

ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

FICHE VARIABLE

FABRICATION ADDITIVE

COLLÈGE DE PROSPECTIVE
CHANTIER INDUSTRIE



SYSTÈME DE VARIABLES

Cette fiche s'inscrit dans un système global de variables.

Les variables faisant l'objet d'une fiche sont celles identifiées lors des premières tables rondes du chantier prospectif comme porteuses d'évolutions majeures ayant un impact direct ou indirect sur l'industrie.

Chaque fiche rassemble, sauf exception, la documentation permettant de comprendre l'évolution passée, présente et future d'une variable.

Elle expose les dynamiques d'évolution (tendances, ruptures...), et propose quelques évolutions possibles (micro-scénarios travaillés en atelier).

1. CONTEXTE ÉCONOMIQUE GLOBAL

Croissance économique mondiale
Monnaie
Europe, Brexit
Production française
Export
Coûts de production
Intervention de l'Etat
Internationalisation
Ressources (énergie, matières...)

2. ÉVOLUTIONS ÉCONOMIQUES DE L'INDUSTRIE

Servicialisation de l'industrie
Modèles d'affaires
Logistique et Supply Chain

3. ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES

Sécurité industrielle
Règlementations
Changements climatiques

4. ATTRACTIVITÉ RÉGIONALE

Capital humain
Attractivité régionale
Infrastructures
Environnement institutionnel,
économique, gouvernance
locale
Recherche et développement

5. ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

Big Data
Intelligence Artificielle
Réalité augmentée
Cobotique
Fabrication additive
Internet des objets
Gestion de cycle de vie du
produit

6. ÉVOLUTIONS SOCIÉTALES

Imaginaire de l'industrie

Tendances de consommation



TRAJECTOIRE DE LA VARIABLE

Le terme fabrication additive (FA) est le terme général utilisé pour les technologies qui, sur la base d'une représentation géométrique, créent des objets physiques par ajout successif de matériaux. La fabrication additive (ou impression 3D) s'oppose à la fabrication soustractive où l'on enlève de la matière pour atteindre la forme désirée. Dans la fabrication additive la technologie offre un niveau élevé de complexité de conception, et ce, à un prix abordable.

À minima, il faut distinguer l'impression 3D de type personnel de l'impression 3D de type industriel. La première est économique, mais avec un niveau de qualité plus faible. Elle est utilisée également par des entreprises à des fins de prototypages, R&D, tests, maquettes, etc. L'impression 3D industrielle peut être utilisée en production sur une variété de matériaux (plastiques, métaux, matériaux composites, biomatériaux), mais nécessite un investissement important.

L'impression 3D repose sur trois éléments clés : la modélisation, l'optimisation et la numérisation. Les avancées dans chacun de ces domaines augmentent la portée et les impacts de l'impression 3D. La FA offre un potentiel technologique considérable. Elle accélère l'innovation en réduisant le délai entre la conception et la fabrication, participe à un modèle de production soutenable en maîtrisant la quantité de matières utilisées, et lève des freins techniques rencontrés dans la production classique, notamment pour la production de pièces complexes et allégées.

Les motivations à adopter cette évolution technologique dans le secteur industriel sont sensiblement les mêmes quelle que soit la filière. Ce procédé serait à même (1) de fabriquer des produits complexes et personnalisés (à moindre coût), (2) de réduire les délais d'approvisionnement ou de réalisations de prototype, (3) ainsi que le nombre d'étapes d'assemblage, et (4) d'effectuer des économies d'énergies permises par un allègement des pièces, notamment dans les secteurs associés au transport (automobile, ferroviaire et aéronautique). Ce procédé amène les acteurs à repenser en amont leur appareil productif, stratégie propice à intégrer des enjeux d'économie circulaire. Enfin, l'opportunité de produire de façon distribuée attire également les utilisateurs confrontés à des zones difficiles d'accès qui entraînent des approvisionnements en pièces longs et coûteux.

