

A close-up photograph of a 3D printer's extruder head, which is a complex metal assembly with various tubes and wires. It is positioned directly above a white, printed part that has a complex, lattice-like or honeycomb structure. The background is dark and out of focus, showing some blurred lights. The entire image has a blue and teal color cast.

IMPRESSION 3D

Quelles opportunités d'affaires dans
un marché français en développement ?

IMPRESSION 3D

Quelles opportunités d'affaires dans un marché français en développement ?

Avec 15,8 milliards de dollars de chiffre d'affaires dans le monde prévus pour 2020 et une progression annuelle de plus de 20 %, l'impression 3D (ou fabrication additive) s'impose comme un marché en pleine croissance au potentiel de développement important. Fortement internationalisé, il est dominé par des leaders mondiaux, qu'ils soient pionniers, comme Stratasys et 3D Systems, ou nouveaux venus, comme HP et General Electric. Représentant seulement 3,1 % du marché mondial, la France ne fait pas partie des pays les plus en pointe. Mais elle dispose néanmoins d'atouts indéniables grâce à quelques spécialistes, Prodways et Dassault Systèmes en tête.

Scindée entre les usages industriels et grand public, la fabrication additive trouve ses applications principales dans le prototypage et l'outillage. En 2020, elle reste à la croisée des chemins : la production de pièces finales et en grandes séries devient une réalité.

Il est temps pour la filière française de se structurer pour mieux répondre aux enjeux actuels. Qu'ils soient fabricants d'imprimantes, éditeurs de logiciels, fournisseurs de matériaux, imprimeurs 3D ou prestataires, il s'agit pour tous les opérateurs de se tourner vers les segments, les domaines d'application et les cibles les plus prometteuses. L'impression 3D métallique, les matériaux, le médical, les PME, l'internalisation et la réparation sont autant d'opportunités à saisir tant que des places restent à prendre.



DANS CE DOSSIER

POINTS-CLÉS ET ENJEUX 4

UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS 8

Une révolution à petits pas	8
Un chiffre d'affaires mondial en constante croissance	10
L'industrie, le premier client	15
Un segment grand public encore peu développé	25
La domination des acteurs internationaux	28
Un écosystème français prêt à faire valoir ses atouts	32

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPAINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ .. 38

Prototypage et outillage, les portes d'entrée vers la fabrication additive	38
L'impression 3D métallique, le futur de la fabrication additive	42
Le segment stratégique des matériaux	47
Le secteur médical, pionnier de l'impression 3D industrielle	53

NOUVELLES CIBLES ET NOUVEAUX MARCHÉS 62

Viser les PME pour créer une demande	62
Généraliser l'internalisation	68
Développer la réparation par impression 3D	72
Cibler des domaines d'application en développement	75
Miser sur la plateformeisation	80

LES BREVETS ET TENDANCES INVENTIVES 82

Les chiffres et les tendances 2016-2018 dans le monde	83
Situation et opportunités en France	86

LES FORCES EN PRÉSENCE 87

Tableau comparatif des différents acteurs	87
Fiches d'identité des principaux intervenants du marché français	92
Classement des principaux acteurs du marché français	100

SOURCES UTILISÉES 101

LEXIQUE 109

Faire naître la filière française de l'impression 3D

Née dans les années 1980, la technologie de l'impression 3D a gagné en maturité et en fiabilité au fil du temps et des efforts en R&D fournis par les entreprises pionnières du secteur. Rapidement, l'industrie a su se saisir des avantages que pouvait lui procurer ce nouveau procédé. Grâce à lui, **la fabrication devient additive** et non plus soustractive. La quantité de matériau nécessaire s'ajuste. Les délais de conception se contractent. Les coûts se réduisent. La production se fait à la demande. Les stocks disparaissent. Et la personnalisation des produits devient possible. Les **filières stratégiques** de l'aéronautique, du spatial, du médical et de l'automobile l'ont vite compris. Elles sont les premières à utiliser l'impression 3D pour réaliser leurs prototypes et leurs outils.

Du côté du grand public, en revanche, l'adhésion est moins immédiate. Malgré la baisse des coûts des imprimantes et un buzz médiatique important au cours des années 2000, l'impression 3D peine à convaincre. En conséquence, **le marché se scinde en deux segments** spécifiques, aux trajectoires opposées.

Le procédé de l'impression 3D a presque 40 ans, pourtant sa filière est encore construction. Ni mature, ni structuré, le marché et ses acteurs cherchent encore les techniques et les débouchés commerciaux qui leur permettront d'atteindre leur plein potentiel. Les chiffres, les évolutions et les perspectives varient selon les cabinets d'études.

Mais tous s'accordent sur **l'évidente capacité de développement de la filière**, dont le chiffre d'affaires pourrait dépasser 23 milliards de dollars à l'horizon 2022. Largement internationalisé, le secteur de l'impression 3D offre également de grandes possibilités sur les marchés dits régionaux (Amérique, Europe, Asie) et nationaux.

Avec 3,1 % du parc de machines mondial, la France fait partie des pays désireux de prendre position. Mais elle s'est déjà fait distancer par d'autres poids lourds de l'industrie comme les États-Unis, la Chine et l'Allemagne. En 2020, la fabrication par impression 3D continue son développement. La mise en production de pièces finales et en grandes séries est à portée de main. Le moment est crucial pour les opérateurs. Avant une inévitable concentration des forces, **des places et des marchés sont à prendre**. Éditeurs de logiciels, créateurs de modèles, fabricants d'imprimantes, fournisseurs de matériaux ou même prestataires de services et/ou de conseils... il s'agit pour chacun de saisir les opportunités qui se profilent. Déjà dotée de quelques grands noms comme Prodways, Dassault Systèmes et Sculpteo, la France peut aussi compter sur les forces vives de ses start-up et de son tissu de centres de recherche. L'enjeu est de **construire une filière française de l'impression 3D** efficace, innovante et incontournable dans le paysage international.

Répondre aux attentes des domaines à fort potentiel

Dès l'origine, le prototypage et l'outillage ont constitué les **premières mises en application** de la fabrication additive dans l'industrie. Ces deux segments restent en pointe et permettent la plupart du temps d'introduire le procédé dans les chaînes de production. En raccourcissant les délais et les distances, l'impression 3D révolutionne les processus. Le prototypage devient rapide et le temps de réalisation des outillages aussi. À la fois fournisseurs et utilisateurs, ces deux domaines d'activité se transforment et les opérateurs historiques doivent s'adapter. **Les lignes bougent** en créant de nouvelles opportunités, non seulement à l'intérieur des usines mais aussi pour les prestataires et les sous-traitants. Le *conformal cooling* en est un exemple. En permettant de fabriquer des moules intégrant des tuyaux de refroidissement, il touche à la fois la plasturgie et la fonderie.

L'outillage bénéficie aussi des retombées de **l'essor de l'impression 3D métallique**. Depuis 2018, cette technique rencontre un succès presque inattendu. Si son potentiel est reconnu depuis longtemps, l'explosion des ventes a surpris les analystes les plus chevronnés. En permettant de produire à coût réduit des pièces complexes, elle s'impose comme un maillon stratégique pour les industries majeures (aéronautique, spatial, santé, énergie...). Les territoires français dotés d'une tradition historique en matière de métallurgie peuvent trouver ici **un relais de croissance évident**. Charge aux spécialistes de l'impression 3D de gagner encore en technicité pour répondre aux attentes en matière de fiabilité, de certification et de cadence de production.

Face au défi émergent de l'industrialisation de la fabrication additive, les fournisseurs de l'impression 3D doivent apporter toutes **les garanties nécessaires** à leurs potentiels clients et usagers. C'est le cas notamment des fabricants de matériaux. Terrain stratégique par excellence, **les matériaux s'imposent** comme un segment de marché à fort potentiel. Il pourrait atteindre 16 milliards de dollars à l'échelle mondiale en 2028. Bien qu'essentiel, il souffre aujourd'hui d'un manque de transparence préjudiciable pour son développement. Chimistes, plasturgistes, fabricants de poudres métalliques... les intervenants sont multiples et les clients se montrent désireux de mieux maîtriser leur chaîne d'approvisionnement.

Innovant par définition, le marché de la fabrication additive industrielle est naturellement porté par ses usages et ses utilisateurs. Certains domaines d'application contribuent à **faire progresser la technologie** en lui ouvrant des champs d'action illimités. **La filière médico-chirurgicale** est le premier d'entre eux, l'impression 3D devant représenter jusqu'à 80 % des dépenses de santé à l'horizon 2023 selon le cabinet IDC. En attendant les promesses encore en partie futuristes de la bio-impression, la fabrication additive se concrétise déjà avec les dispositifs orthopédiques, les implants dentaires et les prothèses auditives. Alors que les hôpitaux américains s'équipent en masse, leurs homologues français sont plus hésitants. Les professionnels de santé doivent être rassurés et informés. Comme pour tout nouveau marché, **une phase d'évangélisation** s'avère incontournable.

Convaincre, industrialiser et innover

Comment aider les potentiels clients à prendre conscience des bénéfices de l'impression 3D ? Réduire les coûts, les délais et les stocks ; faciliter la production de pièces complexes, l'innovation et la personnalisation : les avantages de la fabrication additive sont réels et indiscutables. Mais introduire le procédé dans sa chaîne de production exige aussi des investissements, des réorganisations, voire une montée en compétences des salariés. Permettre à l'impression 3D de se démocratiser, c'est amener les entreprises à **comprendre et à percevoir les bénéfices** possibles avec un changement de mode de production.

Historiquement, la fabrication additive est d'abord entrée dans les usines et les ateliers des grandes entreprises. En 2020, les spécialistes de l'impression 3D doivent continuer à **convaincre les petites et moyennes entreprises (PME)** d'adhérer à son usage. Il s'agit pour eux de créer une demande nouvelle et potentiellement forte pour donner l'impulsion à l'ensemble du marché. Un accompagnement s'impose alors. Parfois peu équipées en savoir-faire ou en connaissances, les PME, surtout les plus petites, ont besoin d'être guidées dans leur démarche. À l'échelle nationale, le programme 3D Start PME vise à porter cet amorçage du marché.

Recourir à la sous-traitance s'impose comme la solution la plus évidente pour les novices de la fabrication additive. Pour autant, **l'internalisation ou intégration des processus** au sein même des unités de production représente un axe de développement important pour la filière. Là encore, les grandes entreprises sont les premières concernées mais les PME ne doivent pas être oubliées. L'internalisation permet au client de gagner en valeur et de mieux maîtriser la propriété intellectuelle de ses réalisations. Du côté des fournisseurs,

elle exige **une maîtrise globale de la chaîne** et fait naître le besoin de proposer des solutions de plus en plus automatisées.

Avec l'automatisation, la filière pourra gagner en maturité et aider à **faire émerger de nouveaux domaines d'application**. La réparation par impression 3D pourrait être l'un d'entre eux. Dynamisée par la montée des préoccupations écologiques, la réparation offre un nouveau champ d'opportunités. Elle est un terrain propice à la fabrication personnalisée et sur demande, pour le grand public comme pour l'industrie. Elle pourrait permettre aux fab labs de trouver une raison d'être et un modèle économique pérenne. La **personnalisation du produit final** permet à la fabrication additive de créer une réelle différence avec les processus de fabrication traditionnels. Elle répond ainsi aux besoins de secteurs où la customisation est un facteur de distinction, comme la lunetterie et la bijouterie. L'impression 3D **simplifie l'innovation** et l'aide à se déployer, y compris dans les domaines les plus complexes comme celui du bâtiment et de la construction.

En menant sa révolution à petits pas, l'impression 3D progresse et s'installe peu à peu dans le quotidien des industriels, en attendant de séduire le grand public. La **marge de progression est grande** et les volumes d'affaires potentiels aussi. Les acteurs internationaux emportent la donne pour le moment mais les opérateurs français peuvent inverser la tendance. En se transformant, le marché devient global et ouvre la voie à **un probable phénomène de plateformes**, semblable à ceux déjà observés sur d'autres marchés technologiques. Il est encore temps de faire la différence avant que le paysage concurrentiel ne se recompose autour de quelques grands leaders.

POINTS-CLÉS ET ENJEUX

Ce qu'il faut retenir

LES MOTEURS

- L'adoption massive de l'impression 3D par l'industrie pour le prototypage
- L'intérêt de raccourcir les cycles de développement pour arriver plus vite sur le marché
- La croissance du segment de l'impression 3D métallique
- Le besoin de personnalisation des objets
- Le potentiel de la cible des PME, marché à évangéliser
- L'écosystème français propice à la R&D
- La fabrication à la demande, pour réduire les stocks
- L'essor des plateformes numériques réunissant concepteurs, fabricants et distributeurs

LE MARCHÉ DE L'IMPRESSION 3D

LES FREINS

- Le désintérêt du grand public pour les imprimantes 3D "de bureau"
- Le manque de maturité du marché
- Le fort taux d'obsolescence des imprimantes 3D
- La répétabilité insuffisante des process de fabrication additive au niveau industriel (normes, fiabilité des machines et des matériaux)
- Le manque de choix et de lisibilité sur le marché des matériaux d'impression industriels
- La lenteur de la certification dans les industries porteuses (médical, aéronautique)
- Le volume limité des pièces imprimables

UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS

Une révolution à petits pas

Les origines

Plus connue sous le nom d'«impression 3D», la fabrication additive désigne un ensemble de procédés permettant de fabriquer une pièce ou un objet **par ajout de couches successives de matière, à partir d'un fichier numérique de modélisation en trois dimensions**. Elle s'oppose à la méthode traditionnelle de fabrication soustractive qui consiste à enlever de la matière pour obtenir la forme voulue.

En 1980, le docteur et chercheur japonais Hideo Kodama a été le premier à décrire une approche de la production couche par couche et à développer une méthode de prototypage rapide. En 1986, l'Américain Charles W. Hull dépose un brevet pour le **procédé d'impression par stéréolithographie (SLA)**, imaginé deux ans plus tôt par une équipe d'ingénieurs français, comme le précise sur son site l'entreprise Sculpteo. La première machine est commercialisée peu de temps après.

Au cours des années suivantes, les deux autres méthodes principales d'impression 3D sont inventées. La technologie de **frittage sélectif par laser**, ou *Selective Laser Sintering (SLS)*, est mise au point par Carl Deckard à l'Université du Texas. Puis Scott Crump, cofondateur de la société américaine Stratasys, dépose le brevet de la **méthode du dépôt de fil**, ou *Fused Deposition Modelling (FDM)*. Stratasys est devenu depuis l'un des spécialistes mondiaux des solutions, matériaux et services d'impression 3D.

L'apparition des premiers fabricants d'imprimantes 3D date des années 1990. À la même

époque, les outils de conception assistée par ordinateur (CAO) se développent. Les premières applications concernent le domaine médical, avec la conception artificielle d'organes dès 1999.

Forte de ces premiers essais marquants, l'impression 3D suscite l'intérêt des médias et se dévoile progressivement au grand public durant la décennie 2000. En 2009, l'expiration du brevet du dépôt de fil, ou *Fused Deposition Modelling (FDM)*, ouvre la voie à une nouvelle ère. Les innovations se multiplient, le prix des imprimantes 3D baisse et le nombre d'entreprises spécialisées augmente.

Dédié au départ au prototypage rapide, le procédé élargit son périmètre d'actions et entre dans les usines. La **scission entre les domaines d'application grand public et industriel** se crée rapidement et deux marchés distincts font leur apparition. Le terme «impression 3D» est privilégié pour le premier segment, alors que les experts et les industriels utiliseront davantage celui de fabrication additive, plus adapté et plus général.

Au début des années 2010, la technologie d'impression 3D progresse. Elle s'intègre dans les pratiques, faisant naître des innovations et des espoirs. Le brevet de base du frittage sélectif par laser, ou *Selective Laser Sintering (SLS)*, passe dans le domaine public en 2014. Bien que cette technologie soit plus complexe que celle de la FDM, elle est plus opérationnelle. L'ouverture du brevet offre de nouvelles possibilités aux intervenants, permettant notamment la création de **modèles d'imprimantes à un coût plus abordable**.

Une redéfinition de la conception industrielle

Intégrer la fabrication additive oblige les industriels à repenser l'ensemble de leur chaîne de production. L'impression 3D remet en cause la manière dont ils conçoivent et fabriquent leurs produits. La possibilité d'ajouter de la matière uniquement là où elle est nécessaire permet de **penser différemment la conception** en ce qui concerne à la fois le design et la réduction des coûts.

Qualifiée en 2016 de "révolution discrète" par *L'Usine Nouvelle*, la fabrication additive étend peu à peu sa présence dans la chaîne industrielle. Une étude du Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame), publiée en décembre 2017, identifie quatre étapes dans sa progression.

Dans les années 1980, le **prototypage rapide** vient répondre au besoin croissant de personnalisation et de renouvellement des produits. Il permet alors de valider rapidement et concrètement les concepts de produits, et d'ajuster leur design, leur fonctionnement ou leur représentation finale. Au cours des années 1990, le concept d'**outillage rapide** apparaît. L'impression 3D permet de réduire les coûts et les délais de livraison des pièces d'outillage, tout en augmentant leurs performances. Depuis le début des années 2000, l'approche de la **fabrication rapide** s'amplifie. Elle permet de réaliser une pièce directement. Grâce à des technologies plus matures, des pièces fonctionnelles, souvent de taille modeste et en petite série, peuvent être mises en production. Enfin, la quatrième étape a été amorcée récemment. L'enjeu est désormais d'atteindre une **production de pièces fonctionnelles de qualité uniforme sur de plus gros volumes**.

Si cette étape semble être l'objectif ultime à atteindre, une autre évolution, intermédiaire, est évoquée par la journaliste Muriel de Véricourt,

dans un article pour *Industrie & Technologies* de décembre 2017. Selon elle, le procédé devient un outil parmi d'autres à l'usage des industriels. Complémentaire des autres techniques, **la fabrication additive peut s'intégrer dans la chaîne de production** sans éliminer totalement les autres technologies. Claude Barlier, le président du Cirtes, centre de R&D spécialisé dans le domaine, explique par ailleurs que "le plus souvent, la pièce imprimée n'est pas une pièce directe. Elle nécessite encore souvent une phase d'usinage pour apporter les finitions." L'étude du Pipame confirme cette orientation en précisant que l'objectif visé est d'augmenter la productivité et les marges en combinant les atouts de l'ensemble des méthodes au sein d'un écosystème productif global.

Cependant, intégrer l'impression 3D dans la chaîne de production n'est pas seulement une question de machines, comme l'explique Claude Barlier. Même si elle est utilisée partiellement, la fabrication additive procède d'une démarche globale, de la conception au contrôle final. C'est pourquoi de nombreuses entreprises préfèrent avoir recours à des sous-traitants spécialisés. L'internalisation se limite pour le moment à quelques grandes entreprises.

CHRONOLOGIE DE L'IMPRESSION 3D

- Années 1980 : arrivée du prototypage rapide
- Années 1990 : apparition de l'outillage rapide
- Années 2000 : amplification de la fabrication rapide
- Années 2010 : démocratisation de l'impression 3D au sein des process industriels

Un chiffre d'affaires mondial en constante croissance

Les chiffres-clés

Le chiffre d'affaires mondial de l'impression 3D s'établissait autour de **11 milliards de dollars en 2018** selon les calculs opérés par le cabinet d'études International Data Corporation (IDC).

Les estimations et les prévisions varient fortement entre les instituts d'études et d'analyses. Ainsi, le rapport Wohlers de 2018 estimait le marché à 7,3 milliards de dollars en 2017, soit 50 % de moins par rapport aux données d'IDC pour 2018. Pour autant, tous s'accordent sur une croissance rapide et durable du marché. Cette croissance a d'ailleurs tendance à s'accroître. Selon

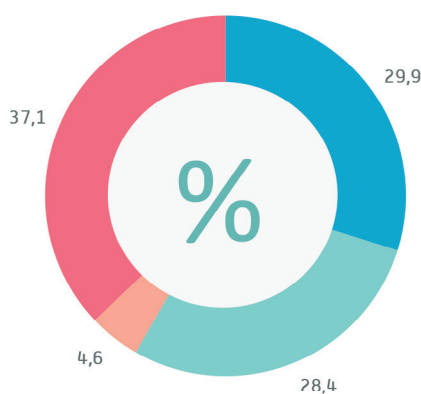
3,1 %

La part de la France dans le marché mondial de l'impression 3D.

RÉPARTITION DU PARC MONDIAL DES SYSTÈMES DE FABRICATION ADDITIVE

(en % du parc mondial en 2018)

■ Asie ■ Europe ■ Autres ■ Amérique du Nord



Traitement IndexPresse. Source : A3DM / Wohlers Report 2019

UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS

l'étude du Pipame de décembre 2017, les ventes de machines, de consommables et de services associés ont connu une progression annuelle moyenne de près de 27 % au cours des dernières années. Le taux avait même atteint 33,8 % sur la période 2012-2014.

Avec 35,3 % du parc mondial de machines installées, les **États-Unis occupent la première place** sur le marché de l'impression 3D, loin devant la Chine (10,6 %) et le Japon (9,2 %) selon les

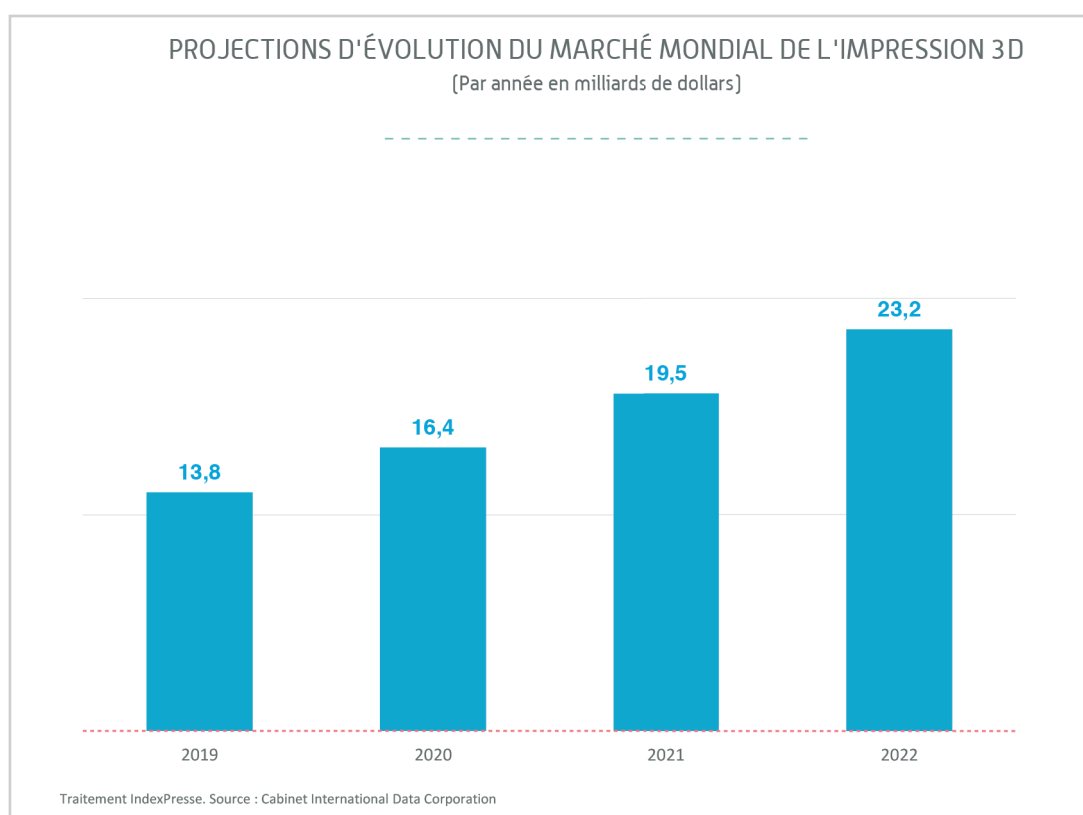
chiffres du rapport Wohlers 2019. L'ensemble du continent nord-américain détient ainsi 37,1 % du marché mondial. L'Asie suit avec 29,9 %, devançant de peu l'Europe (28,4 %).

En Europe, selon les derniers chiffres publiés, le trio de tête des pays utilisateurs est composé par l'Allemagne (8,4 % du parc), le Royaume-Uni (4,2 %) et l'Italie (3,3 %). **La France occupait pour sa part 3,1 %** du marché mondial en 2018, soit 341 millions d'euros environ de chiffre d'affaires.

Les perspectives à l'horizon 2022

Le cabinet IDC a également modélisé la croissance future du marché. Selon ses calculs, le marché de l'impression 3D devait atteindre 13,8 milliards de dollars de dépenses en 2019. Il a aussi projeté les taux moyens annuels de croissance. Selon

l'étude réalisée, le chiffre d'affaires devrait être **en hausse de 19 % par an d'ici 2022**. L'application de ces taux à la projection établie pour 2019 tend à montrer que le marché mondial de la fabrication additive pèsera 23,2 milliards de dollars en 2022.



UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS

Ces données potentielles diffèrent des projections réalisées précédemment. Le cabinet IDC lui-même avait envisagé le chiffre de 35 milliards de dollars pour 2022 au cours d'une étude antérieure. Market and Markets prévoyait lui un taux de croissance moyen annuel de 25 %, qui devait porter le chiffre d'affaires mondial à 32,7 milliards en 2022.

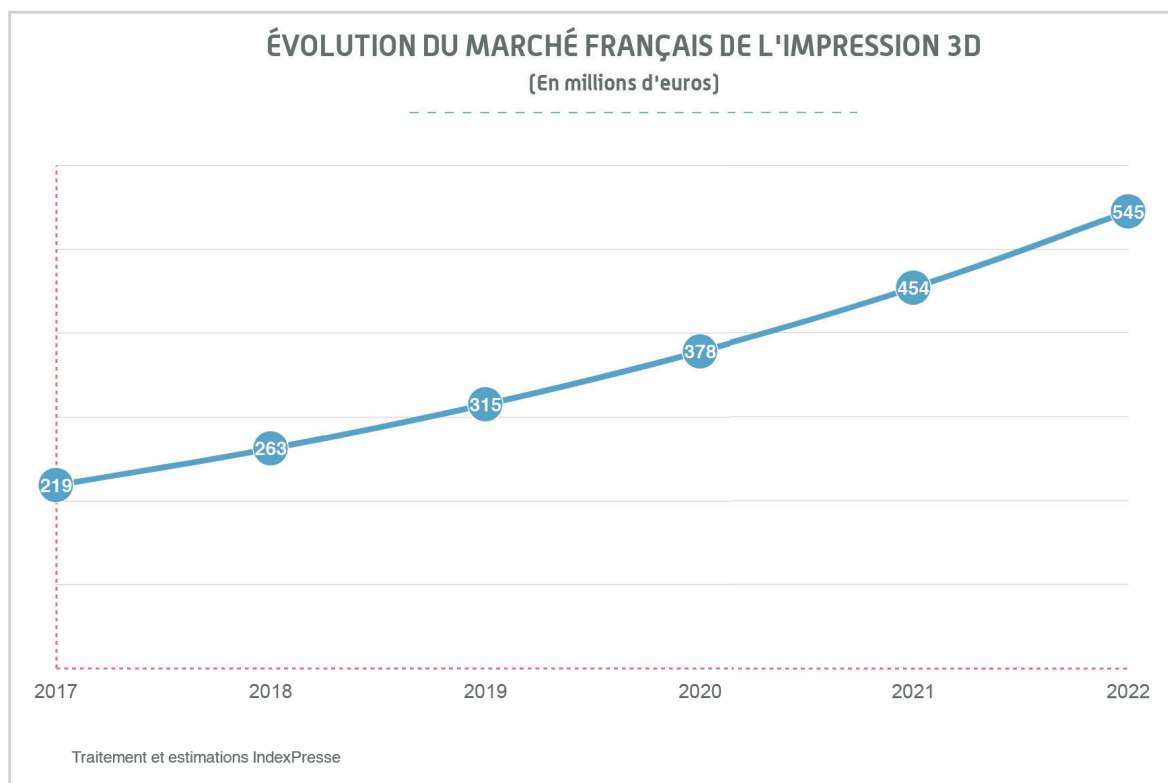
À l'inverse, la réalisation des projections du cabinet IDC revoit à la hausse les données produites par le passé par d'autres cabinets d'études. Xerfi estimait que le marché mondial de l'impression 3D n'excéderait pas 15 milliards de dollars à l'horizon 2022. Market and Research affichait une prévision légèrement supérieure, à 16,8 milliards. Quant au cabinet Deloitte, il est celui qui a produit la projection la plus proche des récentes données publiées par IDC, à savoir 20,5 milliards de dollars.

Pour la France, les prévisions chiffrées sont encore assez peu nombreuses. Xerfi avait prévu que l'activité des entreprises spécialisées dans

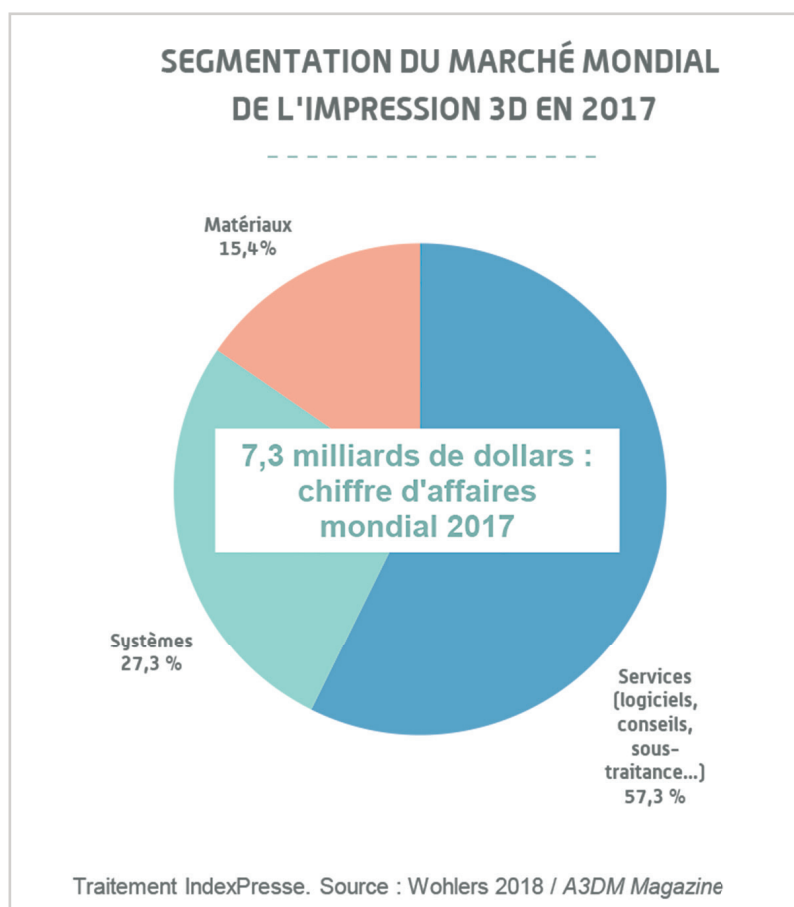
l'impression 3D enregistre **une croissance annuelle moyenne de 20 % entre 2017 et 2022**. En se basant sur ces chiffres, le marché semblait pouvoir atteindre 545 millions d'euros à cette échéance.

35

En milliards de dollars, l'estimation initiale réalisée par le cabinet IDC quant au poids du marché de l'impression 3D en 2022



Les services devancent les machines et les matériaux



Les résultats de 2017

Selon les chiffres du rapport Wohlers 2018, relayés par *A3DM Magazine*, **en 2017 les services occupaient plus de 57 % du marché global mondial de l'impression 3D** avec 4,2 milliards de dollars de chiffre d'affaires. La barre symbolique des 50 % avait été franchie en 2014 avec déjà près de 2,1 milliards de dollars de ventes dans ce domaine. Sur ce segment, le cabinet Wohlers inclut les ventes de logiciels, de pièces (sous-traitance) et de prestations associées.

Selon l'étude 2017 du Pipame portant sur les données 2014, des analyses affinées permettaient d'estimer la part des ventes de logiciels et des services d'ingénierie, de conseils et de formation à 20 % en valeur du marché mondial. Celle de la production de pièces par les équipementiers ou les différents sous-traitants industriels était alors évaluée à 30 % en valeur. En se basant sur des ordres de grandeur similaires, nous pouvons estimer le chiffre des ventes de logiciels et des services d'ingénierie, de conseils et de formation à 1,68 milliard de dollars en 2017. Celui de

la production de pièces par les équipementiers ou les différents sous-traitants industriels atteindrait, quant à lui, 2,52 milliards de dollars environ. Les services ont affiché une hausse de 33 % par rapport à 2015.

Le segment des **systèmes de fabrication additive (imprimantes) se place en seconde position** avec 27,3 % du marché global, soit 1,999 milliard de dollars en 2017. Il a enregistré une croissance de 14,9 % par rapport à 2015. Parmi ces différents équipements, 1 768 systèmes de fabrication additive métallique ont été vendus en 2017, contre 983 en 2016, soit une augmentation de près de 80 %.

Il faut noter également la croissance soutenue du marché des imprimantes 3D de bureau (< 5 000 dollars) depuis 2007. Selon le rapport Wohlers 2016, ce secteur avait connu 70 % de croissance en 2015, avec 278 385 unités de bureau vendues, contre 12 558 machines industrielles, ce qui représente environ 80 % en termes de valeur de ventes. Il est toutefois à noter que le nombre de ventes ne suit plus sa courbe de croissance vertueuse d'autrefois, **et qu'il tend à diminuer depuis 2018**. Si l'on compte un petit millier de producteurs d'imprimantes de bureau dans le monde, les fabricants de systèmes industriels sont nettement moins nombreux. Leur nombre a néanmoins doublé entre 2011 et 2015, passant respectivement de 31 à 62.

Enfin, le dernier segment, celui **des matériaux, atteint 1,13 milliard de dollars en 2017**, soit 15,4 % du marché global. Le secteur des métaux précieux représente la filière la plus prometteuse

pour les années à venir, avec 88 millions de dollars et 32 producteurs de poudres métalliques contre 23 producteurs de matériaux polymères.

Les perspectives

Alors que les chiffres précédents font état d'une progression continue des services et de la sous-traitance, d'autres cabinets et rapports pointent de leur côté une évolution favorable à prévoir pour le segment des systèmes et matériaux.

Le cabinet IDC a produit en 2018 des projections concernant les dépenses mondiales en impression 3D par segment pour les années 2019 et 2022. Les travaux menés montrent que le segment des matériaux est censé avoir représenté **4,2 milliards de dollars de dépenses en 2019, et qu'il atteindra 8 milliards de dollars de dépenses en 2022**. Le segment des systèmes passerait lui de 5,3 milliards de dollars en 2019 à 7,8 milliards de dollars en 2022. Les services se placeraient quant à eux en troisième place avec 3,8 milliards de dollars de dépenses prévues en 2019, et 4,8 en 2022.

Ces chiffres tendent à montrer qu'un basculement se produit dans le marché de la fabrication additive. En voie d'intégration dans de nombreux processus industriels, les grands manufacturiers misent sur des matières premières de qualité et des machines toujours plus sophistiquées pour produire des biens d'excellence et en volume conséquent.

L'industrie, le premier client

Utilisée à l'origine essentiellement par les **secteurs du médical, du spatial et du sport automobile**, la fabrication additive s'est progressivement étendue à d'autres champs d'application, comme l'automobile grand public et l'aéronautique, par

exemple. Toutefois, les grands secteurs historiques représentent encore l'essentiel de la demande.

Pour Christopher Chute, vice président Consumer Insight and Analysis au sein du cabinet IDC,

UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS

"l'impression 3D est un pilier pour la fabrication de produits différenciés dans l'automobile ou l'industrie spatiale, et ce depuis plusieurs années. Cependant au cours des trois dernières années, la baisse du prix des imprimantes 3D ainsi que la possibilité de créer des matériaux abordables ont largement **ouvert cette technologie** aux secteurs de l'éducation, de la santé et au marché grand public".

Face au manque d'attractivité du segment B 2 C (*Business to Consumer*,

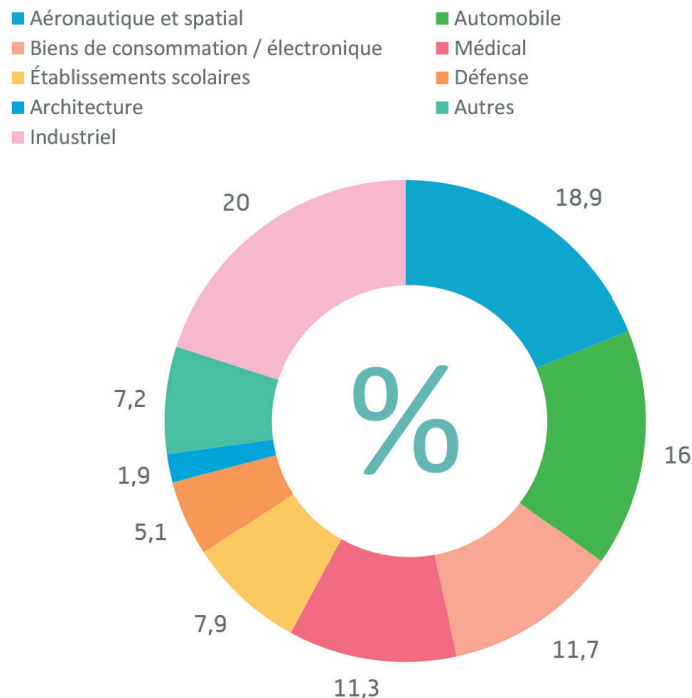
ou grand public), les principaux intervenants du marché ont décidé de concentrer leurs efforts sur les **applications industrielles** de la technologie, contribuant ainsi à accentuer encore le creusement entre les sphères industrielles et le secteur grand public. En s'orientant vers la production en série, l'industrie devrait encore accroître sa prédominance face aux usages personnels, même si ce segment ne doit pas pour autant être négligé par les professionnels du secteur.

18,9 %

La part de
l'aéronautique et du
spatial dans l'usage de
l'impression 3D dans
le monde en 2017.

RÉPARTITION DE L'USAGE DE L'IMPRESSION 3D PAR SECTEUR

(En % du chiffre d'affaires mondial global en 2017)



Traitement IndexPresse. Source : A3DM Magazine / Wohlers Report 2018

Le boom de l'impression 3D dans la fabrication métallique

En 2017, 1 768 systèmes de fabrication additive métallique ont été vendus, d'après les données du rapport Wohlers 2018. Ce chiffre fait état d'une augmentation d'environ 80 % par rapport à 2016, que l'auteur de l'étude qualifie de "phénoménale". Selon Terry Wohlers, le marché de l'impression 3D métal a été tiré par une demande en progression de la part des utilisateurs de ce procédé, encouragée par un besoin de **renforcer les capacités de production**.

Dopée par l'arrivée de nouveaux fabricants de systèmes, l'accélération de ce segment s'est maintenue en 2018. La croissance des ventes de systèmes de fabrication additive métallique est encore conséquente: elle a enregistré une nouvelle hausse de 49 % par rapport à 2017. **Cette forte augmentation a provoqué une augmentation de 41,9 % des revenus générés par les matériaux métalliques utilisés en 2018**, toujours selon Terry Wohlers. Là encore, ce dernier se dit "surpris" par l'émergence fulgurante de ces nouveaux venus et prévoit **une "croissance explosive" dans le domaine des ventes et des acteurs**. Bernard Faure, directeur général France de la société Proto Labs, précise par ailleurs dans un article pour le journal *Les Échos*, que "dans de nombreux cas, la production d'un produit ou d'une pièce coûte globalement moins cher quand elle est effectuée grâce à l'impression 3D que par le biais de méthodes traditionnelles. Ceci est particulièrement le cas lors du travail du métal."

Dans une partie consacrée aux marchés consommateurs de la fabrication additive métallique, l'étude du Pipame de 2017 pointe trois secteurs particulièrement en pointe et en demande: **le médical, la construction aéronautique et spatiale, et les outillages industriels**. L'étude estime par ailleurs que le marché mondial de l'impression 3D métal s'élevait à 340 millions d'euros en 2013, dont 17 millions d'euros en France, d'après un calcul fondé sur le poids la France dans le secteur mondial de la construction mécanique.

Cette progression spectaculaire et inattendue de l'impression 3D métal ouvre **de nouvelles perspectives pour la France**, qui se positionne comme un pays en pointe sur ce segment. Les territoires où le métal, la mécanique et les nouvelles technologies sont déjà développés peuvent mettre en avant leurs atouts. C'est le cas notamment de Saint-Étienne Métropole, qui dispose incontestablement de **l'ensemble des compétences indispensables** pour réussir dans ce domaine: des laboratoires et des écoles d'ingénieurs, un centre technique, un pôle de compétitivité, des entreprises, etc. Pour Franck Simon, responsable des Procédés Avancés au sein du pôle de compétitivité local ViaMéca, "c'est vraiment dans l'ADN de Saint-Étienne – une métropole où la culture industrielle est ancestrale – d'être en pointe sur ces technologies."

