la fabrication additive et de l'impression 3D, **APS Meetings**, initialement prévue les 10 et 11 mars, a été reportée aux 7 et 8 octobre 2020 à l'Espace Tête d'Or de Lyon Villeurbanne.
- Le 13 octobre, le Cetim Centre-Val de Loire organise une journée technique intitulée « **La fabrication additive dans tous ses états !** » à Bourges. Au programme de cette journée, des conférences sur des sujets techniques abordant l'ensemble de la chaîne de valeur de la fabrication additive.
- Initialement prévu du 16 au 18 juin, le **3D Print Congress & Exhibition** avait reporté son salon du 13 au 15 octobre, à l'Eurexpo de Lyon-Chassieu. Finalement, nous avons récemment appris que le format allait changer. Le 3D Print passe en version hybride avec une plateforme web et deux jours de rencontre *B to B*. La plateforme digitale hébergera du contenu : des vidéos, des webinaires ou encore des ateliers dont des interactions seront possibles avec les intervenants lors de la première diffusion. Pour 2020, deux journées de rencontre, et non de salon, devraient être organisées. Une première à Lyon en octobre (autour des dates déjà fixées) et une deuxième à Paris en décembre. Ces deux

jours seront accompagnées de « journées digitales », c'est-à-dire d'animations sur la plateforme 3D Print. À l'heure où nous écrivons ces lignes, nous n'avons pas eu accès aux dates et lieux exacts des événements.

- La convention d'affaires **Robot4Manufacturing** dédiée aux professionnels du secteur de la robotisation industrielle se tiendra, pour sa troisième édition, au Parc Expo des Oudairies de la Roche-sur-Yon, les 28 et 29 octobre 2020.
- Organisée par le Pôle européen de la céramique, **Ceramic Network 2020** est LA convention d'affaires internationale sur les applications industrielles et technique de la céramique. Ce rassemblement aura bien lieu les 4 et 5 novembre 2020, mais à une nouvelle adresse, à l'ESTER Technopole de Limoges.
- L'édition 2020 du salon international **Formnext** devrait bien se tenir à Francfort, en Allemagne, du 10 au 13 novembre. Les organisateurs ont publié la gamme complète des mesures de protection de la santé qui permettront à l'événement de se dérouler.
- Le salon **BE 4.0** est un grand rendez-vous tri-national pour tous les décideurs industriels : français, allemands et suisses. L'événement met en avant les solutions innovantes pour réussir leur transformation 4.0. L'édition 2020 se tiendra les 17 et 18 novembre à Mulhouse, simultanément à la 10<sup>e</sup> Semaine de l'industrie prévue du 16 au 22 novembre.
- Le **SIMODEC**, Salon International de la Machine-Outil de Découpage, se déroulera à la Roche-sur-Foron ; il est reporté du 24 au 27 novembre.
- La convention d'affaires mondiale de l'industrie aéronautique et spatiale **Aeromart Toulouse** met en relation les OEM (Original Equipment Manufacturer) et leurs fournisseurs de niveau 1 et 2 avec les fabricants des catégories civile et de défense, grâce à une série de rendez-vous individuels et sur mesure. Elle se déroulera du 1<sup>er</sup> au 3 décembre au Parc des expositions et centre des conventions de Toulouse.
- **Rail Industry Meetings** est une convention d'affaires réunissant les professionnels du ferroviaire et des transports urbains. Les 9 et 10 décembre, les acteurs du secteur se rencontreront et partageront compétences et besoins.



# ABONNEZ-VOUS

AU MAGAZINE RÉFÉRENT  
DE LA FABRICATION ADDITIVE  
ET DE L'IMPRESSIION 3D

# A3DM

ADDITIVE  
MANUFACTURING

L'UNIQUE  
MAGAZINE  
DÉDIÉ À LA  
FABRICATION  
ADDITIVE

TOUS  
LES DEUX MOIS  
SUR VOTRE  
BUREAU

NOUVELLE  
FORMULE



" A3DM nous sert  
de **support de connaissance**  
pour la fabrication additive. "

Jean-Pierre A. Dassault Aviation

# A3DM

ADDITIVE  
MANUFACTURING

## JE SOUHAITE M'ABONNER À A3DM MAGAZINE

- ABONNEMENT COMPLET *A3DM Magazine* : 90 €  
(6 numéros papier + les 6 éditions numériques)
- ABONNEMENT PAPIER *A3DM Magazine* : 60 €  
(6 numéros papier)
- ABONNEMENT NUMÉRIQUE *A3DM Magazine* : 50 €  
(6 éditions numériques)

TOTAL : \_\_\_\_\_ €

PRÉNOM : .....

E-MAIL\* : .....

NOM : .....

PROFESSION\* : .....

ADRESSE : .....

DATE ET SIGNATURE :

.....

.....

CODE POSTAL : .....

VILLE : .....

RÈGLEMENT À ENVOYER À :

## G+G MEDIA GROUPE

1, IMPASSE REILLE,  
75014 - PARIS - FRANCE

CHÈQUE À L'ORDRE DE  
G+G MEDIA GROUPE

### SERVICE ABONNEMENT

- abonnements@a3dm-magazine.com
- +33 (0)1 84 79 80 57

Pour un abonnement à l'étranger  
ou **tout autre moyen de paiement** :  
NOUS CONTACTER !



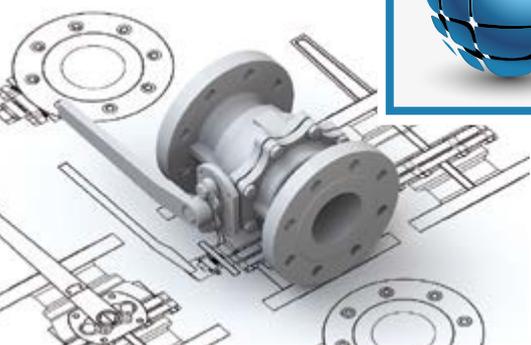
# APS MEETINGS

## ADVANCED PROTOTYPING SOLUTIONS

Convention d'affaires dédiée à la fabrication additive, à l'impression 3D, au prototypage rapide et au développement de produit



**CONGRÈS APS MEETINGS**  
ADVANCED PROTOTYPING SOLUTIONS  
Conférences de haut niveau



 215 sociétés

 308 participants

 2620 rendez-vous organisés

**7-8 octobre 2020**  
**Espace Tête d'Or, Lyon**

Liste des participants et programme :

[www.apsmeetings.com](http://www.apsmeetings.com) | [aps@advbe.com](mailto:aps@advbe.com)

Organisé par



Partenaire

