

CHAPITRE 7

DÉVELOPPER UNE TECHNIQUE INNOVANTE : L'EXEMPLE DE LA FABRICATION ADDITIVE

Les premières techniques d'impression 3D sont apparues dans les années 80. Ces nouvelles technologies, qui permettent à partir d'un fichier numérique, de réaliser des objets par addition de matière, devaient être la nouvelle révolution industrielle. Certes, la croissance de ce secteur d'activité reste à deux chiffres depuis quelques années mais la fabrication additive ne permet pas, pour l'instant, de remplacer la totalité des technologies conventionnelles de production. Il est pour l'instant inenvisageable, notamment pour des questions de coût matière et de temps de réalisation, de produire de grandes séries. Cependant, les procédés de fabrication additive pour des objets en plastique ou métalliques se révèlent très intéressants dans certains domaines. En effet, leur facilité d'utilisation, l'absence d'investissement lourd dans un outillage, la possibilité d'une personnalisation à l'infini, en font des procédés idéaux pour les activités de prototypage et la production de pièces en petite série et à proximité du client.

REPÈRES



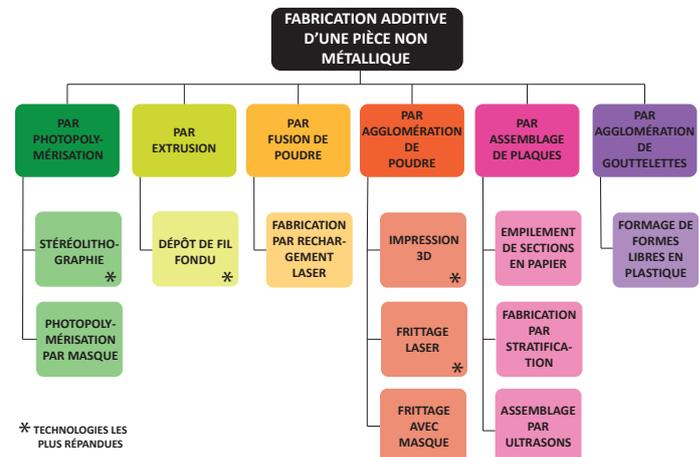
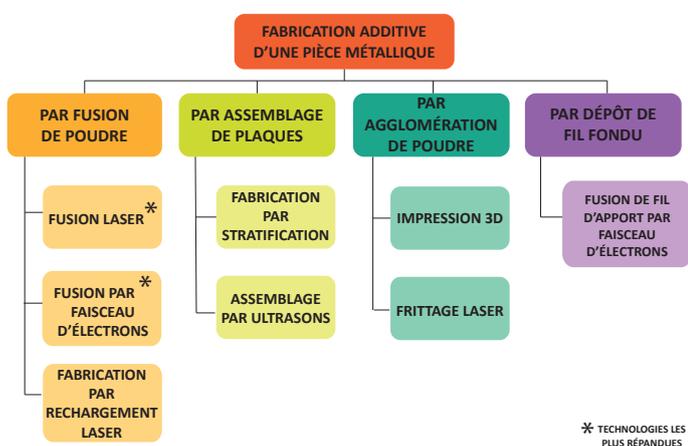
La Direccte Centre-Val de Loire

La Direccte a réalisé, en partenariat avec la CCI Centre-Val de Loire et l'appui du fab lab d'Orléans, une étude complète sur la fabrication additive à destination des acteurs économiques et des industriels. Cette étude, présentée en décembre 2014, fait ressortir les points importants de ces nouveaux procédés.

Quelle est la définition de la fabrication additive ?

Il existe une définition de la fabrication additive proposée dans la norme NF E 67-001, publiée en octobre 2011, qui avait pour objectif de fixer la terminologie de cette technologie. La fabrication additive est définie comme « l'ensemble des procédés permettant de fabriquer, couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique ». La fabrication additive s'oppose donc à la fabrication soustractive qui consiste à enlever de la matière à partir d'un bloc.

Il convient de distinguer deux grandes familles : la fabrication additive d'une pièce métallique et la fabrication additive d'une pièce non métallique. Les deux graphes ci-dessous détaillent l'ensemble des procédés.