L'enjeu industriel est donc grand et il en résulte de nombreuses opportunités à saisir. Les **annonces d'investissements** par les industriels utilisateurs de la technologie se multiplient. *L'Usine Nouvelle* recensait plusieurs initiatives en 2018. Siemens, par exemple, a investi 30 millions d'euros pour doubler la capacité de son site d'impression 3D métal à Worcester, au Royaume-Uni. Boeing, de son côté, certifie des composants structurels en titane imprimés en 3D. D'autres acteurs, plus modestes, se positionnent également, comme le sous-traitant aéronautique lot-et-garonnais Nexteam.

Pour Paul-Henri Renard, directeur général du Centre technique des industries de la fonderie (CTIF), le potentiel est vaste. "On utilise seulement une dizaine d'alliages de métaux, pour l'instant, contre les dizaines de milliers d'alliages qui existent dans l'industrie", explique-t-il dans le journal *Les Échos*. Le journaliste auteur de cet article pointe également qu'il reste beaucoup de travail à faire dans ce domaine en matière de réglementation quant à l'usage des nouveaux matériaux, des procédés, etc.

Aéronautique et automobile : des secteurs clients historiques toujours forts

POIDS ET POTENTIEL DE CROISSANCE
DES PRINCIPAUX SECTEURS INDUSTRIELS
SUR LE MARCHÉ MONDIAL DE L'IMPRESSION 3D

Secteur	Marché (en milliards d'euros en 2014)	Parts de marché (2014)	Taux de croissance annuel moyen 2015-2020
Aérospatiale	0,8	18 %	15-20 %
Production et outillage industriel	0,8	18 %	15-20 %
Santé	0,7	15/17 %	20-25 %
Automobile	0,5	12 %	15-20 %
Joallerie	0,5	12 %	25-30 %
Énergie	nc	Moins de 5 %	30-35 %
Autres	nc	Moins de 20 %	20-25 %
Total	environ 5		32 %

Traitement IndexPresse. Source : PIPAME / Wohlers 2017

Selon l'étude 2017 du Pipame, l'aérospatiale, le médical, l'industrie, le bâtiment et l'automobile représentent 60 % des débouchés du marché mondial de l'impression 3D. Cette étude prévoyait que ces secteurs forts atteindraient des **taux de croissance de l'ordre de 15 à 20 %**, confirmant ainsi leur potentiel de développement. Pour autant, d'autres secteurs, moins développés jusque-là, devraient également progresser d'après le cabinet Wohlers. Par exemple, la joaillerie et l'énergie concentrent 30 % de potentiel de croissance pour les années à venir.

16 %

La part de
l'automobile
dans l'usage de
l'impression 3D
dans le monde
en 2017.

L'aéronautique, le spatial et la défense

L'impression 3D s'inscrit dans les tendances phares du secteur de l'aéronautique. Sébastien Maire, spécialiste Aerospace défense au sein du cabinet d'études Kea & Partners, évoquait même une **"montée en puissance historique"** dans un article pour *Les Échos* de décembre 2017. Il notait deux faits marquants : "Pour la première fois, un A380 (Airbus) a embarqué un composant hydraulique de commande de vol imprimé en 3D, alors que de son côté Boeing a obtenu l'accord de la Federal Aviation Authority pour pouvoir utiliser des pièces en titane fabriquées par impression 3D pour son 787 Dreamliner."

Secteurs pionniers de la fabrication additive, la construction aéronautique et ses dérivés que sont la construction spatiale et la construction d'équipements militaires s'imposent comme des **domaines à fort potentiel**. Le portail spécialisé 3Dnatives faisait état, au printemps 2018, d'une étude publiée par Research and Markets, selon laquelle le taux de croissance de la fabrication additive dans le secteur aérospatial devrait s'établir à 23,01 % entre 2017 et 2021. Un chiffre supérieur aux estimations du Pipame indiquées sur le tableau de la page précédente. Selon cette même étude, les principaux atouts recherchés par les acteurs du secteur se portent vers l'amélioration de la performance d'une pièce, la réduction de son poids et une conception plus facile même pour des pièces complexes. L'étude du Pipame précise que ce secteur demande des productions de petites séries, proches de la pièce unitaire. La fabrication additive permet de s'affranchir de la conception et de la fabrication d'outillage spécifique.

Pour autant, l'usage de l'impression 3D dans l'aéronautique ne se limite pas aux petites séries. Certaines pièces sont produites **en plus grandes séries**, comme les supports de sièges par exemple. **Les équipementiers, la plupart du temps des PME**, s'ouvrent eux aussi à cette technologie. Le

recours à la fabrication additive n'est pas l'apanage des seuls grands groupes comme Boeing ou Airbus. *L'Usine Nouvelle* rappelle ainsi que l'entreprise française Latécoère a acheté sa première imprimante 3D en 2016. Elle utilise le procédé pour la réalisation de l'ensemble de ses prototypes de pièces et certains outillages. Simon Rieu, responsable méthodes, composites et fabrication additive au centre de R&D et d'innovation de l'équipementier, explique que le gain de temps est le premier résultat tangible avec plus de 90 % de réduction de temps pour les prototypes. En ce qui concerne les outillages, les coûts de production ont quant à eux été réduits de 40 % environ.

La **réduction des délais et des coûts** vaut particulièrement pour l'industrie spatiale. En effet, les composants, pièces de rechange et outils pourraient à terme être entièrement fabriqués dans les stations spatiales, plutôt que d'être envoyés dans l'espace depuis la Terre. *A3DM Magazine* explique que la NASA, en collaboration avec Made In Space, a conçu le premier objet imprimé par fabrication additive dans l'espace en 2014.

L'industrie aéronautique reconnaît ainsi aux technologies d'impression 3D la capacité de réduire le poids, le coût et la complexité de production de pièces. Cependant, des freins doivent encore être levés pour une large diffusion, à commencer par **le volume et la taille du produit à fabriquer**. Un avion se compose de très grands composants alors que le volume d'impression 3D est encore limité. Mais la R&D avance vite. En 2018, la société française Stelia Aerospace a fabriqué un démonstrateur d'un panneau de fuselage faisant 1 m² à l'aide de la technologie de fabrication additive. Qualifiée de "première mondiale", cette conception a été réalisée en partenariat avec Constellium, Centrale Nantes et CT Ingénierie. Pour Léna Corot, journaliste à *L'Usine Nouvelle*, "le fait d'avoir réussi à fabriquer un démonstrateur aussi grand à l'aide de l'impression 3D est très encourageant pour le développement de cette technologie dans l'aéronautique".

2,6 milliards de dollars

Le marché de l'impression 3D dans le secteur aérospatial en 2020.

Source et estimation : Pipame.

L'innovation est également de mise en ce qui concerne les matériaux. La complexité des pièces à fabriquer impose d'utiliser **des matériaux performants, fiables et durables**. Sur ce sujet, Bernard Laquerbe, responsable fabrication additive du constructeur aéronautique français Latécoère, attend de ses prestataires et fournisseurs de nouveaux matériaux certifiés pour son secteur, notamment des matériaux fibrés. L'aéronautique doit en effet se soumettre à des exigences drastiques en matière de sécurité auxquelles les matériaux doivent répondre. En 2017, selon l'étude du Pipame, la filière d'approvisionnement française n'atteignait pas encore les attentes du marché sur ce volet et devait gagner en structuration.

Dans le même ordre d'idée, *A3DM Magazine* précise que **le manque de standardisation** des matériaux, des procédés et des produits rend difficile la fabrication de pièces de haute qualité. La question de la certification s'impose comme un élément essentiel pour permettre le développement de l'activité. Il est donc primordial que la normalisation de la technologie se concentre sur l'harmonisation des applications et des processus de répétabilité. Mais ce travail est complexe car

les machines, les matériaux, les procédés et les techniques sont nombreux, tout comme les organismes de certification.

Une fois ces différents freins levés, le potentiel du marché pourrait s'avérer considérable. Le directeur général de Proto Labs France, Bernard Faure, rappelait en 2016 dans un article paru dans le journal *Les Échos* que "sur un marché international où règne une concurrence croissante, l'industrie aéronautique ne cesse de rechercher des solutions rentables capables d'améliorer à la fois le confort des passagers et l'efficacité énergétique des avions". Il ne fait aucun doute que l'impression 3D constitue l'une des technologies capables de répondre à ces défis. Il faut ajouter à cela **une forte hausse de la demande** en matière de construction d'appareils. Selon une étude d'Airbus relayée par Bernard Faure, "d'ici à 2034, un accroissement de 106 % de la demande est à prévoir rien que pour les appareils de transport de passagers. Cette augmentation prévue de la demande obligera les fabricants à revoir sérieusement leurs procédés actuels et à adopter les nouvelles technologies qui leur permettront d'y répondre."

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DEMANDE POUR LE SECTEUR AÉROSPATIAL

Prototypage et expérimentation	Personnalisation	Production série et gain de performance	Evolution de la chaîne de valeur (flexibilité et production à la demande)
Moyenne (nouveaux matériaux, pièces de grandes tailles)	Faible (niche sur l'aviation de luxe, intérieurs)	Forte (allègement, intégration de fonction)	Forte (gestion des obsolescences, réduction du temps d'immobilisation)

Traitement IndexPresse. Source : PIPAME 2017

L'automobile

Autre secteur propice à la fabrication additive, la construction automobile est une cible des domaines d'application historiques et conserve tout son potentiel. Selon Reports and Reports, ce secteur fait partie de ceux dont la **hausse de la demande** devrait stimuler l'ensemble de la croissance du marché à l'horizon 2023. Une étude réalisée par le cabinet SmarTech et relayée par le Pipame prévoyait que l'impression 3D devait représenter un marché de 1,1 milliard de dollars dans l'industrie automobile en 2019, avec une **croissance annuelle de l'ordre de 20 % entre 2014 et 2019**. De son côté, une étude IDC estimait en 2016 que les plus gros revenus de l'impression 3D provenaient de la réalisation de prototypes dans l'automobile, soit un chiffre d'affaires de 4 milliards de dollars contre 2,4 pour l'impression de pièces pour la défense et l'aérospatiale.

Comme dans l'aéronautique, l'impression 3D permet à l'automobile de réaliser des pièces complexes, plus légères, nécessitant un moindre travail d'assemblage qu'avec les techniques de production classiques. *L'Usine Nouvelle* expliquait en 2017 que Renault Trucks était ainsi parvenu à supprimer 200 pièces sur un moteur en réalisant un prototype en impression 3D.

L'automobile trouve également avec l'impression 3D des facilités propres à créer de nouveaux débouchés commerciaux. La possibilité de **personnaliser des produits** ouvre par exemple la voie à la réalisation de pièces sur mesure, adaptées aux envies des clients. En 2017, AddUp, la coentreprise d'impression 3D de Fives et Michelin, a remporté un contrat avec un grand constructeur automobile pour la création d'équipements sur mesure – par exemple la conception d'enjoliveurs dont l'esthétique personnalisée sera définie en ligne par l'acheteur.

À l'origine, l'impression 3D a su conquérir le secteur automobile par le secteur de niche de la Formule 1, comme le rappelait L'Atelier BNP Paribas dans une de ses publications de 2016.

Grâce à cette technologie, les écuries ont pu bénéficier de moteurs plus légers et plus performants, et surtout d'équipements uniques. Dans le domaine des voitures grand public, Julien Rouillac,

Lead Designer chez 3D Systems, explique que les garagistes pourraient de la même manière disposer, à terme, d'imprimantes 3D pour remplacer certaines pièces.

La **réduction des stocks** s'impose aussi comme un atout indéniable pour le secteur. Frédéric Sanchez, le président du directoire de Fives, explique d'ailleurs dans *L'Usine Nouvelle* que le stock de pièces détachées de son site de Cincinnati, aux États-Unis, pourra être divisé par quatre grâce à l'impression 3D. En imprimant les pièces pour les machines-outils sur place, l'entreprise espère économiser 30 millions d'euros. Réduire la distance parcourue par des produits ou des pièces n'engendre pas seulement une économie d'argent, mais aussi une économie de temps, comme le précise Richard D'Aveni, professeur de stratégie à la Tuck School

1,1 milliard de dollars

Le marché de l'impression 3D dans le secteur automobile en 2019.

Source et estimation : Pipame.

FIVE - MICHELIN

Fives Michelin Additive Solutions, devenue AddUp en janvier 2017, est née de l'ambition commune des groupes industriels Michelin et Fives de développer une compétence unique et une offre industrielle fiable dans le domaine de la fabrication additive métallique. La coentreprise, lancée en septembre 2015, a développé une solution industrielle globale tournée vers les besoins du secteur industriel. Elle comprend à la fois la conception, la fabrication et l'intégration de machines fiables et robustes, la production de pièces métalliques à la demande et une activité de services incluant la re-conception de pièces, l'apport d'une expertise dans le procédé de fabrication et les services associés au soutien à la machine en exploitation.

Source : Primante 3D.

of Business du Dartmouth College, dans un article pour *Havard Business Review*.

De manière générale, l'automobile fait partie des secteurs qui utilisent l'impression 3D pour **améliorer les performances**. Jusqu'à présent, on pouvait accroître le rendement énergétique des véhicules en diminuant leur poids, mais cela fragilisait souvent leur structure. Les nouvelles technologies permettent aux industriels d'éviter une pièce pour la rendre plus légère et augmenter son rendement énergétique, tout en incorporant des structures internes qui améliorent son élasticité, sa longévité et sa résistance à l'impact.

Pour autant, comme le rappelle Frédéric Sanchez, certaines particularités de production inhérentes à l'automobile empêchent que la fabrication additive soit adoptée à grande échelle. La **technologie est encore trop lente** pour supporter les cadences de l'automobile et la production de masse de pièces de précision reste pour le moment du domaine de l'usinage. L'usage de la fabrication additive sur ce marché est donc plus axé sur le prototypage de présérie, les outillages et les dispositifs d'aide à la production (petit outillage interne) comme le soulignait l'étude du Pipame de 2017.

ESSOR DE L'IMPRESSION 3D DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

Selon une infographie publiée en 2018 par *SmarTech Analysis* (ex *Smartech Publishing*), le marché de l'impression 3D dans la construction atteindra 40 milliards dollars de recettes d'ici 2027, dont 150 millions concerneront les matériaux, 3,5 milliards les machines et 36 milliards les applications. La baisse des coûts et des déchets, l'augmentation de la durabilité des bâtiments construits, l'efficacité accrue et l'accélération du temps de travail, sont les principaux moteurs de l'adoption du procédé dans ce secteur.

Source : 3DNatives.

À terme, toutefois, le secteur peut envisager une révolution complète de ses ateliers, en se dirigeant vers un **mode de production en étoile**, et non plus en flux. La 3D sera alors capable, selon Frédéric Sanchez, de permettre le développement de la production de petites séries personnalisées, tout en s'appuyant sur un socle d'éléments communs à tous les modèles.

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DEMANDE POUR LE SECTEUR AUTOMOBILE

Prototypage et expérimentation	Personnalisation	Production série et gain de performance	Evolution de la chaîne de valeur (flexibilité et production à la demande)
Faible	Faible (niche sur le sport automobile et le haut de gamme)	Moyenne (variation d'alvéoles, pot catalytique)	Moyenne (segment de la pièce détachée non critique)

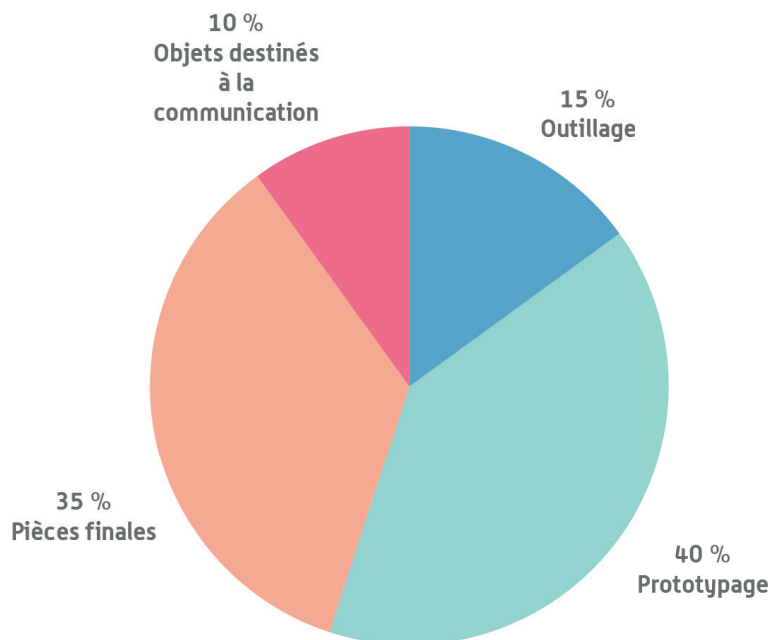
Traitement IndexPresse. Source : PIPAME 2017

Du prototype à la production de masse, quels leviers actionner ?

La baisse régulière du prix des machines de fabrication additive a permis aux industriels de découvrir et d'intégrer cette technologie dans leurs pratiques. Le prototypage a été l'une des premières applications concrètes de l'usage industriel de l'impression 3D. L'enjeu est désormais d'ancrer le procédé dans la fabrication de pièces de série, sur des **systèmes capables de fonctionner en continu**, tout en maintenant un niveau de qualité homogène. D'après Sébastien Vercruysse,

le PDG de Creatix3D, un intégrateur de solutions de fabrication additive interrogé par *L'Usine Nouvelle*, en 2016 la part des pièces fonctionnelles a rejoint celle des pièces non fonctionnelles, marquant ainsi **une étape significative dans l'industrialisation** de la fabrication additive. Pour autant, comme le soulignait le Pipame dans son étude de 2017, les technologies et les opérateurs du marché n'ont pas encore atteint la maturité suffisante pour proposer à leurs clients des

RÉPARTITION DES PROJETS PAR TYPE D'APPLICATION EN 2016



Traitement IndexPresse. Source : *L'Usine nouvelle*

outils et des services adaptés à leurs besoins pour une production en gros volume. Le Pôle identifie une série d'actions transverses et majeures nécessaires au développement de l'industrialisation (listés dans l'encadré ci-contre).

Pour les industriels, **l'exigence de productivité** l'emporte sur les autres avantages de la technologie. Christophe Eschenbrenner, Manager Supply Chain numérique d'Alstom, explique dans *L'Usine Nouvelle* que la fabrication additive est de trois à dix fois plus chère que les méthodes de fabrication classique. Le prix des imprimantes 3D industrielles oscille entre 50 000 et plusieurs millions de dollars, comme le rappelle un document de L'Atelier BNP Paribas. L'acquisition d'une machine constitue donc **un coût d'investissement conséquent** pour une entreprise. Julien Rouillac, Lead Designer chez 3D Systems, intègre d'ailleurs cet aspect dès le début de ses démarches commerciales : "Nous essayons d'évaluer avec le client si l'impression 3D constitue la méthode industrielle de production la plus intéressante d'un point de vue économique, avant de conseiller un achat. L'impression 3D doit être vue comme un véhicule qui permet la création de formes complexes de manière répétitive et rapide. Si elle peut répondre aux besoins précis d'un industriel et peut **permettre de réaliser des économies d'échelle**, alors l'investissement en vaut la chandelle."

Toutefois les industriels sont conscients des gains substantiels que peut générer un investissement sur le long terme. Thierry Thomas, le directeur de Safran Additive Manufacturing, cellule créée pour accélérer l'adoption de la technologie au sein du groupe, expliquait en 2017 dans *L'Usine Nouvelle* : "D'ici à cinq ans, les coûts de production seront divisés par deux, d'ici à dix ans, les machines seront automatisées et intelligentes. La fabrication additive sera et est déjà un *game changer*. Nous sommes en train de nous armer pour en bénéficier au maximum." Dans ses scénarios prospectifs, le Pipame estime que la fabrication directe à l'échelle industrielle ne devrait se développer qu'à partir de 2022-2025. En attendant cette échéance, la fabrication d'outillage s'impose comme le segment le plus favorable pour la démocratisation de la technologie dans les process des industriels français et internationaux.

UN CAP À FRANCHIR : SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX BESOINS

- **Augmenter la productivité des machines :** augmenter la vitesse de fabrication afin de réduire le coût de l'amortissement des machines, fabriquer une structure complète d'un seul coup grâce à des chambres de fabrication plus volumineuses.
- **Aider à produire des pièces de meilleure qualité grâce à une plus grande maîtrise du procédé :** garantir une pièce de bonne matière grâce à une meilleure gestion des paramètres de fabrication, intégrer les opérations de contrôle qualité dès la fabrication, cibler les critères prioritaires pour évaluer la conformité d'une pièce produite par fabrication additive, améliorer la fiabilité du procédé jugée insuffisante par rapport aux procédés conventionnels, capitaliser les données sur les pièces fabriquées.
- **Développer de nouveaux matériaux et en assurer l'accessibilité :** consolider la filière amont des matériaux, gagner en maturité sur les matériaux existants, élargir les gammes de matériaux accessibles.
- **Sensibiliser les équipes aux nouvelles approches de conception :** repenser le design des pièces existantes grâce à l'optimisation topologique, oser la complexité sans surcoût lors de la conception de nouvelles pièces.
- **Développer des offres de formation académiques et continues autour de la fabrication additive.**
- **Clarifier la situation en termes de propriété intellectuelle et de responsabilité.**
- **Avoir un recul suffisant sur les impacts de la fabrication additive sur la santé et la sécurité.**

Source : Pipame 2017.

ENJEUX ET AVANTAGES DE L'IMPRESSION 3D POUR L'INDUSTRIE

Sur le plan économique

- Simplicité de mise en œuvre du procédé.
 - > Réduction des coûts et des délais de réalisation de prototypes et de pièces de petite série.
 - > Gestion optimisée des stocks (production à la demande), des pièces de rechange et des réparations.
 - > Localisation possible de la production au plus près du besoin (notamment pour les réparations et les pièces de rechange).
 - > Versatilité du moyen de production par rapport aux pièces produites.
- Optimisation des procédés de fabrication.
 - > Réduction des étapes de fabrication requises et du nombre d'assemblages.
 - > Réduction du nombre d'outillages ou optimisation des outillages (par exemple, pour les moules la réalisation de canaux de refroidissement thermique).
- Optimisation de la pièce finie.
 - > Rajout de fonctions pour un procédé de fabrication équivalent, allègement de masse.
 - > Réalisation de nouvelles géométries, nouvelles architectures, nouveaux matériaux.

Sur le plan technologique

- Possibilité de créer des formes complexes (lattices, matériaux architecturés) impossibles à fabriquer selon les procédés conventionnels.
- Intégration de fonctions : possibilité de produire une pièce composée de plusieurs sous-systèmes en moins d'étapes, impliquant ainsi une réduction de nombre d'opérations d'assemblage.
- Opportunité de mise en œuvre de nouveaux matériaux, fabrication multimatériaux.

Sur le plan de la transformation de l'entreprise

- Possibilité de travail avec le réseau de fournisseurs et/ou de distribution pour mutualiser les moyens de production et l'optimisation des coûts matière.
- Réorganisation des unités de production au plus près des lieux d'usage ou d'intégration.
- Évolution vers des gammes de produits personnalisés et de produits à la demande, dans une approche service, collaborative et boucle courte avec le client.
- Utilisation simplifiée du prototypage rapide pour faire évoluer les processus d'innovation et d'usages.

Sur le plan environnemental et sociétal

- Utilisation de matière uniquement là où c'est nécessaire : économies de matières premières par rapport aux procédés soustractifs.
- Optimisation des pièces (allègement de masse) et des moyens de production (chaîne de production simplifiée, localisée) : réduction de la consommation énergétique et des émissions de carbone.
- Transition de la production de masse vers la personnalisation de masse.
- Possibilité d'inclure au plus près de l'entreprise les contributions de la communauté d'utilisateurs aux processus d'innovation ouverte, de nouveaux usages et de production (similaire à ce qu'on pourrait trouver dans les communautés logicielles "Open Source").

Source : Alliance Industrie du Futur.

Un segment grand public encore peu développé

Début juin 2016, le leader américano-israélien de l'impression 3D Stratasys est en crise. Son PDG démissionne après sept ans à la tête de l'entreprise. Ses pertes financières atteignent 1,4 milliard de dollars pour un revenu en baisse à 696 millions de dollars pour l'année 2015. La société subit le contrecoup du rachat du fabricant de machines grand public MakerBot. De fait, **le marché de l'impression 3D grand public ne s'est pas révélé aussi prometteur que prévu**. Quelques mois plus tôt, son concurrent et numéro 2 mondial, l'américain 3D Systems, s'était lui totalement retiré de ce segment en arrêtant la production de son seul produit grand public, comme l'explique Anaïs Moutot dans *Les Échos*. Ses ventes ne représentaient que 6 % du total du chiffre d'affaires de l'entreprise. Après le fort engouement suscité par la médiatisation du procédé, le souffle est retombé. Selon le cabinet IDC, les impressions personnelles ne représenteront qu'à **peine plus de 3 % du marché** global de l'impression 3D à l'horizon 2020. Pour la chercheuse de l'University College de Londres, Ludmila Striukova, citée par l'étude du Pipame publiée en 2017, les particuliers n'utiliseront pas la fabrication additive à domicile pour imprimer des objets du quotidien avant 2030 au plus tôt.

En 2016, Frédéric Parisot dans *L'Usine Nouvelle* se demandait même s'il continuera d'exister un marché grand public pour l'impression 3D. Mises en commercialisation trois ans plus tôt, les imprimantes 3D d'entrée de gamme sont passées sous la barre des 1 000 euros et sont alors présentées comme les prochains objets high-tech indispensables, après les smartphones et les tablettes. Pourtant, **les ventes n'ont pas suivi**. Une précision insuffisante, un manque de répétabilité (trop de pièces ratées) et la lenteur de fabrication rebutent les utilisateurs, même les plus convaincus.

En 2016, les ventes d'imprimantes 3D grand public étaient pourtant en hausse sensible, selon une étude du cabinet Context. Mais les revenus reculaient (- 1 %). L'étude précise que 75 % des ventes de ce segment se font sous la barre des 1 000 dollars. En ce qui concerne les fabricants, le taïwanais XYZprinting est leader en volume avec 17 400 unités écoulées; le néerlandais Ultimaker est lui numéro un en valeur avec 17,7 millions de dollars de chiffre d'affaires.

Toutefois, le marché global de **l'impression 3D dite "de bureau" reste porteur**. Une étude du cabinet Deloitte publiée en 2017, qui s'appuie sur les données des cabinets Wohlers, Context et Canalys, montrait une croissance importante

TOP 5 DES IMPRIMANTES 3D LES MOINS CHÈRES

- Anet 8 de Shenzhen Anet Technology: 123 euros.
- Select Mini de Monoprice: 249 euros.
- Creality CR-10 de Shenzhen Creality 3D Technology: 272 euros.
- Da Vinci Mini w+ de XYZprinting: 299 euros.
- Micro 3D de M3D: 299 euros.

Source: 3Dnatives.

UNE FILIÈRE EN CONSTRUCTION À LA RECHERCHE D'OPPORTUNITÉS

en volume des ventes d'imprimantes de bureau : + 144 % entre 2011 et 2015, contre + 17 % pour les imprimantes industrielles. Pour Mark Cotteleer, directeur recherche chez Deloitte Service LP, "les imprimantes de bureau étaient réservées aux amateurs ou à certaines salles de classe, désormais elles sont utilisées par des bureaux d'études, des designers, des artistes, des bijoutiers, des professionnels de la santé...". Selon une étude Markets and Markets relayée au printemps 2018 par le salon parisien de la fabrication additive AddFab, le marché du bureau devrait croître à un taux de croissance plus élevé entre 2017 et 2023. Un article du site spécialisé 3DInsider prévoit même que **le million de ventes d'imprimantes de bureau sera atteint en 2023**. L'innovation de produit, la personnalisation, la réduction du coût des imprimantes 3D de bureau et l'introduction de nouveaux matériaux sont les principaux moteurs du marché. Le communiqué de presse indique que les imprimantes 3D de bureau sont maintenant utilisées par les amateurs et les professionnels pour **développer des pièces fonctionnelles**, en particulier les produits de consommation, grâce à la disponibilité de

technologies d'impression 3D avancées à un coût abordable.

Pour s'affranchir totalement de la sphère professionnelle et convaincre la cible des particuliers, les acteurs de l'impression 3D devront malgré tout lever plusieurs freins indiscutables et actionner des leviers précis. L'étude du Pipame en relève notamment sept :

- Un prix jugé trop élevé pour des applications dites "gadget".
- Un besoin de sensibilisation sur les usages de l'impression 3D.
- Un manque de boutiques et de relais physiques.
- Une gestion des fichiers numériques difficilement accessible pour un particulier.
- La nécessité de plus de briques technologiques complémentaires pour développer le marché.
- L'importance de la sensibilisation à moyen terme par l'éducation.
- Le renforcement des aspects sécurité du consommateur grand public.

Interrogé par *Les Échos* en mai 2018, Félix Wouts, PDG de la société 3D4Pro, une entreprise

ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DEMANDE POUR LE SECTEUR DES BIENS DE CONSOMMATION ET DU GRAND PUBLIC

Prototypage et expérimentation	Personnalisation	Production série et gain de performance	Evolution de la chaîne de valeur (flexibilité et production à la demande)
Faible (moins de 5 % de la population)	Moyenne (réalisé par un prestataire en impression 3D)	Faible	Faible (la fabrication personnelle n'est pas envisagée avant 2030)

Traitement IndexPresse. Source : PIPAME 2017

spécialisée dans la création de modèles 3D pour les entreprises, revient longuement sur la question de la gestion des fichiers numériques et de **la modélisation**. Selon lui, "il y a eu un véritable désenchantement de la part du public, car il n'y a pas assez de modèles 3D et peu de gens savent modéliser des objets." Une analyse confirmée par Néhémie Komain, PDG de NKAD Printers, une start-up spécialisée dans l'impression métallique en 3D: "La partie modélisation est celle qui coince, très clairement." Si les utilisateurs ne peuvent avoir accès facilement à suffisamment de modèles, le recours à l'impression 3D ne pourra pas se développer.

Dans ce même article, le journaliste Étienne Combier pointe également **certains freins psychologiques**. Alors que le consommateur est habitué à se voir proposer des produits, avec l'impression 3D c'est lui qui doit avoir l'idée de ce qu'il veut obtenir ou faire. Un véritable changement de paradigme doit intervenir.

Les opérateurs doivent trouver les moyens de libérer le potentiel du segment grand public pour

qu'il puisse s'exprimer. Arnaud Touati, avocat spécialisé dans les nouvelles technologies chez AltoAvocats, pense que le positionnement d'un acteur généraliste d'envergure, comme Amazon, pourrait permettre de faire décoller le marché. Pour le moment, les grands noms du high-tech préfèrent se tourner vers l'impression 3D professionnelle, à l'instar du groupe HP. Les places sont donc encore à prendre pour démocratiser la technologie sur le segment grand public.

C'est d'ailleurs la voie choisie par BQ, fabricant espagnol d'imprimantes 3D. Interrogée par le portail 3Dnatives en février 2018, Astrid Sánchez, directrice commerciale, explique que la stratégie de son entreprise est de simplifier au maximum l'utilisation de ses produits pour permettre d'ouvrir l'usage de la technologie à tous. En soignant particulièrement le design de ses imprimantes, elle souhaite en faire des produits grand public inscrits dans le quotidien des usagers. Elle mise également sur son incursion dans le monde éducatif pour encourager l'adhésion et la créativité du plus grand nombre.

Une imprimante 3D pour Apple ?

En janvier 2018, le géant américain des smartphones et des ordinateurs Apple a déposé un brevet pour une imprimante 3D couleur, selon le portail spécialisé 3Dnatives. En 2015, le groupe avait déjà déposé un premier brevet concernant les technologies de fabrication additive couleur, resté sans suite concrète jusqu'à maintenant.

Cette nouvelle incursion relance les spéculations et laisse planer la question du lancement prochain d'un modèle d'imprimante 3D. Ce projet ne semble pas être la priorité d'Apple, qui communique très peu sur la commercialisation dans un futur proche d'une éventuelle imprimante 3D siglée de l'iconique pomme.

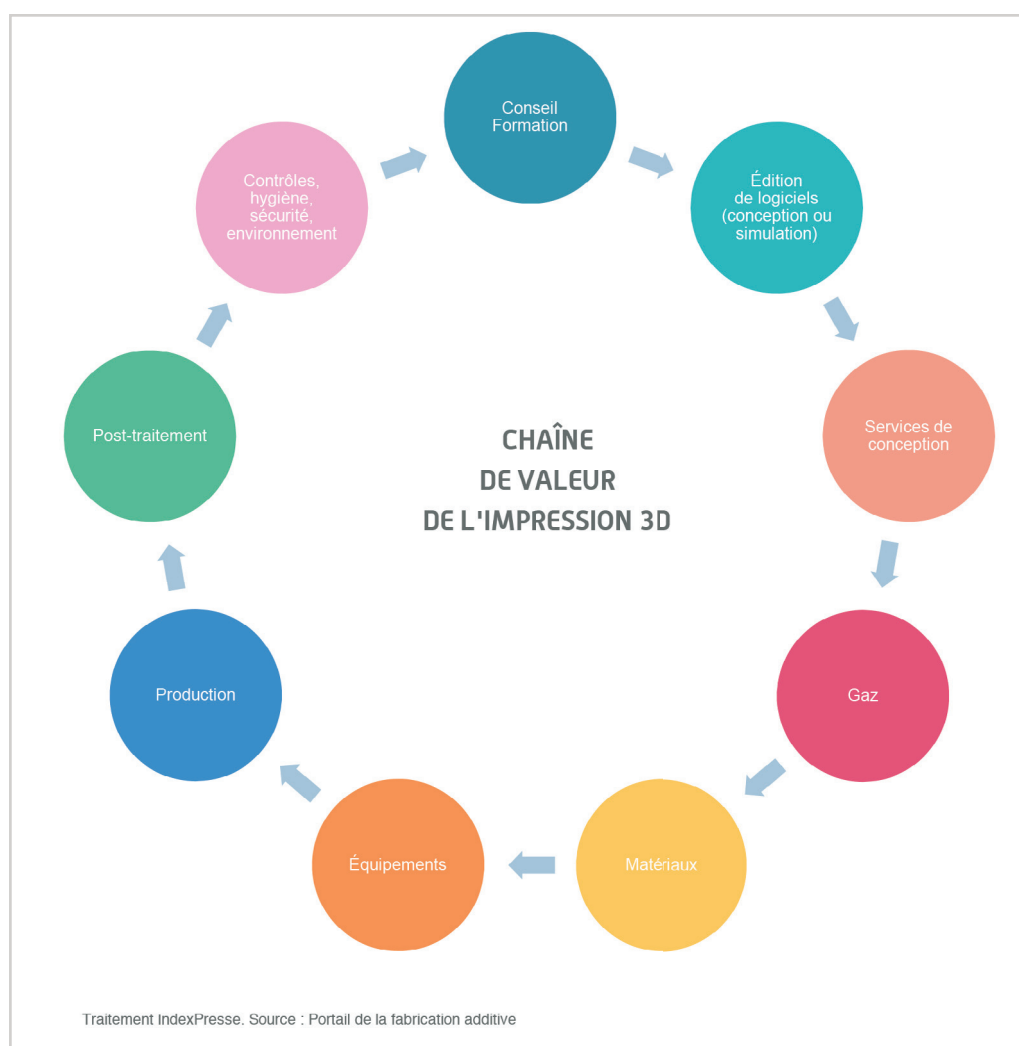
Parmi les caractéristiques de la potentielle imprimante 3D d'Apple, la marque explique que le fichier 3D pourrait être créé à partir d'un ordinateur, d'un téléphone ou d'un serveur avec la possibilité de se connecter avec tous les appareils électroniques de la marque.

La domination des acteurs internationaux

Les types d'intervenants du marché

Des matériaux aux machines, en passant par l'édition de logiciels ou les prestations de conseils et de services, la chaîne de valeur de l'impression 3D concerne un grand nombre d'intervenants potentiels. Là encore, des différences significatives sont à noter entre les segments grand public et professionnel. Sur le premier segment, la chaîne est

raccourcie avec un lien descendant direct entre les fabricants d'imprimantes 3D et leurs potentiels clients. À l'inverse, le segment professionnel et industriel mobilise davantage d'intermédiaires, en particulier des structures d'études et de services dont le rôle est d'accompagner les entreprises dans leur adoption de la technologie.



Des leaders historiques internationaux

Les sociétés américaines 3D Systems et Stratasys, ainsi que le groupe allemand EOS GmbH, s'imposent comme les leaders internationaux de l'impression 3D. Selon un rapport publié en 2017 par le cabinet d'études américain Arizton – Advisory and Intelligence, les acteurs internationaux devraient **continuer à asseoir leur autorité sur le marché** à l'horizon 2022. Face à eux, les vendeurs dits régionaux subiront une concurrence de plus en plus forte qui pourrait mener à **une concentration du marché**. Arizton prévoit en effet le rachat des plus petits vendeurs par des acteurs plus importants. Toujours selon Arizton, la qualité, la quantité, la technologie, les services et le prix seront les éléments de différenciation majeurs entre les différents opérateurs. Le cabinet prévoit également une véritable intensification de la concurrence sous l'effet de l'émergence d'innovations récentes. Il cite plusieurs autres acteurs phares du secteur: ARC Group Worldwide, Arcam (GE), Beijing Tiertime Technology, Carbon, Concept Laser (GE), Cookson Precious Metals, EnvisionTEC, General Electric, Groupe Gorgé, Höganäs, Koninklijke, Markforged, Mcor Technologies, Nano Dimension, Optomec, Renishaw, SLM Solutions Group, Taulman 3D, The ExOne Company, Ultimaker, Voxeljet, XYZprinting.

Les stratégies des trois principaux acteurs de l'impression 3D depuis leur création méritent d'être présentées en détail.

Stratasys

Leader mondial du marché de l'impression 3D, Stratasys a été créée aux États-Unis par Scott Crump, inventeur en 1988 de la technologie FDM en ayant l'idée de mélanger de la cire et du plastique. Il commercialise sa première imprimante 3D en 1994.

Moins de dix ans plus tard, la technologie FDM est la première sur le marché de l'impression 3D. En 2008, le groupe prend position sur le marché des entreprises en lançant sa première imprimante pour bureau. La société développe ensuite

son activité via des opérations de **croissance externe**: en 2011 avec Solidscape, spécialiste de l'impression d'objets médicaux; puis en 2012 avec Makerbot, leader du secteur de l'impression pour particuliers et créateur du modèle phare Replicator.

Mais son véritable coup de force intervient en 2012 avec **l'acquisition de la société israélienne Objet**. L'entreprise franchit à cette époque un cap majeur en héritant de la technologie Polyjet, qui consiste à imprimer des objets en 3D par l'injection de gouttes de liquide photopolymère qui durcissent sous l'effet de rayons UV. Stratasys devient alors le leader de l'autre principale technologie d'impression 3D et se renforce dans l'impression simultanée de matériaux, et en plusieurs couleurs.

Par la suite, Stratasys prend conscience du **potentiel du secteur industriel** et décide d'étendre ses positions en réalisant divers partenariats et en restructurant son offre à destination des industriels. Les rachats reprennent alors, avec l'acquisition en 2014 du bureau d'études pour impression 3D Harvest Technologies, et celle de Solid Concepts, spécialiste du conseil en impression et de l'impression de métal 3D. Puis en 2015, avec le spécialiste du consulting et de la recherche en matière d'impression 3D Econolyst. Le virage vers l'industrie s'opère étape par étape. Et il semble absolument indispensable. Malgré son statut de numéro un, les résultats financiers ne sont pas encore suffisants.

Soucieuse de conquérir encore de nouvelles parts de marché, la société Stratasys a conclu un contrat en décembre 2018 avec **l'entreprise ferroviaire britannique Angel Trains** qui témoigne de cette volonté. Certaines pièces des trains manufacturés telles que les accoudoirs, les poignées ainsi que les tablettes rabattables, sont produites par les machines FDM de Stratasys. Ce positionnement est d'autant plus stratégique que l'industrie ferroviaire mise de façon accrue sur l'impression 3D pour optimiser ses processus de fabrication.

3D Systems

Première entreprise à entrer sur le marché de l'impression 3D avec sa technologie de stéréolithographie dans les années 1980, la société américaine 3D Systems s'est rapidement imposée comme l'un des géants du secteur. Elle s'est implantée en France dès 1986 avec la création d'une filiale en région parisienne.

Au cours des années 2000, le fabricant accélère sa croissance **en absorbant 40 entreprises en cinq ans**. En 2013, il rachète notamment le constructeur français Phenix Systems pour se positionner sur la fabrication additive métal. En 2015, pourtant, l'entreprise connaît **des difficultés financières** avec des pertes de 664 millions d'euros, comme le rappelle le journal *Les Échos*, pour un chiffre d'affaires à peu près équivalent.