L'impression 3D industrielle nécessite la maîtrise d'une large chaîne de valeur ajoutée, allant du logiciel de modélisation et des techniques associées, à la connaissance de l'imprimante et des points de fusion des matériaux utilisés. Elle bouscule toutes les échelles sociales allant d'un usage domestique du consommateur à la fabrication collective

des *makers* numériques, en passant par l'appropriation de secteurs industriels de pointe.

Le marché est composé d'une multitude d'acteurs de taille relativement faible le long de la chaîne de valeur. Cette dernière comporte les activités suivantes :

- **Fabrication de matières premières** telles que les filaments thermoplastiques, les poudres métalliques ou encore les formulations céramiques ;
- **Développement de sous-systèmes** tels que des sources lasers, plasma ou à faisceau d'électrons, des logiciels de pilotage et de contrôle du processus de fabrication ou des gaz qui seront souvent intégrés dans les machines de fabrication ;
- **Fabrication, commercialisation et maintenance** de machines de fabrication additive ;
- **Développement de logiciels destinés à la modélisation 3D** des pièces, conversion dans un format de fichier compatible, simulation, génération de supports ou encore optimisation topologique, qui sont utilisés lors des phases de conception. On peut également citer ici les applications métiers proposées par certains éditeurs, offreurs de services ou fabricants de machines par exemple pour la segmentation d'images médicales 3D (tomographie, IRM, échographie, microscopie) ;
- **Fabrication de pièces** : cette étape peut être réalisée par un gros équipementier en interne, un sous-traitant industriel qui fabrique les pièces sous contrat ou encore par des fournisseurs de services via des boutiques en ligne ;
- **Prestations de services associées** : cette catégorie regroupe un grand nombre d'offres telles que la formation, le conseil sur l'intérêt ou non d'utiliser la fabrication additive par rapport aux procédés conventionnels ou les services d'ingénierie pour mieux concevoir la pièce ;
- **Utilisation finale** de la pièce ou d'un équipement comportant des pièces fabriquées de façon additive par un professionnel ou un particulier.

Aujourd'hui, 40 % des machines de fabrication additive à usage professionnel sont installées en Amérique du Nord, 28 % en Europe et 27 % en Asie/Pacifique. Les États-Unis continuent de dominer le marché, le Japon, la Chine et l'Allemagne venant ensuite. Il convient de noter la position de la France qui ne représente que 3,2 % du parc mondial de machines. Selon Smithers Pira cependant, en 2025, la part de l'Amérique du Nord tombera à 34 %, l'Europe restera stable à 32 %, enfin l'Asie augmentera à 33 %.

PASSÉ > PRÉSENT > FUTURS POSSIBLES

QUELLE A ÉTÉ L'ÉVOLUTION PASSÉE DE LA VARIABLE ?

Au cours des 30 dernières années, les réflexions se sont concentrées sur le prototypage et l'expérimentation, cette technologie ayant permis de réduire les temps de développement, d'augmenter la qualité des produits, et de réduire les coûts de fabrication.

La communauté scientifique attribue la paternité de l'impression 3D à Charles Hull qui, en août 1984, dépose un brevet intitulé « *Apparatus for production of threedimensional by stereolithography* », dans lequel il développe le principe de la stéréolithographie. Son idée fut d'utiliser une résine synthétique et de la lumière ultra-violette pour solidifier cette résine, fine couche après fine couche, pour donner forme à des objets. Peu de temps après, en 1989, l'entreprise **Stratasys** dépose le premier brevet du FDM (*fused depositing modeling*), qui est aujourd'hui l'une des techniques d'impression les plus répandues, et commercialise en 1992 la première machine, appelée le 3D modeler.