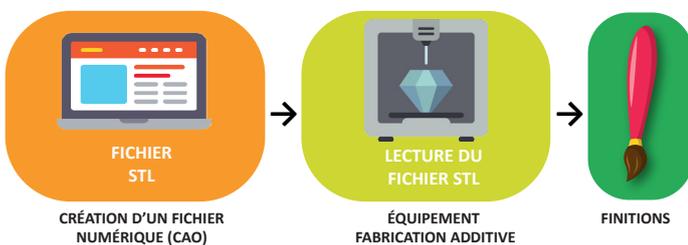


Quel est le processus de fabrication ?

Le processus de fabrication est linéaire et se décompose en trois grandes phases. Il s'agit, tout d'abord, de la conception numérique d'un objet à partir d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Le fichier créé est sauvegardé en format STL. Ce format décompose l'objet créé en points, arêtes et surfaces. Ce fichier est ensuite adapté à l'équipement de production en y incluant les paramétrages nécessaires (vitesse, trajectoire...).

Généralement, le logiciel permettant cette traduction est fourni avec la machine. Le produit brut peut ensuite, selon les besoins, passer plusieurs étapes de finition. Les principales sont :

- nettoyage, enlèvement des supports ;
- processus de polissage, sablage, grenailage ;
- usinage ;
- traitement thermique.



Quelles sont les perspectives de développement dans l'industrie ?

Il est certain que les perspectives de marché existent et se développent, notamment pour la réalisation de pièces de remplacement au plus près du client. Pour autant, l'opportunité pour une entreprise d'intégrer la fabrication additive n'est ni immédiate, ni évidente. Malgré l'enthousiasme technologique et la profusion d'informations qui l'accompagne, les industriels ne disposent pas forcément des données leur permettant d'estimer si le recours à la fabrication additive constitue une réelle opportunité économique.



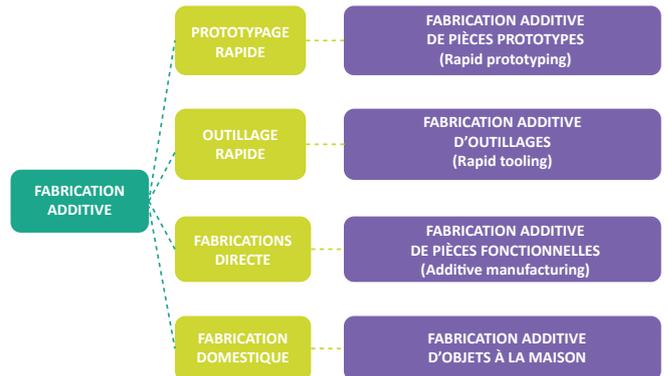
L'industrie est devenue le premier utilisateur de technologies de fabrication additive.



En termes de compétitivité, même si la réflexion doit être menée au cas par cas, selon notamment la forme de la pièce, sa taille, le matériau... la fabrication additive peut s'envisager jusqu'à des séries de 10 000 pièces plastiques et 1 000 pièces métalliques. Globalement, pour des séries plus importantes, cette technologie est aujourd'hui trop lente et non compétitive par rapport à la fabrication conventionnelle. La force indéniable de la fabrication additive reste dans la réalisation de petites séries, notamment de prototypes.

Quels sont les domaines d'utilisation de la fabrication additive ?

Il existe quatre grands domaines d'utilisation pouvant être classés comme suit :



L'industrie est devenue le premier utilisateur de technologies de fabrication additive, détrônant ainsi le secteur grand public/électronique. Dans l'industrie, quatre secteurs sont arrivés à maturité :

1. le médical/dentaire, qui produit à échelle industrielle ;
2. l'outillage, pour des productions industrielles à petite échelle ;
3. l'aéronautique, où la production sur ligne pilote a commencé ;
4. L'automobile, pour la fabrication de prototypes, de concept-cars et de pièces spécifiques (véhicules haut de gamme, sport automobile, pièces de rechange).