Pénalisée par le segment grand public, la société décide de se concentrer sur l'industrie, en particulier le prototypage. En 2016, ses ambitions basculent vers la production. Elle multiplie les annonces orientées **vers une impression 3D plus productive**. En 2017, sa stratégie est encore réorientée afin de se tourner vers les besoins spécifiques à chaque industrie; elle devient verticale. Convaincue notamment par le **potentiel du secteur médical**, la société rachète Vertex-Global Holding, une compagnie spécialisée dans les matériaux d'impression 3D dentaire. Bobby Burleson, analyste chez Canaccord Genuity, estime cet achat logique, comme le rappelle ZDnet en avril 2017: "Avec l'acquisition de Vertex Global Holdings, nous pensons que la direction s'engage clairement dans le développement de solutions de bout en bout **pour les marchés verticaux**, en étoffant ses capacités dans le domaine dentaire avec des matériaux propriétaires et un réseau de distribution propriétaire... Nous estimons que c'est la bonne approche pour réussir la transition du prototypage à la production pour la fabrication additive."

En 2019, la société consolide son statut d'entreprise leader en bâtissant **un nouveau centre de fabrication additive avancé**. Basé à Pinerolo, en Italie, celui-ci est destiné à soutenir les besoins croissants en outils de production auxquels est confrontée 3D Systems. Cette installation est dotée des meilleures technologies de pointe,

qui ont nécessité de lourds investissements. Ce centre d'excellence vise à **densifier les travaux d'impressions auprès des secteurs des biens de consommation, de l'aérospatial et de l'automobile**, qui drainent des volumes élevés de pièces à fabriquer.

EOS GmbH

Fondée en Allemagne en 1989, l'entreprise EOS est devenue un pilier de la conception de machines de fabrication additive. Active sur la majorité des technologies d'impression 3D, elle a su développer des solutions industrielles complètes. Présente dans plus de 32 pays, elle emploie plus de 1 200 collaborateurs à travers le monde.

À l'image de ses deux concurrents, son activité s'oriente **vers les usages industriels**, sur lesquels elle concentre ses efforts d'innovation. Dans le contexte d'un marché de plus en plus concurrentiel, son objectif est de se différencier par le biais de la technologie.

Fin 2017, elle a annoncé le lancement d'une imprimante 3D plastique baptisée P500, offrant une robustesse et une productivité sans précédent. Selon Thomas Weitlaner, directeur commercial, il s'agit d'une "première étape vers une fabrication additive plastique complètement automatisée". Elle répond ainsi à l'un des principaux besoins exprimés par les clients, en quête de systèmes adaptés à leurs exigences de production. Par ce biais, elle cherche aussi à **développer l'usage de l'impression 3D plastique dans l'industrie**, face à la fabrication additive métal. Au printemps 2018, elle a d'ailleurs présenté une nouvelle plateforme d'impression 3D pour polymères développée avec Boeing. Spécifiquement conçue pour traiter le nouveau matériau à hautes performances HT-23 d'ALM, cette nouvelle machine veut répondre aux exigences de secteurs de pointe comme l'aérospatiale. L'année 2019 a été marquée pour EOS par l'arrivée au poste de PDG de **Marie Langer, qui succède à son père Hans J. Langer**, créateur de la société. Ce changement de direction s'accompagne de modifications dans l'organigramme de la direction technique, qui engendreront probablement de nouvelles orientations stratégiques.

HP et General Electric : deux nouveaux venus de poids sur le segment industriel

Dans un article de 2017 pour *L'Usine Nouvelle*, la journaliste Marine Protais pointe l'arrivée récente sur le marché industriel de l'impression 3D de deux acteurs de poids : les groupes américains HP et General Electric. Contrairement aux acteurs plus anciens du secteur, ils choisissent **de se positionner directement sur le segment industriel** et de faire valoir immédiatement leurs atouts.

Spécialiste historique de l'impression 2D, **HP fait son entrée en 2016 sur la 3D** avec la précommercialisation d'une première imprimante 3D plastique. Son objectif est de réduire le coût unitaire des pièces imprimées. Pour cela, il mise sur **la disponibilité des matériaux et la vitesse d'impression**. Interviewé par *L'Usine Nouvelle* en juin 2017, Ramon Pastor, directeur général de l'activité impression 3D d'HP, explique les facteurs ayant motivé le positionnement du groupe sur ce nouveau marché. Pour lui, la fabrication additive est "un **moyen de réindustrialiser l'Occident**". Sa stratégie vise à faire la différence avec les procédés de fabrication traditionnels en apportant une technologie rapide, fiable et compétitive. À ses yeux, ses vrais concurrents sont les acteurs du moulage par injection ou de l'extrusion, mais pas les autres fabricants de systèmes d'impression 3D. Selon le site 3DNatives, les imprimantes HP ont imprimé **10 millions de pièces pendant l'année 2018**. Ce chiffre constitue un record pour la société, et symbolise également une croissance conséquente depuis 2016, année au cours de laquelle 3,5 millions de pièces avaient été imprimées. Malgré le potentiel de la fabrication additive métallique, l'entreprise a choisi **de se focaliser sur le plastique**, qui représente toujours l'essentiel du marché à l'aube de 2020. Son défi principal est d'**éduquer le marché** en convainquant les prescripteurs, notamment les designers et les ingénieurs production.

Pour étendre ses positions en France, le groupe a par exemple conclu en 2017 un partenariat avec la société savoyarde Decip pour la commercialisation de ses machines. Historiquement positionné

sur la vente de machines-outils, le revendeur a pour l'occasion créé une filiale dédiée au segment de l'impression 3D.

De son côté, **General Electric (GE) s'implante sur le segment de la fabrication additive métallique**. Convaincu des atouts indéniables de ce procédé pour la production industrielle, le groupe a fortement investi pour accompagner son entrée sur le marché. Il a choisi par exemple de créer une entité dédiée à cette activité, en s'appuyant sur les rachats d'Arcam et de Concept Laser. Comme le rappelle *The Economist* en 2017, **ses investissements ont atteint 1,5 milliard de dollars**. L'entreprise ambitionne d'atteindre **le milliard de dollars de revenus pour sa branche fabrication additive en 2020**. À Auburn, en Alabama, GE a notamment créé une usine de 50 millions de dollars pour imprimer des buses de carburant pour le moteur d'avion LEAP co-construit avec l'industriel français Safran. Selon lui, ces moteurs **ne pourraient pas être fabriqués autrement** que par impression 3D. Les buses sont imprimées comme des structures indépendantes et d'un seul tenant au lieu d'être soudées à partir de 20 composants ou plus, comme dans les précédentes versions. Elles témoignent également des principaux avantages de la fabrication additive : elles pèsent 25 % de moins que les précédents modèles, ce qui permet des économies de carburant en vol ; et elles durent cinq fois plus longtemps, soit des économies supplémentaires en entretien.

Ces arrivées simultanées de deux mastodontes bousculent le secteur. Elles ont également l'avantage de **donner une nouvelle visibilité** à cette technologie. Quentin Kiener, le fondateur et PDG de 3D Prod, note que "l'arrivée de HP incite les autres à aller plus vite, à faire baisser le prix de revient des pièces". Raphaël Gorgé, le dirigeant du groupe français Prodways, pense lui aussi que ces arrivées peuvent être bénéfiques, car la puissance commerciale et marketing de ces deux géants va pouvoir **participer à évangéliser le marché** et étendre ainsi les opportunités d'affaires.

Un écosystème français prêt à faire valoir ses atouts

Structuration en cours pour la filière française

Interviewé par *Les Échos* en avril 2018, Olivier Dario, délégué général du Symop (organisation professionnelle des fabricants et importateurs de machines et équipements de production), insiste sur la nécessité de structurer le marché français de l'impression 3D. Il explique : "Certes, nous sommes encore en phase d'amorçage. Mais la France compte des pépites et **il est temps de structurer la filière.**" La France peut certes compter sur des succès déjà avérés, comme Prodways, AddUp, BeAM ou 3DCeram, mais elle est en retard par rapport à la concurrence étrangère.

Pour Oliver Dario, "il n'existe pas encore de marché de l'impression 3D en France". Afin de permettre son éclosion, la filière doit s'organiser, se fédérer et faire travailler ensemble ses acteurs. Dans cet objectif, le Symop, le Cetim et le CEA ont lancé **un portail de la fabrication additive** à l'occasion du salon Global Industrie en mars 2018 à Villepinte, avec le soutien de Bpifrance. Le portail réunissait à l'origine 70 acteurs de l'impression 3D en France : fabricants d'imprimantes 3D, prestataires de services, fournisseurs de matières premières, mais aussi centres technologiques et clusters. Son but est d'identifier les acteurs pour permettre une plus grande visibilité du secteur. En 2020, ce portail a plus que doublé le nombre d'acteurs enregistrés : **163 précisément**. Cette croissance témoigne de l'émulation en France autour du marché de la fabrication additive.

Un **programme de recherches** sur la fabrication additive métal soutenu par l'État avait déjà été lancé au début de l'année 2016 pour six ans. En réunissant des grands noms de fournisseurs et de clients, comme AddUp, Aubert&Duval, Zodiac, Safran et des organismes de recherche, il visait à permettre aux acteurs de la filière d'avancer avec les industriels afin de développer des technologies qui correspondent à leurs besoins. Et aussi de s'interroger sur les points encore en suspens comme les normes de sécurité, les standards de production, les caractéristiques pour les matériaux, ou même la formation.

La fabrication additive fait également partie des **technologies clés** identifiées dans le cadre de l'Alliance de l'industrie du futur. Selon elle, la France a des atouts d'excellence et des compétences réelles sur l'ensemble de la chaîne de valeur, des poudres à la réalisation des pièces finies de haute valeur ajoutée, en passant par la conception des pièces, des machines et de la chaîne numérique. En misant sur **ses forces académiques et industrielles**, elle pourra se donner l'opportunité de se positionner dans le secteur des machines, de relocaliser certaines productions en raccourcissant la chaîne d'approvisionnement et en intégrant plus de fonctions et d'intelligence dans des pièces uniques, et surtout de se placer sur des marchés d'avenir.

Des pépites Made in France

Le fabricant Prodways

Fondé par le groupe Gorgé en 2013, Prodways est un fabricant de machines et de systèmes

d'impression 3D. Sa **politique active de croissance externe** lui a permis de se développer de manière fulgurante. La société est présente à la fois dans la construction de machines aux

Mureaux, la production de matériaux d'impression en Allemagne et la fabrication additive de pièces qui forme la moitié de son chiffre d'affaires. Initialement positionnée sur les segments du polymère et de la céramique, l'entreprise s'est diversifiée vers le métal en 2018, en lançant la commercialisation de sa première machine. Après s'être focalisée sur les pièces non fonctionnelles et le prototypage rapide, elle se tourne ensuite elle aussi vers la production de pièces fonctionnelles. Elle cherche également à étendre son champ d'action pour **proposer une expertise complète sur le marché**. Fin 2017, elle procède au rachat de la société AvenAo à Montigny-le-Bretonneux (Yvelines), spécialisée dans l'intégration des logiciels de fabrication additive Solidworks de Dassault Systèmes. Le journal *Les Échos* rappelle que son premier marché est celui des prothésistes dentaires, suivi par celui du prototypage industriel. En mai 2017, la société a levé 62 millions d'euros **grâce à son introduction en Bourse**. Ces fonds sont destinés à lui permettre de poursuivre sa croissance rapide. Le groupe aéronautique Safran a pris 2 % de son capital. En 2016, l'entreprise avait réalisé 25 millions d'euros de chiffre d'affaires, dont 58 % à l'export. Et ce n'est qu'un début, selon le PDG Raphaël Gorgé : "On pense que **notre groupe va croître plus vite que le marché**, soit un chiffre d'affaires prévisionnel supérieur à 60 millions en 2019 ; en R&D, on va mettre l'accent sur le développement de technologies de rupture pour l'impression 3D métallique."

En 2019, Prodways a scellé un contrat avec **l'armée de terre française** pour fournir deux machines ProMaker P1000 ainsi que des heures de formation quant à leur usage. En collaborant avec une institution dont **l'approvisionnement et la réparation de pièces sont des données fondamentales à sa réussite**, Prodways s'inscrit dans des perspectives de croissance non négligeables. Si l'utilisation des machines par l'armée de terre se révèle être un succès, l'armée de l'air et la marine nationale devraient également se doter des machines Prodways à court terme.

Dans un article pour *Challenges* d'avril 2017, le journaliste Vincent Lamigeon cherchait à identifier les clés du succès de Prodways. Selon lui,

trois facteurs stratégiques expliquent sa réussite. Tout d'abord, **son avance technologique**. L'entreprise s'appuie en effet sur une technologie unique, Movinglight, développée par le fondateur de Phidias Technologies, à partir de laquelle a été construite Prodways. André-Luc Allanic est d'ailleurs toujours le dirigeant de la R&D du groupe. Deuxième atout : **son positionnement entièrement B to B**. Contrairement aux leaders 3D Systems et Stratasys, Prodways n'a jamais cherché à explorer le segment grand public. Pour Raphaël Gorgé, "ne vendre qu'aux industriels, est un segment bien plus rémunérateur". Il estime que "l'impression 3D est un marché purement B to B". Enfin, troisième atout de poids : **son intégration verticale**. Vincent Lamigeon établit même un parallèle avec le modèle Nespresso. Tout comme le leader du café en dosettes, Prodways maîtrise l'ensemble de la chaîne de valeur, de la conception à l'assemblage en passant par les matières premières. Fort de ces atouts, le groupe espère vendre 10 000 machines en 10 ans.

L'éditeur de logiciels Dassault Systèmes

Sur le segment des solutions logicielles, deux leaders internationaux se démarquent : l'éditeur américain Autodesk et le groupe français Dassault Systèmes. Tous deux ont pour ambition de **développer des solutions complètes et intégrées**. Dans cet objectif, Dassault Systèmes multiplie **les collaborations**. Début 2017, il a notamment conclu un partenariat avec le fabricant américain Stratasys, afin de produire la nouvelle génération d'outils de conception capables d'améliorer les pièces de production réalisées par fabrication additive, comme l'explique *A3DM Magazine*. Jon Stevenson, vice-président senior Global Software chez Stratasys, précise que sa société "partage avec Dassault Systèmes une vision similaire pour une solution totalement intégrée, de la conception à la fabrication additive. Avec cette collaboration, Stratasys se rapproche un peu plus de cet objectif, grâce à des outils de simulation haute performance qui reproduisent avec précision le procédé FDM. Nous sommes convaincus que les capacités prédictives et le processus de

travail efficace offerts par la solution permettront d'étendre considérablement le type de pièces que l'on peut produire en toute confiance avec les solutions d'impression 3D basées sur la technologie FDM de Stratasys. Certaines entreprises comme United Launch Alliance, Opel, Volvo Trucks et Daihatsu les utilisent déjà pour la réalisation de pièces de production."

En 2018, l'éditeur a franchi encore une nouvelle étape en lançant la "3DExperience Marketplace". Il s'agit d'une place de marché en ligne dédiée aux transactions pour le design numérique, l'ingénierie et la fabrication. Les entreprises peuvent par ce biais identifier de nouveaux fournisseurs de services. À son lancement, la marketplace comptait déjà 50 sociétés de fabrication numérique avec plus de 500 machines et 30 millions de composants provenant de 600 fournisseurs.

Le prestataire Sculpteo

Du côté des prestataires de services d'impression 3D, un nom se dégage, celui de Sculpteo. Leader mondial de la fabrication digitale basé à

Paris et San Francisco, Sculpteo offre **un service en ligne d'impression 3D et de découpe laser professionnelles**; il propose aussi une production sur demande de prototypes, produits individuels et petites séries.

Créée en 2009 à Villejuif, la société est la première en France à avoir misé sur des productions autres que les prototypes. En progressant rapidement en taille et en domaines de compétences, elle a rapidement quitté son statut de start-up et s'est imposée comme **un élément éminent de la filière française**. Son activité entièrement dédiée à la fabrication de pièces imprimées en 3D lui confère une expertise inédite en matière d'organisation industrielle de la fabrication additive.

Dès 2014, le leitmotiv du PDG, Clément Moreau, était d'améliorer l'automatisation du processus de production. Depuis 2017, l'entreprise tire les bénéfices de ce travail interne et commercialise sous le nom de Fabpilot **son logiciel de gestion (ERP), qu'il a développé lui-même**. Son élaboration aura nécessité environ 5 millions d'euros d'investissement, comme le rappelait *L'Usine Nouvelle* dans un article de juillet 2018. Clément Moreau

L'impression 3D recrute

Une étude de la plateforme Joblift relayée en 2018 par 3DNatives montre que les offres d'emploi dans le secteur des technologies d'impression 3D ont plus que doublé en France entre 2017 et 2018, avec 5 762 offres émises et une croissance mensuelle de 12 %. L'impression 3D en France aurait donc un bel avenir. Le marché, selon Jobfit, connaîtrait une croissance 25 fois plus rapide que les autres.

Les télécommunications et les services aux particuliers se placent en tête des secteurs pour le volume d'offres publiées. Au vu de l'importance de l'aéronautique et de l'automobile dans les secteurs d'application finaux, les profils les plus recherchés

sont ceux des ingénieurs, des techniciens en génie mécanique et des développeurs.

Avec un taux de chômage presque nul pour les professionnels qualifiés spécialistes de l'impression 3D, la guerre des rémunérations s'intensifie. Selon une étude américaine, les salaires devaient augmenter d'au moins 9 % en 2018 au niveau mondial dans le secteur de la fabrication additive.

Une étude Job Board 3DNatives de 2018 observe que 78,2 % des employés du secteur de la fabrication additive ont des contrats à durée indéterminée. Le second contingent contractuel le plus fourni est celui des stagiaires (15,1 %). Ce haut taux de CDI s'explique par le fait que le secteur est en constant développement, ce qui nécessite d'avoir du personnel sur le long terme pour assurer la continuité des innovations du secteur.

explique pourquoi les ERP du marché ne pouvaient convenir aux spécificités de l'activité de son entreprise: "Dans une usine traditionnelle, qui produit de grandes séries, on monte une chaîne de fabrication puis d'assemblage avec des établis, des stocks de pièces. Une équipe est dédiée à cette chaîne. Cela n'existe pas dans notre monde." Il précise que l'atelier fabrique chaque jour entre 1 500 et 3 000 pièces correspondant à une centaine de références, pour une livraison en moins de cinq jours. Il ajoute: "Les ERP classiques planifient la production pour la journée, voire pour la semaine dans certains cas. Ils ne sont actualisés qu'une fois par jour. Ce qui n'est pas envisageable compte tenu de nos délais de livraison." L'optimisation de sa production est le fondement de la réussite de son activité. Elle lui confère **la réactivité et la flexibilité capables de faire la différence**, en France comme à l'international.

Sculpteo réalise 40 % de son chiffre d'affaires aux États-Unis, implantation qu'elle souhaite encore renforcer. Fin 2017, elle a pour cela conclu un partenariat commercial avec l'éditeur américain Pixologic. Ce dernier a choisi d'intégrer la solution de Sculpteo à ZBrush, son logiciel de modélisation en 3D utilisé quotidiennement par des millions d'artistes, de sociétés de jeux vidéo, de studios de

cinéma, comme l'explique Chantal Houzelle dans un article pour le journal *Les Échos*.

Le producteur de matériaux Eramet

Les matériaux sont au cœur des technologies de fabrication additive et sont destinés à rester des productions à forte valeur ajoutée technologique. Forte de ses positions historiques dans le domaine de la chimie, la **France dispose d'un potentiel important** sur ce segment.

Parmi les multiples acteurs, le groupe français Eramet et sa filiale Aubert & Duval se distinguent. Il exerce son leadership en particulier dans la métallurgie des poudres, notamment pour l'impression 3D et l'aéronautique. Ses poudres fines métalliques sont produites sur son site d'Irun en Espagne. Il s'agit d'un **domaine stratégique**. En effet, le Pipame note dans son étude de 2017 que la qualité des poudres est un paramètre important: leur aspect sphérique, leur pureté, leur densité, le fait que lors de la fusion les grains de poudre puissent ou non piéger des molécules de gaz, etc. Il remarque également que l'offre française en la matière est encore embryonnaire.

La délicate position des sous-traitants

En 2015, dans un article pour *L'Usine Nouvelle*, le journaliste Frédéric Parisot s'attarde sur la situation difficile des sous-traitants en impression 3D. À cette époque, nombreux sont les entrepreneurs qui se lancent dans la prestation de service en fabrication additive. Le marché est porteur mais les investissements de départ sont élevés. Le sous-traitant doit également disposer de compétences

techniques poussées. Et ces contraintes s'avèrent nombreuses sur un marché à évolution rapide.

L'enjeu porte également sur les services proposés. Au-delà de la technicité, il s'agit d'apporter l'offre la plus complète et innovante possible.

L'ensemble exige des capacités financières importantes pour faire la différence dans un contexte de forte intensification de la concurrence. Pour Paul-Henri Renard, directeur général du Centre technique des industries de la fonderie, il apparaît qu'il n'y aura pas de places pour tout le monde.

Les start-up en pleine effervescence

Andreas Saar, vice-président responsable des logiciels d'ingénierie de fabrication chez Siemens PLM Software, explique dans un billet pour *A3DM Magazine* que la fabrication additive a la capacité de bouleverser complètement des processus entiers de conception, d'analyse, de fabrication et de distribution de produits. Elle s'impose désormais comme une véritable source de croissance et d'innovation, suscitant l'intérêt d'un grand nombre d'acteurs. Aux côtés des spécialistes bien établis, la technologie de l'impression 3D ouvre également **un large spectre de possibilités aux start-up** en tous genres. Fournisseurs ou utilisateurs, ces jeunes pousses innovantes explorent toutes les possibilités du procédé pour imaginer des produits de rupture dans leur domaine d'expertise.

Le portail 3DNatives avait mis en lumière certaines **start-up de l'impression 3D** à la fin du mois de décembre 2017. **Armor 3D**, pour commencer, est une filiale du groupe français Armor spécialisée dans l'impression 3D. Elle fabrique des filaments OWA pour les imprimantes 3D FDM, produits à partir de déchets plastiques. Une application de l'impression 3D au service de l'économie circulaire. **Biomodex**, de son côté, s'est tournée vers le secteur médical. Elle utilise l'impression 3D pour créer des organes synthétiques et des modèles chirurgicaux afin que les médecins puissent s'exercer au mieux avant une opération. La start-up toulousaine **AnatomikModeling** a choisi le même secteur : elle utilise les technologies 3D pour créer des implants sur mesure. Après une phase de conception 3D au cours de laquelle le patient envoie ses données (scanner médical, IRM) qui sont transformées en modèle 3D, la start-up fabrique l'implant grâce à des machines d'usinage à commande numérique 3D ou sur impression 3D pour la réalisation du moule ou du modèle positif. Elle peut également concevoir des modèles 3D anatomiques pour la formation chirurgicale.

Côté utilisateurs, ce sont des start-up de tous domaines d'application qui sont régulièrement mises en avant par le site 3DNatives :

- **XtreeE** dans le domaine de la construction, avec un procédé d'impression 3D béton à grande échelle.
- **Constructions-3D**, toujours dans le secteur du bâtiment, avec sa machine dotée d'un bras télescopique à 4 axes.
- **Grismont**, fondée par Clément Pouget-Osmont, a choisi le sport, notamment le golf en proposant des clubs mêlant esthétisme et performance.
- Le sport également pour l'ancien sportif de haut niveau, Clément Jacquelin, qui a fondé

LE CROWDFUNDING POUR LE FINANCEMENT DES START-UP DE L'IMPRESSION 3D

Kickstarter est une plateforme de crowdfunding connue et réputée dans le monde entier pour la créativité des projets qui y sont proposés. C'est donc sans surprise que l'on voit l'impression 3D s'y démocratiser avec la naissance de multiples projets prometteurs. De nombreux modèles d'imprimantes 3D ont été financés par ce biais à leurs débuts.

Toutefois, le crowdfunding n'apporte pas une réponse à tous les besoins. Le portail 3DNatives met en garde les projets qui ne seraient pas assez réfléchis. Malgré des campagnes réussies, certains porteurs de projet n'ont jamais livré l'imprimante 3D promise, en raison d'une mauvaise gestion des finances ou de la production. Des campagnes frauduleuses peuvent aussi émerger.

La réussite de cette démarche repose avant tout sur une bonne communication du déroulement du projet envers les contributeurs, y compris en exposant les éventuelles difficultés.

Athletics 3D, une start-up basée à Grenoble et spécialisée dans la production de composants sur-mesure pour les athlètes de biathlon.

- **Eden 3D** et **Scientifeet** (filiale de Prodways), ont choisi le domaine de la santé. Grâce à la fabrication additive, ces deux entreprises réduisent les délais et les coûts de fabrication propres à la production de semelles et orthèses orthopédiques.
- Le médical encore avec **Poietis**, une start-up bordelaise cofondée en 2014 par Fabien Guillemot et Bruno Brisson. Ils ont choisi le bio-printing fondé sur l'impression 3D à base de cellules vivantes.
- **Anatomik Modeling** et **Addidream**, quant à eux, fabriquent des instruments chirurgicaux ou des implants sur-mesure. Addidream propose également la production de modèles anatomiques par impression 3D pour faciliter la préparation d'opérations chirurgicales sensibles.
- **Biomodex**, fondée par Sidarth Radjou et Thomas Marchand, travaille sur le même créneau.
- Laurent Bernadac, ingénieur mécanique et violoniste, utilise l'impression 3D pour le secteur inattendu de la musique. Il a imaginé le **3Dvarius**, un violon électrique imprimé en 3D qui montre tout le potentiel de customisation et de liberté de design offert par cette technologie.
- **SYOS** (*Shape Your Own Sound*) a elle aussi choisi l'impression 3D pour un type d'instruments bien précis, à savoir des becs de saxophone.
- **Endeer** se positionne sur le segment de la lingerie sur-mesure, adaptée à la morphologie de chaque femme.
- Toujours dans la sphère de l'équipement de la personne, Christophe Mouty a créé **Octobre71**, une nouvelle marque de lunettes misant sur l'impression 3D et le Made in France. La start-up a travaillé pendant près de 2 ans pour imaginer des montures abordables (moins de 100 €), conçues, fabriquées et assemblées en France.
- Enfin, **Babines** fait le pari de l'alimentaire en alliant artisanat et impression 3D pour créer des sucreries personnalisées et originales. Elle est aujourd'hui capable de créer des sucettes, des chocolats, des gâteaux secs et même des glaces de n'importe quelle forme et taille.

La diversité des champs explorés par ces jeunes pousses témoigne des vastes potentialités de l'impression 3D pour les start-up. Par leur inventivité et leur créativité, elles peuvent espérer **faire naître des innovations marquantes**, y compris pour les technologies mêmes de l'impression 3D.

L'IMPRESSION 3D POURRAIT SUPPRIMER 25 % DU COMMERCE MONDIAL

En 2017, le portail 3DNatives a relayé les conclusions d'un rapport réalisé par la banque hollandaise ING. Le document évalue les impacts à long terme de l'impression 3D sur le commerce international. En raison d'une forte baisse des importations et des exportations, l'impression 3D pourrait éliminer une part importante des échanges internationaux à l'horizon 2060, au moins 25 %. Les pays ayant des flux commerciaux importants avec les États-Unis pourraient être les plus impactés, comme le Mexique, l'Allemagne ou le Canada. Les États-Unis font en effet partie des pays dans lesquels les investissements pour l'impression 3D seront les plus développés.

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPAINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ

Prototypage et outillage, les portes d'entrée vers la fabrication additive

Le prototypage rapide

L'intérêt de l'industrie pour l'impression 3D est apparu avec la réalisation rapide de prototypes (pièces de démonstration ou de test). La fabrication additive permet de réduire les coûts et les délais en produisant les prototypes directement, d'une seule pièce, au lieu de passer par des assemblages et des outillages coûteux. **Elle accélère ainsi les cycles de développement et donc la mise sur le marché.** C'est principalement selon cet axe que cette technologie a été envisagée au cours des trente dernières années.

En 2018, le prototypage rapide demeurait une application largement déployée dans l'industrie. Il affichait encore une progression de l'ordre de 5 à 10 % par an en 2016 d'après l'étude du Pipame.

Le prototypage faisait d'ailleurs l'objet de 40 % des projets gérés par l'intégrateur Creatix3D cette année-là, comme l'explique son dirigeant interrogé par *L'Usine Nouvelle*. Une étude sur la fabrication additive en Occitanie relayée par Air & Cosmos révélait que **70 % des transactions marchandes en impression 3D concernaient le prototypage rapide** en 2017. En ce qui concerne les acteurs, Bpifrance dénombrait 20 entreprises spécialistes du prototypage plastique en France en janvier 2018.

Le Pipame estime en outre que l'impression 3D de prototypes devrait se généraliser aux petites entreprises d'ici 2027, y compris aux artisans "numériquement informés".

20

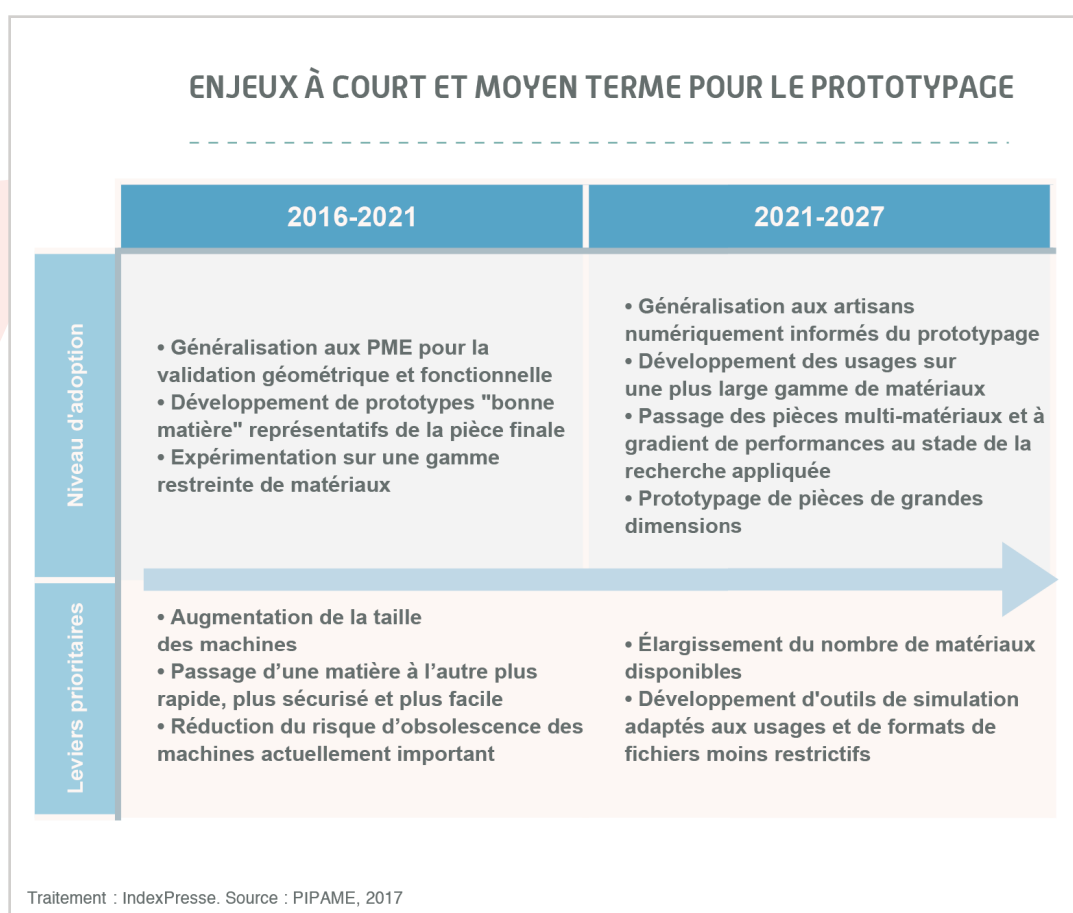
Le nombre
d'entreprises
spécialisées dans le
prototypage plastique en
France en 2018.

Source : Bpifrance.

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPLINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ

Malgré la maturité de ce marché, il reste des étapes à franchir et des enjeux clés à analyser. À court terme, la priorité est d'augmenter la taille des imprimantes et d'améliorer leur fiabilité. À plus longue échéance, la demande favorisera ceux qui proposeront une plus grande variété de matériaux. L'étude du Pipame prévoit aussi le succès d'outils de simulation mieux adaptés aux usages, ainsi que des formats de fichiers moins restrictifs.

L'entreprise **Proto Labs** est en pointe sur le marché français du prototypage. Ce fabricant a été présenté comme le plus rapide du monde par *L'Usine Nouvelle* en 2016. Sa plateforme numérique fait sa force : un logiciel propriétaire convertit rapidement les modèles 3D en fichiers imprimables, et un service de devis automatisé est capable de donner une évaluation tarifaire en fonction du modèle.



L'outillage rapide (ou *rapid tooling*)

L'impression 3D sert à fabriquer les prototypes d'un produit final, mais également les outillages industriels (moules et outils intermédiaires)

utilisés au cours de la production. **La fabrication d'outillages est le segment le plus porteur à court terme pour l'impression 3D**, d'après l'étude

du Pipame de 2017, qui estime que ces derniers seront à terme imprimés en 3D chez la plupart des industriels. "Il s'agit de pièces souvent unitaires, moins contraintes au niveau réglementaire et qui permettent d'augmenter les performances de procédés de production plus classiques", précise l'étude.

L'impression 3D industrielle se partageait entre la "fabrication augmentée" et la "fabrication alternative" en 2016, selon l'analyse du directeur Europe de Stratasys interrogé par *Air & Cosmos*. La fabrication augmentée renvoie à la fabrication d'outillages, par opposition à la production en série de pièces finies. L'outillage obtenu par fabrication additive était considéré en 2016 comme le véritable tournant majeur de l'impression 3D, comparativement à la production industrielle de pièces finies qui bénéficie d'un effet d'annonce, expliquait Claude Barlier, président de Cirtes, en 2016 à *L'Usine Nouvelle*.

Un risque pour les sous-traitants ?

Il est nécessaire de distinguer deux tendances au sein de la fabrication additive d'outillages. Tout d'abord, les industriels, et plus particulièrement les grands donneurs d'ordres, vont être amenés à **imprimer en 3D, en interne, de plus en plus de gabarits, de fixations et autres outillages d'assistance opérationnelle**. Ceci leur permet de réduire leurs coûts et d'accélérer leur production. Ces outillages sont "employés pour positionner, retenir, organiser et contrôler pièces et sous-assemblages durant leur processus de fabrication", précise le directeur Europe de Stratasys. Il s'agit principalement de pièces en polymères. Cette tendance de l'industrie paraît fiable et devrait se généraliser à court terme, d'après les scénarios étudiés par le Pipame en 2017. Il s'agit d'un **risque pour les sous-traitants** dans la mesure où la réalisation de ce type d'outillage sera totalement internalisée par les donneurs d'ordres. En revanche, pour les autres intervenants du secteur de l'impression 3D, il peut s'agir d'une opportunité commerciale.

Le constructeur automobile allemand **Opel** est un exemple de cette tendance. L'entreprise

annonçait en 2016 avoir réduit de 90 % le coût de ses outillages de production, selon *L'Usine Nouvelle*.

Le journal rapporte par ailleurs que **Volkswagen** compte sur cette technologie pour augmenter la productivité de ses ateliers. "D'ici 2025, nous voulons augmenter de 30 % la productivité dans les usines de la marque Volkswagen par rapport à 2018. Pour atteindre cet objectif, les usines doivent devenir plus rapides, allégées et plus efficaces" a ainsi déclaré Andreas Tostmann, membre du directoire de la marque allemande en charge de la production et de la logistique.

Alstom emploie l'impression 3D pour des réparations, mais également pour fabriquer des prototypes et des outillages, dont des moules en sable pour les pièces de fonderie. Selon *Logistiques Magazine*, l'industriel n'avait pas encore de machine industrielle sur ses sites en 2017, mais disposait d'une communauté de "services bureaux" situés à proximité des emplacements stratégiques et assurant la production des pièces imprimées en 3D.

Les outilleurs s'emparent de la fabrication additive

La deuxième tendance renvoie à **la montée en puissance de l'impression 3D dans le secteur de l'outillage**. Il s'agit de la plus grande industrie horizontale, qui se répartit entre de nombreux métiers : usineurs, découpeurs-emboutisseurs, forgerons, moulistes, etc. L'étude du Pipame souligne la maturité des utilisateurs de l'impression 3D dans ce domaine, par comparaison avec des secteurs comme l'aéronautique et le médical qui sont davantage en phase d'expérimentation et de validation. Les applications sont "parfaitement qualifiées industriellement" et connaissent désormais un essor considérable. Elles concernent principalement les outillages de mise en forme. Il s'agit des moules d'injection en plasturgie, des moules en sable pour la fonderie, ainsi que des poinçons et matrices d'emboutissage, même s'il en existe d'autres (pincettes de forge, brides de fixations, gabarits).

Le marché principal pour la plasturgie est l'impression 3D de **moules d'injection thermoplastique**,

indique le site 3DNatives. Du côté des acteurs, la PME rhodanienne **Valla SAS** est bien implantée sur ce marché de l'impression 3D polymères. Elle sert 500 clients issus du médical, du transport, de l'industrie et du high-tech, indique *L'Usine Nouvelle*. Elle est capable d'adapter les imprimantes, ainsi que les matériaux, aux besoins de ses clients.

La société **Actuaplast** est également spécialisée dans le prototypage et la réalisation d'outillage rapide pour les plasturgistes. Elle réalisait 20 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2017, d'après les indications fournies dans un article de *L'Usine Nouvelle*. Avec des clients principaux issus du monde de l'automobile, elle se développe à l'international dans des lieux stratégiques comme Détroit (États-Unis) et Hong-Kong. Elle a récemment adopté les technologies de fusion métal pour fabriquer ses moules.

Par ailleurs, **le thermoformage représente un marché de niche** au sein duquel la demande se renforce, signalait *Plastiques & Caoutchouc Magazine* en 2017. Il s'agit du troisième secteur le plus important de la plasturgie derrière l'injection et l'extrusion. La fabrication additive permet, là aussi, de créer des moules plus rapidement et à bas coût. **Prodways** y réalise une petite partie de son activité. Le géant américain **Stratasys** y est également positionné avec une offre de séries de 100 à 1 000 pièces. Quant à l'entreprise **Innower 3D**, basée en Touraine, elle a réussi à développer sa propre résine à base de céramique afin de pouvoir imprimer des moules spécifiques pour le thermoformage.

Parallèlement aux applications en plasturgie, le Pipame prévoit la progression du **prototypage indirect en fonderie**. La fabrication d'empreintes de moule et noyaux en sable de façon additive devrait se populariser. Par exemple, la fonderie **Boutté** s'est convertie au prototypage rapide pour la réalisation de moules et de noyaux de métallurgie. L'entreprise a étendu ensuite ses activités d'impression 3D à des pièces finies, relate *Innovation Review*. Les entreprises **Voxeljet** et **Exone**, quant à elles, se sont positionnées sur le segment en utilisant un procédé de projection de liant qui permet de réaliser des pièces plus grandes que par le frittage laser, relève l'étude du Pipame.

Dans la plasturgie comme dans la fonderie, le **segment dit du "conformal cooling" est en plein essor**. Il s'agit d'outillages incluant des canaux de refroidissement complexes au niveau des parois des moules et des outils. L'impression 3D permet de réaliser des formes complexes de façon plus rapide et moins onéreuse que l'usinage ou le modelage, expliquait l'étude du Pipame de 2017. Elle offre une réalisation économique pour les outillages qui seront utilisés dans des procédés générant des contraintes mécaniques et thermiques modérées. Elle permet en outre d'améliorer ou de créer des fonctionnalités internes destinées à augmenter la productivité et la qualité des pièces. La PME **3D Prod**, basée dans les Vosges, a investi le marché naissant de l'outillage industriel complexe. La fabrication additive est la seule technologie susceptible "d'améliorer les conditions d'injection plastique avec une réduction du temps de cycle comprise entre 30 % et 40 %", affirme Jean-Pierre Wilmes, responsable du groupe **AGS** interrogé par *L'Usine Nouvelle* en 2018. Le groupe, qui fabrique des pièces de vol pour Safran, réalise 25 % de son activité dans le *conformal cooling*.

Enfin, il existe des technologies spécifiques qui permettent de **réparer des outillages** et de renforcer localement leur surface, par dépôt localisé d'un matériau possédant des propriétés améliorées. S'il s'agit d'une pratique encore émergente, principalement limitée à des usages en interne, certains prestataires se positionnent néanmoins désormais sur cette activité. Basée à Charleville-Mézières dans les Ardennes, la plateforme **Platinum 3D**, qui propose aux industriels de se former à l'impression 3D, permet également la réparation et le renfort d'outillages grâce aux imprimantes du constructeur Trumpf, d'après un article publié dans *L'Usine Nouvelle*. Ainsi, la forge de Bourguignon-Barré utilise cette plateforme pour allonger la durée de vie d'un outillage de fonderie. Le groupe automobile PSA y a également recours.

Le magazine *Innovation Review* rappelle que la start-up alsacienne **BeAM** était spécialisée dans la réparation par fabrication additive lors de sa création en 2012, avant son rachat par le fabricant d'imprimantes AddUp.