ZOOM OPTIMISATION TOPOLOGIQUE ET FABRICATION ADDITIVE

L'optimisation topologique consiste à trouver le rapport optimal entre la présence de matière et les contraintes mécaniques. Dans une pièce traditionnelle usinée ou issue d'un moule, de la matière inutile est présente. Désormais, de nombreux logiciels calculent et visualisent ces zones sans contraintes. Cependant, les procédés de fabrication traditionnelle ne permettent pas de les supprimer. L'utilisation de la fabrication additive rend alors possible la conception de pièces en incorporant cette optimisation. Le gain de poids espéré sur une pièce, en gardant bien sûr les mêmes caractéristiques mécaniques, peut aller au-delà de 80 %. L'industrie automobile qui fait la chasse aux grammes superflus dans un objectif de réduction de consommation s'intéresse bien sûr à ce champ d'innovation. De plus, l'économie de matière sur de grandes séries est un facteur intéressant. Cependant, le développement dans cette industrie se heurte aux limites de la fabrication additive, lente et encore onéreuse. Le secteur aéronautique, qui est aussi à la recherche d'économie de poids et qui n'est pas confronté à la production en très grande série, s'engage également dans cette réflexion à l'instar du secteur de la défense.

Quelles sont les forces et faiblesses de la fabrication additive ?

La fabrication additive propose plusieurs atouts majeurs. Le premier est la capacité à réaliser une pièce plastique ou métallique sans outillage coûteux. Le deuxième est la possibilité de personnaliser chaque objet en modifiant un fichier numérique. Enfin, un atout non négligeable pour des utilisations industrielles est le fait de stocker des données numériques à la place de pièces physiques. Cette possibilité constitue un axe de développement notamment pour les métiers de la maintenance et la gestion des pièces de rechange. Les principales limites pour un développement industriel de la fabrication additive pour les grandes séries sont le temps de production d'une pièce et le coût de la matière. Le développement technique et la démocratisation de ce procédé devraient néanmoins permettre d'étendre progressivement son champ d'application.

Quelle est l'utilisation actuelle de la fabrication additive ?

L'utilisation et les perspectives varient selon les

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des délais de fabrication • Conception innovante et optimisée • Stockage de données numériques en remplacement de stock physique • Possibilités de réaliser en monobloc des pièces multimatières • Nouvelles possibilités de personnalisation • Réalisation de pièces de petites dimensions • Production sans développement d'outillage 	<ul style="list-style-type: none"> • Prix des machines élevés (pièces métalliques) • Productivité des machines encore trop faible • Utilisation de résines photosensibles vieillissant plus rapidement • Limite dimensionnelle des pièces • Reproductibilité à améliorer selon les process • Maîtrise de nouveaux outils numériques • Coût des matériaux utilisés
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> • Normalisation en cours d'élaboration • Validation réalisée sur des applications phares dans les domaines de l'aéronautique • Développement de nouveaux matériaux • Développement de machines hybrides (procédés additifs et soustractifs) • Démocratisation de la technologie • Augmentation des capacités de travail 	<ul style="list-style-type: none"> • Thématique encore peu intégrée au sein de l'enseignement initial • Propriété intellectuelle et industrielle avec utilisation d'un fichier numérique qui peut être dupliqué

secteurs d'activité. L'industrie aéronautique emploie la fabrication additive pour la production de pièces légères à géométrie complexe. Cette technologie peut notamment apporter des gains de masse et permettre la réalisation de pièces impossibles à obtenir en fabrication soustractive. Dans l'industrie automobile, la fabrication additive est utilisée principalement pour le prototypage rapide, et commence à l'être pour les moules. Incompatible avec la production en grande série, elle est alors utilisée sur des niches comme les véhicules de luxe, le sport automobile ou la réalisation de concept-car. D'autres secteurs comme le dentaire ou la cosmétique développent également son utilisation.



Cyrille Vue, Directeur, ERPRO et SPRINT

ERPRO est une PME créée en 1997 avec l'achat d'un premier équipement de fabrication additive. Fin 2004, l'investissement dans une machine de fabrication additive métallique permet de voir naître la société SPRINT. ERPRO est spécialisée dans les polymères et SPRINT dans la fabrication additive métallique.

TÉMOIGNAGE

Quel est le secteur d'activité d'ERPRO ?