L'impression 3D métallique, le futur de la fabrication additive

Le potentiel de développement du segment

Selon le rapport Wolhers de 2019, les ventes de métaux d'impression 3D ont connu une forte croissance (+ 41,9 %) pendant l'année 2018. Cela renforce l'augmentation de 80 % des ventes de systèmes d'impression 3D qui figurait dans le rapport précédent. Ces chiffres donnent raison aux prévisions de nombreux observateurs du secteur qui affirment que **le métal est l'avenir de l'impression 3D industrielle**. Comme pour les autres matériaux, la technologie permet de produire des pièces plus complexes qu'avec l'usinage (qui enlève de la matière). Elle offre également des gains de poids et de matière première. "Le vrai enjeu pour l'industrie d'aujourd'hui et plus encore celle du futur est dans les matériaux métalliques", annonçait déjà lors du salon 3D Print 2016 l'expert Joël Rosenberg, auteur d'un rapport sur l'industrie de l'impression 3D pour le compte du ministère de la défense.

Le marché mondial de l'impression 3D à base de poudres métalliques a dépassé 1 milliard de dollars en 2017, avec une croissance de 24 %, révèle le cabinet SmarTech Analysis. Sa valeur pourrait atteindre 9,3 milliards de dollars en 2027 selon le même analyste, et 12 milliards de dollars en 2028 pour le cabinet IDTechEx. Cette tendance est confirmée par les résultats de 2018. Selon SmarTech Analysis, le chiffre d'affaires du marché de la fabrication additive avec poudre métallique s'élève à 3,3 milliards de dollars, avec une prévision de 11 milliards pour 2024, indique *Techniques de l'ingénieur*. **La croissance du marché est portée par les matériaux d'impression métalliques**, qui représentent environ 60 % du marché en valeur fin 2018, contre 40 % pour les machines

de fabrication. Cette part devrait augmenter rapidement, pour dépasser 90 % de la valeur du marché du métal en 2028, selon IDTechEx.

Les secteurs demandeurs

La technologie trouve ses applications au sein des secteurs qui fabriquent des pièces à forte valeur ajoutée, "principalement l'aéronautique, le médical et les moulistes", précise Christophe Grosjean, expert en fabrication additive au Centre technique des industries mécaniques (Cetim). Grâce à la présence de grands donneurs d'ordre dans ces secteurs, **la croissance de l'impression 3D métal en France est proche de la croissance mondiale**, analysait le Symop dans *Challenges* en juin 2018.

L'aéronautique et l'espace sont en pointe dans ce domaine. C'est le cas à l'international, avec la certification par l'américain **Boeing** d'une pièce structurale en titane fabriquée en grandes séries par impression 3D. En France, le motoriste **Safran** est passé à la fabrication additive pour plusieurs composants métalliques, avec une chaîne de production installée à Toulouse par un sous-traitant australien. Cette dernière était prête à atteindre une cadence industrielle en 2017, ajoute François Tarel, directeur général de Safran Power Units interrogé par *Air & Cosmos*. Les besoins du secteur se trouvent dans les petites ou moyennes séries, ainsi que la fabrication de pièces détachées pour des matériels anciens et la réparation de pièces, spécifiait l'étude du Pipame de 2017.

Comme pour le reste des technologies d'impression 3D, **l'outillage industriel constitue un secteur porteur à court terme pour le métal** grâce

12 milliards
de dollars

Le marché de
l'impression 3D
métallique
en 2028.

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPLINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ

à la maturité de ses utilisateurs par rapport aux autres secteurs. Cependant le Pipame alerte sur une forte concurrence des solutions à base de polymères, dont la durée de vie plus courte n'est pas pénalisante dans ce domaine.

La France est également en avance sur l'adoption de l'impression 3D métallique dans le secteur du **caoutchouc**. En effet, l'équipementier **Michelin** imprime en 3D 650 000 empreintes de pneus chaque année.

Le **secteur de la santé** offre également de nombreuses applications pour l'impression 3D métallique, notamment dans le domaine **médical**. Les critères de fabrication personnalisée, unitaire et en petite série, de produits à haute valeur ajoutée sont particulièrement adaptés à l'impression 3D métal, estimait l'étude du Pipame de 2017. En France, les métaux implantables et biocompatibles sont surtout utilisés pour des prothèses dentaires et orthopédiques. Pourtant, la même étude soulignait le retard français dans ce

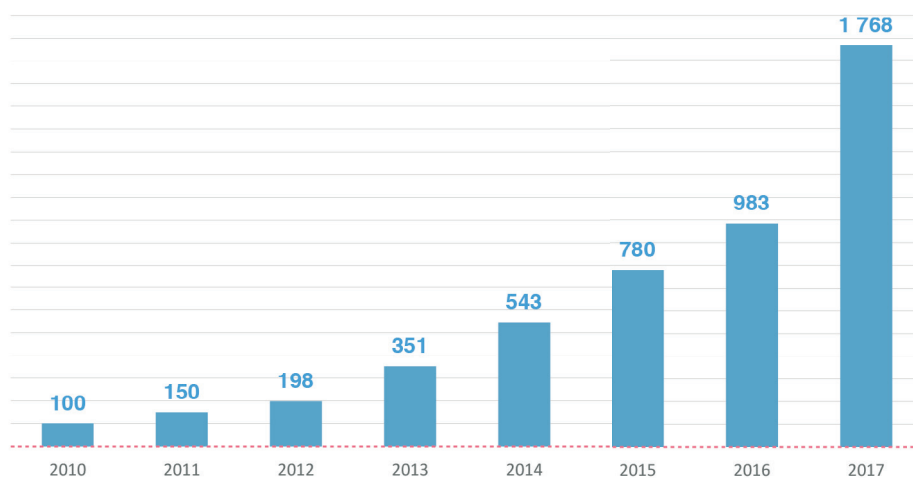
secteur et la faible pénétration de l'impression 3D métallique avec une première certification début 2016 seulement. Le marché est dominé par des imprimeurs 3D italiens, qui utilisent les machines du suédois **Arcam**, leader mondial des systèmes de fabrication pour les applications de santé.

En matière d'**énergie**, un secteur globalement réfractaire à l'adoption de l'impression 3D, les opportunités d'affaires résident dans la production de formes creuses et complexes, ainsi que l'économie de matériaux coûteux. L'impossibilité de réaliser des pièces de grande taille est un frein puissant, de même que le manque de directives en matière de certification, surtout pour les applications nucléaires. **Engie** se distingue en France par un effort dans la fabrication additive métallique.

D'autres **niches haut de gamme** telles que la joaillerie, l'aviation d'affaires et la course automobile peuvent bénéficier des capacités de personnalisation de l'impression 3D pour les métaux précieux.

ÉVOLUTION DU MARCHÉ MONDIAL DES IMPRIMANTES 3D MÉTALLIQUES

(En nombre de machines vendues chaque année)



Traitement : IndexPresse. Source : cabinet d'études Wohlers, 2018

Le paysage concurrentiel de la fabrication 3D métallique

Les fabricants de machines français innovent

L'Europe dispose d'une nette avance en matière de fabrication métallique, comme le soulignait déjà une étude du ministère de la défense parue en 2015. Mais au sein de ce marché européen, **les fournisseurs français de machines sont largement dominés par leurs concurrents allemands**. Les leaders du marché **EOS**, **SLM Solutions**, **Concept Laser** et **Trumpf** accaparaient en 2012 **69 % de parts de marché**, comme le montre une étude du cabinet Roland Berger. Au point de décourager certains experts d'investir le segment: "La bataille des machines est perdue dans la mesure où les constructeurs français les plus prometteurs ont été acquis par des acteurs concurrents ou font face à de nouveaux entrants puissants à l'image de Google ou de Hewlett Packard", affirmait ainsi en 2015 Arnaud Coulet, PDG de la société **Fabulous**.

Pourtant, plusieurs acteurs français cherchent à se faire une place sur ce marché, à l'image du leader national **Prodways**, filiale du groupe Gorgé depuis 2013, qui fournit des imprimantes 3D aux secteurs de l'aéronautique et du médical. Ce fabricant, positionné sur le polymère et la céramique, a entamé sa diversification dans le métal avec une première machine présentée en 2017. Il a pu s'appuyer pour la développer sur l'acquisition en 2015 de la société **Initial**, qui réalise des pièces finies en métal. Avec un chiffre d'affaires de 25,2 millions d'euros en 2018, **Prodways** a également misé **sur la R&D pour s'armer de deux technologies disruptives** en fabrication additive métallique, avant d'attaquer le marché, comme l'expliquait Raphaël Gorgé, patron de la maison mère, dans un article du magazine *L'Usine Nouvelle* en 2017. Suite à plusieurs autres rachats, comme celui de l'entreprise américaine spécialisée dans les machines d'impression 3D **Solidscape**, l'entreprise a enregistré une augmentation de 75 % de son chiffre d'affaires au cours de l'année 2018.

Autre acteur de premier plan, la société **AddUp** est une joint-venture créée en 2015 par Michelin et le groupe d'ingénierie Fives. La société tire parti de l'expertise du leader mondial des pneus dans le domaine de l'impression 3D métallique. Son objectif est d'atteindre le top 3 mondial, en commercialisant des solutions couvrant tous les aspects de la fabrication: la chaîne digitale, les poudres et les machines-outils.

AddUp a fait l'acquisition du strasbourgeois **BeAM**, un des rares autres fabricants d'imprimantes 3D métalliques en France, en juin 2018. Cette entreprise, fondée en 2012, a réalisé 6 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2018 et emploie 50 personnes. Elle vient apporter à la joint-venture sa technologie unique, permettant de fabriquer mais également de réparer des pièces ou de leur ajouter une fonction. Le groupe élargit également sa présence à l'international, bénéficiant du déploiement de BeAM à Singapour en plus de la France et des États-Unis. "Cela donne à AddUp une position relativement unique sur le marché", se félicitait Vincent Ferreiro, son PDG, dans *Les Échos* en juin 2018.

L'entreprise française **Pollen AM** développe également une imprimante métal pour enrichir sa gamme, basée sur des imprimantes multimatériaux. La machine présenterait un des prix les plus bas du marché (68 000 euros contre plus de 250 000 à un million en moyenne). La start-up a l'ambition de "repousser la fabrication additive au-delà du prototypage afin d'en faire un réel outil de production", affirme le cofondateur interrogé par le site 3DNatives. Ce dernier parie sur le fait que "les technologies de fabrication s'adaptent aux matériaux et pas l'inverse".

Les imprimeurs 3D s'attaquent au marché du métal

Moins de vingt prestataires en fabrication additive travaillent les matériaux métalliques, parmi

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPLINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ

la centaine de sous-traitants dénombrés en janvier 2016 par *L'Usine Nouvelle*. Une partie d'entre eux sont des **imprimeurs 3D ayant débuté dans les plastiques ou d'autres polymères**, qui ont ajouté la fabrication en métal à leur catalogue de prestations.

Ainsi, le sous-traitant normand **Volum-E**, qui était à l'origine un maquettiste prototypiste, a fait des réalisations métal sa spécialité. Il était en 2016 le seul acteur de son domaine à être qualifié pour la production en additif métallique par des groupes d'aéronautique et de défense comme Safran et Thales, précise *Innovation Review*. Il en va de même pour **Poly-Shape**, devenu numéro un européen en fabrication additive métallique sur lit de poudre, après avoir gagné des marchés dans l'aéronautique grâce à une société commune fondée avec l'équipementier Lisi Aerospace. Quant à l'outilleur breton **ActuaPlast**, il voit lui aussi dans la fusion métal un axe de développement à privilégier, comme le confiait son dirigeant à *L'Usine Nouvelle* en juin 2018.

Certains **acteurs de la fabrication métal traditionnelle**, usinage et forgeage par exemple, ont à leur tour décidé de développer de nouvelles compétences dans le domaine de l'impression 3D. C'est notamment le cas de la société **Spartacus3D**, une filiale du forgeron industriel FariniaGroup, qui opère sur la plupart des grands secteurs demandeurs (aéronautique, médical, énergie, outillage complexe). La trajectoire est la même pour les PME **Comefor** et **3D&P** sur le territoire stéphanois, qui ont été rachetées par le

groupe We Are Aerospace en 2017. Le groupe **AGS**, spécialiste de la soudure laser, a également renforcé ses moyens en fabrication additive; il réalise 47 % de son activité dans l'aéronautique, 25 % dans le moulage et 22 % dans l'automobile. L'entreprise **Prismadd**, quant à elle, est née sous l'impulsion de la société Farella, un usinier de pièces pour Airbus, qui s'est adjoint les compétences d'un fabricant de poudres et d'un intégrateur d'imprimantes 3D.

À l'inverse, **d'autres intervenants ont fait de la fabrication additive métallique leur cœur de métier dès le lancement de leur activité**. En font partie la société **GM Prod**, fondée en 2005, qui conçoit principalement des pièces à destination du secteur médical, ainsi que les fabricants **I3D** et **Fusia**. Les sous-traitants industriels ne sont pas les seuls à suivre cette voie: **Multistation** et **Decip**, deux distributeurs et intégrateurs d'imprimantes 3D, proposent également des services d'ingénierie et de conseil centrés sur la fabrication métal.

Les sous-traitants se développent dans le marché du métal principalement en **investissant dans des machines** – c'est le cas de la plupart des intervenants cités précédemment. D'autres, spécialisés dans l'impression 3D, choisissent plutôt de nouer des partenariats avec des acteurs traditionnels du marché du métal. Le prototypiste **Erpro Group**, leader du marché français de l'impression 3D généraliste, a par exemple réussi à intéresser le secteur du nucléaire grâce au concours d'un usinier spécialisé.

+ 80 %

La croissance
des ventes
d'imprimantes 3D
métal entre 2016
et 2017.

Accompagner un marché en phase de consolidation

Une technologie encore perçue comme immature

Les mêmes experts qui prévoient l'explosion de cette technologie prometteuse mettent en garde contre un emballement du marché. Si l'impression 3D métallique "est la grande révolution de la mécanique générale et se positionne comme axe majeur de l'usine 4.0", comme l'indiquait en juillet 2017 une analyse parue dans *Air & Cosmos*, le même article rappelait que **l'additif métallique, qui associe mécanique et métallurgie, reste encore expérimental.**

En effet, les technologies n'ont pas encore atteint leur pleine maturité et elles sont actuellement inadaptées à la production en grandes séries – et ce malgré des **coûts d'investissement élevés**. Il existe en outre un fort **taux d'obsolescence de ces machines**, provoqué par le développement rapide de nouvelles technologies, observe Mathieu Mauny du cabinet D&Consultant, auteur d'une étude sur la fabrication additive en Occitanie en janvier 2017.

Ce dernier précise par ailleurs que l'impression 3D métal devrait se développer en deux temps : d'abord un déploiement commercial massif de 2018 à 2025, suivi d'un bond en avant avec l'arrivée de programmes intégrant la fabrication additive dès l'amont.

Autre problème à résoudre, la **lenteur des processus de certification** constitue un frein supplémentaire au démarrage du marché dans les principaux secteurs demandeurs que sont l'aéronautique et le médical.

Enfin, tandis que les donneurs d'ordres fabriquent eux-mêmes de plus en plus de pièces métalliques de façon additive, les sous-traitants ne bénéficient pas pour autant d'une augmentation conséquente du nombre de commandes, remarque l'étude *L'avenir de la fabrication additive* réalisée par le Pipame en 2017.

Les leviers d'action

Le rachat de BeAM par AddUp en juin 2018 signale que le marché de la fabrication additive métallique entre en phase de consolidation, indique le journal *Les Échos*. Les **rapprochements entre acteurs** vont se multiplier. Ils peuvent prendre la forme d'acquisitions au sein d'un même secteur. Dans le cas d'AddUp et Beam, le fournisseur de machines s'est emparé d'un fabricant plus petit, détenteur d'une technologie innovante.

D'autres acteurs aux compétences complémentaires nouent des partenariats égaux. La société Prismadd, par exemple, est née d'une stratégie d'intégration verticale entre plusieurs entreprises dont l'expertise va de la poudre au traitement des produits finis. La filière aéronautique est particulièrement concernée par ces rapprochements : ses constructeurs et grands équipementiers ne croient pas à la multiplication des petites entités, affirme *Air & Cosmos*.

Les fabricants de machines doivent encore **évangéliser le marché**, comme le faisait observer *L'Usine Nouvelle* en mai 2018. Plusieurs ont créé des entités de conseil dans ce sens, tel qu'Addup Academy ou Additive Minds chez EOS.

Deux autres aspects se retrouvent chez la plupart des intervenants du métal : une volonté de développement international et un intérêt marqué pour l'innovation et le transfert de technologie. **La R&D est au cœur de leurs stratégies** avec une multiplication des partenariats entre les entreprises et les instituts de recherche, notamment dans les matériaux métalliques.

Les intervenants de l'impression 3D métallique doivent aussi se préparer à **l'industrialisation et à la montée en cadence**, comme le reste du secteur de la fabrication additive. Ces tendances concernent les fabricants de machines, les sous-traitants et les prestataires. Il s'agit d'accompagner l'évolution du marché, qui va dépasser le prototypage et l'outillage rapide pour **aller vers la production effective et les pièces finies**.

Le segment stratégique des matériaux

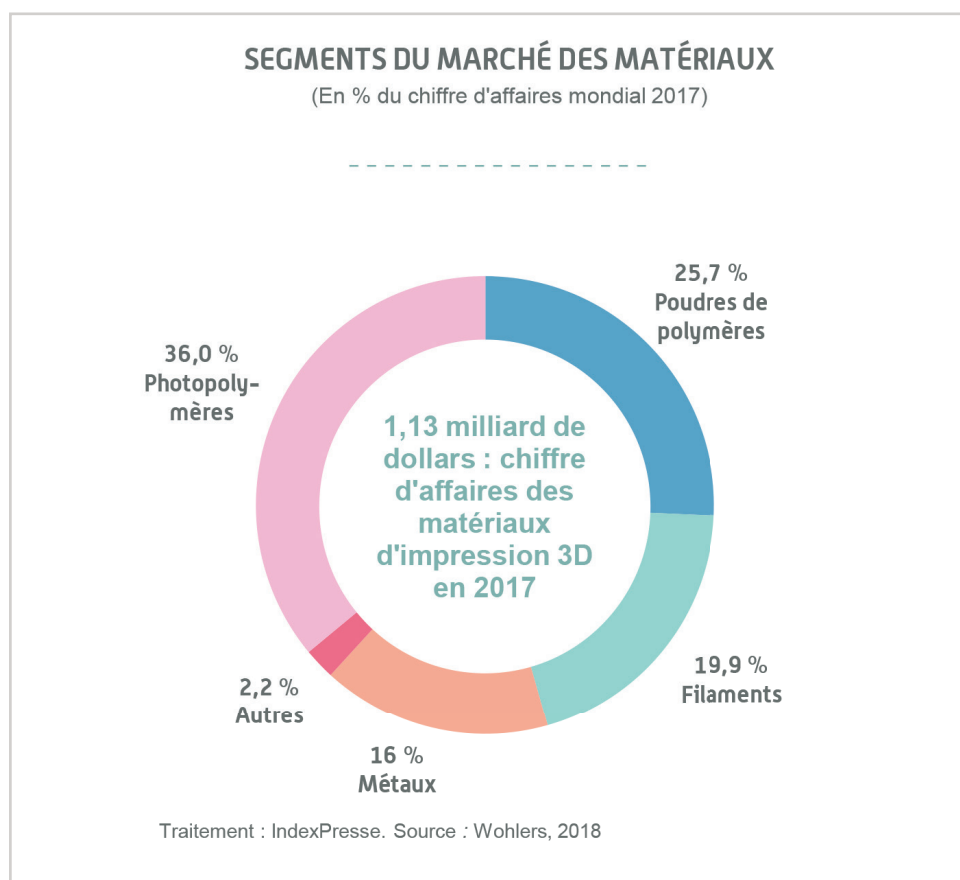
Un marché prometteur mais encore opaque

Les matériaux destinés à la fabrication additive (FA) industrielle et grand public ont dégagé une valeur de **1,134 milliard de dollars en 2017** d'après l'étude 2018 de Wohler Associates. Ceci représente **15 % de la valeur totale du marché** de l'impression 3D estimé à 7,3 milliards de dollars. Ces matériaux comprennent notamment le plastique, les métaux et les céramiques; ils se présentent sous forme de poudres, fils et additifs. Les plastiques dominent les ventes (photopolymères, poudres de polymères et filaments). Les métaux ne représentent que 16,6 % du marché, tandis

que les autres matériaux comme les céramiques, le verre ou les biomatériaux demeurent marginaux avec 2,2 % du chiffre d'affaires global.

Les poudres métalliques connaissent une forte croissance: 41,9 % en 2018, selon les chiffres du rapport Wohlers de 2019.

Le marché des matériaux pourrait atteindre 16 milliards de dollars en 2028, estime une étude du cabinet IDTechX. Cette analyse confirme la forte hausse de la demande en poudres métalliques, qui dépasserait celle de tous les autres



LA NORMALISATION DES MATÉRIAUX

La standardisation internationale est cruciale pour l'adoption "officielle" des matériaux, comme le souligne un rapport de la Commission européenne relayé par *A3DM Magazine*. Le paysage de la normalisation pour les matières premières d'impression 3D comprend trois organes principaux qui collaborent étroitement avec des comités techniques (TC) associés. L'organisme international ISO/TC 261, l'American society for testing material (ASTM) et le CEN-CENELEC/TC 438 pour les Européens sont impliqués pour favoriser l'émergence de la fabrication additive. À l'échelon national français, l'Afnor couvre le secteur avec le comité UNM 920 Fabrication additive. L'ISO et l'ASTM ont validé un "plan conjoint pour le développement de normes de fabrication additive", renouvelé en 2014, pendant que le TC 438 évalue les normes existantes au niveau de l'ISO. Plusieurs normes ont déjà été publiées, certifiant de nombreux matériaux.

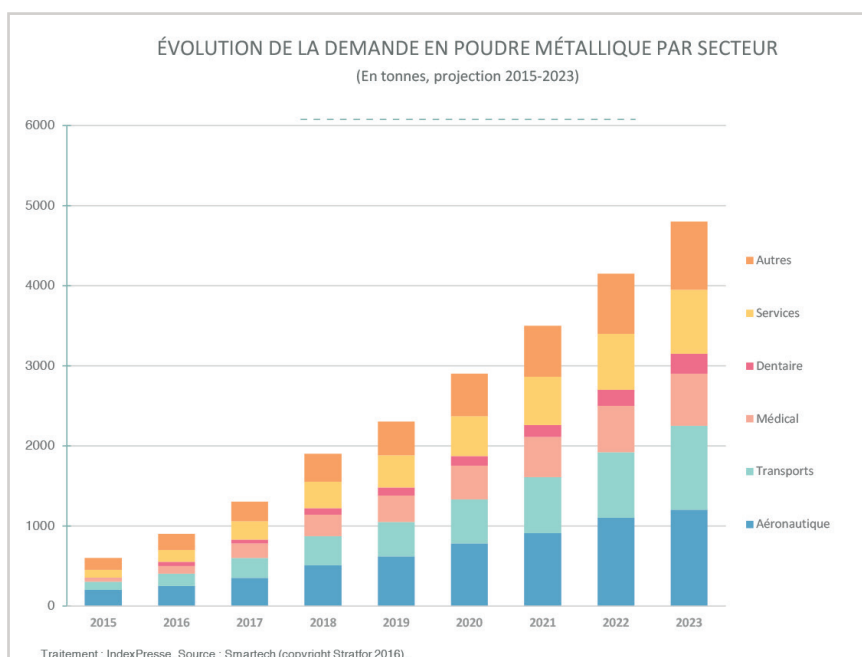
matériaux, et porterait leur part du marché à 70 % en 2028.

Le cabinet américain SmarTech Analysis a publié des estimations à plus court terme: les parts du métal et des polymères tendraient à s'équilibrer pour approcher 50/50 aux alentours de 2021, relate *A3DM Magazine*.

Un marché en quête de maturité

Le marché des matières semble plutôt opaque pour les transformateurs qui débutent dans l'impression 3D, remarquait le Pipame en 2017. Les prix vont du simple au double, voire au triple lorsque les poudres sont commercialisées par le fournisseur de la machine. Finalement, l'utilisation de l'impression 3D dans tous les secteurs, de l'aéronautique à la bijouterie, ne débouchait que sur un très faible nombre de commandes fermes en 2016 chez les différents fournisseurs de matériaux.

Le segment des matériaux de fabrication additive ne représentait par exemple que 5 % du chiffre d'affaires d'un fournisseur majeur. Les producteurs de poudre métal conventionnelle faisaient état en 2016 d'une augmentation de la production



de poudre dédiée à la fabrication additive, mais celle-ci “restait très marginale”.

La demande industrielle

L'enjeu premier pour les fournisseurs de matériaux consiste à **consolider la filière amont**. Le développement de l'impression 3D pour la production en série favorisera les fabricants capables de garantir de gros volumes sur plusieurs années. Des fournisseurs tiers vont se multiplier sur ce segment, avec pour conséquence une diminution des prix. Cependant, une tarification agressive n'entraîne pas nécessairement un avantage concurrentiel. En effet, le prix de la matière première impacte peu le coût global de production d'une pièce, comme le soulignait le cabinet Roland Berger dans une étude de 2015.

Les industriels interrogés par le Pipame en 2017 préféraient **gagner en maturité sur les matériaux existants** plutôt que de se pencher sur le

développement d'alliages innovants. Améliorer la traçabilité des matériaux constitue un axe de développement majeur. Dans cette optique, le recours à des normes, qui sont en cours d'élaboration, permet de faciliter les relations avec le client utilisateur. Les matériaux peuvent permettre aux industriels de **gagner en robustesse** (capacité à reproduire les processus de fabrication sans varier), un besoin souvent exprimé. La maîtrise du comportement des matériaux est un argument fort, notamment grâce à l'élaboration de bases de données sur leurs propriétés. “La demande porte de plus en plus sur des certificats d'origine de nos matières, comme des matériaux grades alimentaires”, annonçait un responsable de Kimya, fournisseur de matériaux d'impression interrogé par A3DM Magazine en juin 2018.

Enfin, il existe une demande pour **des gammes de matériaux plus étendues** – même si le besoin industriel à court terme ne touche pas les nouveaux matériaux innovants.

Innover en amont pour s'imposer sur l'ensemble de la chaîne de valeur

Le potentiel des grands spécialistes français

La France compte deux leaders d'envergure mondiale dans le domaine des matériaux à destination de l'impression 3D.

Le groupe de chimie Arkema est positionné sur les polymères avancés. Il produit des poudres thermoplastiques, ainsi que des photopolymères via sa filiale Sartomer. La société a réalisé un chiffre d'affaires de 8,3 milliards d'euros en 2017, en hausse de 10,5 % selon *Investir*, dont 46 % dans les polymères avancés. La part réalisée dans les matériaux d'impression 3D reste inconnue. Elle est en concurrence avec le groupe allemand BASF, leader mondial de la chimie, qui se lance également dans la conquête du marché via plusieurs acquisitions de fabricants de matériaux d'impression 3D. Après avoir acquis à 100 %

le fabricant de filaments néerlandais Innofil3D en 2017, le groupe s'est emparé d'Advanc3D Materials GmbH, basé à Hambourg, ainsi que de l'entreprise lyonnaise Setup Performance SAS, annonce A3DM Magazine en 2018.

Du côté des poudres de métal, on trouve Erasteel, filiale d'Eramet. Comme la plupart des fabricants de matériaux métalliques pour la fabrication additive, cet industriel produit à l'origine des poudres destinées à d'autres applications métallurgiques. La branche Alliages du groupe Eramet, constituée par les deux sociétés Aubert & Duval et Erasteel, possède la première capacité mondiale de poudres atomisées au gaz (tous métaux, sauf le titane) pour les différentes technologies de fabrication additive. Les deux sociétés composant la branche ont réalisé respectivement un chiffre d'affaires de 38 millions et 15 millions d'euros en 2017. Le groupe a déployé un site

d'expérimentation en mai 2017, avec l'intention de produire un nouveau type d'alliage à destination de l'aéronautique, expliquait Jérôme Fabre, directeur de la division, dans le rapport annuel 2017 de l'entreprise. Il est à noter que ces entreprises ont souffert, fin 2018, de la découverte de non-conformité de certaines de ces productions, rapporte *L'Usine Nouvelle*. Cette obligation de revoir la qualité aura finalement coûté 65 millions d'euros au groupe.

Les consultations réalisées par le Pipame montrent que la plupart des producteurs de poudres métalliques qui se sont lancés dans les matériaux d'impression en France comme à l'international, ont commencé par viser un marché particulier, **avant d'enrichir ensuite leur catalogue**.

Parmi les acteurs majeurs, on trouve également **Constellium**, qui élabore des matériaux et des produits semi-finis à base d'aluminium. La société a illustré son intérêt pour l'impression 3D en 2016 dans un programme de R&D conjoint avec son client Stelia Aerospace, numéro un européen des aérostructures, et CT Ingénierie. Il s'agit d'expérimenter les possibilités de fabrication additive en aluminium dans l'aéronautique, secteur d'application principal pour ce matériau. L'industriel fournit les matières premières au sein du consortium. "Un moyen de trouver des alternatives innovantes aux solutions de mise en forme actuelles, pour toujours mieux répondre aux besoins de nos marchés cibles", expliquait le directeur R&D de l'entreprise au Pipame en 2017. Le projet a débouché en 2018 sur un démonstrateur de panneaux de fuselage réalisés en impression 3D.

Les matériaux comme stratégie de croissance

La recherche et l'expérimentation sur les matériaux ne sont pas limitées aux fournisseurs historiques. On la retrouve également dans la stratégie de plusieurs acteurs qui veulent s'imposer dans la fabrication additive.

La start-up américaine **Carbon**, un fabricant d'imprimantes 3D évalué à 1,7 milliard de dollars, a été remarquée pour avoir diversifié la gamme des polymères disponibles en impression 3D, note le cabinet IdTechX.

Le fabricant d'imprimantes **HP**, qui détient 40 % des parts de marché de l'impression 3D en 2018 après deux ans d'activité, mise aussi sur les matériaux selon *L'Usine Nouvelle*. Il a développé une **plateforme ouverte** pour que les fournisseurs et les chercheurs en matériaux puissent tester rapidement les propriétés et la compatibilité de leurs poudres avec les imprimantes HP. L'entreprise a annoncé une collaboration de R&D avec le CEA portant sur les matériaux. Dans un communiqué de presse du 18 janvier 2018, Florence Lambert, Directrice de CEA-Liten, saluait l'"approche disruptive" d'HP dans ce domaine. Cette plateforme d'échange raccourcit les cycles d'innovation, permet de développer de nouveaux matériaux et de référencer leurs caractéristiques. Elle est actuellement limitée aux thermoplastiques: "Même si le métal a un gros potentiel, nous préférons rester focalisés sur le plastique car nous pensons qu'en 2020, il représentera toujours la majorité du marché", déclarait le directeur général de l'activité impression 3D d'HP à *L'Usine Nouvelle* en juin 2017.

Autre exemple, l'entreprise belge **Filaments.directory** a constitué une base de données sur les matériaux plastiques d'impression, remarquait le site 3DNatives en 2016. Cette base de données lui a permis de produire une étude de marché en 2016, qu'elle a renouvelée en 2018.

Les experts en matériaux font ainsi souvent l'objet des nombreux rapprochements, acquisitions et consolidations observés sur le marché émergent de la fabrication additive. Pour les imprimeurs 3D, **l'intégration d'un fournisseur en amont garantit l'approvisionnement** en matières premières. Le groupe WeAre Aerospace, par exemple, s'est assuré une source pérenne de matières premières pour ses activités d'impression 3D grâce à un accord avec le chimiste canadien Tekna Plasma, annoncé en juillet 2017. La filiale française Tekna Plasma Europe produira des poudres métalliques de haute qualité pour le consortium composé des entreprises françaises Chantal, E.S.P.A.C.E., Comefor, Bouy, Farella et Prismadd, indique un communiqué de presse posté sur le site metal-am.com.

Pour les fabricants de machines, **la vente de matériaux parallèlement à la vente d'imprimantes 3D**

représente un relais de croissance. C'est le cas du fabricant suédois **Arcam**, qui a acquis la société canadienne AP&C spécialisée en production de poudres métalliques en 2014. Certains fabricants tentent d'imposer leurs matériaux en menaçant de supprimer la garantie en cas d'utilisation de leurs imprimantes avec d'autres matériaux, précise l'étude du Pipame de 2017. Stratasys, leader du marché des filaments thermoplastiques présente une stratégie de ce type, d'après *A3DM Magazine*.

L'extension des compétences des fournisseurs de poudres

Inversement, le fabricant de poudres français **Z3DLAB**, fondé en 2014, a démarré une activité d'imprimeur. Après avoir breveté plusieurs matériaux d'impression 3D uniques, cette société a choisi d'en démontrer les qualités grâce à des applications concrètes. C'est ainsi qu'elle a conçu un prototype d'implant dentaire utilisant un matériau non-toxique, d'une élasticité proche de

Impression 3D alimentaire : un intérêt industriel ?

L'engouement pour l'impression 3D grand public constaté entre 2010 et 2015 a donné naissance à plusieurs tentatives d'utilisation avec des aliments. Dans leur immense majorité, les applications concernent des "imprimantes alimentaires" vendues à moins de 5 000 dollars. Destinées au grand public, elles intéressent surtout des chefs menant des projets de recherche culinaire.

De nombreuses start-up sont positionnées sur ce marché, comme le pionnier néerlandais byFlow qui a ouvert un restaurant afin de servir de vitrine à son imprimante 3D. Le site 3DNatives remarque également, aux États-Unis, Naturales Machines, ainsi que Dovetailed, une start-up soutenue par Microsoft qui réalise des essais d'impression 3D de fruits. Outre ces jeunes pousses innovantes, le fabricant d'imprimantes 3D industrielles 3D Systems s'est également attaqué au marché avec une machine capable d'imprimer des formes en chocolat.

S'il n'existe pas, à ce jour, d'application répertoriée dans l'industrie agroalimentaire, les acteurs semblent s'intéresser à la technologie. L'entreprise italienne Barilla a ainsi développé une imprimante 3D de pâtes fraîches en 2016, avec l'institut de recherche hollandais TNO. L'idée serait de commercialiser l'imprimante, plutôt que d'utiliser la technologie en production industrielle.

En France, le Centre culinaire contemporain de Rennes a développé un *living lab* visant à anticiper l'impact de l'impression 3D alimentaire, qui a été remarqué par la *Revue de l'Industrie Agroalimentaire* en avril 2017. Il était prévu d'y accueillir 25 entreprises pour un ticket d'entrée de 10 000 euros par an, dont les industriels D'aucy, Guyader, Elior, Triballat Noyal.

À mi-chemin entre le comestible et le promotionnel, la start-up Tridi Foodies a appliqué la fabrication additive à des produits alimentaires, note *Les Échos*. Elle a créé des objets promotionnels en sucre, par exemple des stylos comestibles pour Bic. Son process lui permet aussi de réaliser des objets en sucre non comestibles, comme une maquette de bâtiment pour Vinci. Le but est de remplacer le plastique dans une optique de développement durable.

l'os. L'entreprise a commencé en décembre 2016 la construction d'un centre de fabrication additive à Séoul (Corée), avec un investissement de 10 millions d'euros sur 2 ans dans le cadre d'une joint-venture avec un fabricant de semi-conducteurs coréen. Ce centre de production permettra de monter en cadence pour servir des clients des secteurs médical et aéronautique mais également automobile et nucléaire, avec des certifications requises, précise *La Lettre de l'Entreprise*.

Le fabricant de filaments plastiques **Igus**, basé en Allemagne, a aussi développé des services d'impression 3D en 2015, note *Plastiques flash Journal*.

La société limougeaude **3D Ceram**, à l'origine fournisseur de matériaux spécialisé dans les céramiques techniques, s'est de son côté diversifiée avec la mise sur le marché d'une machine d'impression en 2016. Elle prévoyait d'en commercialiser une deuxième en septembre 2017, capable d'imprimer plusieurs matériaux à la fois, précise *l'Usine Nouvelle*. La société a réalisé un chiffre d'affaires de 2,1 millions d'euros en 2016, selon les dernières données.

Les matériaux émergents et innovants

Les projets de R&D sur les matériaux de fabrication additive ne s'arrêtent pas aux métaux et plastiques. Les **multimatériaux**, qui combinent plusieurs caractéristiques (rigidité, transparence, couleur...), permettent de fabriquer des produits composites. Cette technologie constitue une piste d'innovation suivie par des acteurs de tailles et de positionnements variés. Stratasys et HP proposaient en 2018 des procédés multimatériaux et multicouleurs, qui trouvent notamment des applications dans le domaine médical, constate *A3DM Magazine*. Par exemple, un projet de l'Université du Minnesota consiste à imprimer des organes artificiels destinés à l'entraînement des chirurgiens, dans des matériaux souples et en tout point semblables à ceux des patients.

Il existe également des **systèmes hybrides mélangeant la céramique et le métal**. Ces matériaux sont généralement résistants à la chaleur, recyclables et non-toxiques pour les aliments. Les applications intéressent le dentaire, le médical,

l'aérospatiale, l'automobile mais également les appareils ménagers. 3D Systems, Z3DLAB ainsi que 3D Ceram proposent des matériaux destinés à ce type de système.

Le groupe nantais Armor, spécialiste des consommables d'impression et des films enduits pour les énergies renouvelables, s'est spécialisé dans les **matériaux à haute valeur environnementale** à travers sa division Kimya, créée en 2015 sous le nom Armor 3D. L'entreprise commercialise des filaments 3D recyclés ainsi que des prestations d'accompagnement et de R&D. Elle propose aux entreprises de valoriser leurs matières premières en les recyclant, précise *L'Usine Nouvelle*.

La fabrication additive permet également d'imprimer des **matériaux conducteurs à l'échelle micrométrique**, voire nanométrique. Cette technologie offre la possibilité d'intégrer directement les circuits électroniques sur les pièces plutôt que de devoir les assembler *a posteriori*. La seule entreprise répertoriée qui manipule ce type de matériau est le fournisseur d'imprimantes 3D américain Voxel8, d'après le site *primante3D.com*.

Les **biomatériaux** (céramiques et métalliques) sont utilisés pour imprimer des pièces présentant une excellente compatibilité avec les os ou les dents. Une technologie encore plus expérimentale consiste à imprimer les tissus vivants eux-mêmes. Elle est déployée entre autres par la start-up américaine BioBots et fait l'objet d'un groupe de recherche à la Wake Forest University en Caroline du Nord. "Nous recréons des tissus vascularisés, d'échelle humaine, capables de survivre sur le long terme", précisait le chercheur en charge du projet au journal *Nature Biotechnology* en 2016.

Enfin, les **matériaux intelligents** sont capables de changer de propriétés (forme ou fonction par exemple) sous l'effet de certains stimuli comme la température, un solvant, l'électricité, la lumière... La combinaison de ces matériaux avec la fabrication additive constitue un domaine de recherche émergent : **l'impression 4D**. L'interface ColorFab proposée par des chercheurs du MIT permettrait par exemple d'imprimer des textiles teintés avec des encres capables de changer de couleur, indique un article relayé sur le site de L'Atelier BNP Paribas.

Le secteur médical, pionnier de l'impression 3D industrielle

Un marché tiré par l'international

Le marché mondial de l'impression 3D dans le domaine de la santé était évalué à 490 millions de dollars en 2016 par l'institut Alcimed, rapporte *Pharmaceutiques*. L'industrie médicale représente environ 11 % des revenus de l'impression 3D, estimait le rapport 2018 *Medical Additive Manufacturing* de l'association professionnelle américaine SME. Ce chiffre est un peu en dessous des estimations du Pipame, qui en évaluait la part à 15 % en 2017 et tablait sur une augmentation à 25 % d'ici à 2020. Le marché devrait atteindre **plus de 2,2 milliards de dollars d'ici 2024**, affirme quant à lui Global Market Insights (États-Unis), et 2 milliards en 2020, selon Alcimed. Le cabinet Allied Market Research l'évaluait à 2,3 milliards en 2020, dans une étude datant de 2016.

Le secteur de la santé a été pionnier du basculement de l'impression 3D vers l'industrie, souligne Claude Barlier, président-fondateur du Cirtes, centre de recherche spécialisé dans ce domaine cité par *L'Usine Nouvelle* en 2016. Les applications médicales sont nombreuses, en effet,

au premier rang desquelles figurent les implants médicaux et dispositifs implantables, les prothèses orthopédiques, dentaires et auditives, et les instruments chirurgicaux et ancillaires (instruments d'aide à la pose d'implants). L'impression 3D est également utilisée pour produire des modèles d'organes anatomiquement exacts permettant l'entraînement des chirurgiens ou l'étude de la médecine. La bonne adéquation des techniques de fabrication additive avec les besoins spécifiques de la médecine est à souligner : **personnalisation des produits pour s'adapter au patient**, production en petite série et livraisons plus efficaces et moins coûteuses.

L'acceptation de l'impression 3D dans les différents domaines médicaux est supérieure à 9 sur une échelle de 10 (échelle de *Technology Readiness Level* ou TRL) estimait le Pipame en 2017. Ceci correspond à un système considéré comme "réellement éprouvé et prêt pour la commercialisation" dans les segments du dentaire, de l'orthopédie et des implants ainsi que des ancillaires.

80 %

La part de
l'impression 3D dans
les dépenses de santé
mondiales en 2023.

Source : Bpifrance.