Avec ERPRO, nous nous positionnons comme spécialistes de la fabrication additive. Pour nos clients, nous réalisons des maquettes, des prototypes et des préséries. ERPRO maîtrise de nombreuses technologies d'impression 3D comme la stéréolithographie, le dépôt de fils ABS, l'impression 3D couleur, le frittage de poudre polymère et possède des équipements complémentaires comme des centres d'usinage. Nous envoyons nos pièces à l'extérieur pour le traitement de surface et nous disposons d'un laboratoire de peinture qui nous permet de livrer des produits finis de haute qualité.

Quels sont les clients d'ERPRO ?

Nos clients proviennent de nombreux secteurs d'activités : automobile, aéronautique, médical, cosmétique, architecture, industrie, design, luxe... Pour de grands groupes aéronautiques comme Airbus ou Dassault, nous produisons des petites séries sur des quantités de quelques centaines de pièces. Pour l'automobile, nous réalisons des prototypes et des préséries. Nous concevons et fabriquons, par exemple, des outillages d'injection plastique par usinage ou fabrication additive. Nous avons également de nombreuses PME et des startups comme clients.

Quelles sont les interactions avec vos clients ?

Nous nous occupons de la production d'un objet de la conception à la finition. La plupart des clients conçoivent leur produit et nous apportons l'expertise de la fabrication additive. Imaginer une pièce qui sera réalisée en fabrication additive ouvre de nouvelles voies de conception, mais demande aussi un savoir-faire. Nous pouvons également faire du codéveloppement bien qu'il suffise de nous fournir un fichier 3D, voire un plan ou un croquis avec certaines informations comme la quantité souhaitée ou le type de finition, pour que nous puissions réaliser le projet.



Pour développer une production, il est alors plus judicieux de passer par un sous-traitant qui maîtrise un panel de solutions technologiques que d'acquérir en interne un seul équipement.



Quelles sont les caractéristiques des produits réalisés en fabrication additive ?

Les caractéristiques mécaniques sont équivalentes à celles d'un produit réalisé en fabrication soustractive. Dans le cas de la réalisation d'un outillage d'injection pour un moule de poignée de siège automobile, la durée de vie en fabrication additive sera la même qu'un outillage réalisé par usinage. Il est capable de produire plusieurs millions de pièces. La fabrication additive permet aussi la réalisation de formes que ne permet pas la fabrication soustractive. Par exemple, nous avons pu réaliser des canaux de refroidissement dans un moule de bouchon de rouge à lèvres impossibles à faire en fabrication soustractive. Enfin, en termes de finition, la fabrication additive permet la réalisation de produits finis de haute qualité. Une entreprise de luxe nous a, par exemple, confié récemment la réalisation de produits directement diffusés à leur client.

Quels sont selon vous les atouts et les inconvénients de la fabrication additive ?

Les atouts de la fabrication additive sont nombreux. Je citerai en premier lieu la possibilité de réaliser des pièces avec une géométrie complexe en combinant différentes fonctions. Ensuite, la fabrication additive permet une production de petite série en personnalisant la production. Il suffit de modifier un élément sur un fichier numérique pour avoir des séries identiques à un détail prêt. Enfin, et je pense que c'est un axe de développement, c'est la possibilité de réaliser des pièces de rechange à la demande, sans gestion d'outillages. Au sujet des inconvénients, ce sont des procédés qui ne sont pas adaptés à la production en grande série, car la technologie est trop lente et trop chère. Pour indication, le coût d'un kilo de matière pour de l'injection est de 5 euros contre 70 euros pour l'impression 3D. Cela cantonne, pour l'instant, la fabrication additive à des réalisations unitaires ou de petites séries.