Pour le cabinet Gartner, qui compare les attentes du public et le potentiel réel des technologies, la fabrication de dispositifs médicaux par impression 3D aurait seulement atteint en 2017 le stade dit des “faux espoirs” dus à un battage médiatique excessif. La technologie pourrait espérer une réelle productivité entre 2019 et 2022. Cependant, l'impression 3D de prothèses dentaires et, surtout, de prothèses auditives est déjà parvenue à un stade de maturité beaucoup plus avancé, selon le même analyste.

Il existe une forte disparité entre la France et d'autres régions du monde pour le déploiement de l'impression 3D dans le secteur médical. Le rapport annuel de SME signale par exemple une **hausse de 3200 % du nombre d'hôpitaux ayant intégré un centre d'impression 3D** entre 2010 et 2016 aux États-Unis. Dans ce pays, 97 % des professionnels de la fabrication additive s'attendent à voir augmenter le nombre d'applications d'impression 3D dans le secteur médical. L'étude du SME insiste également sur le déploiement avancé des pratiques de “fabrication en centre de santé” (*point-of-care manufacturing*) aux États-Unis. Il s'agit de la fabrication de produits “en dernière minute”, adaptés sur-mesure à chaque patient à partir des données issues de scanners ou d'IRM. Cette fabrication peut être soit réalisée en interne soit sous-traitée à un imprimeur. L'entreprise belge **Materialise** est leader dans ce domaine, avec une solution facilitant l'étape de conversion des données d'imagerie en fichiers d'impression 3D.

Les freins à l'impression 3D dans le secteur médical

Cette information est à mettre en perspective avec le marché français. Bien que beaucoup d'hôpitaux s'équipent en imprimantes 3D, selon une étude de Xerfi citée dans *Pharmaceutiques* en 2017, la fabrication des dispositifs médicaux est plutôt externalisée. “Pour des choix stratégiques”, explique un responsable commercial d'EOS, leader du marché des imprimantes dans le secteur de la santé. “Ce choix a été fait car il n'était pas concevable d'avoir un hôpital avec un centre d'usinage qui demande des moyens lourds et de

la maintenance”, expliquait-il dans *Plastiques & Caoutchouc Magazine* en 2017.

Les freins à l'adoption de la technologie ont été analysés via un sondage auprès des professionnels du secteur médical en 2017 dans l'étude du SME. Ces freins sont nombreux, comme en atteste le graphique ci-contre. Les plus pénalisants concerneraient **l'environnement réglementaire** et la certification.

Un blocage plus général concerne le manque de connaissance des professionnels de santé au sujet de la fabrication additive. “La plupart des chirurgiens ne comprennent pas ce qu'ils peuvent obtenir via cette technologie, une grande partie du travail consistera à éduquer le secteur”, expliquait le responsable de la stratégie industrielle d'Autodesk à *Advanced Manufacturing* en 2018.

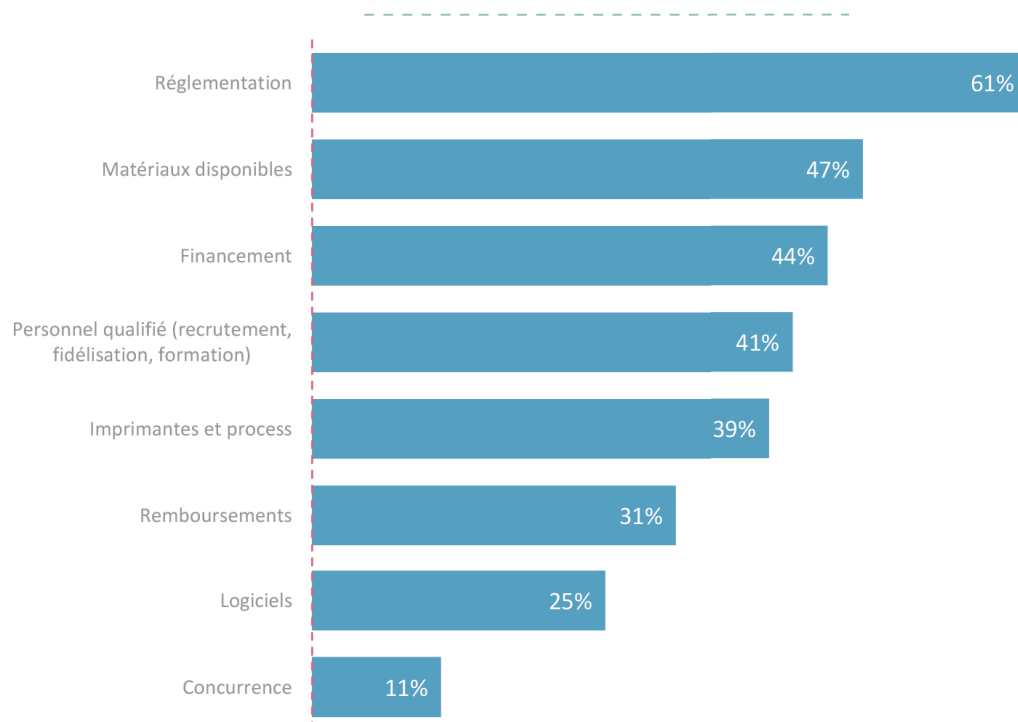
3200 %

Taux de croissance du nombre d'hôpitaux américains ayant intégré un centre d'impression 3D entre 2010 et 2016

Source : Rapport annuel SME.

FREINS AU DÉVELOPPEMENT DE L'IMPRESSION 3D MÉDICALE

(En pourcentage de répondants)



Traitement : IndexPresse. Source : *Medical Additive Manufacturing/3D Printing 2018 Annual Report*, SME

Les segments porteurs au sein des *medtech*

L'orthopédie largement conquise par l'impression additive

Selon les dernières données disponibles, le segment des applications orthopédiques est le plus porteur pour l'impression 3D au niveau mondial, avec un marché atteignant près de 500 millions de dollars en 2016, affirmait SmarTech Analysis. En dehors des imprimantes, des matériaux et des logiciels dédiés à l'orthopédie, les ventes de dispositifs orthopédiques imprimés en 3D s'élevaient à 170 millions de dollars en 2017, précise Future Market Insights. Le même institut prévoit que cette valeur atteindra 970 millions en 2027, soit une croissance moyenne de 19,2 % durant cette période.

Le secteur principal est celui des prothèses de genoux, en raison du coût des métaux utilisés (chrome-cobalt). Sa croissance est assurée par le vieillissement de la population.

Pour les imprimantes 3D, c'est l'entreprise suédoise **Arcam** qui est en tête du marché de l'orthopédie avec son procédé EBM, d'après les indications de l'étude de 2017 du Pipame. Celle-ci souligne également l'avance du marché italien, notamment avec la société **Lima** qui imprime 10000 prothèses de hanche par an sur des machines Arcam.

En France, l'entreprise grenobloise **Tornier**, qui a fusionné avec l'américain **Wright Medical** depuis 2011, a investi 3 millions d'euros dans l'impression 3D pour la fabrication de prothèses d'épaule, rapportait un article du journal *Les Échos* en juin 2018. Avec six machines permettant de doubler en volume ses activités d'expédition sur ce segment, la société espère prendre rapidement la tête du marché mondial de l'épaule. Au total, la France représente 25 % du chiffre d'affaires de 745 millions de dollars du groupe Wright, spécialisé dans les secteurs les plus dynamiques de l'orthopédie.

Les solutions 3D se multiplient sur le marché dentaire

Le marché de l'impression 3D dentaire pourrait atteindre 9,5 milliards de dollars en 2027, d'après une étude de SmarTech Analysis. Sa croissance annuelle était de 35 % en 2017 pour la deuxième année consécutive. De plus en plus de prothésistes, dentistes et laboratoires se tournent vers les technologies 3D pour gagner en efficacité, en complément des méthodes d'usinage traditionnelles. "Aujourd'hui, dans un laboratoire il est fréquent d'avoir des solutions à la fois soustractive et additive qui coexistent dans une stratégie de flux de travail numérique", déclare le rapport relayé par le site 3DNatives.

L'impression 3D métallique, principale méthode de fabrication d'implants dentaires, va continuer à prendre de l'importance avec la multiplication des sous-traitants qui emploient la technologie DMLS ("métal direct"), prévoit SmarTech Analysis. C'est le cas de la start-up italienne **Yndetech**, fondée en 2016, qui a gagné 700 clients en deux ans, révèle dans un communiqué de presse l'entreprise 3D Systems qui équipe le sous-traitant avec ses imprimantes.

Les autres matériaux ne sont pas en reste : l'accès à des imprimantes à photopolymères dites "de bureau" (en dessous de 5000 dollars) combiné à l'utilisation de résines certifiées va également jouer un rôle important dans l'avenir de la fabrication d'implants dentaires. **FormLabs, l'entreprise qui a popularisé cette solution, a multiplié sa part du marché dentaire par 20 entre 2015 et 2017** indique SmarTech Analysis.

En ce qui concerne la France, la fabrication additive pourrait redynamiser l'implantologie dentaire, d'après le dirigeant de l'entreprise Biotech Dental, acteur français de référence dans ce domaine. Celui-ci constate au sein des laboratoires un abandon de la réalisation de prothèses amovibles, notamment par les jeunes prothésistes. "Cela laisse la porte grande ouverte à l'importation sur

le sol français de prothèses chinoises ou étrangères en général”, alertait-il lors d’une interview en 2017 sur le site 3DNatives. À cela s’ajoute un problème de rentabilité dans la réalisation de ces produits, une activité très chronophage.

Biotech Dental a donc travaillé avec la société **Polyshape** pour adopter des processus de fabrication additive optimisés, ainsi que pour tester et qualifier des poudres. Tirant parti de son expertise, l’entrepreneur a également fondé la société **Circle** en 2016 afin de promouvoir l’utilisation de l’impression 3D dans son secteur. Celle-ci convertit des laboratoires à la fabrication additive en les accompagnant dans le choix de leurs équipements et en leur proposant des solutions de sous-traitance. Son dirigeant table sur **une conversion de 40 % des laboratoires de prothèses à l’impression 3D**.

Autre signe que le marché est ouvert à l’innovation, en 2017 le distributeur français Repmo a vendu en France cinq imprimantes métal du fabricant Concept Laser destinées à des prothésistes dentaires. “Le coût matière est assez avantageux. Au final, on obtient des coûts d’éléments de l’ordre d’un à deux euros au lieu de huit à dix euros par usinage”, témoigne le responsable produit additif de l’entreprise, interrogé par le magazine *Pharmaceutiques* en 2017.

Dispositifs médicaux : les imprimeurs 3D en phase de recherche

Les dispositifs médicaux imprimés en 3D, hors implants dentaires, ont dégagé un chiffre d’affaires mondial de 330 millions de dollars pour l’année 2017, selon une étude de Future Markets Insights. **La Chine est en pointe pour l’utilisation de l’impression 3D dans le secteur**, rapportait une étude de 2016 du cabinet Frost & Sullivan. Les autorités sanitaires chinoises ont en effet validé l’utilisation de l’impression 3D pour la production en série d’implants médicaux métalliques. “L’impression 3D est prometteuse dans le secteur des implants médicaux. Pour certains types d’implants, les taux de croissance de la fabrication additive sont de l’ordre de 20 % par an. Mais cela reste une petite partie du marché”,

déclare un responsable d’étude chez Xerfi, cité par *Pharmaceutiques* en juillet 2017.

Le segment des **prothèses auditives** est l’un des plus avancés, avec une adoption unanime de l’impression 3D chez ses fabricants. *Harvard Business Review* affirme qu’aux États-Unis, **le secteur s’est converti à une fabrication 100 % additive en moins de 500 jours**, et “pas une entreprise restée fidèle aux méthodes traditionnelles n’a survécu”. Le taux d’utilisation de l’impression 3D sur ce segment approche également 100 % en France d’après la Direction générale des entreprises. Là encore, c’est le logiciel commercialisé par la firme Materialise qui a accompagné la transformation du secteur.

Plusieurs entreprises tirent parti des **capacités de personnalisation** offertes par l’impression 3D pour aborder ce secteur. Le fabricant d’implants **Médicréa**, basé à Lyon, s’en est saisi tout en se diversifiant dans l’impression 3D métallique. La société a conçu une gamme d’implants vertébraux en titane, ainsi qu’un logiciel permettant au chirurgien de créer l’implant selon ses propres spécifications. L’entreprise a obtenu l’homologation de la FDA (Food and Drugs Administration, organisme de certification américain) pour ce processus, annonce le site 3DNatives.

D’autres sociétés fabriquent des **implants uniques, adaptés au patient, réalisés à partir d’IRM ou de scanners**. **AnatomikModeling**, jeune pousse toulousaine, a également adopté la fabrication 3D pour certains de ses implants sur-mesure, destinés notamment à corriger les malformations congénitales du thorax. Ces derniers sont élaborés tantôt en plastique, via une impression 3D, tantôt en fabrication soustractive, selon leur complexité géométrique. L’entreprise a investi 80 000 euros dans la R&D, rapporte le journal *Les Échos*, sur un chiffre d’affaires de 400 000 euros en 2017, en progression de 50 %. Elle a développé une prothèse de trachée en phase d’essais cliniques, également remarquée par *L’Usine Nouvelle*, qui devait arriver sur le marché début 2019.

La start-up **Lattice Médical**, incubée dans les Hauts-de-France, a imaginé une prothèse mammaire imprimée en 3D, bio-résorbable et personnalisable. Après avoir utilisé la fabrication additive

Des médicaments imprimés en 3D : *game changer* du secteur de la santé ?

Outre les utilisations innovantes de l'impression 3D dans le domaine de la chirurgie, son application pour les médicaments présente un caractère totalement disruptif, d'après l'institut d'études Alcimed.

Le premier médicament produit grâce à l'impression 3D a été approuvé en août 2015 par la FDA (Food and Drugs Administration). Il s'agit du Spritam du laboratoire américain Aprelia Pharmaceuticals. Ce médicament, commercialisé début 2016 aux États-Unis, est un traitement contre l'épilepsie qui se présente sous forme de comprimés très poreux, permettant une dissolution beaucoup plus rapide que celle des produits classiques.

L'impression 3D permet également de doser plus précisément le principe actif du médicament. David Bariau d'Alcimed imagine les "possibilités immenses" d'impression de médicaments avec une posologie adaptée aux patients, qui pourraient avoir des impacts sur l'ensemble de la chaîne du médicament. La recherche doit permettre d'arriver "à des technologies compatibles avec la Pharmacopée et d'imaginer des modèles assurant la traçabilité et le contrôle", souligne David Bariau qui confirmait l'intérêt des laboratoires pour ce sujet dans les pages de *Pharmaceutiques* en 2017.

pour le prototypage, l'entreprise l'envisage désormais pour la production. Après une levée réussie de 2,3 millions d'euros 2018, elle compte entrer en phase d'essais cliniques en 2021 précise son fondateur interrogé par le site Primante3D.

Le constructeur d'imprimantes 3D industrielles **AddUp** s'intéresse également aux projets médicaux. La coentreprise de Michelin et Fives a annoncé un partenariat avec le concepteur du cœur artificiel révolutionnaire **Carmat**, son compatriote, signalait *Investir* en novembre 2017. L'entreprise de la biotech compte utiliser l'impression 3D en phase de production industrielle du produit final.

Les implants sont difficiles à certifier et rares sur le marché. Certaines entreprises se positionnent plutôt dans la **fabrication 3D de modèles anatomiques ultra-précis**, qui présentent les mêmes caractéristiques biomécaniques que les tissus humains et servent à l'entraînement des chirurgiens, pour planifier une opération ou durant leur formation. La plateforme 3D Fab, rattachée à

l'université de Lyon, sous-traite la fabrication de ce type d'organes pour des hôpitaux. En effet, la plupart d'entre eux sont freinés par les coûts des imprimantes pour fabriquer les modèles en interne. Selon la complexité et le matériau d'impression, le prix des modèles varie d'une centaine à plusieurs milliers d'euros, révélait un responsable à *Pharmaceutiques* en 2017. La start-up **Biomodex**, fondée en 2014 a fait de ce segment son cœur de métier, après plusieurs levées de fonds, dont une de 3,6 millions d'euros en 2016. Présente à Boston et à Paris, elle vise les fabricants de dispositifs médicaux. "Leurs technologies peuvent être très différentes. Les industriels ont donc besoin de former les chirurgiens au geste technique permettant de placer le dispositif", précisait le porte-parole de l'entreprise à *L'Usine Nouvelle* en 2017. L'entreprise AnatomikModeling, spécialiste des implants sur-mesure, réalise également une part de son activité dans ces modèles de simulation médicale.

Les promesses de la bio-impression séduisent l'industrie cosmétique

La santé représente un secteur d'application majeur pour la **bio-impression, un marché de 100 millions de dollars en 2015** qui devrait croître de 30 à 40 % tous les ans d'après l'institut P&S Research cité dans *L'Usine Nouvelle* en 2018. Ce domaine est porté par l'impression de cellules destinées à l'ingénierie tissulaire et présente un potentiel important dans le domaine de la peau, explique un responsable d'Alcimed cité par *Pharmaceutiques* en 2017. La bio-impression permettrait également d'imprimer des tissus tels que la cornée ou l'os, en quantités importantes, avec des essais cliniques qui pourraient apparaître en 2025, détaille Fabien Guillemot, chercheur à l'Inserm en bio-ingénierie tissulaire.

L'entreprise girondine **Poietis** a été fondée en 2014 par un pionnier de cette technologie. Elle imprime des tissus humains artificiels, dont les débouchés se trouvent pour l'instant dans les tests de **l'industrie pharmaceutique et cosmétique**, plutôt que la médecine. "Les premières greffes n'arriveront pas avant 2020", affirmait son

dirigeant interrogé par *Industrie & Technologies* en février 2018. Soutenu par le géant de la chimie BASF, Poietis a annoncé un partenariat avec L'Oréal pour un **projet d'impression de follicule pileux et de peau, visant à tester des cosmétiques**. L'entreprise a déposé une série de brevets en Europe, aux États-Unis et au Japon. Elle est en concurrence avec la start-up américaine **Organovo**, qui imprime également des tissus humains pour L'Oréal – de la peau, cette fois-ci.

Autre exemple, l'imprimeur 3D **Modern Meadow**, basé dans le New Jersey, bio-imprime du cuir à destination de l'industrie de la mode et du design, remarque le site 3DNatives en 2017.

Une étape importante a également été atteinte en 2017 dans le domaine de la bio-impression, avec la fabrication en 3D d'**yeux artificiels** par un hôpital coréen. L'entreprise coréenne **Carima**, qui s'occupe de la fabrication, affirme disposer d'un processus 30 % plus rapide que celui de la start-up américaine Carbon, rapporte le site 3D Printing Business. Les prototypes sont en phase de sécurisation et de validation, pour une commercialisation prévue d'ici fin 2020, précise le site 3DNatives.

Les axes de développement

Innover et partager l'information

La R&D est une activité essentielle dans le domaine médical, de même que sur le marché émergent de l'impression 3D. Toutes les entreprises citées précédemment ont déployé des investissements plus ou moins massifs dans ce sens. Les partenariats avec les centres de recherche hospitaliers sont nombreux, afin de rester à l'écoute des besoins des professionnels et de produire des innovations qui y répondent. Les acquisitions de start-up qui détiennent des technologies développées avec un centre de recherche sont également fréquentes.

Le développement d'une innovation médicale imprimée en 3D s'apparente à une véritable course de vitesse, orientée vers le produit. Arriver

le premier sur le marché et, surtout, entrer rapidement en production confère un avantage compétitif important dans le secteur médical. Plus tôt une innovation est mise sur le marché, plus tôt ses tests cliniques pourront commencer. **Un historique d'usage clinique sur dix ans rassure les chirurgiens** et facilite leur adoption d'une autre innovation basée sur la même technologie, selon Laura Gilmour, responsable du secteur médical chez EOS, interrogée par *Advanced Manufacturing* en juillet 2018.

La R&D s'accompagne également d'un effort important d'évangélisation et d'accompagnement du secteur de la part des industriels les mieux implantés ou les plus investis. Ces efforts touchent à la fois les utilisateurs finaux des produits

(chirurgiens, médecins) et les autres industriels. Il peut s'agir de "sociétés collaboratives" comme Circle dans le domaine dentaire, ou le Hub Médical de Fabrication Additive né de la société OsseoMatrix. L'intérêt de ces collaborations est multiple pour les entreprises impliquées : développement de nouvelles technologies, mais également opportunités d'affaires et partage d'information. Ce dernier aspect attire notamment de nombreuses PME, qui n'ont pas nécessairement les moyens d'assurer une veille réglementaire exhaustive.

Les plasturgistes impliqués dans le secteur de la santé disposent par exemple d'une plateforme nommée **MedPharmPlast**, qui s'appuie sur une structure à l'échelle européenne pour recenser l'information autour de la législation qui les concerne. "Dans le domaine du médical, l'information est cruciale pour s'assurer que le produit répond aux exigences actuelles mais également pour devancer les attentes et les futures évolutions de la réglementation", déclarait la dirigeante de cette plateforme à *Plastiques & Caoutchoucs Magazine* en 2017.

Proposer des matériaux *biotech*

Les limites de la fabrication 3D pour les applications de santé "sont principalement liées aux **matériaux disponibles** dans un contexte médical" affirmait le dirigeant d'AnatomikModeling interrogé à la fin de l'année 2017 par le site 3DNatives. "En effet, les normes en vigueur imposent l'utilisation de matériaux biocompatibles ou ayant des propriétés validées pour la création de moules permettant d'éviter les transferts de particules ou molécules du moule vers l'implant final. Les matériaux répondant à ces critères pouvant être utilisés en impression 3D médicale sont encore peu nombreux." Il précise en outre que les fournisseurs de matériaux sont eux aussi impliqués pour faire évoluer la situation.

C'est le cas du fabricant d'imprimantes français **Prodways**, qui s'intéresse aux **matériaux céramiques biomédicaux** à travers un partenariat avec la société **Cerhum**, spécialiste de la fabrication additive en céramique. Cette collaboration a pour objectif de mettre sur le marché de

nouvelles matières céramiques formulées sur mesure pour le domaine biomédical, indique *Industrie Céramique et Verrière*.

Tornier-Wright avait également développé son expertise dans les matériaux avant de développer ses prothèses d'épaule en 3D, avec l'acquisition en 2016 de la société grenobloise **BioProfile**. Cette dernière avait développé avec le CEA un matériau révolutionnaire, le pyrocarbone, présentant une élasticité proche de celle de l'os, relevait le journal *Les Échos*.

Le projet **Fassil** a également pour objectif de rendre de nouveaux matériaux utilisables en impression 3D par les acteurs de la santé tout en restant économiquement compétitifs. Il s'agit dans ce cas des élastomères silicones. Le projet regroupe trois laboratoires académiques et cinq industriels couvrant la chaîne de fabrication entière. Porté par plusieurs pôles de compétitivité, il a débuté en janvier 2017 pour une durée de 42 mois, rapporte *Pharmaceutiques*.

Le marché des matériaux d'impression à vocation médicale passera de 50 millions de dollars en 2016 à 345 millions en 2021, estime l'étude du Pipame de 2017.

Investir à l'international : priorité aux États-Unis

Le domaine de la santé est marqué par de fortes disparités internationales en matière de politique sanitaire, de normes et d'ouverture du corps médical aux nouvelles technologies. Les acteurs français de l'impression 3D qui opèrent dans le secteur médical l'ont bien compris. En témoigne leur forte implication internationale, qui va des stratégies de croissance externe à la dépose de brevets dans des pays en avance sur l'adoption des processus. **Les États-Unis sont une cible privilégiée pour la fabrication additive médicale.** Cette région du monde représente 40 % des parts du marché global de l'impression 3D, rappelait Vincent Ferreiro, PDG d'AddUp en 2018 dans *L'Usine Nouvelle*. Le marché de l'impression 3D médicale aux États-Unis s'élevait à plus de 170 millions de dollars en 2016, évalue Global Market Insights.

LES SECTEURS MOTEURS, TREMPLINS DU DÉVELOPPEMENT DU MARCHÉ

Biomodex y est actif, avec des employés partagés entre Paris et Boston. “En 2017, nous imprimerons 1000 organes synthétiques dans le cadre de programmes pilotes, principalement aux États-Unis”, déclarait le dirigeant de cette entreprise interviewé par le site 3DNatives en avril 2017. C’est également le cas de **Poietis**, dont la stratégie internationale se traduit par le dépôt d’une série de brevets en Europe, aux États-Unis et au Japon, relève *Industrie & Technologies*.

AnatomikModeling s’implique également à l’étranger. La société, qui commercialise ses implants en Amérique du Sud et en Asie, compte elle aussi se développer sur le marché américain. Elle forme chaque année une vingtaine de chirurgiens du monde entier à la pose de ces implants. L’objectif est de constituer un réseau international de chirurgiens référents afin de rassurer les patients, explique le dirigeant de l’entreprise interrogé par le site 3DNatives.

NOUVELLES CIBLES ET NOUVEAUX MARCHÉS

Viser les PME pour créer une demande

Accompagner les entreprises pour amorcer le marché

Si l'impression 3D s'impose comme un axe de modernisation technologique stratégique pour les PME (petites et moyennes entreprises) et les ETI (entreprises de taille intermédiaire) industrielles françaises, l'inverse est tout aussi vrai. La **démocratisation de la fabrication additive dans les usages et procédés des PME et des ETI industrielles** est une des clés de l'essor de la filière et du marché de l'impression 3D en France. Toutefois, "les PME mettent un peu de temps à s'approprier cette technologie complexe car il leur faut tout repenser: logiciel, formation, usinage, contrôle qualité. C'est une révolution intellectuelle: on ne pense plus en fonction d'une pièce mais de son usage", remarquait Émilie Garcia, responsable sectorielle industrie à la direction de l'innovation de Bpifrance dans un article du journal *Les Échos* en avril 2018. Bien que conscients du potentiel de cette technologie, de **nombreux dirigeants craignent encore de franchir le pas**. Le manque de repères et de connaissances empêche certains d'entre eux de se lancer dans l'aventure. C'est pourquoi il s'avère indispensable d'évangéliser les petites et moyennes entreprises, et surtout de les accompagner. Du fabricant au prestataire de services, **l'accompagnement doit être le maître-mot** des stratégies commerciales.

Pour Jean Sreng, de l'Alliance Industrie du Futur, "on est à un point d'inflexion, on arrive à la production rentable, le risque d'investissement diminue et les marchés s'ouvrent". Nicolas Parascandalo, chargé de projet au Symop, organisation professionnelle des fabricants de machines-outils, explique dans *Les Échos* que "tout le monde est intéressé par cette technologie [l'impression 3D]

mais il y a **un énorme travail d'amorçage** du marché en vue de le développer dans les PME". Pour une PME, investir dans l'impression 3D exige des moyens importants. La rentabilité et le retour sur investissement doivent être assurés pour enclencher la démarche. D'autant plus que le besoin d'accompagnement dépasse la seule sphère de l'aide financière.

Rappeler les aides disponibles sur le suramortissement des machines ainsi que l'amortissement accéléré (non limité aux robots); accompagner leurs clients dans leur démarche d'industrialisation avec une méthodologie de mise sous contrôle et de qualité; aider à l'appropriation de la technologie dans l'entreprise par des formations sur-mesure... Les moyens d'action des fournisseurs sont multiples. Mais tous doivent converger vers **un objectif commun de rentabilité**. Pour Gaëtan Lefevre, rédacteur en chef d'*A3DM Magazine*, "des compétences multiples sont nécessaires à une bonne maîtrise des technologies qui impactent différents services de l'entreprise. S'il est compliqué pour une PME de les mobiliser, il est aujourd'hui plus facile de solliciter les sachants". Certains fabricants fournissent ainsi des MOOC, des logiciels, un service après-vente, etc.

Accompagner et sensibiliser les PME, c'est aussi leur **proposer une offre spécifique et adaptée**. Selon Olivier Dario, délégué général du Symop, les constructeurs français de systèmes de fabrication additive veulent développer l'offre en direction des PME. L'objectif est de "contribuer à créer une demande" en mettant en valeur les multiples usages disponibles.

S'appuyer sur des actions collectives nationales et régionales

Le programme **3D Start PME** est le dispositif phare de la feuille de route de l'État, établie avec l'Alliance industrie du futur et des acteurs industriels et universitaires en faveur de l'essor de la fabrication additive. Lancé fin mars 2018, il permet aux entreprises de moins de 2000 salariés qui feront une demande auprès du Symop et du Cetim de disposer d'un audit pour évaluer l'intérêt de ces technologies. Un diagnostic, une aide à la décision et un accompagnement à la mise en œuvre par des experts, ainsi qu'un accès à des plateformes de tests de faisabilité composent le panel d'outils mis en œuvre.

À la différence du plan Robot Start PME dont il s'inspire, 3D Start PME **se focalise davantage sur l'amont du projet** et moins sur l'aide financière à l'équipement. Pour autant, une partie des investissements pourra être financée dans le cadre du programme des investissements d'avenir. L'objectif visé est d'**aider les PME à s'approprier la technologie** en misant sur un accompagnement par des experts. Au-delà de l'achat du système de production, le dispositif couvre aussi le recours à des sous-traitants spécialistes, comme le rappelle Jean Sreng, de l'Alliance Industrie du Futur. La première phase expérimentale a concerné 37 entreprises pour un diagnostic et 12 pour un accompagnement à long terme. La seconde option permet d'analyser en profondeur les coûts, de réaliser des pièces démonstrateurs, voire de former les personnels. "Un enjeu crucial" comme le rappelait Laurence Albert dans son article pour *Les Échos* d'avril 2018.

Le dispositif rejoint l'opération MEC 4.0 lancée deux ans plus tôt par l'Union des industries et métiers de la métallurgie (UIMM), en collaboration avec le Cirtes, centre de développement européen pionnier sur le domaine de la fabrication additive depuis 1991. **Dédié aux PME-PMI de la métallurgie et de la mécanique**, ce programme propose lui aussi un accompagnement pour favoriser l'adoption de la fabrication additive. L'ambition du gouvernement français est de faire grimper le

pays de la 7^e à la 5^e place en ce qui concerne les machines industrielles installées, soit de 3 à 9 % du parc mondial. Pour Claude Barlier du Cirtes, "cela va permettre de réellement informer sur le domaine et surtout **qualifier les process à mettre en place**". Plus de 300 entreprises ont déjà bénéficié de cette démarche.

En complément des actions collectives nationales, les territoires et les régions multiplient eux aussi les initiatives. En mai 2018, *L'Usine Nouvelle* a recensé les plus importantes :

- En Île-de-France, 40 millions d'euros seront investis sur cinq ans avec comme réalisation phare l'Additive Factory Hub (AFH) inaugurée sur le plateau de Paris-Saclay le 5 décembre 2017. Cette plateforme créée dans un bâtiment du CEA est née pour **permettre de structurer la filière française autour d'une quinzaine d'acteurs** regroupant des centres de recherche et des industriels utilisateurs dont AddUp, Areva NP, Dassault Systèmes, Safran, Arts et Métiers ParisTech, le CEA, le CETIM, le CNRS et l'Université Paris-Saclay.
- La région Auvergne-Rhône-Alpes a annoncé fin 2017 le lancement d'un **programme de 9,3 millions d'euros** pour soutenir la fabrication additive. Cette dernière représente un atout pour de nombreuses filières présentes en Auvergne-Rhône-Alpes, notamment celles de la plasturgie, du médical et de l'aéronautique.
- En Occitanie, l'Université de Montpellier et l'UIMM Occitanie (Union des industries et métiers de la métallurgie) ont signé, le 4 avril 2018, un partenariat de cinq ans pour **accroître et stimuler les échanges** entre les PME-PMI, l'enseignement supérieur et la recherche au profit de l'industrie.
- Région pionnière, le Grand Est affiche de nombreuses actions. Parmi elles, la volonté de **regrouper toutes les plateformes**, laboratoires et centres technologiques, ainsi que les entreprises, fabricants de machines, éditeurs de

logiciels, sociétés de services et utilisateurs pour créer et structurer la filière.

- La région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) soutient, quant à elle, la plateforme Inovsys. Créée en 2014, cette structure tournée vers la fabrication additive compte 13 actionnaires dont Airbus Helicopters, EDF, la Caisse des dépôts, Onet et l'UIMM.
- La Nouvelle-Aquitaine devrait mettre en place un nouveau programme dédié en relation avec la plateforme Futurprod.
- La Nouvelle-Aquitaine et l'Occitanie soutiennent conjointement un projet réunissant 6 plateformes technologiques de l'impression 3D situées dans l'**Aerospace Valley**. Nommé **AddimAlliance**, il a pour but de répondre aux attentes des nombreux constructeurs aéronautiques se trouvant dans ces deux régions.

À travers ces différents programmes et dispositifs, les régions cherchent à **créer des écosystèmes**

complets, mêlant les savoir-faire historiques des entreprises et les expertises nouvelles des structures de recherche et développement. Hélène Determe, responsable des partenariats de l'institut Carnot Cetim, estime qu'il y a une véritable **"force française en R&D sur la fabrication additive"**. La cartographie des acteurs clés de la recherche sur la fabrication additive réalisée par son institut et l'Alliance industrie du futur fait état de 60 centres de recherche sur l'ensemble du territoire. L'Île-de-France, l'Auvergne-Rhône-Alpes et le Grand Est se distinguent avec respectivement 14, 8 et 13 centres de R&D, comme le signale *L'Usine Nouvelle*. Hélène Determe complète ses propos en constatant "aussi que les centres se spécialisent dans certains process de fabrication additive qui correspondent à l'écosystème industriel de la région. Ce qui est positif car cela signifie que la recherche correspond aux besoins réels des entreprises."

Les spécificités R&D par régions

Le nord de la France est très présent dans le domaine de la problématique fabrication additive au travers d'Instituts Carnot (ESP, M.I.N.E.S, ARTS, CETIM). Les centres des régions Normandie et Hauts-de-France maîtrisent un grand nombre de sujets et sont experts sur certaines briques de la chaîne de valeur.

Les principaux centres de compétence en Île-de-France sont situés en région parisienne. Hormis pour la HSE, l'Île-de-France dispose de centres experts sur toutes les briques, aussi bien au niveau national qu'international.

En région Grand Est, les acteurs sont déjà structurés notamment autour des deux Instituts Carnot MICA et ICEEL. Cette région regroupe des centres experts majoritairement sur les maillons allant du design aux contrôles et à la caractérisation.

L'ouest de la France (Bretagne et Pays-de-la-Loire) est représenté par l'agglomération nantaise (Centrale Nantes, IRT Jules Vernes) mais à ce stade, il n'y a pas d'acteurs référencés en Bretagne sur la problématique fabrication additive.

Les régions Centre-Val-de-Loire et Bourgogne-Franche-Comté ne recensent que deux acteurs aujourd'hui, qui sont néanmoins bien implantés dans l'écosystème de la fabrication additive.

La région Nouvelle-Aquitaine est très active dans le domaine de la fabrication additive. Elle est en train de constituer son propre réseau régional d'acteurs.

La région Auvergne-Rhône-Alpes possède des laboratoires dans ses trois villes principales (Lyon, Saint-Étienne, Grenoble) ainsi que l'IPC à Oyonnax.

Les principales villes de la région PACA (Toulouse, Montpellier-Nîmes, Aix-Marseille, Nice) possèdent un laboratoire en fabrication additive, avec une plus forte concentration dans la région toulousaine.

Source : Cartographie des acteurs clés de la R&D en fabrication additive.

S'équiper d'un centre de ressources et de sous-traitance

En juin 2018, dans un article pour *A3DM Magazine*, Giorgio Magistrelli pointait l'émergence d'une nouvelle tendance chez les constructeurs de systèmes de fabrication additive: la création de **leurs propres centres de sous-traitance et/ou de ressources**, ouverts aux utilisateurs et aux entreprises externes. Il s'appuyait pour cela sur deux exemples significatifs.

Le premier concerne le groupe américain **General Electric**. En décembre 2017, le centre international d'expérience client de sa filiale GE Additive a été inauguré à Munich. Ce centre de 2 700 m² permet aux clients, actuels et potentiels, **d'expérimenter tous les aspects du processus de fabrication additive**, de la conception au prototypage, en passant par les différentes opérations. Selon un communiqué de presse publié par l'entreprise, "le concept des centres d'expérience client fait partie intégrante de la stratégie GE Additive pour exposer et diffuser la technologie additive aux fabricants du monde entier". Celui-ci aura nécessité 15 millions de dollars d'investissement. Les utilisateurs ont la possibilité de bénéficier d'une formation pratique grâce au centre d'enseignement *Additive Academy - GE Additive* inclus dans l'ensemble. De plus, le centre permet une production de prototypes et de pièces, en volume limité.

La stratégie est identique pour **EOS** à Düsseldorf, en Allemagne. Le fabricant a ouvert un centre d'innovation en mars 2018. Sur une surface de 1 000 m², les ingénieurs et les consultants de l'entreprise accompagnent les clients pour les **aider à atteindre des résultats probants et rapides**. Le centre est là encore doté d'une structure de formation, portant sur la conception et l'optimisation des pièces à fabriquer, le processus de fabrication additive lui-même et la planification de la production.

Un an plus tôt, en juin 2017, **AddUp**, la coentreprise de Michelin et Fives, avait lancé en collaboration avec **Sogclair** la plateforme PrintSky basée à Toulouse. Dédiée à la fabrication additive

métallique pour l'industrie aéronautique, spatiale et de la défense, cette alliance a pris la forme d'une société de conseil détenue à 51 % par Sogclair et à 49 % par AddUp. Son objectif est de **donner accès à des services** couvrant la conception, la réalisation de prototypes et de préséries, la certification et la validation. Sorte d'incubateur, elle promeut un modèle "preuve de concept", destiné "à **démontrer la faisabilité technique, économique et industrielle** de ces solutions pour le compte des clients de la joint-venture et de valider tous les paramètres pour la production en série, quels que soient le lieu et le partenaire choisi par le client pour imprimer les pièces", comme le détaille le communiqué de presse paru à son lancement.

Face à l'obsolescence rapide des machines et au coût d'investissement souvent élevé de l'intégration de la fabrication additive, les petites et moyennes entreprises ont souvent **recours à la sous-traitance en première intention**. Celle-ci peut constituer une phase d'essai avant l'internationalisation du procédé.

Afin de soutenir mais aussi d'accompagner les entreprises potentiellement intéressées, les spécialistes de la sous-traitance comme **Poly-Shape** ou **Prismadd** ont développé leurs équipements, leur organisation et leur personnel pour répondre à ces applications. Georges Taillandier, président de l'Association Française de Prototypage Rapide (AFPR), expliquait ainsi en 2016 dans un article d'*A3DM Magazine*, que "l'intérêt est d'utiliser les sociétés de services qui sont connues et reconnues. Certaines ont des qualifications dans des domaines spécifiques: automobile, aéronautique ou autres. Je conseillerais l'utilisation de ces sociétés avant d'intégrer la fabrication soi-même." Selon Gaëtan Lefevre, le rédacteur en chef de cette revue, l'activité de sous-traitance, qu'elle soit réalisée par un spécialiste ou proposée par un constructeur, doit absolument être dotée de deux atouts indispensables: **la valeur ajoutée et la réactivité**.

Prendre exemple sur des démarches réussies

Savoir-faire traditionnel et impression 3D

En février 2018, *L'Usine Nouvelle* a mis en valeur le fabricant drômois de pièces métalliques pour l'industrie du luxe **EAC** (Europe Accessoires Concept). Sous-traitant de Chanel, LVMH et de grandes marques de lingerie, la PME utilise l'impression 3D depuis 2015 pour **la réalisation de 95 % de ses prototypes** et la création de l'empreinte des moules pour la production des pièces finales. La 3D lui permet de gagner en précision et en temps, avec une réduction de 50 % des délais de conception. C'est un véritable atout, explique son PDG, Patrick Chouvet : "Nos clients demandent des prototypes le vendredi pour le lundi. Leurs temps de cycle sont de plus en plus courts. Entre le premier coup de crayon et la commercialisation d'un produit, il s'écoulait un an auparavant. Aujourd'hui, c'est six mois." EAC s'impose comme un **exemple réussi d'alliance entre anciens et nouveaux savoir-faire**. Si les prototypes ne sont plus réalisés à la main, l'expertise reste intacte et se voit même renforcée. L'usage de l'impression 3D permet à l'entreprise de remonter la chaîne de valeur en répondant à des demandes beaucoup plus complexes en ce qui concerne le design. EAC a dû revoir une partie de son organisation, recruter un maquettiste numérique et adapter son processus industriel.

Répondre aux besoins des clients

Au Salon aéronautique du Bourget 2017, la société luxembourgeoise **Saturne Technology** a été mise à l'honneur. Spécialisée dans la fabrication de pièces de moteurs pour l'aéronautique et de pièces pour le médical, la PME réalise **60 % de son activité via la fabrication additive**. Équipée depuis 2011 d'imprimantes 3D SLM, elle a su gagner en expertise pour produire des pièces finales. À l'avenir, elle envisage de se positionner sur la **fabrication de pièces de rechange**, un créneau porteur quand certains moteurs d'avions ne seront plus en production mais toujours en usage.

Faire naître des innovations de rupture

En juin 2018, le groupe de construction navale **Naval Group** et **Centrale Nantes** ont présenté un **prototype de pale d'hélice de grande dimension** réalisé par fabrication additive. Il est le résultat de deux ans de R&D et **ouvre de nouvelles possibilités** à l'industriel. L'enjeu est d'éviter le moulage, jugé trop rigide, pour créer de nouveaux profils de propulseurs en ce qui concerne les performances, l'autonomie, le rendement, l'allègement... La fabrication additive pourrait permettre aussi de fabriquer une hélice creuse à certains endroits, logeant par exemple des éléments connectés, ou de varier la composition des matériaux d'une extrémité à l'autre de la pale, comme l'explique Emmanuel Guimard dans *Les Échos*.

Viser le leadership

Spécialiste de l'orthopédie des extrémités, le fabricant franco-américain **Tornier-Wright** a lancé les premières prothèses d'épaule fabriquées en 3D en 2018. Grâce à cette technologie, les pièces peuvent être **uniques, personnalisées et spécifiques à l'anatomie du patient**. Cette innovation offre de grandes espérances à la société. Numéro deux mondial du marché de l'épaule, elle vise la **place de leader** : "Nous attendons beaucoup de ce produit très prometteur en termes de part de marché et qui offre une énorme innovation pour la chirurgie de l'épaule", précise Franck Garaud, le directeur du site isérois de l'entreprise.

Diversifier son activité

En 2018, le fabricant nantais d'outillages **Loiretech** a réuni ses deux usines de production sur un seul site. **Ses activités traditionnelles ont rejoint son pôle de fabrication additive**. Cette décision est le symbole d'une diversification réussie vers la production additive, en particulier pour réaliser des pièces automobiles. La fusion est l'occasion d'une remise à plat des processus de production

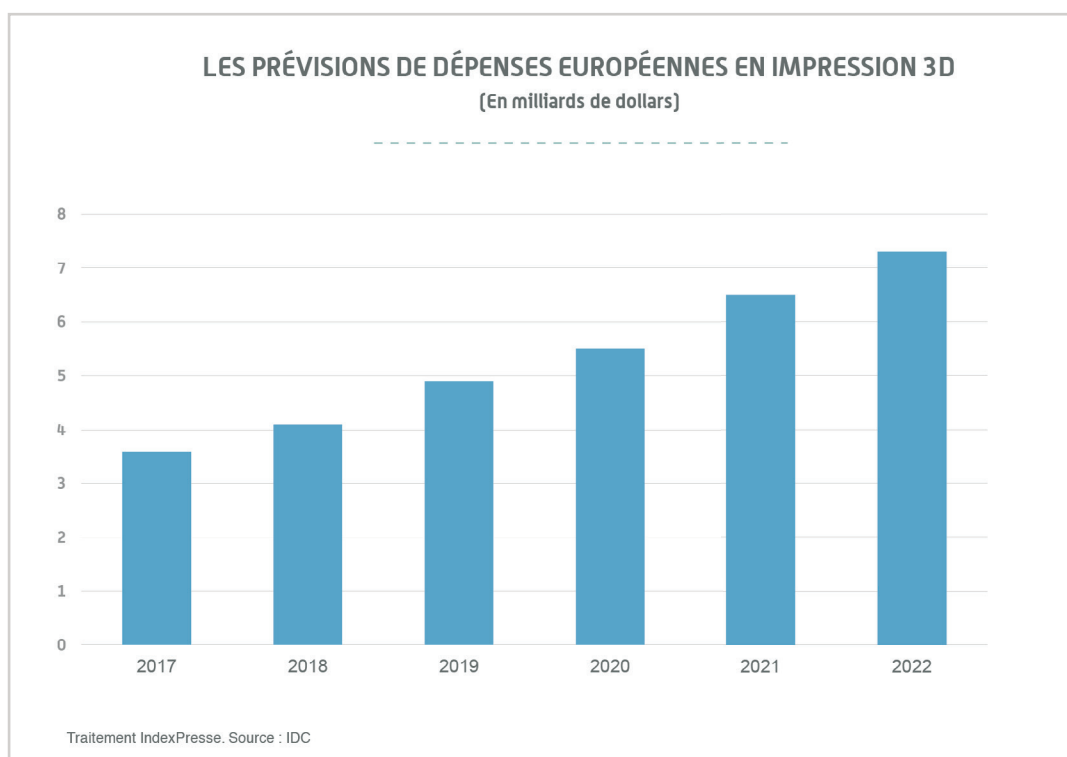
qui permet de mettre en place des innovations. L'entreprise souhaite l'intégration à moyen terme de technologies additives métalliques et composites, sur **des moules de grande dimension**.

Devenir innovant pour capter de nouveaux marchés

Spécialisée dans l'usinage de pièces mécaniques, la PME française **Mecachrome** est passée maître dans l'art du dépôt de brevets. Peu habituée à cette pratique auparavant, l'entreprise en fait désormais un outil pour capter de nouvelles parts de marché. Cette stratégie est la conséquence de son orientation vers les techniques de fabrication additive. Le caractère innovant des procédés mérite d'être protégé par des brevets. "Cependant, pour offensive qu'elle soit, cette stratégie permet non pas de se protéger de nos concurrents, mais de valoriser notre savoir-faire pour convaincre nos clients, capter des marchés et produire nos pièces", explique le responsable R&D Olivier Martin au journal *Les Échos*.

Attirer les investisseurs

En avril 2018, *Investir* a annoncé le rachat intégral du spécialiste du prototypage rapide **Valla** par l'éditeur et intégrateur de solutions logicielles **Visiativ**. Avec cette opération, Visiativ renforce sa position sur le marché de la fabrication additive. Créée au début des années 1960, Valla est spécialisée depuis toujours dans le modelage et le prototypage rapide. Au début des années 2000, l'entreprise s'oriente vers la stéréolithographie et devient pionnière dans le domaine de l'impression 3D. Elle affiche un chiffre d'affaires supérieur à 2,5 millions d'euros et emploie 25 salariés. Son rapprochement stratégique avec Visiativ a donné naissance à un acteur aux ambitions mondiales : **Rapid Manuf**. La société se divise en deux branches. Rapid Manuf Solutions apporte des **conseils, organise des formations et accompagne** les clients souhaitant déployer des processus industriels d'impression 3D. Rapid Manuf Parts s'attelle quant à elle à **concevoir des prototypes en petites et moyennes séries**.



Généraliser l'internalisation

Intégration ou sous-traitance ?

Le passage à la fabrication additive s'impose pour beaucoup d'entreprises comme une décision stratégique importante comportant une prise de risques certaine. Le dirigeant doit alors s'interroger sur les bénéfices et les impacts à attendre de l'adoption de cette technologie, que ce soit dans le domaine de l'organisation de la production, des coûts et de l'innovation. L'usage de l'impression 3D pour le prototypage offre la plupart du temps une porte d'entrée évidente pour les entreprises. Mais dès cette première étape se pose la question inévitable du choix entre recourir à un sous-traitant ou bien internaliser la fabrication additive dans le processus de production.

Moins risquée et moins coûteuse en investissement, la sous-traitance est la voie la plus souvent empruntée par les petites structures. Pourtant, les pertes de propriété intellectuelle et la faible augmentation du savoir-faire propre à l'entreprise doivent inciter les dirigeants à bien réfléchir sur

le **choix le plus adapté à leur structure**. Grâce à une production intégrée, la fabrication additive est source d'amélioration de la qualité, de protection intellectuelle maîtrisée et de gain de marge plus important. Pour mener à bien cette réflexion, plusieurs facteurs doivent être analysés avec précision, comme les coûts, les capacités opérationnelles, les exigences de qualité et les bénéfices estimés. Giorgio Magistrelli, expert en fabrication additive, gestionnaire d'entreprises et de projets pour *A3DM Magazine*, estime que le seul guide de la décision doit être le **seuil de rentabilité**.

Là encore l'accompagnement du client est essentiel. Comme le rappelait le Pipame dans son étude de 2017, les industriels ont **besoin de se faire accompagner** par les fabricants de machines et les usineurs lors des phases d'intégration en ce qui concerne les choix de matériaux, de procédés et des finitions, car ils ne disposent souvent pas des compétences en interne.

FACTEURS DE CHOIX ENTRE INTERNALISATION ET SOUS-TRAITANCE

INTERNALISATION	SOUS-TRAITANCE
Investissement initial élevé et prise de risque	Faible investissement dans l'infrastructure
Augmentation des coûts de production	Partage des risques
Intégration de la production et amélioration de la qualité	Capacité à changer de fournisseurs
Marge bénéficiaire plus grande	Aucun développement dans le matériel ou la fabrication
Développement du savoir-faire en interne	Transfert de savoir-faire et synergies entre partenaires
Propriété intellectuelle protégée	Protection de la propriété intellectuelle insuffisante
	Pas d'augmentation du savoir-faire en interne

Traitement IndexPresse. Source : A3DM Magazine

Automatiser, convaincre et proposer une offre globale

Parce qu'ils sont dotés de capacités d'investissements nettement plus importantes que les petites structures, les grands groupes ont pu depuis longtemps franchir le pas de l'intégration de la fabrication additive dans leur process de production. Aux premiers rangs d'entre eux, les secteurs de l'aéronautique et de l'outillage ont adopté cette technologie, tout comme les sociétés automobiles Audi, avec son entité Audi Toolmaking, ou encore Opel.

Le groupe français de pneumatiques Michelin fait partie des pionniers dans ce domaine. Depuis plus de quinze ans, il a engagé un programme très actif de fabrication additive. En avril 2016, la création de la société AddUp s'est inscrite dans cette démarche, notamment en proposant à ses clients des solutions industrielles globales en impression 3D métallique. En 2018, Michelin a produit près d'un million de pièces en utilisant la fabrication additive, signale un article du journal *Les Échos*. Jean-Luc Laval, le directeur marketing de la société AddUp, explique que "la phase d'industrialisation a réussi à **mettre sous contrôle tous les paramètres**. Michelin a montré que c'est faisable."

En maîtrisant en interne le processus de fabrication additive, les entreprises **gagnent en compétences et aussi en confidentialité** vis-à-vis de leurs concurrents. Gaëtan Lefevre, rédacteur en chef d'*A3DM Magazine* prend l'exemple du constructeur aéronautique français Safran. Dès 2016, l'entreprise a choisi de s'équiper de plusieurs machines pour enclencher la production en série. Le fournisseur EOS France explique qu'il a senti le "besoin de maîtriser la technologie pour plus de confidentialité".

Dans un article de *L'Usine Nouvelle* de mars 2019, Gautier Virol présente le lancement par Prodways **de son premier atelier 3D entièrement robotisé**. Celui-ci produit des gouttières dentaires transparentes, qui sont des alternatives aux bagues dentaires. Le processus nécessite toujours une intervention humaine pour contrôler la qualité des produits et remplir les machines à impression 3D. Toutefois, la solution reste novatrice, ce qui pousse le PDG de Prodways Raphael Gorgé à la tester sur le marché au plus vite, pour qu'elle révèle son potentiel commercial.

Si elle veut s'imposer dans les process internes des usines, l'impression 3D doit avant tout

**11,2 milliards
de dollars**

Le montant des revenus
générés par l'automatisation
de l'impression 3D
à la fin de 2020.

Source: SmarTech
Analysis.

devenir un processus de fabrication de masse. Une étude publiée par SmarTech Analysis en 2018 identifie **l'automatisation comme la clé du développement** du marché à l'horizon 2027. De la machine à l'approvisionnement en matériaux, en passant par l'élimination des supports d'impression éventuels, le post-traitement mais aussi tous les systèmes robotiques et électroniques, l'automatisation concerne l'ensemble de la chaîne. Comme le signale le site 3DNatives, certains opérateurs ont déjà entamé des démarches en ce sens, à l'instar de Fraunhofer, Voodoo Manufacturing ou Formlabs.

Sans surprise, les leaders de l'automatisation restent les grands noms du secteur, à savoir EOS, Stratasys, Concept Laser, HP, Carbon, 3D Systems, Renishaw ou encore Desktop Metal. Selon 3DNatives, "SmarTech Publishing prévoit qu'au cours des dix prochaines années, la majorité des imprimantes 3D industrielles seront prêtes à l'emploi et intégreront des capacités d'automatisation innées ou complémentaires, offrant ainsi **une opportunité de revenus très importante** pour toutes les parties prenantes".

En visant l'automatisation, le marché pourra non seulement gagner en maturité, mais aussi élargir la cible de ses partisans. Car désormais, l'enjeu pour les acteurs du marché de l'impression 3D se porte également sur la valorisation de l'internalisation auprès des entreprises les plus diverses, et pas seulement les plus grandes. Éric Montero, directeur des ventes France de l'américain Stratasys, explique dans le journal *Les Échos* que les constructeurs ont noté **l'intérêt "de plus en plus de petites entreprises"**.

Il s'agit maintenant de "convaincre les industriels qu'ils peuvent internaliser la fabrication additive" au lieu de faire appel à la sous-traitance. Interviewé par *L'Usine Nouvelle* en mars 2017, le secrétaire d'État à l'industrie Christophe Sirugue notait que "la France, malgré des entreprises innovantes, a un taux d'équipement faible par rapport à d'autres pays. Elle est septième mondiale en termes de parc machines, et quatrième en Europe." Développer le taux d'équipement s'impose comme un passage obligé. L'objectif visé est de positionner la France parmi le top 5 mondial de la fabrication additive.

Plusieurs exemples de PME prouvent d'ailleurs que l'intégration est envisageable pour des structures plus petites, à condition de cerner avec précision leurs besoins. C'est le cas notamment du sous-traitant industriel drômois **IM-Méca**. Dès 2015, la dirigeante Nathalie Belmonte a fait le choix de s'équiper en imprimantes 3D. Elle souhaitait alors "donner un nouvel élan à son entreprise et a eu le déclic pour la fabrication additive", comme l'explique un article publié cette année-là par le portail Primante 3D. En optant pour **des machines simples d'utilisation**, l'entreprise n'a dû gérer que la formation des salariés au fonctionnement des imprimantes 3D. L'investissement engagé s'est établi aux alentours de 40 000 euros pour l'ensemble.

Il est évident que les fournisseurs des systèmes de fabrication additive jouent un rôle essentiel en faveur de l'internalisation de la technologie. Les constructeurs évoluent afin de **globaliser leur offre et étendre leurs compétences** vers le consulting ou la formation. La dimension pédagogique s'installe parallèlement comme un élément clé de la relation client.

Au printemps 2018, le constructeur Prodways a profité du salon Global Industrie de Paris pour présenter la totalité de son offre de solutions pour la fabrication additive. Celle-ci **couvre la chaîne complète** de valeur, des logiciels et imprimantes 3D et matières, jusqu'aux pièces à la demande et leurs applications médicales ou aérospatiales.

De son côté, AddUp a annoncé en juin 2018 **le rachat de la société strasbourgeoise BeAM**, spécialisée dans les machines industrielles de fabrication additive basée sur la technologie de projection de poudre par laser. Grâce à cette technologie complémentaire, AddUp veut proposer une offre technologique globale, allant de l'aide à la conception jusqu'à la production de prototypes pour valider la production, en passant naturellement par la fourniture d'équipements aux entreprises.

Les frontières deviennent de plus en plus floues entre les métiers et les prestations des différents acteurs : fournisseurs, constructeurs, intégrateurs, etc. En conséquence, la concurrence s'intensifie.

Repenser la conception : le *Design for Additive Manufacturing* (DfAM)

Pour rester compétitif sur le marché de l'impression 3D, il est nécessaire d'apprendre à "penser additif". La fabrication par ajout de matière permet des possibilités insoupçonnées, surtout pour les designers et les ingénieurs habitués à réfléchir en termes d'usinage (découper, déformer de la matière). "Si les industriels s'emparent de la technologie, beaucoup de pièces sont encore imprimées sans changement de design alors qu'elles ont été conçues pour une fabrication soustractive", remarquait *L'Usine Nouvelle* en 2017. Les règles et les bonnes pratiques visant à optimiser la conception pour la fabrication additive émergent sous le sigle DfAM (*Design for Additive Manufacturing*). Cette approche s'appuie sur plusieurs techniques : l'optimisation topologique (n'utiliser de la matière que là où il y en a besoin), le design multimatériaux, la prise en compte de la customisation de la pièce dès la conception... Ces techniques ouvrent la porte à de nouvelles pratiques de design, dont le biomimétisme, qui consiste à s'inspirer des systèmes hautement efficaces qui existent dans la nature : feuille de lotus, requin, gecko... De nombreux produits ont été conçus avec cette approche. L'éditeur américain Autodesk a déjà intégré ce concept dans les algorithmes de son logiciel de "design génératif".

Le DfAM, dont les règles ont été formalisées par plusieurs études, notamment une proposition de l'ISO en 2015, dépasse pourtant la simple reconception des produits. Il appelle à une "disruption à l'échelle de l'entreprise entière", témoignait un responsable de General Electric en 2018. "Un produit comportant 300 composants et mobilisant cinquante ingénieurs pourrait être conçu en une seule pièce avec une équipe de six à huit personnes", s'enthousiasmait-il. Les entreprises doivent donc être sensibilisées aux économies potentielles offertes par l'approche DfAM. Les grands groupes tentent d'ailleurs de s'y convertir, comme c'est le cas chez Caterpillar qui organise un concours de DfAM auprès de ses 10 000 ingénieurs à travers le monde. "Si je refaisais une thèse aujourd'hui, ce serait sur le DfAM et le biomimétisme", affirmait en 2018 Terry Wohlers, spécialiste mondial de l'impression 3D industrielle.

Développer la réparation par impression 3D

Une opportunité pour les fab labs et les prestataires

Dans une étude publiée en France en juin 2017, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) identifiait l'impression 3D et les espaces de fabrication numérique (fab labs) comme deux facteurs importants de **dynamisation de la filière de la réparation**. Au cœur de l'économie circulaire, la réparation permet en effet d'allonger la durée de vie des produits, et par conséquent de réduire leur impact sur l'environnement.

Les capacités de production personnalisées et en petites séries propres à l'impression 3D font émerger assez naturellement une adéquation avec les besoins de la réparation. Pour autant, dans le secteur grand public, **la pratique reste encore très marginale**, à l'exception de quelques initiatives. *L'Usine Nouvelle* cite l'exemple du fabricant de petit électroménager Seb. L'entreprise a recours à l'impression 3D pour créer des pièces de rechange à la demande. On peut également noter le cas du distributeur d'électroménager et de produits multimédia Boulanger. En 2016, l'enseigne a lancé happy3D, une plateforme permettant de télécharger et d'imprimer en 3D des pièces détachées pour l'électrodomestique. Lancé en partenariat avec Cults, plateforme française de fichiers 3D, le catalogue recense tous les modèles de pièces détachées en open source. La démarche lui a d'ailleurs valu le prix 2017 du meilleur projet RSE (Responsabilité Sociale de l'Entreprise) décerné par l'APF Entreprises.

Toutefois, selon l'Ademe, l'impression 3D en ligne, en magasin ou en espaces de fabrication numérique laisse entrevoir un **fort potentiel de développement** qui devrait venir compléter les filières classiques de pièces détachées dans un proche avenir, et ainsi répondre aux besoins des

consommateurs du grand public qui recherchent des solutions de réparation et qui sont de plus en plus désireux de changer leurs habitudes de consommation.

Par leur statut d'intermédiaire entre le grand public et la fabrication additive, les fab labs (ou laboratoires de fabrication) viennent eux aussi apporter leurs atouts dans l'émergence de cette nouvelle filière. Mieux encore, l'Ademe estime que le créneau de la réparation par impression 3D pourrait permettre aux plus efficaces d'entre eux de trouver **un modèle économique performant**. Les fab labs cherchent en effet pour la plupart à diversifier leurs sources de revenus afin de parvenir à être moins dépendants des subventions qui financent leur fonctionnement.

Dans un article pour *Techniques & Culture* de 2016, Marie Goyon, anthropologue et enseignante-chercheuse à l'École Centrale de Lyon, a ajouté une dimension sociale liée à l'émergence des fab labs de réparation, et autres *makers* ou *repair cafés*. Elle parle notamment "d'obsolescence déprogrammée" pour qualifier le phénomène croissant de lutte contre l'obsolescence programmée des produits de consommation courante, sous l'effet de la prise de conscience environnementale et éthique générale. Selon elle, "de ces lieux aux technologies hétéroclites alliant low et high-tech naît un plaisir de la bidouille, des mains 'dans la graisse', un plaisir subversif à s'autoriser la manipulation d'objets verrouillés et de déchets. Outre une volonté clairement affichée de développement d'une économie ressourcielle et d'un partage de compétences, on observe également un projet politique plus diffus, qui repose sur le 'passage à l'acte'." Cette analyse rejoint celle de l'Ademe, pour qui les espaces de fabrication

numérique attirent de plus en plus une cible souhaitant relever des défis et dont **le regroupement en communauté stimule l'innovation et la réparation.**

Au-delà des lieux d'innovation, l'Ademe identifie deux autres types d'acteurs pour lesquels la réparation par impression 3D pourrait être porteuse de nouvelles opportunités. Il s'agit d'abord des **prestataires de services d'impression 3D**. Sculpteo et 3D Prod, par exemple, ont déjà développé une activité réparation, comme le signale *L'Usine Nouvelle*. Les principaux biens de consommation courante réparés grâce à des pièces fabriquées par les acteurs des services en impression 3D sont les biens électroménagers, l'habitat et l'outillage. D'après le rapport de l'Ademe, Sculpteo a par exemple pu réparer les pièces suivantes : pièces de rechange anciennes pour voiture, pièce d'un top-case de moto (dessiné par un particulier puis produite régulièrement par des magasins de motos), bouton-poussoir de toasters, skate, boutons d'uniformes militaires disparus, pièces d'assemblage pour le mobilier. À l'opposé de certains de ses concurrents, Sculpteo

se positionne ouvertement sur cette activité de fabrication de pièces détachées. L'entreprise travaille en ce sens avec les marques de différents secteurs pour les inciter à fournir les modèles de pièces détachées à imprimer.

Enfin, **les réparateurs traditionnels** pourraient eux aussi bénéficier de cette technologie et trouver grâce à elle un **nouveau relais de croissance**. Pour l'instant, la pratique reste encore très rare. Les deux tiers des répondants à l'enquête de l'Ademe indiquaient n'avoir observé, au mieux, que quelques cas de réparation impliquant l'impression 3D au cours de l'année 2015. Aucun d'entre eux n'avait observé plus de 25 pièces détachées fabriquées par cette technique au cours de cette période. Pourtant, il semble également judicieux pour ces opérateurs de ne pas risquer de rater le coche de l'impression 3D. En effet, les enseignes spécialisées, comme Ideokub, se rapprochent de cette activité traditionnelle de réparation en misant sur **l'ouverture de magasins physiques**, créant ainsi une concurrence directe et nouvelle.

Fab labs et autres tiers lieux

Dans son étude de 2017, le Pipame définissait comme "tiers lieux" les offres de services d'impression 3D à destination des particuliers et/ou des petits professionnels. Commerces spécialisés en consommables et ustensiles, services innovants sous forme d'abonnement (box), services d'impression 3D en magasins, fab labs, etc. sont autant d'intermédiaires permettant au grand public de se familiariser avec cette nouvelle technologie. Pour les fournisseurs, ils constituent aussi une cible clientèle à ne pas négliger, même si les retombées de cette frange du marché sont encore limitées.

Selon l'étude, les activités de prototypage et d'expérimentation sont le plus souvent menées avec du matériel de bureau (*desktop printing*) grand public ou semi-professionnel, de type Zortrax, Formlabs, Makerbot ou Ultimaker. Dans ces lieux, les profils des usagers sont multiples : à la fois des créateurs, des inventeurs, des entrepreneurs ou des "intrapreneurs".

Au nombre de 1 200 en 2019, les fab labs devraient connaître une croissance exponentielle selon Neil Gershenfeld, directeur du centre de bits et atomes au M.I.T et inventeur du premier fab lab. Le nombre de ces micro-ateliers devrait atteindre la barre du million dans le monde d'ici dix ans. Les avancées technologiques conduiront à l'existence, toujours selon le chercheur, d'un trilliard de fab labs d'ici quarante ans.

Des atouts avérés pour le secteur industriel

D'après l'étude de l'Ademe publiée en juin 2017, l'utilisation de l'impression 3D pour la réparation ou la fabrication de pièces détachées semble largement réservée aux **secteurs industriels de haute technologie** tels que l'aéronautique et le nucléaire. "Dans ces secteurs, la nécessité d'être en mesure de fabriquer dans des délais très courts des pièces uniques ou initialement fabriquées en très petite série rend l'impression 3D particulièrement pertinente, malgré le coût élevé des technologies d'impression 3D qui sont alors utilisées", expliquent les auteurs de l'étude. Cet avis est d'ailleurs partagé par le constructeur de systèmes de fabrication additive Prodways, qui se positionne uniquement sur le segment industriel. L'exemple suivant en fournit une preuve supplémentaire. Interviewé par *L'Usine Nouvelle*, Christophe Eschenbrenner, Manager Supply Chain Numérique du groupe **Alstom**, rappelle les débuts de l'adoption de l'impression 3D dans la production. "Le but était de répondre à des **problématiques de supply chain**, notamment d'approvisionnement pour les pièces détachées. Les trains et les métros ont des durées de vie de trente ans et les pièces de rechange sont très nombreuses, nous en avons environ 600 000 enregistrées dans nos bases de données. L'impression 3D nous a paru être une solution pour accroître la disponibilité des pièces." Felix Bauer, responsable stratégie chez le constructeur de systèmes d'impression 3D **EOS**, exposait lui aussi, en 2016 pour

la revue *Air & Cosmos*, les atouts de cette technologie pour le segment des **pièces de rechange**, dans l'aéronautique cette fois-ci : "Toutes les compagnies aériennes, les constructeurs ou leurs partenaires logistiques gèrent d'énormes réserves de pièces de rechange afin d'assurer la disponibilité des appareils. Pour cette raison, il semble prometteur de fabriquer rapidement à la demande plutôt que de conserver les millions de références en stock." Il poursuivait son exposé en imaginant des parcs de machines de fabrication additive reliées aux bases de données des composants aéronautiques afin de disposer à la demande des modèles concernés.

D'une manière plus générale, le **marché de la MRO** (*Maintenance Repair and Overhaul* ou Maintenance, réparation et révision) offre des possibilités importantes et stratégiques pour la fabrication additive, quel que soit le secteur d'application concerné. Elle permet ainsi aux chaînes logistiques de gagner à la fois en souplesse, en rapidité et en efficacité. Pour Christophe Eschenbrenner du groupe Alstom, témoin pour *Logistiques Magazine* en 2017, "l'impression 3D réduit les problèmes d'obsolescence et de surstockage des pièces, tout en réduisant le lead time de livraison. La technologie ouvre la voie de la rénovation étendue et à l'**optimisation du cycle de vie d'une pièce**."

20 %

Part du secteur industriel
au sein du chiffre
d'affaires mondial de
l'impression 3D pour
l'année 2017

Cibler des domaines d'application en développement

Optique-lunetterie : personnaliser les montures, innover dans la fabrication des verres

De nombreux marchés émergent pour l'impression 3D en dehors des secteurs d'application historiques que sont l'aéronautique, le transport et le médical. L'optique en fait partie, notamment en France grâce à l'implication de l'industriel **Essilor**. Ce dernier est dépositaire de plusieurs brevets dans le domaine de l'impression 3D, d'après les conclusions de l'étude du Pipame en 2017. L'étude considère néanmoins ces activités comme des "signaux faibles", dans la mesure où ces brevets s'appliquent à des produits de la fabrication additive plutôt qu'aux procédés eux-mêmes.

La filière doit anticiper les transformations provoquées par l'impression 3D, alertait Jérôme Schertz, directeur général de la centrale d'achat Luz interrogé par *L'Essentiel de l'Optique* en 2015. Plusieurs pistes peuvent être évoquées sur l'émergence de l'impression 3D dans le secteur de l'optique. Il convient de distinguer les applications concernant les montures de celles, plus rares et expérimentales, qui touchent aux verres. Dans ce dernier domaine, l'impression 3D n'était pas encore en mesure de proposer le même état de finition que les modèles existant sur le marché en 2016, déplorait le PDG d'Atol interrogé par *Le Monde Économie*. L'entreprise néerlandaise **Luxexcel**, fondée en 2014 par d'anciens salariés de Philips, a pourtant l'intention de relever ce défi. Elle propose des verres sur-mesure imprimés en 3D avec une transparence équivalente à celle des verres organiques, qui ne demandent aucune étape de finition, explique le site 3DNatives. La société a effectué une levée de fonds de 5 millions d'euros en 2015. Si ses produits intéressent d'abord les marchés industriels (lentilles, verres spéciaux), l'entreprise avait promis d'imprimer des verres de lunettes, précisait *Le Monde Économie*

en 2016. C'est désormais en partie chose faite, puisque **5 000 verres correcteurs ont été imprimés au cours de l'année 2018**, selon le directeur marketing de la marque Guido Groet. Ces verres sont encore en cours de commercialisation. La société néerlandaise cherche à nouer des collaborations avec des grands verriers pour "**concevoir des designs qui n'existent pas encore**", comme l'ambitionne Guido Groet. Avide d'innovation, la marque réfléchit à la création, à l'aide de la fabrication additive, de **verres connectés** qui reprendraient les technologies des smartphones.

En France, l'apparition d'**Essilor** dans le paysage des brevets d'impression 3D pourrait s'expliquer par la recherche de procédés de fabrication additive pour des verres correcteurs ou des lentilles ophtalmiques, et éventuellement la fabrication de montures de lunettes à verres intégrés.

Parallèlement, une nouvelle technique pour imprimer en 3D du verre transparent a été annoncée en 2017 par le Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL, laboratoire national de l'Énergie des États-Unis), faisant l'objet d'un article sur le site 3DNatives. Ce procédé est destiné au secteur de l'optique.

Le spécialiste des montures italien **Luxottica** a fusionné avec Essilor en 2017, créant ainsi le premier groupe optique mondial. Il utilise quant à lui l'impression 3D pour du prototypage, et peut ainsi accélérer le design et la conception des modèles en présérie.

En France, le site *Jérôme & Arnaud* a utilisé l'impression 3D au stade de la fabrication en petite série, avec une collection de 150 paires de lunettes dont la monture est entièrement imprimée en 3D. La possibilité de décliner les formes

et les couleurs permet des économies en ce qui concerne la production.

L'enseigne de lunetterie **Lissac**, filiale du groupe Optic 2000, s'appuie également sur l'impression 3D pour proposer à ses clients une **personnalisation avancée des lunettes**. Chaque aspect du design (couleur, matière...) peut être décidé, à partir d'une "feuille blanche". Les lunettes bénéficient **de montures sur-mesure à partir d'un scan 3D des contours du visage**. Le Studio Lissac, un atelier spécialisé, produit un prototype de monture par impression 3D pour valider le confort auprès du client, avant de livrer la monture finie à la main. La marque avait commencé par ouvrir un espace dédié à Paris, avant d'offrir la possibilité à chaque opticien d'enregistrer les demandes de personnalisation depuis leur boutique, précise la revue *Marketing*.

Le groupe d'optique japonais **Hoya** développe une solution similaire, qui s'appuie sur un logiciel de scan développé en partenariat avec le spécialiste belge de l'impression 3D Materialise. L'objectif, dans ce cas, est de créer une plateforme permettant aux opticiens de proposer à leurs clients des montures personnalisées. Baptisée **Yuniku**, cette

solution nécessite que le client place son visage devant le scan, afin que la machine puisse prendre toutes les mesures utiles dans un temps très court. Ensuite, avec l'aide de l'opticien, **le client est libre de choisir la forme, la texture et la couleur désirées**. Les lunettes sont fabriquées entièrement en additif "dans une des usines les plus avancées au monde", relatait *A3DM Magazine* en décembre 2016. Il s'agit là d'un projet de **chaîne d'approvisionnement entièrement numérique**, le système étant ouvert à un nombre illimité de magasins avec une grande quantité de marques différentes.

Plusieurs autres sociétés adoptent un positionnement de *pure players*: l'internaute choisit ou crée un modèle de monture en ligne, qui est fabriqué en 3D et expédié au client. Lorsque ce dernier est satisfait, le prototype sert de modèle à un opticien qui réalise la monture avec des matériaux classiques. "À terme, l'opticien pourra exploiter une imprimante 3D en complément des machines qu'il utilise déjà", anticipait Charles Dagneaux, concepteur du logiciel de création de montures en ligne Optimaker, interrogé par *Le Monde Économie* en 2016.

Bijouterie : vers la customisation de masse

Les analyses croisées du rapport Wohlers, de SmartTech Markets, Crédit Suisse et A.T. Kearney montrent que le marché de l'impression 3D en bijouterie-joaillerie représentait un peu moins d'un demi-milliard de dollars à l'échelle mondiale en 2014. Le secteur offre un "potentiel de croissance d'intérêt" au même titre que celui de l'énergie, suggère l'analyse du Pipame en 2017. Cette étude tablait sur une progression potentielle de 30 % entre 2016 et 2021. D'après des prévisions remises à jour du cabinet SmarTech Analysis, **le marché pourrait atteindre 900 millions de dollars en 2026**.

Les freins à l'adoption de l'impression 3D évoqués par les joailliers lors de cette étude ne manquaient pas: coût d'acquisition des machines, difficulté pour trouver des sous-traitants pertinents et du

personnel formé, coût des matières premières. S'y ajoutait une "appréhension de la technologie, car beaucoup l'associent à un **risque de contre-façon**" dans l'industrie du luxe, ainsi que le soulignait une experte du cabinet Bain & Company dans *L'Usine Nouvelle* en 2018.

L'allègement des pièces et l'absence de rebut permettent pourtant des économies considérables sur la matière première dans la fabrication de bijoux – un kilogramme d'or coûte plus de 30000 euros rappelle l'étude du Pipame. La généralisation de l'impression 3D sera facilitée dans ce secteur grâce à la **multiplication des machines à moins de 5000 euros** de plus en plus fiables et productives, qui facilitent la production de pièces complexes, comme le souligne le rapport de SmarTech Analysis.

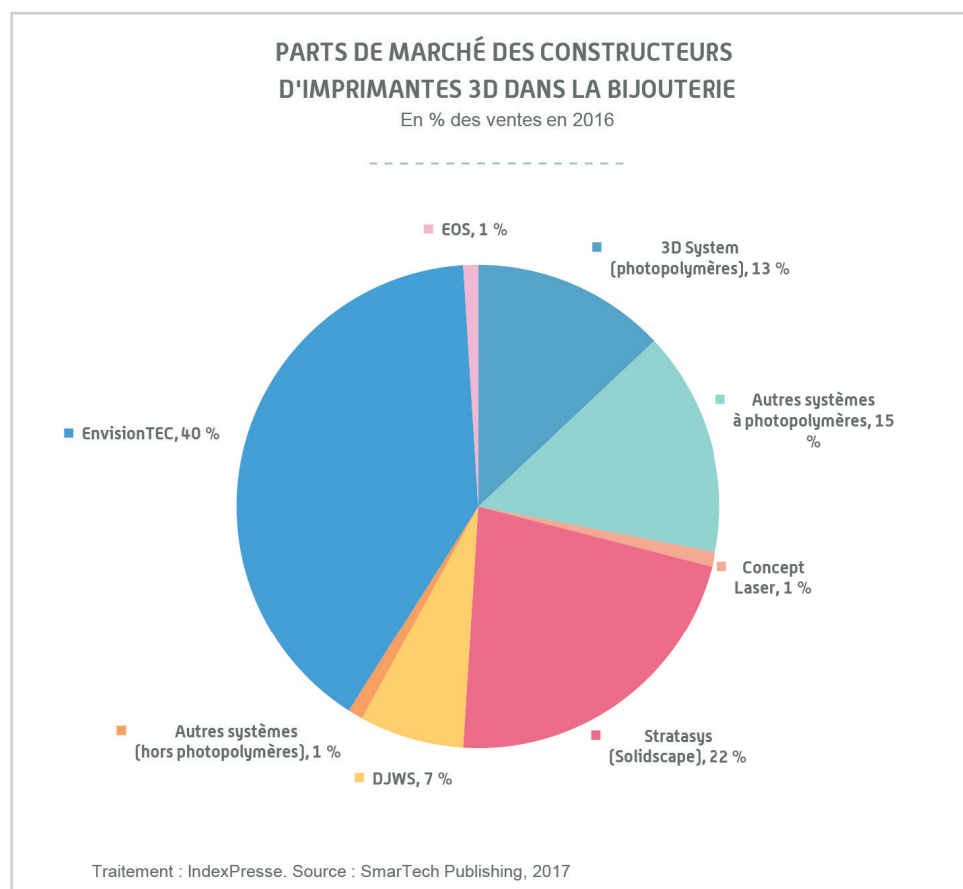
Trois fournisseurs de machines se partagent 73 % de parts du marché en 2016 : **Stratasys** (États-Unis), **3D Systems** (États-Unis) et **EnvisionTEC** (Allemagne), relève le rapport de SmarTech Analysis. Les ateliers collaboratifs, fab labs et tiers lieux jouent également un rôle important dans la conversion des plus petits artisans à la technologie. C'est le cas de **YouFactory** à Lyon. Pourtant, seulement 6 % des ateliers du territoire français sont équipés pour la joaillerie, d'après une étude de la Direction Générale des Entreprises (DGE).

Comme dans les autres secteurs, les joailliers ont commencé par s'emparer de la technologie pour faire du **prototypage rapide** afin de vérifier la taille et la forme des bijoux avant fabrication. En France, c'est le cas de la société **EAC**, un sous-traitant de l'industrie du luxe qui fabrique 95 % de ses prototypes d'accessoires en impression 3D,

expliquait *L'Usine Nouvelle* en 2018. L'entreprise **Volum-E** a également misé sur le prototypage rapide. Au sein du groupe 3DS, qui occupe tous les secteurs dont celui du luxe, Volum-E utilise l'impression 3D pour accélérer le design de bijoux et d'objets à très forte valeur ajoutée.

Toutefois, la fabrication additive a rapidement été généralisée à des **fins de production** dans la bijouterie de luxe, surtout avec l'impression 3D de moules en plastique, dits "à cire perdue", dans lesquels les bijoux sont ensuite coulés. Si ce type de fabrication indirecte représente actuellement la majeure partie du marché, l'étape suivante pourrait s'avérer encore plus disruptive.

Le rapport de SmarTech Analysis souligne en effet que **le plus gros potentiel de croissance pourrait venir des poudres de métaux précieux pour l'impression directe**. L'or ou le platine sont



déjà utilisés pour imprimer directement les bijoux à l'aide d'une technologie laser. L'or, qui est le plus couramment utilisé avec ce procédé, pourrait représenter 86 % du marché d'ici 2022. En France, la société Volum-E a initié ce mouvement avec une reproduction en or 18 carats du célèbre "Ange Pleureur". Elle a intégré la fabrication additive en or et en titane grâce à une machine SLM, précise un designer interrogé par *A3DM Magazine*.

Le **Comité Francéclat** a aussi imprimé des bijoux à base de poudre d'or atomisée, selon un communiqué AFP de novembre 2017. Il envisageait la création d'une plateforme pour que d'autres entreprises puissent tester la technique avant d'investir, indiquait son dirigeant Pascal Hély, mais celle-ci n'était toujours pas créée en 2020.

Chez **EAC**, la fabrication additive de produits finis a débuté avec des pièces imprimées en plastique, puis métallisées selon un processus issu de l'aéronautique. L'entreprise se prépare à passer à l'étape supérieure, avec une gamme de bijoux directement imprimés en métal, rapportait son PDG interrogé par *L'Usine Nouvelle*. La technologie sera fournie par le centre technique des industries mécaniques de Saint-Étienne (CETIM, Loire).

Les artistes Diana Law, Ross Lovegrove, la styliste italienne Paola Valentini et le joaillier Endswell Jewelry sont répertoriés sur le site 3DNatives pour avoir imprimé des bijoux en or.

À l'image de l'optique-lunetterie, le secteur de la bijouterie semble également se saisir pleinement des **possibilités de personnalisation** offertes par la technologie de l'impression 3D. Cette tendance s'est révélée aux États-Unis dès 2013 avec la création par la firme new-yorkaise **American Pearl** d'une offre de customisation. La technique s'appuyait sur l'impression 3D d'un moule à cire

perdue, qui permet de couler ensuite le bijou selon les spécifications voulues (choix du métal, de la forme...).

Sur ce marché de la personnalisation de masse, il est crucial de **proposer des outils de customisation et de création faciles à utiliser pour le consommateur**, comme le fait remarquer le site 3DNatives. C'est sur cet aspect que la start-up française Skimlab s'est positionnée en 2014 avec la création du site Jweel.com, qui proposait de modéliser des bijoux avec un système par "squelette" permettant une prise en main rapide et s'appuyant sur une technologie de l'INRIA. Les modèles étaient ensuite fabriqués par impression 3D, incluant des métaux précieux.

L'Américain Brilliance et la start-up coréenne Jwel District ont également suivi le même chemin, toujours en 2014, également avec des métaux précieux, mais cette fois via une impression 3D indirecte (par moulage), d'après le site Primante3D.