ZOOM LE BOOM ATTENDU DES PIÈCES DE RECHANGE

La fabrication additive permet la réalisation de pièces multiples à partir d'un seul équipement. Un fichier numérique remplace effectivement un outillage coûteux. Il est donc normal que le domaine de la maintenance, et plus particulièrement celui de la gestion des stocks de pièces de rechange, s'intéresse à ces nouvelles technologies. Prenons par exemple le domaine de l'aéronautique : la maintenance des avions peut se faire, en partie, au gré des escales. Les compagnies ne peuvent bien sûr pas assurer actuellement une disponibilité de pièces sur l'ensemble des aéroports mondiaux. Des appareils sont donc régulièrement immobilisés en attente de la livraison d'une pièce de rechange. Or, l'immobilisation d'un appareil est la hantise des compagnies. Cette utilisation n'est, pour l'instant, qu'une hypothèse. Les normes aéronautiques sont telles qu'un nouveau procédé ne peut être adapté sans de fortes restrictions à un appareil volant. Un autre exemple est celui de la grande distribution. Le distributeur d'appareils électroménagers Boulanger a lancé en juin 2016 son site Internet « Happy 3D ». Sur ce site, les clients peuvent télécharger les fichiers de pièce de rechange de matériels vendus par l'enseigne. Vous avez cassé un bouton de votre cuisinière ou égaré une pièce de votre aspirateur ? Vous pouvez alors la reproduire chez vous en toute liberté. Le géant français du petit électroménager SEB teste aussi actuellement les techniques d'impression 3D sur 40 références, l'objectif étant de les remettre à des consommateurs qui réparent eux-mêmes leurs produits. Ceci devrait permettre de généraliser ce fonctionnement dès 2017. Le modèle économique de ces services reste à inventer. Cependant, la prise en compte de cette possibilité dans la conception de produits de grande consommation est un levier évident d'innovation.



© ERPRO&SPRINT

L'utilisation de la fabrication additive va-t-elle se développer ?

Il y a quelques années, on avait imaginé une démocratisation de l'impression 3D. Même si on observe une forte croissance de son utilisation, cette démocratisation grand public n'a pas eu lieu. Il en sera certainement de même pour la fabrication additive industrielle. Mon pronostic est que la production de pièces va continuer à se développer, mais en passant par des structures comme la nôtre. En effet, la fabrication additive est un ensemble de procédés qui répond à des exigences différentes pour des résultats différents. Pour développer une production, il est alors plus judicieux de passer par un sous-traitant qui maîtrise un panel de solutions technologiques que d'acquérir en interne un seul équipement. Cependant, ce secteur s'organise et se professionnalise. Des activités de normalisation sont en cours. Pour exemple, les acteurs de l'aéronautique développent leurs propres standards afin de valider des produits issus de la fabrication additive.

Pour finir, parlez-nous de la participation d'ERPRO et SPRINT aux Jeux Olympiques de RIO 2016 ?

En effet, nous avons réalisé sept guidons pour la Fédération française de cyclisme. Ils seront utilisés cet été à Rio lors des Jeux Olympiques 2016. Ce concept de guidon inédit, testé et approuvé par les cyclistes français, s'inspire de profils issus de l'aéronautique. Les guidons ont été imprimés en aluminium. La fabrication additive permet la réalisation d'un design qui allège considérablement les guidons. Cette technologie permet aussi de développer des objets personnalisés, adaptés à la morphologie de chaque athlète.



Philippe Balmas, Directeur, SMCT

SMCT est une PME basée à Saint-Nazaire. C'est une entreprise du pôle industrie du groupe HERVE. Ce groupe emploie 2 800 personnes en France. SMCT, quant à elle, emploie une cinquantaine de chaudronniers et ajusteurs expérimentés. Son secteur d'activité est le service aux industries aéronautiques. Elle est d'ailleurs certifiée EN9100.

TÉMOIGNAGE

Quelle est l'organisation de SMCT ?

SMCT a une organisation déclinée dans l'ensemble du groupe HERVE. Cette organisation est basée sur des business unit (ou équipe d'une quinzaine de personnes) qui bénéficient d'une forte autonomie. Nos équipes ont des activités différentes comme la soudure aéronautique, le calibrage de grandes pièces ou le rivetage sur avion. Basé sur l'organisation participative (au moins une réunion d'équipe par mois), ce management permet de développer une responsabilité individuelle. Chaque manager de business unit est responsable de son activité commerciale. Cette liberté permet une meilleure réactivité aussi bien concernant les dysfonctionnements internes que les opportunités commerciales.

Cela engendre-t-il aussi une organisation du travail différente ?