De nombreux sites Web se sont développés sur le même modèle, avec des offres qui vont des boules de papier froissé transformées en bijoux chez LuxMea (Canada) aux fichiers audio dont la forme est ensuite convertie en une bague imprimée en 3D par 3D Wave (Japon). La technologie développée permet de convertir l'audio en un modèle 3D imprimable.

Parmi ces sociétés, la start-up Shapeways s'est distinguée en 2018 par son positionnement en tant que **marketplace numérique** d'impression 3D. Au-delà d'un simple service de bijoux personnalisés, la société a développé "un back-end sophistiqué de production, de distribution et de chaîne logistique", déclarait son PDG sur le site 3DNatives.

Bâtiment : encore au stade expérimental

Le bâtiment et l'architecture représentaient une part minime de **3,2 % du marché mondial de la fabrication additive** en 2015, rapporte le cabinet Wohlers. Les rares applications qui existent dans ce domaine concernent le béton, selon l'étude du

Pipame de 2017. Elles visent avant tout à réduire les délais de réalisation d'un ouvrage ou d'un habitat. Ce marché devrait atteindre **56,4 millions de dollars en 2021**, estime l'analyste Markets and Markets.

Les premières applications concrètement envisageables à court terme concernent **l'impression en 3D de moules pour couler des pièces complexes en béton**. Elles sont par exemple utilisées par le cabinet d'architecture **EDG** à New York. Il se sert de l'impression 3D pour fabriquer des prototypes ainsi que les moules finaux, en s'appuyant sur la technologie de l'entreprise suisse Sika, qui a développé un béton imprimable en 3D. Cette société anticipe **l'impression directe des ouvrages en béton**, qui offre l'avantage de diminuer les coûts et le temps de fabrication, comme l'expliquait son dirigeant interrogé par le site 3DNatives en 2018.

En France, c'est la start-up **XTreeE** qui fait figure de précurseur dans ce domaine. Elle a été créée en 2015 en collaboration avec des grands groupes comme Lafarge, Dassault Systèmes et Vinci. Pour ce dernier, il s'agit avant tout d'un partenariat de R&D. Lafarge offre son expertise dans le **béton haute performance, capable de rester liquide** lors de l'impression. L'entreprise a été à l'origine de plusieurs démonstrations innovantes. En 2016, elle a permis à Lafarge de construire un pavillon à base d'éléments imprimés en 3D par un robot. Elle va plus loin encore en imprimant, sur site, un poteau structural de 4 mètres de haut soutenant le préau d'une école. Ces réalisations ont été remarquées par plusieurs publications parmi lesquelles le *Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, *Les Échos*, *Innovation Review* et *L'Usine Nouvelle*. "Les robots peuvent imprimer en une seule fois des pièces de 3 mètres de côté et de haut. On ira bientôt jusqu'à 25 mètres de long et 9 mètres de large", expliquait le fondateur de l'entreprise au journal *Les Échos* en 2016. "La construction ne sera plus la même avant et après l'impression 3D grande échelle", ajoutait-il. Pour 2020, XTreeE souhaite lancer une **plateforme digitale** permettant de relier directement les clients avec les concepteurs 3D, dans le but d'intensifier la démocratisation des constructions imprimées. Parallèlement, le groupe français envisage de s'étendre à l'international. **Il s'est fixé comme limite 2025 pour établir 50 unités mondiales.**

Plusieurs entreprises se sont lancées dans la **course à la taille de la zone d'impression** sur le marché de niche des robots à béton. Le site 3DNatives a remarqué en France l'entreprise **Construction-3D**, qui a mis au point une machine capable d'imprimer une maison de l'intérieur et de ressortir par la porte. Elle est en concurrence avec l'Américain **Contour Crafting** et le Chinois **WinSun** qui présentait, dès 2014, des maisons de 200 m² imprimées en une journée. Le robot de l'Américain Cazza Construction se rapproche de cette technique, ainsi que celui du Russe Apis Cor.

L'entreprise néerlandaise **MX3D** cherche à démontrer la possibilité d'imprimer des ponts en métal, grâce à des robots capables de souder couche par couche. L'implication de grands industriels comme ABB Robotics, Air Liquide, Arcelor Mittal, Autodesk et Delcam dans ce projet marque leur intérêt pour le potentiel de l'impression 3D dans leur domaine.

Ces projets demeurent encore essentiellement au stade expérimental sur le marché de la construction, dont les géants restent à convaincre. Le Pipame prévoit qu'à une échéance de 5 à 8 ans, il sera possible d'observer des corniches complexes imprimées en 3D sur les ouvrages d'art, si les propriétés du béton sont suffisamment maîtrisées. C'est à l'horizon 2030 que l'impression 3D pourrait être largement déployée dans la construction d'habitat sur site, grâce à des formulations capables de s'adapter aux conditions climatiques.

Quelques constructions imprimées innovantes ont néanmoins été bâties au cours des dernières années. En Italie, l'entreprise 3D Wasp a produit une maison imprimée en 3D avec uniquement des matériaux naturels. En France, la start-up Constructions 3D a décidé d'imprimer son nouveau siège social de 1000 m², qui devrait être achevé en 2021. À Reims, un projet de maisons destinées au logement social inclut un procédé de fabrication utilisant l'impression 3D.

Ces projets fournissent les premiers éléments pour lever les **lourdes barrières réglementaires** qui freinent l'utilisation des procédés d'impression 3D dans ce secteur réputé conservateur.

56,4 millions de dollars

Le marché mondial de l'impression 3D béton en 2021.

Miser sur la platformisation

Des plateformes...

Dans un article de l'édition française d'*Harvard Business Review*, Richard D'Aveni, professeur de stratégie à la Tuck School of Business du Dartmouth College, analysait début 2016 les tenants, aboutissants et perspectives de la filière mondiale de l'impression 3D. Il s'interrogeait sur la **reconfiguration de l'écosystème** de la production industrielle et soulignait le potentiel des plateformes en s'appuyant sur le mouvement déjà engagé en ce sens par certains opérateurs de la fabrication additive comme eBay, IBM, Autodesk, PTC, Materialise, Stratasys et 3D Systems. Selon lui, en réunissant et en centralisant l'offre et les services de l'impression 3D, les plateformes sont appelées à jouer **un rôle central et supérieur** aux autres acteurs dans l'univers global de ce secteur. À l'image du processus commun à l'ensemble des marchés fortement numérisés, la fabrication additive verra l'émergence de puissantes plateformes, dont l'objectif sera d'établir des standards et de faciliter les échanges entre concepteurs, fabricants et distributeurs d'objets: "Les propriétaires de plateformes seront puissants parce que l'intérêt accordé à la production elle-même ira probablement en diminuant."

Richard d'Aveni poursuit son analyse en invitant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur à **soutenir ce mouvement de platformisation**, le phénomène étant sans doute inéluctable. Les entités à la tête de ces plateformes devront gérer un énorme volume de transactions industrielles, qu'elles auront la charge d'administrer, arbitrer et répartir. Ce rôle central leur permettra d'être en position de force pour influencer sur les prix et les flux. Malgré les nombreuses initiatives qui émergeront, seules quelques-unes sauront se distinguer. Mais, selon ses propres mots, "celles qui réussiront le mieux prospéreront fortement".

Des premières expériences émergent déjà. En créant sa **3DExperience Marketplace**, l'éditeur français Dassault Systèmes s'est engagé dans

cette voie. Sa puissance et son assise correspondent d'ailleurs aux caractéristiques citées par Richard d'Aveni. Pour lui, la généralisation et la démocratisation de la fabrication additive doivent être **portées par de grandes organisations**.

D'autres acteurs, plus modestes, tentent eux aussi de se positionner entre les donneurs d'ordres et les sous-traitants. *L'Usine Nouvelle* cite l'exemple de la start-up française **Fabulous**. Arnault Coulet, son directeur, explique le fonctionnement qui a été retenu: "Nous sommes partenaires d'un réseau de sous-traitants chez qui nous négocions de la capacité machine. Tout le monde y gagne: les sous-traitants peuvent charger davantage leurs machines et nous disposons d'un large éventail de technologies. Ce qui permet de conseiller le client de la manière la plus objective possible."

Le magazine cite également le cas de Creatix3D avec son service 3Dclicshape.com. Selon Sébastien Vercruysse, le PDG, il s'agit d'un portail de mise en relation entre industriels et sous-traitants. Au-delà de ce service d'intermédiation, la société se présente comme **un tiers de confiance** entre les deux parties. Après avoir racheté le spécialiste du prototypage rapide Valla, l'éditeur et intégrateur Visiativ complète à son tour son offre numérique. "Nous avons créé la plateforme numérique Lynkoa sur laquelle 50 000 concepteurs, ingénieurs et designers sont connectés. Nous pourrions désormais leur fournir la capacité de prototyper leurs pièces", explique Laurent Fiard, PDG du groupe sur le site de *L'Usine Nouvelle*.

En attendant que le mouvement se précise et que certains acteurs se détachent, les chefs d'entreprise et porteurs de projets visionnaires ont intérêt à poursuivre leurs avancées. Il s'agit pour eux de se créer un avantage marqué vis-à-vis de leurs concurrents. L'enjeu est de **prendre une place stratégique** pour assurer ses arrières lorsque les arbitrages interviendront entre les multiples acteurs positionnés.

... à la “pan-industrialisation”

En février 2018, dans une interview pour le site de la Tuck School, Richard D'Aveni approfondit encore son analyse prospective en s'appuyant sur les travaux menés pour son nouvel ouvrage, *The Pan-Industrial Revolution: How New Manufacturing Titans Will Transform the World*. Ainsi, il annonce que les plateformes d'impression 3D et industrielles permettront de **créer de très grandes entreprises très diversifiées**, beaucoup plus diversifiées que les conglomérats, et possédant des synergies opérationnelles que les conglomérats, par définition, n'ont pas. Ces mastodontes pourraient prendre le contrôle d'une partie importante de l'économie. Un propriétaire de plateforme serait en mesure d'offrir toutes sortes de services – logiciels de fabrication, services de fabrication additive, mais aussi financement

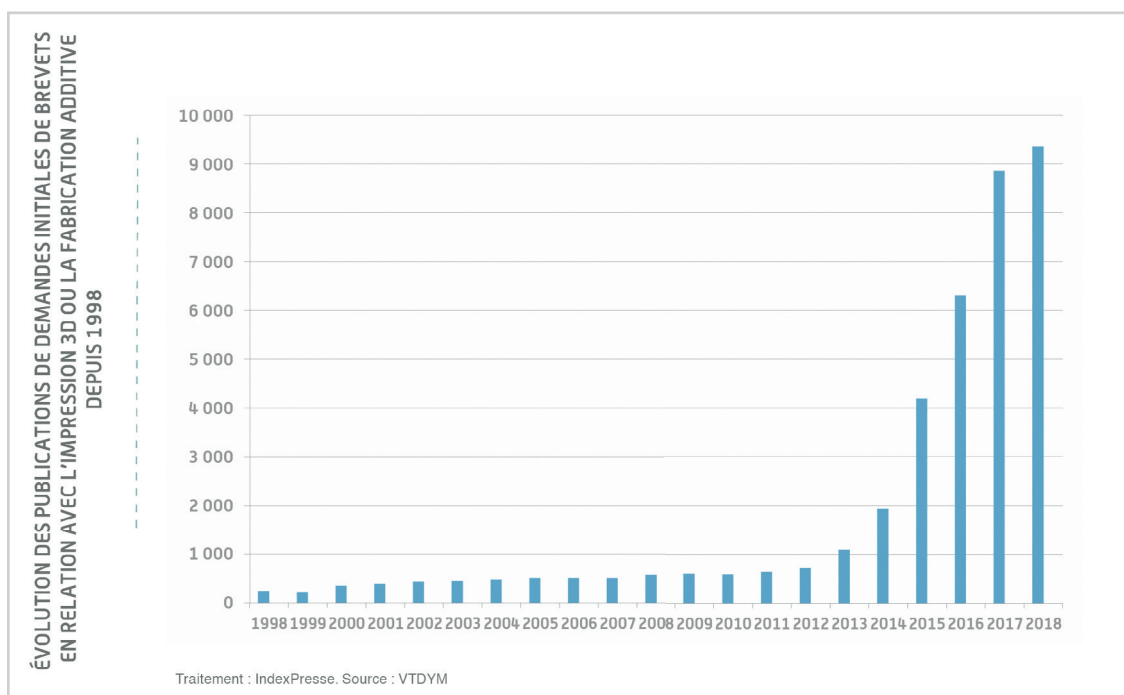
et données non accessibles au public. Cela signifierait l'émergence d'entreprises qu'il appelle “pan-industrielles”. Ces dernières utiliseraient l'impression 3D **“pour brouiller les frontières des produits”**. Et si les frontières entre les produits commencent à disparaître, les industries disparaîtraient aussi.

Pour appuyer sa démonstration, il cite des exemples déjà significatifs. Par exemple, General Electric développe son propre système avec Predix. De son côté, le groupe américain Jabil contrôle déjà ses propres processus de fabrication avec sa plateforme, tout comme Siemens développe sa propre plateforme de fabrication additive, Siemens NX.

LES BREVETS ET TENDANCES INVENTIVES

Les recherches de brevets permettent d'apprécier l'activité inventive internationale en relation avec l'impression 3D ou la fabrication additive. Aux procédés de fabrication additive, appareils pour la fabrication additive et imprimantes 3D avec leurs accessoires, s'ajoutent plusieurs techniques: la fabrication rapide et le prototypage d'objets 3D, le façonnage à partir de poudres, la CAO 3D, les constructions tridimensionnelles, les soudages 3D, ainsi que des procédés industriels comme le frittage sélectif par laser (SLS) ou la stéréolithographie. Un recensement effectué sur les familles de brevets (une famille = une invention), permet d'en **dénombrer plus de 40000 dont 15000 d'origine chinoise**. Un rapide historique révèle dès 1902 un processus américain de fabrication de pierre artificielle, suivi d'une très longue période avec 0 à 2 publications annuelles jusqu'en 1966. La première demande de brevet d'un inventeur français, Pierre-François-José

Dufour, a été publiée en 1961 sur un procédé d'ordonnement moléculaire tridimensionnel. Parmi les inventions suivantes, citons: un procédé de fabrication 3D de circuits imprimés (États-Unis, 1967), des articles en caoutchoucs renforcés avec des matières textiles (États-Unis, 1969), un appareil pour le moulage au tamis d'objets à trois dimensions (États-Unis, 1970), un procédé de fabrication à partir de bandes de matière contractibles (Suisse, 1970). À partir de 1982, une dizaine d'inventions sont déposées chaque année, chiffre qui passera à une centaine par an à partir de 1990. Entre 1998 et 2012, la progression se poursuit, passant de 240 à 728. Ensuite, le nombre des publications en relation avec l'impression 3D ou la fabrication additive augmente fortement: 1 095 en 2013, 1 932 en 2014, 4 196 en 2015, 6 319 en 2016, 8 868 en 2017. En 2018, 9 372 demandes initiales étaient comptabilisées avant les toutes dernières publications de l'année.



En cohérence avec les très nombreuses publications initiales de ces dernières années, **près de 33 000 (sur 40 000) familles de brevets sont considérées en vigueur**, supposant des brevets délivrés et maintenus ou bien des demandes en cours. Considérant les pays de priorité pour

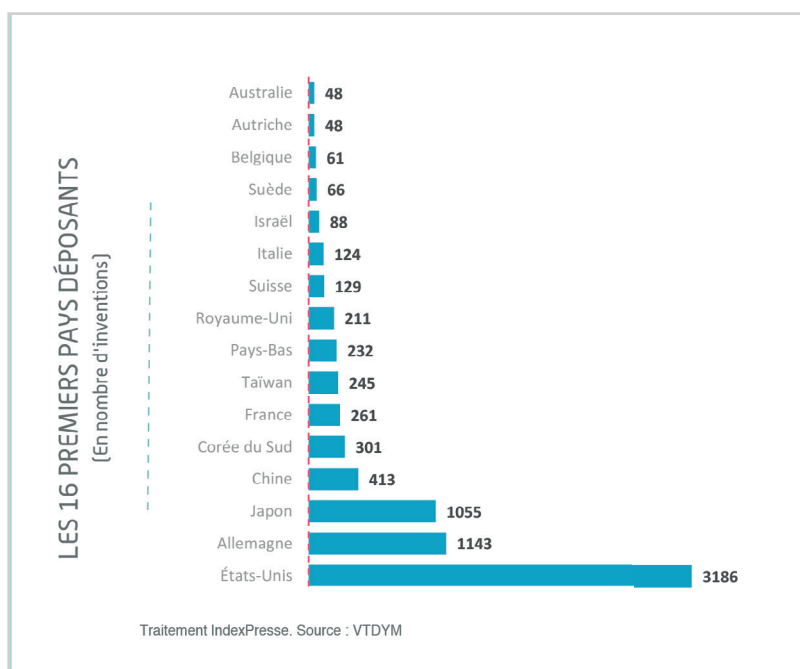
déterminer de façon simplifiée l'origine des inventions, la Chine arrive nettement en tête (15 600), suivie des États-Unis (9 400), du Japon (4 500), de l'Allemagne (2 900) et de la Corée du Sud (2 200). Seulement **600 inventions environ sont d'origine française**.

Les chiffres et les tendances 2016-2018 dans le monde

Une sélection des documents de brevets portant sur la période 2016-2018 a été réalisée sur les produits ou procédés dont la protection est également recherchée en dehors du pays d'origine, par le biais d'une demande internationale, européenne ou au moins d'une extension à l'étranger enregistrée. Au total, 7 214 inventions rassemblées sur ce critère qualitatif forment un corpus adapté pour un approfondissement de la situation de ces dernières années : 2 054 publications

initiales pour 2016, 2 559 pour 2017 et 2 601 pour 2018 (chiffre non définitif).

Avec plus de 3 000 inventions, **les États-Unis occupent une place de leader**, apparemment peu menacée. L'Allemagne et le Japon sont engagés de façon comparable, sur un plan quantitatif, avec plus d'un millier de demandes de brevets en relation avec l'impression 3D sur les trois années. La Corée du Sud et la France suivent dans ce classement avec respectivement 300 et 260 demandes

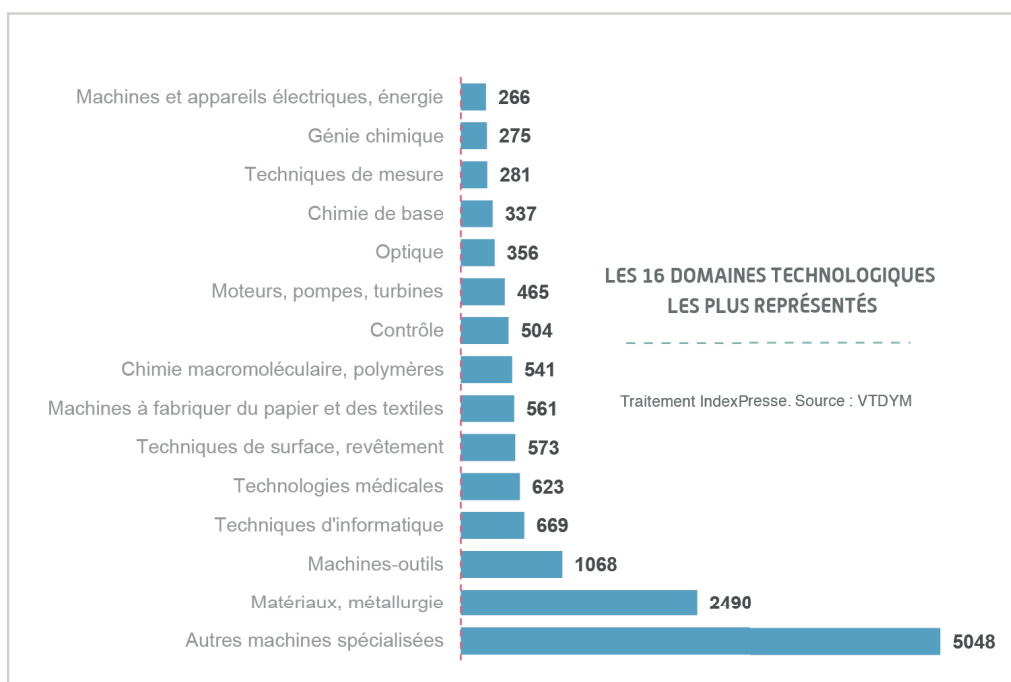


de brevets. Deux pays retiennent l'attention pour une position favorable résultant surtout de coopérations, de filiales ou d'investissements étrangers: la Suisse bénéficie des résultats de Michelin Recherche & Technique et de General Electric Technology; et Israël tire parti des activités de recherche de Stratasys Ltd, filiale de Stratasys Inc. La Suède présente une autre situation remarquable, de concentration nationale cette fois, avec plus du tiers des inventions attribuées au seul Arcam, spécialiste de la fabrication additive. Deux pays sont concernés par les deux situations: la Belgique portée sur le sujet par Materialise NV (matériels et logiciels de fabrication additive) et Safran Aero Boosters, filiale de Safran; et les Pays-Bas avec une forte participation de Sabic Global Technologies et Philips Lighting.

Un examen par domaine permet de **faire émerger les tendances commerciales** et technologiques. La répartition des résultats dans les 35 domaines prédéfinis montre la prédominance des dispositifs d'impression 3D (différents types de machines) et des procédés mis en œuvre pour leur conception. La fabrication de pièces ou d'objets à partir de poudres métalliques représente la

seconde tendance forte de la documentation brevets sélectionnée. Les domaines révèlent certains usages comme les produits à fins médicales (y compris dentaires) ou de motorisation (turbines) notamment. Les techniques d'informatique, fortement représentées, correspondent à des dispositions de conception et/ou fabrication assistée par ordinateur, de traitement de données pour la fabrication additive.

Les **dix premières entreprises déposantes rassemblent 22 %** des documents de la sélection. Dans les situations de co-dépôt de la demande (plusieurs déposants en coopération), une invention est attribuée à chaque déposant dans un comptage de type "compte de présence". **Hewlett Packard est le leader de l'activité inventive** au cours des dernières années avec plus de 500 nouveaux produits ou procédés liés au sujet et protégés au-delà des États-Unis. En deuxième position, General Electric, une autre entreprise américaine, s'attache à la fabrication d'objets à partir de poudres métalliques (aubes de turbines). L'Allemand Siemens, à la troisième place, met en œuvre des techniques de frittage laser pour fabriquer des pales de rotors, aubes de turbines et



autres éléments. Pour Airbus Operations, il faut noter qu'une majorité d'inventions émanent de la branche allemande.

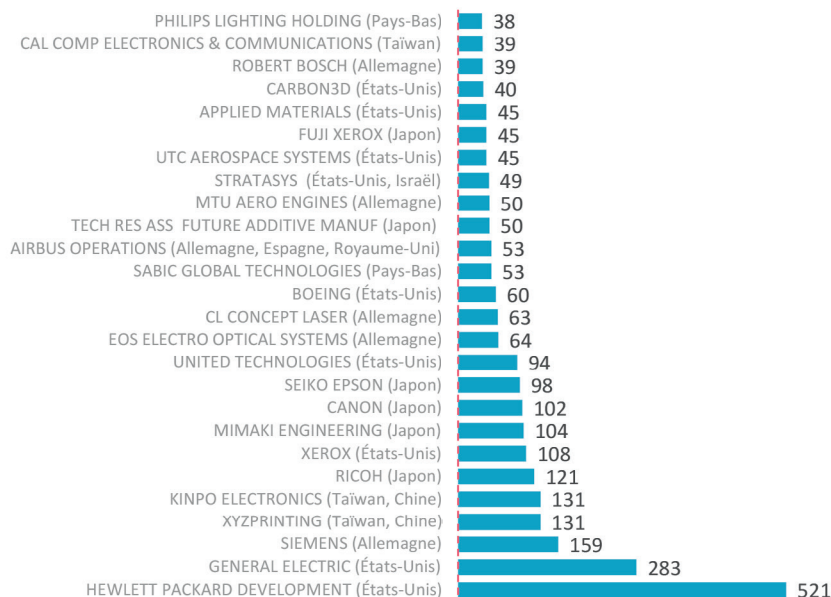
Des entreprises et des organisations dédiées à l'impression 3D ou la fabrication additive sont présentes dans le classement, avec, dans l'ordre : XYZPrinting, EOS, CL Schutzrechts Verwaltungs (Concept Laser, filiale de GE Additive), Technology Research Association for Future Additive Manufacturing (TRAFAM), Stratasys, Carbon3D, Cal Comp Electronics & Comm (Kinpo Group). D'autres entreprises du secteur figurent dans la liste complète des déposants, par exemple Arcam (autre filiale de GE Additive) ou Materialise NV.

Les Taïwanais Kinpo Electronics, XYZPrinting et Cal Comp appartiennent à **Kinpo Group, qui apparaît donc comme un acteur majeur** de l'impression 3D. Les filiales de GE Additive, Concept Laser et Arcam renforcent quant à elles la position de General Electric.

Les déposants chinois sont peu visibles dans la sélection réalisée malgré le nombre d'inventions d'origine chinoise répertoriées. L'explication réside notamment dans le fait que ce sont des filiales des sociétés taïwanaises du groupe Kinpo implantées en Chine qui contribuent le plus aux résultats du pays. Les organisations chinoises (ayant leur siège social en Chine) identifiées sont principalement Zhuhai Seine Technology et Print-Rite Unicorn Image Products. Il faut noter également les activités de recherche conséquentes de South China University of Technology (plus de 300 inventions parmi les 40000), qui sont rarement protégées à l'étranger.

Enfin, les géants américains Microsoft, Google, Apple et Intel proposent des améliorations dans les commandes ou régulations de procédés de fabrication additive et la fabrication assistée par ordinateur.

LES PREMIÈRES ENTREPRISES DÉPOSANTES



Traitement IndexPresse. Source : VTDYM

Situation et opportunités en France

Une étude focalisée sur les publications initiales françaises de la période 2016-2018, avec une protection étendue à l'étranger ou non, formant dans ce cas un corpus de 350 inventions, permet d'identifier les principaux traits de l'activité nationale au cours des dernières années ainsi que les acteurs de premier plan.

Plus de 40 % des inventions dans le domaine de l'impression 3D ou la fabrication additive sont l'œuvre des 10 premiers acteurs. Après certains regroupements, **les leaders français** sont dans l'ordre: Safran, principalement Safran Aircraft Engines, avec 61 inventions, Michelin (34), Arkema (16), le CNRS (15), Airbus avec les établissements français d'Airbus Helicopters et d'Airbus Safran Launchers devenu ArianeGroup (13), le CEA (13), Thales (12), AddUp (12), L'Oréal (9) et Air Liquide (7).

Plus d'une centaine d'entreprises, universités et centres de recherche composent la liste des déposants. Ils sont 55 acteurs à compter au moins deux réalisations publiées dans la période considérée. Les coopérations repérées par les inventions communes sont essentiellement le fait du secteur public, emmené par le CNRS et comprenant des établissements publics lyonnais.

Les technologies dominantes sont le frittage sélectif par laser, la stéréolithographie, la fabrication additive métallique ou impression 3D Métal et les compositions utilisées en métallurgie des poudres. La répartition entre les procédés de fabrication additive et les produits obtenus par fabrication additive est relativement équilibrée.

Les équipements issus de l'impression 3D ou de la fabrication additive sont majoritairement destinés aux secteurs de l'aéronautique (turbines, pales, aubes), de l'automobile (pièces complexes, étriers de frein), de la santé (prothèses corporelles et dentaires, lunettes, lentilles), des cosmétiques (applicateurs, dispositifs de beauté), du bâtiment (constructions, ravalements).

Le génie chimique, principalement porté par Michelin, Air Liquide, le CEA et Technologies avancées et membranes industrielles (TAMI

Industries), est proportionnellement mieux représenté dans l'activité inventive française.

La conception ou fabrication assistées par ordinateur (CAO/CFAO) rassemble moins de 10 % des résultats nationaux avec pour spécialistes: Dassault Systèmes, l'INRIA, Lyea, AK Optique et l'Université de Lorraine.

Des compétences rares existent, par exemple en matière de bio-impression. Un représentant de premier plan se distingue en la matière, Poietis. Il se présente comme une "société de biotechnologie spécialisée dans la bio-impression laser de tissus vivants". Ayant trois inventions répertoriées dans les "prothèses non implantables dans le corps" avec la mise en œuvre de "bioréacteurs pour la production de tissu artificiel ou pour la culture ex vivo de tissu", l'entreprise devance les acteurs étrangers de la sélection précédente identifiés par les mêmes codes de classement (47 inventions au total). L'INSERM compte également une invention sur ce thème, un procédé d'impression d'éléments biologiques par laser.

La fabrication à base de poudres métalliques est identifiée comme un segment porteur. Ce thème rassemble 147 inventions (sur 350), confirmant la tendance signalée précédemment. Safran Aircraft Engines (30 inventions), Michelin (19) et AddUp (12) se détachent parmi les déposants. Les publications annuelles sont en augmentation pour 2018. D'autres acteurs peuvent être suivis sur la 3D Métal en France, par exemple Opt'Alm (expertise en industrialisation), l'École Centrale de Nantes, Microturbo (groupe Safran), Zodiac Aero Electric et Alveotec (Innovation Fonderie).

Les entreprises françaises de l'impression 3D **les plus innovantes** sont AddUp, Prodways, 3DCeram, Poly Shape, Zeepro. D'autres se distinguent également, comme Biotech Dental (des éléments dentaires par impression tridimensionnelle, 6 inventions), TAMI Industries (membranes en céramique, 4 inventions), Chanel (applicateurs de produits cosmétiques d'une seule pièce, 3 inventions), et Lyra (dispositifs de parure dentaire, 3 inventions).

LES FORCES EN PRÉSENCE

Tableau comparatif des différents acteurs

Le tableau des pages ci-après présente les activités et le positionnement des principaux intervenants sur le marché de l'impression 3D cités dans cette étude.

				Activité(s) principale(s)							
Société / organisme	Maison-mère	Pays d'origine	Date de création	Editeur de logiciels	Distributeur / Intégrateur	Fabricant d'imprimantes	Fournisseur de matériaux	Imprimeur 3D	Services et conseils	Technologie(s)	Domaines d'application principaux
3D Ceram 3D Prod	France	France	2001	•	•	•	•	•	•	Multi-matériaux (céramique, métal)	Médical
	France	France	2005				•	•	•	Conformal cooling	Outils
3D Systems	États-Unis	États-Unis	1983	•	•	•	•	•	•	Polymères, Métal (DMP)	Toutes industries, Alimentaire
3D&P	WeAre Aerospace	France	2013	•				•	•	Métal (SLM)	Aéronautique, spatial
Actuaplast		France	2001					•	•	Polymères, Métal	Outils, Automobile, Aéronautique, Agriculture
Addiream		France	2017*					•		Multi-matériaux (plastique, métal)	Médical
AddUp	Michelin, Fives	France	2015	•	•	•		•	•	Métal (SLM, CLAD)	Caoutchouc, Aéronautique, Médical
Advanc3D Materials GmbH	BASF	Allemagne	nc**				•			Poudres polymères, Filaments	Toutes industries
AGS Fusion	Groupe AGS	France	2014					•	•	Conformal cooling	Aéronautique, Outils, Transports
AnatomikModeling		France	2015*		•			•	•	Multi-matériaux	Médical (implants)
AP&C	General Electric	Canada	nc**				•			Poudres métal (titane)	Médical
Arcam	General Electric	Suède	nc**		•		•	•	•	Métal (EBM)	Médical (orthopédie)
Autodesk		États-Unis	1982	•							Toutes industries
Athletics 3D		France	2017*					•			Sports
Aubert & Duval	Eramet	France	1907				•			Poudres métal	Aéronautique
BASF		Allemagne	nc**				•			Poudres polymères	Toutes industries

BeAM	AddUp	France	2012*	.	.	Métal (CLAD)	Aéronautique
BioBots		France	2012*	.	.		
Biomodex		France	2014*	.	.	Biomatériaux	Médical
Biotech Dental		France	2010	.	.	Multi-matériaux	Médical (modèles d'organes)
BQ		France	2010	.	.	Métal	Médical (dentaire)
Carbon	Alphabet	France	2014*	.	.	Polymères	Bureau
Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM)		France	1965	.	.	Polymères (CLIP)	
Cerhurm		France	2015*	.	.	Stratoconception	Industries mécaniques
Circle	Biotech Dental	Belgique	2016*	.	.	Biomatériaux, Céramique	Médical (implants)
Comefor	WeAre Aerospace	France	2016*	.	.	Métal	Médical (dentaire)
Concept Laser	General Electric	Allemagne	2000	.	.		Conception, ingénierie (Aéronautique)
Constellium		France	2011	.	.	Métal	Médical (dentaire)
Creatix3D		France	2013	.	.	Poudres métal (aluminium)	Aéronautique
Dagoma		France	2017*	.	.	Métal (acier, titane)	Toutes industries
Dassault Systèmes		France	1981	.	.	Filaments, Matériaux biosourcés	Bureau
Decip		France	2014*	.	.		Toutes industries
Eden 3D		France	2014*	.	.	Métal	Santé (orthopédie)
EOS GmbH		Allemagne	1989	.	.	Plastique, Métal	Toutes industries
Erasteel	Eramet	France	2017	.	.	Poudres métal	Toutes industries
Erpro Group		France	2017	.	.	Métal	Prototypage rapide, Outillage, Aéronautique, Nucléaire
Fabulous		France	2014*	.	.		Toutes industries (dont bâtiment)
Filaments.Directory		Belgique	2016	.	.	Filaments	Bases de données (toutes industries)
Formlabs		France	2011	.	.	Polymères	Médical, Bureau
Fusia		Canada	2011	.	.		Aéronautique
General Electric		France	2011	.	.		Transport, Aéronautique, Énergie

GM Prod	France	2005		Métal	Médical
Grismont	France	2015*			Sports
HP	États-Unis	nc**		Polymères	Toutes industries
I3D concept	France	2015		Métal	Transport, Luxe, Aérospatiale, spatial, Agroalimentaire
Igus	Allemagne	nc**		Polymères hautes performances	Toutes industries
Innofi 3D	BASF	nc**		Filaments	Toutes industries
Innower 3D	France	2015		Résine céramique	Thermoformage
Kimya/Armor3D	France	2015*		Matériaux d'impression 3D recyclés	Toutes industries
Lattice Medical	France	2016*		Biomatériaux	Médical (implants)
Materialise	Belgique	1990		CAO 3D	Médical, Optique
Monoprice	États-Unis	2002		Filaments	Bureau
Multistation	France	1987		Métal	Automobile, Aérospatiale
New Matter	États-Unis	2014*		Polymères	Bureau
NKAD Printers	France	2014		Métal	Joierie, Aérospatiale, Métiers d'art
Platinum 3D	France	nc**		Métal, Conformal cooling	Métallurgie, Outillage
Poietis	France	2014*		Biomatériaux	Cosmétiques, Pharmaceutique, Médical
Pollen AM	France	2014*		Multi-matériaux, Métal	Toutes industries
Poly-Shape	France	2007		Métal	Aérospatiale, transport, Médical (dentaire)
Prismadd	France	2015		Métal	Aérospatiale
Prodways	France	2013		Métal (Movinglight), Polymères, Céramique	Aérospatiale, Médical
Proto Labs	France	2009		Métal	Toutes industries
Repmo	France	1970		Métal	Médical (dentaire)
Sartomer	France	1997		Résines (UV, LED et EB)	Marché asiatique, Electronique
Scientificfeed	France	2016*		Polymères	Médical (orthopédie)
Sculpteo	France	2009		Polymères	Pièces détachées
Setup Performance SAS	France	2006		Polymères	Toutes industries

SLM Solutions		Allemagne	1998	•	•	Métal	Aéronautique, Transport, Médical, Joaillerie
Spartacus3D	Farinia Group	France	2014*	•	•	Métal	Aéronautique, Médical, Énergie, Prototypage rapide, Outillage
Stratasys		États-Unis	1989	•	•	Métal	Toutes industries, Bureau
Tekna		Canada	nc**	•			
Tekna Plasma		France	2012	•		Poudres métal hautes performances	Aéronautique
Tornier-Wright	Wright Medical	France	2011	•	•		Médical (orthopédie)
Trumpf		Allemagne	1923	•	•	Métal	Toutes industries
Ultimaker		Pays-Bas	2011	•		Polymères	Bureau
Valla SAS	Visiativ	France	1960		•	Polymères	Prototypage rapide
Visiativ		France	1987	•	•	Polymères	Toutes industries
XtreeE	Lafarge, Dassault Systèmes	France	2015*	•	•	Béton	Bâtiment
XYZprinting		Taiwan	nc**	•	•		Bureau
Yndetech		Italie	2016*		•	Métal (DMLS)	Médical (dentaire)
Z3DLab		France	2014*	•	•	Multi-matériaux (métal, céramique), Biomatériaux	Médical

* Start-up

**non connu

Traitement et source : IndexPresse

Fiches d'identité des principaux intervenants du marché français

3D SYSTEMS FRANCE SARL	
Adresse postale	Zone d'activité professionnelle Les petites forges 72380 Joué L'Abbé
Numéro Siren	380281972
Activité	Établissement spécialisé dans la production, la commercialisation de machines de prototype, outillage et fabrication rapides, par impression 3D, stéréolithographie et frittage laser. L'entreprise propose un service de prototypage avancé, quickparts prototypage rapide, production à faible volume.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	18,676 millions d'euros (2018)
Nom du dirigeant	Vyomesh I. Joshi, Président Directeur Général

ADDUP	
Adresse postale	5 rue Bleue 63118 Cebazat France
Numéro Siren	819409939
Activité	Fourniture et commercialisation de machines dans le domaine de la fabrication additive métallique - Conception et réalisation de machines.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	N.D.
Nom du dirigeant	Vincent Ferreiro, Président

AGS FUSION	
Adresse postale	35 rue du Champ Biolet 01580 Izernore
Numéro Siren	805082831
Activité	Recherche, formation, accompagnement commercial sur les sujets de la fabrication additive, fabrication de pièces par impression 3D
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	399 000 euros (2018)
Nom du dirigeant	Nathalie Baty, Directrice générale

BEAM	
Adresse postale	8 rue Schertz 67100 Strasbourg
Numéro Siren	789740057
Activité	La société de mécanique de précision BeAM est spécialisée dans la fabrication et le négoce de machines-outils et d'équipements pour le travail des métaux pour les industries. Elle est également active dans la fabrication de machines de projection de poudre. BeAM se présente comme un spécialiste des solutions additives DED (Directed Energy Deposition).
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	7,3 millions euros (2017)
Nom du dirigeant	Vincent Gillet, Président

CREATIX 3D	
Adresse postale	41 avenue des Trois Peuples 78180 Montigny Le Bretonneux
Numéro Siren	793283680
Activité	Commerce de gros (commerce interentreprises) d'ordinateurs, d'équipements informatiques périphériques et de logiciels. Creatix3D est un intégrateur de solutions d'impression 3D répondant aux besoins de tous les métiers de l'industrie, mais également de ceux de l'architecture et du design.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	4,165 millions d'euros (2017)
Nom du dirigeant	Sébastien VERCRUYSE, Président

GM PROD	
Adresse postale	3 rue de Lombardie 69150 Decines Charpieu
Numéro Siren	538807280
Activité	GM Prod est une jeune société lyonnaise qui fut le premier laboratoire de prothèses dentaires à utiliser le frittage laser métallique. Ce procédé novateur lui a permis de devenir rapidement le plus important centre français de fabrication additive pour le secteur dentaire.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	487 000 euros (2018)
Nom du dirigeant	Philippe Gauthier, Gérant

POIETIS	
Adresse postale	27 allée Charles Darwin 33600 Pessac
Numéro Siren	804776797
Activité	Établissement de biotechnologie spécialisé dans le domaine d'activité de la bio-impression laser de tissus vivants. L'entreprise exerce dans le secteur de la conception et la fabrication des produits bio-imprimés pour la médecine régénératrice. Elle propose des solutions sur la technologie de bio-impression.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	340 000 euros (2018)
Nom du dirigeant	Fabien Guillemot, Président du Conseil

POLY SHAPE	
Adresse postale	91280 Saint Pierre du Perray
Numéro Siren	499083483
Activité	L'entreprise est spécialisée dans le domaine de la conception et de la fabrication additive. Elle est également active dans le contrôle, la correction, l'optimisation et la modélisation 2D et 3D...
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	2 012 500 euros (2013)
Nom du dirigeant	Franck Moreau, Président

PRISMADD	
Adresse postale	1200 avenue d'Italie 82000 Montauban
Numéro Siren	805014230
Activité	Prismadd est spécialisée dans la fabrication additive de métal et de plastique.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	477 253 euros (2017)
Nom du dirigeant	Stéphane Farella, Directeur général

PRODWAYS GROUP	
Adresse postale	19 rue du 4 septembre 75002 Paris
Numéro Siren	801018573
Activité	Prodways est un fournisseur global d'imprimantes 3D industrielles multi-technologies et de matières associées pour le prototypage et la production de série.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	1,702 millions d'euros (2018)
Nom du dirigeant	Raphaël Gorgé, Président du conseil d'administration

SAS 3DCERAM SINTO	
Adresse postale	27 rue du Petit Theil 87280 Limoges
Numéro Siren	435266598
Activité	L'entreprise est spécialisée dans le domaine de la fabrication de produits céramiques à usage technique. Elle est également active dans la production de composants céramiques par impression 3D et la fabrication de machines pour la céramique.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	3,392 millions d'euros (2017)
Nom du dirigeant	Christophe Chaput, Président Directeur Général

SCULPTEO	
Adresse postale	10 rue Auguste Perret 94800 Villejuif
Numéro Siren	514971654
Activité	La société est spécialisée dans les travaux d'impression 3D tels que SLS, CLIP, Polyjet, DMLS, ExOne... L'impression se fait sur diverses matières.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	1,980 million d'euros (2014)
Nom du dirigeant	Eric Careel, Président du Conseil

SPARTACUS 3D	
Adresse postale	Avenue de France 57300 Hagondange
Numéro Siren	802498972
Activité	L'entreprise propose de la fabrication additive métallique de composants pour les industries aéronautiques et automobiles entre autres.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	804 000 euros (2018)
Nom du dirigeant	Jean-Frédéric Guinot, Président

VISIATIV	
Adresse postale	26 rue Benoît Bennier 69260 Charbonnières les Bains
Numéro Siren	395008246
Activité	Éditeur et intégrateur de solutions logicielles CAO (conception assistée par ordinateur) et SGDT (système de gestion de données techniques) : formation, assistance technique, développement spécifique, conseil, maintenance... Il propose entre autres des solutions d'impression 3D et production de pièces.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	16,352 millions d'euros (2018)
Nom du dirigeant	Laurent Fiard, Président Directeur Général

XTREEE	
Adresse postale	18 rue du Jura 18 20 Le Manille 94150 Rungis
Numéro Siren	817448780
Activité	XtreeE développe une technologie avancée d'impression 3D à grande échelle pour le secteur de la conception architecturale, de l'ingénierie et de la construction.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	1,002 millions d'euros (2018)
Nom du dirigeant	Alain Guillen, Directeur Général

Z3DLAB	
Adresse postale	26 rue des Sablons 95360 Montmagny
Numéro Siren	799110747
Activité	Entreprise spécialisée dans l'impression 3D, de la conception à la réalisation.
Pays d'origine	France
Chiffre d'affaires	236 000 euros (2016)
Nom du dirigeant	Abdelmadjid Djemai, Président

Classement des principaux acteurs du marché français

Nom de l'entreprise	Ville	Code postal	Numéro de téléphone	Numéro Siret	Date de création	Tête de groupe	Code NAF	Libellé NAF	CA (KEUR)	Année du CA	Résultat net (KEUR)	CA N-1	Tranche d'effectif salarié
3 D SYSTEMS FRANCE SARL	JOUE-L'ABBE	72380	02 43 51 22 00	38028 972-00055	06/12/1994	3D SYSTEMS INC	2290A	Fabrication de pièces techniques à base de matériaux plastiques	18876	2019	n.d.	n.d.	20 à 49
ADDUP	CEBAZAT	63118	04 73 14 81 74	819409639-00017	01/04/2016		7112B	Ingénierie, études techniques	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20 à 49
AGS FUSION	IZERNORE	01580		805083831-00027	10/10/2018		7112B	Ingénierie, études techniques	389	2019	-85	484	3 à 5
BEAM	STRASBOURG	67100	03 88 00 87 50	789740057-00037	02/12/2016	ADDUP	2841Z	Fabrication de machines-outils pour le travail des métaux	7300	2019	n.d.	n.d.	10 à 19
CREATIX 3D	MONTIGNY LE BRETONNEUX	78180		793263080-00015	02/04/2017		4051Z	Commerce de gros (commerce interentreprises) d'équipements électroniques, informatiques, périphériques et de logiciels	4165	2017	123	4105	3 à 5
GMI PROD	DECINES CHARPIEU	69150		538807290-00028	15/11/2015	GMI PROD	2502B	Mécanique industrielle	487	2018	-16	503	3 à 5
POIETIS	PESSAC	33600	05 35 54 47 32	804776797-00024	23/09/2018		7211Z	Recherche-développement en biotechnologie	340	2018	26	314	20 à 49
POLY-SHAPE	ST PIERRE DU PERRAY	91280	01 64 85 13 10	490083483-00044	02/07/2011	POLY-SHAPE	2502B	Mécanique industrielle	2013	2013	645	n.d.	50 à 99
PRISMAD	MONTAUBAN	82000	01 81 08 00 10	80504230-00017	02/11/2018	RHONATEC INDUSTRIES	7210Z	Recherche-développement en autres sciences physiques et naturelles	477	2017	-36	513	6 à 9
PROWAYS GROUP	PARIS	75002		80101873-00015	08/03/2018	MIT RAPHAEL GORGE	6420Z	Activités des sociétés holding	1702	2018	801	901	250 à 499
SAS 3DCERAM SINTO	LIMOGES	87280	05 55 04 10 90	435265698-00042	03/04/2005	CHAPU J CHRISTOPHE AND GANGLION RICHARD	2344Z	Fabrication d'autres produits céramiques à usage technique	3392	2017	-127	2084	10 à 19
SCULPTEO	VILLEJUIF	94800	01 46 42 67 76	51407 654-00041	16/09/2013	SCULPTEO	5829C	Edition de logiciels applicatifs	1080	2014	-925	n.d.	20 à 49
SPARTACUS3D	HAGONDANGE	57300		80248972-00032	22/05/2018	FARIMA	7112B	Ingénierie, études techniques	804	2018	445	359	3 à 5
VISIATV	CHARBONNIERE S LES BAINS	69260	04 78 87 29 29	395008246-00013	02/05/1998	VISIATV	5829B	Edition de logiciels outils de développement et de langages	16352	2018	2 607	13745	50 à 99
XTREE	RUNGIS	94150		817448780-00038	22/12/2019		7490B	Activités spécialisées, scientifiques et techniques diverses	1002	2018	n.d.	n.d.	n.d.
Z3DLAB	MONTMAGNY	95390		798110747-00018	03/01/2018		7112B	Ingénierie, études techniques	230	2016	58	120	3 à 5

Traitement Index/Presse. Sources : Dares

SOURCES UTILISÉES

- Albert Laurence, "L'impression 3D gagne peu à peu les PME", *lesechos.fr*, 11 avril 2018
- Albert Laurence, "3D Start PME, un programme sur mesure", *lesechos.fr*, 12 avril 2018
- Angel Marina, "AnatomikModeling apporte le sur-mesure à la chirurgie thoracique", *L'Usine Nouvelle*, 2 septembre 2017, p.26
- Angrand Antony, "MRO. L'impact à venir de la fabrication additive", *Air & Cosmos*, 14 octobre 2016, p.33-40
- Barthe Oscar, "Le marché de l'impression 3D personnelle de plus en plus porté sur la vente indirecte", *Distributique*, 17 février 2017
- Berthier Déborah, "Toujours plus grand et plus vite pour la fabrication additive", *Innovation Review*, novembre 2016, p.14-18
- Boiron Agnès, "Le centre culinaire contemporain de Rennes se lance dans l'impression 3D", *RIA*, avril 2017, p.38
- Canteneur Pauline, "Impression 3D, simple gadget ou révolution de l'industrie", *atelier.bnpparibas/*, août 2016
- Carronnier Vanessa, "Flacons, un concept gravé dans le verre", *Cosmétique magazine*, décembre 2015, p.54
- Caulier Sophy, "Optique-lunetterie: l'impression 3D favorise la créativité et la proximité", *lemonde.fr*, 2 mai 2016
- César Nicolas, "L'aquitain i2S met au point le premier scanner 3D pour dentition", *L'Usine Nouvelle*, 29 juin 2017, p.24
- Chaoui Ilyess, "Finalisation de nouvelles acquisitions", *investir.fr*, 5 avril 2018
- Combiér Étienne, "Grâce à l'impression 3D, Boeing va économiser 3 millions de dollars par avion", *lesechos.fr*, 12 avril 2017
- Combiér Étienne, "Pourquoi les imprimantes 3D peinent à décoller", *lesechos.fr*, 29 mai 2018
- Corot Léna, "Stelia Aerospace a imprimé en 3D un panneau de fuselage d'avion (et c'est une première mondiale)", *usinenouvelle.com*, 21 février 2018
- Couto Alexandre, "Addup étoffe son offre technologique dans le domaine de la fabrication additive métal", *Industrie & Technologies*, 19 juin 2018
- Couto Alexandre, "La chirurgie lorgne du côté de l'impression 3D", *Plastiques et caoutchoucs magazine*, janvier 2016, p.34
- D'Aveni Richard, "La révolution de l'impression 3D", *Harvard business review*, février-mars 2016, p.28-37
- De Matharel Lélia, "Sculpteo produit en impression 3D", *usine-digitale.fr*, 15 octobre 2014
- De Véricourt Muriel, "Impression 3D. La technologie gagne en maturité", *Industrie & Technologies*, octobre 2017, p.24-38
- Detroy Florent, "Stratasys: acquérir pour rester innovant", *Innovation Review*, juin 2016, p.28-30
- Dignan Larry, "3D Systems vise les marchés verticaux avec le rachat de Vertex", *zdnnet.fr*, 20 avril 2017
- Dupont-Calbo Julien, "Michelin et Fives s'offrent une pépite française de l'impression 3D", *lesechos.fr*, 16 juin 2018
- Dureuil Aurélie, "L'impression 3D prend forme", *Pharmaceutiques*, juin 2017, p.68-70
- Faure Bernard, "Mettons un peu de 3D dans l'industrie aéronautique", *lesechos.fr*, 30 novembre 2016
- Faure Bernard, "Traditionnel et spécialisé: les deux visages de l'impression 3D", *lesechos.fr*, 27 juin 2018
- Fleitour Gaëlle, "Le numérique et la 3D sont un nouveau monde pour l'optique", *usine-digitale.fr*, 6 juillet 2015
- Gaignon Richard, "L'Additive Manufacturing: en route pour la 4^e révolution?", *lesechos.fr*, 22 janvier 2017

SOURCES UTILISÉES

- Garreau Marion, "Quatre regards sur la métrologie 4.0", *L'Usine Nouvelle*, 12 octobre 2017, p.42-43
- Georges Benoît, "Quelles stratégies pour l'impression 3D?", *lesechos.fr*, 24 mars 2015
- Goyon Marie, "L'obsolescence déprogrammée: prendre le parti des choses pour prendre le parti des hommes", *Techniques & Culture*, 2016
- Grandmontagne Yves, "L'impression 3D doit intégrer la chaîne de production par l'automatisation", *IT Social*, 2 mars 2018
- Guilhem Jean, "Addimadour: objectif grandes structures", *Air & Cosmos*, 21 juillet 2017, p.16-17
- Guilhem Jean, "Fabrication additive pour APU et turbines", *Air & Cosmos*, 13 janvier 2017, p.30
- Guilhem Jean, "Initial se lance dans les séries", *Air & Cosmos*, 24 novembre 2017, p.17
- Guimard Emmanuel, "Naval Group et Centrale Nantes impriment une pale d'hélice en 3D", *lesechos.fr*, 28 juin 2018
- Haehnsen Erick, "Mecachrome: des brevets pour peser dans la négociation", *lesechos.fr*, 19 juin 2018
- Houzelle Chantal, "Prodways veut lever jusqu'à 52,3 millions en impression 3D", *lesechos.fr*, 26 avril 2017
- Houzelle Chantal, "Sculpteo, pionnier de l'impression 3D, prend forme aux États-Unis", *lesechos.fr*, 4 septembre 2017
- Lambic Romain, "Des moules imprimés en 3D", *Plastiques et caoutchoucs magazine*, juin 2017, p.51
- Lamigeon Vincent, "Prodways, le phénomène français de l'impression 3D qui a séduit Safran", *challenges.fr*, 26 avril 2017
- Leclerc Floriane, "Il donne vie à l'impression 3D!", *Industrie & Technologies*, février 2018, p.4-5
- Lecompte-Boinet Guillaume, "Il répare les moteurs par impression 3D", *Industrie & Technologies*, mars 2015, p.4-5
- Lefevre Gaëtan, "La fabrication additive s'envole", *a3dm-magazine.fr*, 12 décembre 2017
- Lefevre Gaëtan, "3D Start PME, un programme d'aides aux entreprises", *a3dm-magazine.fr*, 6 juin 2018
- Lefevre Gaëtan, "A3DM Les tendances en fabrication additive pour 2018", *a3dm-magazine.fr*, 23 mars 2018
- Lefevre Gaëtan, "BASF acquiert le fabricant de matériaux de fabrication additive Advanc3D Materials", *a3dm-magazine.fr*, 5 juillet 2018
- Lefevre Gaëtan, "Fabrication additive. Le paysage réglementaire pour 2017", *a3dm-magazine.fr*, 28 février 2017
- Lefevre Gaëtan, "Fabrication additive. Quelles solutions pour les entreprises?", *a3dm-magazine.fr*, 26 février 2016
- Lefevre Gaëtan, "Joallerie et fabrication additive. Rencontre avec Julien Bernard, designer industriel du groupe 3DS", *a3dm-magazine.fr*, 11 octobre 2017
- Lefevre Gaëtan, "L'aéronautique confirme sa prédominance comme secteur vertical des applications de fabrication additive", *a3dm-magazine.fr*, 30 juin 2017
- Lefevre Gaëtan, "L'importance croissante de l'impression 3D dans le secteur médical", *a3dm-magazine.fr*, 29 août 2016
- Lefevre Gaëtan, "Le médical de plus en plus 'additif'", *a3dm-magazine.fr*, 5 décembre 2017
- Lefevre Gaëtan, "Nouveau partenariat de Stratasys avec Dassault Systèmes", *a3dm-magazine.fr*, 14 février 2017
- Lefevre Gaëtan, "Rencontre avec Kimya, anciennement Armor 3D", *a3dm-magazine.fr*, 12 juin 2018
- Lefevre Gaëtan, "Yuniku, une révolution dans le secteur de l'optique", *a3dm-magazine.fr*, 14 décembre 2016

SOURCES UTILISÉES

Levin Marie-Juliette, "Atol, un regard neuf sur l'optique", *Relation Client Magazine*, avril 2018, p.24-25

M. Alex, "20 start-up françaises qui misent sur l'impression 3D", *3dnatives.com*, 14 juin 2018

M. Alex, "Le joaillier American Pearl annonce avoir doublé ses ventes grâce à l'impression 3D", *3dnatives.com*, 13 décembre 2013

Magistrelli Giorgio, "Les nouveaux matériaux en fabrication additive", *a3dm-magazine.fr*, 26 juin 2018

Magistrelli Giorgio, "Intégration ou sous-traitance: un enjeu pour les PME", *a3dm-magazine.fr*, 7 juin 2018

Maire Sébastien, "Aéronautique: l'avenir du secteur passera par l'innovation et la transformation digitale", *lesechos.fr*, 13 décembre 2017

Marcaillou Laurent, "Impression 3D: Prodways complète ses prestations avec AvenAo", *lesechos.fr*, 17 novembre 2017

Medioni David, "Le luxe fait impression 3D", *Stratégies*, 8 décembre 2016, p.50-51

Melocik Cathy, "The Future in 3D, A conversation with Richard D'Aveni, the Bakala Professor of Strategy", *Tuck School of Business*, 7 février 2018

Mérigaud Corinne, "Le Limougeaud 3D Ceram veut révolutionner l'impression 3D", *L'Usine Nouvelle*, 2 mars 2017, p.24

Monomakhoff Béatrice, "Z3DLAB, start-up valdoisienne", *lalettredeentreprise.com*, 18 août 2017

Moragues Manuel, "L'impression 3D à la conquête des usines", *L'Usine Nouvelle*, 8 juin 2017, p.31-43

Mouratoglou Patrick, "L'impression 3D à la conquête du grand public", *lesechos.fr*, 7 décembre 2014

Moutot Anaïs, "Les espoirs déçus des leaders de l'impression 3D", *lesechos.fr*, 4 juin 2016

Niedercorn Frank, "L'impression 3D veut imiter la nature", *lesechos.fr*, 13 décembre 2016

Parisot Frédéric, "Impression 3D: baisse d'intérêt du grand public", *usine-digitale.fr*, 28 janvier 2016

Parisot Frédéric, "L'impression 3D est un enjeu majeur pour la France", *usinenouvelle.com*, 11 octobre 2016

Parisot Frédéric, "L'impression 3D prend le pouvoir", *L'Usine Nouvelle*, 28 janvier-3 février 2016, p.28-41

Parisot Frédéric, "Sous-traitant en impression 3D, une position délicate", *usinenouvelle.com*, 17 septembre 2015

Petch Michael, "Terry Wohlers on the 2018 Wohlers report, explosive growth in 3D printing", *3D Printing Industry*, 4 avril 2018

Petitdémange Amélie, "GRYP et AnatomikModeling innove dans la pièce auto et la chirurgie", *lesechos.fr*, 15 mai 2018

Protais Marine, "3D Systems réduit ses pertes et mise sur l'impression 3D pour la production", *usinenouvelle.com*, 2 mars 2017

Protais Marine, "Avec Valla, Visiativ se met au prototypage rapide", *usinenouvelle.com*, 9 novembre 2017

Protais Marine, "Biomodex imprime nos organes", *L'Usine Nouvelle*, 5 octobre 2017, p.30

Protais Marine, "Comment HP entend tirer parti de l'industrie 4.0", *usinenouvelle.com*, 25 mai 2018

Protais Marine, "EAC imprime le luxe en 3D", *L'Usine Nouvelle*, 22 février 2018, p.9-10

Protais Marine, "Eos accélère sur l'impression 3D plastique industrielle", *usinenouvelle.com*, 8 septembre 2017

Protais Marine, "Il n'existe pas encore de marché de l'impression 3D en France", *usinenouvelle.com*, 30 mars 2018

SOURCES UTILISÉES

- Protais Marine, "La réparation par impression 3D, modèle d'affaires à creuser pour les Fablabs", *usinenouvelle.com*, 28 juin 2017
- Protais Marine, "Le Cetim publie une cartographie de la recherche française en fabrication additive", *usinenouvelle.com*, 30 juin 2017
- Protais Marine, "Le marché de l'impression 3D va quadrupler d'ici 2020 selon Deloitte", *usinenouvelle.com*, 3 janvier 2017
- Protais Marine, "L'État dévoile sa stratégie pour favoriser l'impression 3D", *usinenouvelle.com*, 21 mars 2017
- Protais Marine, "L'Impression 3D métal s'emballe", *L'Usine Nouvelle*, 10 mai 2018, p.40-42
- Protais Marine, "L'impression 3D s'immisce chez Latécoère", *L'Usine Nouvelle*, 29 mars 2018, p.56
- Protais Marine, "Poietis reconstitue de la peau humaine", *L'Usine Nouvelle*, 15 février 2018, p.28
- Protais Marine, "Pourquoi Add-up rachète BeAM", *usinenouvelle.com*, 15 juin 2018
- Protais Marine, "Saturne Technology s'empare de la fabrication additive au Bourget", *usinenouvelle.com*, 25 juin 2017
- Protais Marine, "Sculpteo industrialise l'impression 3D", *usinenouvelle.com*, 8 juillet 2018
- R. Mélanie, "Biomodex imprime en 3D des organes pour améliorer la simulation chirurgicale", *3dnatives.com*, 26 avril 2017
- R. Mélanie, "Comment démocratiser l'impression 3D: rencontre avec le fabricant BQ", *3dnatives.com*, 13 février 2018
- R. Mélanie, "Impression 3D et construction: un marché en plein essor", *3dnatives.com*, 24 janvier 2018
- R. Mélanie, "Impression 3D et crowdfunding: des risques à ne pas négliger", *3dnatives.com*, 19 juillet 2017
- R. Mélanie, "La fabrication additive aérospatiale en pleine croissance", *3dnatives.com*, 12 avril 2018
- R. Mélanie, "L'automatisation de l'impression 3D, un marché estimé à \$11,2 milliards", *3dnatives.com*, 22 février 2018
- R. Mélanie, "Les start-up 3D qu'il ne fallait pas manquer en 2017", *3dnatives.com*, 21 décembre 2017
- R. Mélanie, "L'impression 3D de verre s'accélère grâce aux chercheurs du LLNL", *3dnatives.com*, 8 mai 2017
- R. Mélanie, "L'impression 3D en France, un secteur qui recrute", *3dnatives.com*, 29 mars 2018
- R. Mélanie, "L'impression 3D pourrait supprimer 25 % du commerce mondial", *3dnatives.com*, 10 octobre 2017
- R. Mélanie, "Quelles prévisions pour la fabrication additive en 2022?", *3dnatives.com*, 13 septembre 2017
- R. Mélanie, "Une imprimante 3D pour Apple en 2018", *3dnatives.com*, 22 janvier 2018
- R. Mélanie, "Vers une augmentation des salaires dans l'impression 3D", *3dnatives.com*, 27 février 2018
- Raynal Juliette, "L'impression 3D: un marché mondial à plus de 35 milliards de dollars en 2020", *Industrie & Technologies*, 31 août 2016
- Rousselle Laurent, "L'imprimante hybride de 3DCeram", *L'Usine Nouvelle*, 14 décembre 2017, p.54
- Serraz Gabrielle, "Tornier-Wright va fabriquer des épaules en 3D", *lesechos.fr*, 26 juin 2018
- Thibert Julien, "Valla: l'industrie du futur s'imaginer à Villeurbanne", *le-tout-lyon.fr*, 20 novembre 2017
- Verdier François, "L'impression 3D ouvre un champ du possible", *Logistiques Magazine*, mai 2017, p.24-27

SOURCES UTILISÉES

Wolff Ilene, "Additive Manufacturing Reaches Production Scale or Medical", *Advanced Manufacturing*, 5 juillet 2018

"Additive Manufacturing, Make or Buy?", *Ampower sights*, octobre 2017

"Additive Manufacturing. A game changer for the manufacturing industry?", *rolandberger.com*, novembre 2013

"AddUp et Sogclair créent une joint-venture dédiée à la fabrication additive pour l'aéronautique", *primante3d.com*, 22 juin 2017

"AnatomikModeling et les implants 3D sur mesure", *3dnatives.com*, 2 novembre 2017

"Bijouterie: le marché de l'impression 3D estimé à 900 millions de dollars!", *primante3d.com*, 14 mars 2017

"Boulangier lance une plateforme d'impression 3D pour pièces détachées", *primante3d.com*, 2 juin 2016

"Carmat, le développement du cœur artificiel se poursuit", *Investir-Le Journal des finances*, 18 novembre 2017, p.14

"Cartographie des acteurs clés de la R&D en fabrication additive", *industrie-dufutur.org*, mai 2017

"[CES 2017] Qui sont les leaders mondiaux du marché de l'impression 3D?", *lsa-conso.fr*, 5 janvier 2017

"Comment 3D Systems imprime sa marque", *Enjeux Les Échos*, juin 2014, p.66-69

"Dassault Systèmes lance sa marketplace en ligne", *capital.fr*, 1^{er} février 2018

"Du côté des régions les initiatives se multiplient", *usinenouvelle.com*, 29 mai 2018

"Encourager la réparation via l'utilisation de l'impression 3D et des espaces de fabrication numériques: état des lieux et pistes d'action", *Ademe*, juin 2017, p.1-185

"EOS dévoile une nouvelle imprimante 3D industrielle développée avec Boeing", *primante3d.com*, 24 avril 2018

"État des lieux et typologie des ateliers de fabrication numérique - Rapport final", *Direction générale des entreprises (DGE)*, avril 2014

"Fabrication additive: 15 acteurs reconnus pour leur expertise", *usinenouvelle.com*, 29 mai 2018

"Fabrication additive: préparer l'industrie de demain", *usinenouvelle.com*, 29 mai 2018

"Fabrication additive: publi-dossier", *L'Usine Nouvelle*, 1^{er} juin 2016, p.1-11

"Fabrication additive, faut-il investir tout de suite?", *Air & Cosmos*, 28 avril 2017, p.18-23

"Fabrication additive. Les imprimantes 3D, esquisses des usines du futur", *Le Nouvel économiste / The Economist*, 14 juillet 2017, p.1-3

"Feuille de route. Fabrication additive, version préliminaire", *Alliance Industrie du Futur*, 25 novembre 2016, p.1-32

"Forte évolution de la fabrication additive/impression 3D à l'horizon 2022-2025", *AddFab*, avril 2018, p.1-3

"Francéclat réalise 10 bijoux en or directement imprimés en 3D", *primante3d.com*, 13 octobre 2017

"French start-up in additive manufacturing / 3D printing", *Bpifrance*, janvier 2018

"Futur de la fabrication additive: focus sur les alliages d'aluminium", *Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame)*, janvier 2017, p.1-53

"Futur de la fabrication additive: focus sur les matériaux métalliques hors aluminium", *Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame)*, janvier 2017, p.1-69

"Futur de la fabrication additive: synthèse", *Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame)*, janvier 2017, p.1-36

SOURCES UTILISÉES

- "Gemmyo, business gagnant pour la joaillerie 2.0!", *HEC Hommes et commerce*, novembre 2016, p.22-25
- "Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025", *Frost & Sullivan*, mai 2016, p.1-61
- "IM-Meca: le témoignage d'une PME qui mise sur l'impression 3D", *primante3d.com*, 12 mai 2015
- "Impression 3D: le segment pro tire le marché", *zdnat.fr*, 17 juillet 2017
- "Impression 3D: un marché toujours en croissance", *blog-idcfrance.com*
- "Jwel District: le joaillier qui imprime vos bijoux 3D", *primante3d.com*, 21 août 2014
- "L'effervescence... et la nécessité d'expertise", *usinenouvelle.com*, 13 juin 2017
- "L'impression 3D va-t-elle révolutionner le secteur de la santé et son business model? Focus sur la chirurgie, la bio-impression et les médicaments", *Alcimed*, 23 février 2016
- "L'impression 3D, un marché de 35,4 milliards de dollars en 2020", *usine-digitale.fr*, 29 août 2016
- "Lattice Medical: l'impression 3D au service de la reconstruction mammaire", *primante3d.com*, 12 juillet 2018
- "Le Big business de la réalité augmentée et de l'impression 3D", *Entreprendre*, janvier 2018, p.89-92
- "Le grand boom de l'impression 3D métallique", *lesechos.fr*, 8 juin 2018
- "Le guide des technologies de l'industrie du futur", *industrie-dufutur.org*, mars 2018
- "Le marché de l'impression 3D estimé à 12 milliards de dollars en 2018!", *infobourg.fr*, 11 janvier 2018
- "Le site Jweel veut démocratiser la création de bijoux", *3dnatives.com*, 8 avril 2014
- "Les acteurs de la fabrication additive se donnent rendez-vous à Paris-Saclay", Communiqué de presse, 13 juin 2018
- "Les dépenses européennes en matière d'impression 3D ont été estimées à 3,6 milliards de dollars en 2017", *developpez.com*, 15 juillet 2018
- "Les industriels ouvrent eux aussi des centres de ressources", *usinenouvelle.com*, 29 mai 2018
- "Les nouveaux matériaux en fabrication additive bouleversent la chaîne de la valeur", *Alcimed*, 28 février 2017
- "Les sociétés Sogclair et AddUp créent PrintSky", Communiqué de presse, 20 juin 2017
- "L'impression 3D: 13000 t de matériaux plastiques en 2019", *Plastiques flash journal*, septembre 2015, p.11
- "L'impression 3D au service de la dentisterie", *3dnatives.com*, 7 mars 2017
- "L'impression 3D au service de l'industrie", *Innovation Review*, septembre 2016, p.26
- "L'Impression 3D endoscopique, futur de la médecine régénérative?", *3dnatives.com*, 22 janvier 2018
- "L'impression 3D, en pleine croissance, veut conquérir les PME", *challenges.fr*, 3 mars 2018
- "L'impression 3D, en pleine croissance, veut conquérir les PME", *lepoint.fr*, 31 mars 2018
- "Loiretech lance son usine du futur à Nantes", *lesechos.fr*, 30 octobre 2017
- "LuXeXcel se lance dans l'impression 3D d'optiques à la demande", *3dnatives.com*, 2 mars 2015
- "Marché de l'impression 3D: les 10 chiffres clefs à retenir", *3dnatives.com*, 23 mai 2018
- "Medical Additive Manufacturing/3D Printing: Annual Report 2018", *SME*, 2018, p.1-54
- "Medicrea reçoit l'homologation de ses implants imprimés en 3D", *3dnatives.com*, 28 novembre 2015
- "Obsidian, une nouvelle imprimante 3D sur Kickstarter pour \$99", *3dnatives.com*, 28 juillet 2017

SOURCES UTILISÉES

"Prodways Group présentera sa chaîne numérique impression 3D complète sur le salon Global Industrie de Paris", Communiqué de presse, 7 mars 2018

"Prodways s'associe avec Cerhum pour renforcer son offre céramique et développer l'impression 3D", *ICV Industrie céramique*, décembre 2016, p.10

"Rencontre avec Fives Michelin Additive Solutions (AddUp) et sa solution de fabrication additive métallique", *primante3d.com*, 20 février 2017

"Spring and Wonder, des bijoux sur-mesure imprimés en 3D", *3dnatives.com*, 22 juin 2018

"TOP 10 des bijoux imprimés en 3D", *3dnatives.com*, 9 janvier 2018

"TOP 15 des imprimantes 3D les moins chères", *3dnatives.com*, 28 novembre 2017

"Tous les marchés qui s'en sortent, s'en sortent par l'innovation", *L'Essentiel de l'optique*, janvier 2015, p.6-7

"Un œil artificiel imprimé en 3D en Corée du Sud", *3dnatives.com*, 11 juillet 2018

"Visiativ s'empare de Valla", *usinenouvelle.com*, 12 avril 2018

SOURCES UTILISÉES POUR LA MISE À JOUR 2020

Angel Marina, "eMotion Tech lance une imprimante 3D professionnelle", *L'Usine Nouvelle*, 9 mai 2019, p.20

Angel Marina, "Fabrication additive: les plateformes technologiques d'Occitanie et de Nouvelle Aquitaine unissent leurs forces", *industrie-techno.com*, 16 octobre 2019

Blanc Arnaud, "Les 4 tendances qui marqueront 2019 selon Deloitte", *Les Clés de la presse*, 29 janvier 2019, p.2-3

Bloch Raphaël, "Carbon, la star de l'impression 3D qui affole les compteurs", *lesechos.fr*, 27 avril 2019

Buyse Nicole, "Lattice Medical réunit 2,3 millions pour ses bioprothèses mammaires", *lesechos.fr*, 13 novembre 2018

Clemens Monique, "Alliance se lance dans l'impression 3D de pièces en métal", *lesechos.fr*, 17 juin 2019

Garnier Claire, "Arkema inaugure à Serquigny une unité d'excellence pour l'impression 3D", *usinenouvelle.com*, 15 novembre 2019

Garnier Claire, "Arkema ouvre un centre mondial d'impression 3D en Normandie", *lesechos.fr*, 20 novembre 2019

Guimard Emmanuel, "L'impression 3D cherche sa place dans l'usine du futur", *lesechos.fr*, 29 septembre 2019

Hoguin Sophie, "Le marché mondial de la fabrication additive métallique explose", *techniques-ingénieur.fr*, 23 octobre 2019

James Olivier, "Safran se fait désirer", *L'Usine Nouvelle*, 21 mars 2019, p.52-53

Lambic Romain, "Impression 3D - Airbus s'équipe chez Ultimaker", *Plastiques et caoutchoucs magazine*, avril 2019, p.24

Lefevre Gaëtan, "Marie Langer est nommée PDG d'EOS GmbH", *a3dm-magazine.fr*, 14 octobre 2019

Lefevre Gaëtan, "Rencontre avec Luc Romano, CEO de Rapid Manuf", *a3dm-magazine.fr*, 24 juillet 2019

Magistrelli Giorgio, "La fabrication additive dans le monde", *a3dm-magazine.fr*, 19 novembre 2019

Magistrelli Giorgio, "La fabrication additive trace sa route", *a3dm-magazine.fr*, 9 novembre 2018

McCue TJ, "Significant 3D Printing Forecast Surges To \$35.6 Billion", *forbes.com*, 27 mars 2019

SOURCES UTILISÉES

- Navas Christiane, "Volumic crée une imprimante 3D compatible avec 50 matériaux", *lesechos.fr*, 3 décembre 2019
- Niedercorn Frank, "Tridi Foodies industrialise l'impression 3D des aliments", *lesechos.fr*, 5 juillet 2019
- On Dinhill, "L'impression 3D dope le marché des polymères", *Info Chimie magazine*, décembre 2018, p.24-29
- Perrin d'Arloz Fanny, "Impression 3D - à chacun sa stratégie", *Plastiques et caoutchoucs magazine*, avril 2019, p.30-31
- Planus Anthony, "La start-up belge qui veut révolutionner l'impression 3D médicale", *Trends*, 26 septembre 2019, p.60
- Protais Marine, Charbonnier Vincent, Désavie Patrick, Garreau Marion, Guimard Emmanuel, "A l'assaut de l'usine du futur", *L'Usine Nouvelle*, 15 mars 2018, p.38-42, 44, 46-48, 50, 52-60, 62-72, 74-77
- Protais Marine, "Dans 40 ans, les fab labs seront omniprésents selon Neil Gershenfeld, l'inventeur du concept", *usinenouvelle.com*, 14 juillet 2018
- R. Melanie, "Quelles tendances pour les ventes d'imprimantes 3D industrielles en 2019", *3dnatives.com*, 6 mai 2019
- R. Melanie, "TOP 15 des imprimantes 3D les moins chères", *3dnatives.com*, 3 décembre 2018
- R. Melanie, "Angel Trains et Stratasys, un partenariat pour développer la fabrication additive ferroviaire", *3dnatives.com*, 12 décembre 2018
- R. Melanie, "3D Systems poursuit son expansion en Europe avec un nouveau centre de fabrication additive", *3dnatives.com*, 18 avril 2019
- R. Melanie, "HP a imprimé plus de 10 millions de pièces l'année dernière", *3dnatives.com*, 3 avril 2019
- R. Melanie, "Prodways équipe l'armée de Terre française de deux imprimantes 3D", *3dnatives.com*, 29 mai 2019
- R. Melanie, "Recrutement dans l'impression 3D : quelles sont les grandes tendances ?", *3dnatives.com*, 22 mai 2019
- Virol Gauthier, "L'impression 3D, nouvel outil du bâtiment", *L'Usine Nouvelle*, 9 mai 2019, p.40-41
- Virol Gauthier, "Le spécialiste de l'impression 3D Prodways affiche des résultats 2018 dopés par les acquisitions", *usinenouvelle.com*, 28 février 2019
- Virol Gauthier, "Production en série robotisée", *usinenouvelle.com*, 21 mars 2019, p.30
- Virol Gautier, "Prodways automatise la fabrication des gouttières dentaires", *usinenouvelle.com*, 13 mars 2019
- "Impression 3D : 13,8 milliards de dollars de dépenses prévues en 2019", *bpi france.fr*, 17 janvier 2019
- "La fabrication additive s'impose comme moyen de production : publi-dossier", *L'Usine Nouvelle*, 30 mai 2019, p.49-65
- "Le marché des filaments d'impression 3D en pleine croissance", *3dnatives.com*, 19 juin 2018
- "Les verres correcteurs en impression 3D sont désormais commercialisables", *acuite.fr*, 26 février 2019
- "Quelles tendances pour les ventes d'imprimantes 3D industrielles en 2019", *3dnatives.com*, 6 mai 2019
- "Wohlers Report 2019 : la croissance des matériaux d'impression 3D", *3dnatives.com*, 27 mars 2019

LEXIQUE

- **Ancillaire**

Instrument de chirurgie mesurant avec précision les angles et les distances pour aider à la pose des implants.

- **Conformal cooling**

Technique qui s'applique lors la fabrication de pièces par moulage, en plasturgie ou en fonderie. Elle utilise des moules pourvus des canaux creux de formes complexes, permettant d'évacuer la chaleur plus uniformément et de gagner du temps sur le refroidissement des pièces. L'impression 3D est utilisée pour fabriquer ce type de moules.

- **Design for additive manufacturing (DFAM)**

Ensemble de bonnes pratiques visant à concevoir un produit spécialement pour la fabrication additive.

- **Extrusion**

Procédé de fabrication en métallurgie et en plasturgie qui permet des hautes cadences continues pour fabriquer des produits longs (tubes, tuyaux) et/ou plats (plaques, feuilles, films). Il consiste à forcer le matériau brut, chauffé ou non, à traverser un ou plusieurs "trous" ayant la forme de la pièce à obtenir.

- **Fab lab (*fabrication laboratory*)**

Lieu ouvert donnant un accès libre à des outils et des machines très variés pour la conception et la réalisation d'objets de toutes sortes.

- **Fabrication additive**

Vocabulaire industriel pour désigner l'"impression 3D", qui recouvre tous les procédés permettant de fabriquer une pièce par ajout de matière. Le matériau (plastique, métal ou autre), fondu ou

sous forme liquide, est déposé par couches successives empilées qui refroidissent et durcissent rapidement.

- **Fusion sur lit de poudre**

Technologie d'impression 3D pour le métal, dans laquelle un faisceau d'énergie fait fondre localement une poudre métallique déposée couche par couche sur un "fond".

- **Modélisation pour l'impression 3D**

Technique d'infographie visant à reproduire sous forme d'image 3D l'objet qui sera ensuite imprimé en 3D.

- **Moulage par injection thermoplastique**

Technique la plus utilisée en plasturgie, qui consiste à injecter du plastique fondu dans un moule pour obtenir une pièce après refroidissement.

- **Outils, outillage**

Équipement des machines utilisées par une entreprise pour produire les pièces finies. Il s'agit notamment des moules en métal, utilisés en plasturgie et en métallurgie, qui sont de plus en plus souvent imprimés en 3D. L'outil est un industriel spécialisé dans leur fabrication.

- **Photopolymère**

Matière plastique qui se déforme, fond ou ramollit sous l'effet de la lumière. Les photopolymères, sous forme de poudre, sont utilisés comme matériaux d'impression 3D.

- **Plateforme numérique**

Plateforme virtuelle servant d'intermédiaire dans l'accès à des produits ou des services fournis par des tiers.

- **Prototypage rapide**

Étape de la conception de produits qui consiste à fabriquer des objets de représentation intermédiaire (maquettes ou préséries) à partir de modèles 3D numériques, rapidement et à bas coût, tout en permettant de faire des formes complexes. L'impression 3D est la méthode la plus employée pour cette étape.

- **Stéréolithographie**

Technique de prototypage rapide, ancêtre de l'impression 3D, qui permet de fabriquer un objet à partir d'un fichier numérique, par superposition de tranches fines de matière

- **Thermoformage**

Technique de plasturgie consistant à chauffer un matériau (souvent sous forme de plaque) pour le ramollir, puis à le mettre en forme grâce à un moule. Le matériau garde cette forme lorsqu'il refroidit. Troisième secteur le plus important de la plasturgie, derrière l'injection et l'extrusion.

- **Thermoplastique**

Matière plastique qui se ramollit ou fond lorsqu'elle est chauffée, puis durcit en refroidissant. Les thermoplastiques, sous forme de poudre ou de filaments, sont utilisés comme matériaux d'impression 3D.

La collection IndexPresse *Business Etude*

Comment accéder à des données fiables, pertinentes et surtout synthétisées, alors que l'information n'a jamais été aussi accessible en apparence ?

Voilà une question à laquelle sont confrontés quotidiennement les décideurs dans les entreprises lorsqu'il s'agit de prendre les bonnes décisions.

C'est pourquoi nous avons créé la collection **IndexPresse Business Etude**, des études sectorielles complètes, réalisées à partir des plus grands titres de la presse

économique et professionnelle. En s'appuyant sur des informations fiables et de qualité, les études d'IndexPresse offrent des synthèses analytiques et éclairées sur les secteurs d'activité émergents ou en mutation.

Vous aurez ainsi toutes les clés en main pour accompagner votre réflexion stratégique, en vous appuyant sur l'examen des enjeux de votre marché, afin d'anticiper ses évolutions et valider, ou modifier, votre positionnement dans le jeu concurrentiel.

IndexPresse *Business Etude*

Date de parution - octobre 2018.

Date de mise à jour - février 2020 (Ludovic FIORELLO et Alexandre JAILLON).



Nadine BRUEL

nadine.bruel@indexpresse.fr

Rédactrice

Étude rédigée en collaboration avec Arthur LEZER

et Lionel Fuster de la société VTDYM, pour la partie "Les brevets et tendances inventives"

Technologique et internationalisé, le marché mondial de l'impression 3D (ou fabrication additive) est dominé par des leaders mondiaux. Forte de quelques pépites reconnues, la filière française doit encore gagner en maturité pour se développer et atteindre son plein potentiel.

Quels sont les chiffres-clés et les caractéristiques du marché mondial et du marché français de l'impression 3D ? Quels sont les atouts de l'écosystème français ? Sur quels segments porteurs faut-il se positionner ? Quelles cibles faut-il viser ?

Cette étude apporte les éléments de réponse et de réflexion pour comprendre les enjeux et les perspectives du secteur, identifier les opportunités d'affaires, se positionner dans le jeu concurrentiel et s'inspirer des idées et des stratégies innovantes.

Photo de couverture : © Neïron Photo



IndexPresse

IndexPresse
19 rue René Thomas
38024 Grenoble cedex 1
Tél. 04 76 92 05 25
indexpresse@indexpresse.fr