Bien sûr. Cette agilité managériale influence fortement notre organisation. Les équipes ont des objectifs annuels. Un contrat est décliné en heures de travail. L'entreprise reçoit une gamme avec un temps alloué. Les chaudronniers s'organisent alors pour répondre à l'ensemble du cahier des charges du client tout en respectant les délais. Ce système historique est bien ancré : nous avons très peu de turn-over. Si la commande est réalisée en moins de temps que prévu

par la gamme, le temps restant est à la disposition des salariés pour d'autres activités.

**Certains
chaudronniers utilisent
l'imprimante 3D pour réaliser
des éléments d'outillage pour
maintenir des pièces.**



Est-ce dans ce cadre qu'est utilisée votre imprimante 3D ?

Nous avons commencé à nous intéresser de près à la fabrication additive il y a deux ans. Le potentiel en termes de gain de réalisation d'outillages par exemple nous a fortement interpellés. Cependant, nous avons jugé l'investissement initial trop important pour un équipement de fabrication additive de pièces métalliques. Nous avons donc, dans un premier temps, prolongé cet intérêt par l'acquisition d'une imprimante 3D plastique. Cette imprimante est maintenant à la disposition des salariés. Ils peuvent l'utiliser librement en fonction de l'avancement de leur charge de travail. L'unique contrôle est le respect de notre charte informatique.

Les salariés se sont-ils appropriés ce nouvel équipement ?

Tout à fait. Les premières réalisations ont eu pour nature des objets personnels : coques de téléphone portable, pièces pour la pêche ou la moto... Le principal objectif est de faire monter en compétences un maximum d'opérateurs et de susciter la créativité. Nous

avons aujourd'hui des réalisations utilisées au sein de SMCT. Par exemple, certains chaudronniers utilisent l'imprimante 3D pour réaliser des éléments d'outillage pour maintenir des pièces. Certains outils de contrôle qualité, comme des calibres, sont maintenant en service dans les lignes de production.



CE QU'IL FAUT RETENIR

LES POINTS ESSENTIELS

- **La fabrication additive est l'ensemble des procédés permettant de fabriquer, couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique.**
- **Les avantages de la fabrication additive : conception innovante et optimisée notamment en termes de poids, suppression des stocks de matières premières, possibilités de personnalisation d'un produit, pas d'outillage nécessaire.**
- **Les inconvénients de la fabrication additive : temps de production unitaire élevé, coût des matériaux utilisés.**

La fabrication additive, popularisée auprès du grand public par les imprimantes 3D de pièces plastiques, est un ensemble de procédés de fabrication. À partir d'un fichier numérique, ces procédés permettent la réalisation couche par couche d'objets en plastique, en métal ou en céramique. Son utilisation dans le monde industriel reste encore restreinte. En effet, le coût de la matière et le temps de fabrication sont deux obstacles majeurs pour des productions en grande série. Cependant, la fabrication additive rend possible la production de pièces complexes sans outillage. Les opérations complémentaires de traitement et de finition sont semblables aux opérations utilisées dans la fabrication traditionnelle. Son utilisation pour des activités de prototypage ou de petites séries est en plein essor et tend à se démocratiser. De plus, la production à partir d'un fichier numérique permet la personnalisation d'une fabrication.



EN SAVOIR PLUS

-> « L'impression 3D, état des lieux et perspectives » Document réalisé en décembre 2014 par la DIRECCTE Centre en partenariat avec la CCI Centre.

-> « Fabrication additive. Mobiliser les forces françaises ». Document réalisé par trois élèves ingénieurs du corps des Mines (C.P. Astolfi, E.Constantin, A.Moulet) et publié par La Fabrique de l'industrie, 2016.

-> « État des lieux et typologie des ateliers de fabrication numérique, rapport final (Direction

Générale des Entreprises », avril 2014, F. Bottolier-Depois, B. Dalle, F. Eychenne, A. Jacquelin, D. Kaplan, J.Nelson, V. Routin).

-> « Impression 3D, de l'idée au produit », Alain Bernard, Professeur des Universités à l'École Centrale de Nantes, avril 2014.

-> « Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D », Avis du Conseil économique, social et environnemental sur le rapport présenté par R. Ingelaere, mars 2015.