La norme ISO 17296-2:2015 décrit les éléments fondamentaux régissant la fabrication additive. Elle définit ainsi les 7 grandes familles de procédés de fabrication

additive, allant de l'impression à base de thermoplastiques et de composites (comme l'extrusion de matières¹ ou *Fused Deposition Modeling* ou le frittage laser – SLS), l'impression à base résine (la stéréolithographie ou *Vat photopolymerization* (SLA)² et la projection de matières), et l'impression à base de métaux (comme la fusion par faisceau d'électrons).

Contrairement aux autres procédés de fabrication additive, les systèmes d'extrusion de matières (plus anciens procédés après la stéréolithographie) sont peu coûteux et faciles d'usage, ce qui a contribué au succès de la fabrication additive auprès des particuliers. Cette technologie est dorénavant compatible avec les matériaux composites, notamment des filaments composés d'un mélange de polymère à 60 % et de bois, de pierre ou encore de céramique. Elle participe à la circularité de l'économie dans le domaine des technologies à haute valeur ajoutée.

On distingue parmi les matériaux utiles à l'impression 3D quatre grandes familles : les polymères et les métaux qui sont les deux types de matériaux les plus utilisés et permettant de produire des pièces complexes, ainsi que les matériaux composites (meilleure résistance à la chaleur) et les biomatériaux.

PASSÉ > PRÉSENT > FUTURS POSSIBLES

QUELLES SONT LES DYNAMIQUES À L'ŒUVRE ?

Les analyses font état d'un sentiment d'un manque d'une stratégie française claire et coordonnée dans le domaine de la fabrication additive. « *Positionnée légèrement en retrait sur la scène internationale avec seulement 3,2 % du parc mondial de machines et une offre peu structurée et coordonnée, la France se doit de rattraper son retard aussi bien du côté privé que du côté public et d'adopter une stratégie claire pour faciliter la diffusion de la fabrication additive* ».

L'enjeu porte aujourd'hui sur la fabrication en série de pièces fonctionnelles qui implique des problématiques nouvelles en termes de cadences et de finitions (des variations de qualité sont observées).

Les modèles d'affaires évoluent avec l'émergence de la conception de produits en lien avec les utilisateurs (UX ; où l'utilisateur est co-designer de la production), mais également la simplification des modèles de collaboration avec un aplanissement et une diffusion des savoirs inter-organisationnels que permet le numérique. Les répercussions de ce qui semble être une révolution technologique « silencieuse » se font ressentir à tous les niveaux de la chaîne de valeur : fabricants de machines, sous-traitants, donneurs d'ordres, transporteurs, développeurs de logiciels, fournisseurs de matériaux et laboratoires de recherches.

¹ Matériau distribué de manière sélective par une buse, un jet ou à travers un orifice

² Procédé de fabrication additive dans lequel un photopolymère liquide plongé dans une cuve et durci de manière sélective par polymérisation activée par la lumière

Le marché de la fabrication additive connaît une croissance rapide qui a tendance à s'accroître au cours des dernières années³. Les ventes de machines, de consommables et de services associés ont connu une croissance annuelle moyenne de près de 27 % au cours des dernières années. Fin 2014, le marché mondial de la fabrication additive était évalué à plus de 4 milliards de dollars en valeur par les cabinets Wohlers Associates et AT Kearney.

L'étude menée pour le Conseil général de l'armement en 2015 a souligné l'orientation stratégique des États-Unis sur les équipements, permettant la transformation de thermoplastiques, tandis que l'Europe, et plus particulièrement l'Allemagne, semble s'être positionnée sur les machines destinées à la fabrication métallique à l'image d'EOS, SLM Solutions, Concept Laser, Trumpf, Renishaw ou encore Arcam (Suède). Cependant, sous la pression insistante des grands donneurs d'ordres tels que la NASA ou Boeing pour les machines métal, la situation devrait rapidement évoluer aux États-Unis dans les prochaines années. Il convient par ailleurs de souligner la croissance rapide du marché des machines de fabrication additive métal, dont les ventes ont triplé depuis deux ans.

A noter l'importance des matériaux dans l'évolution et le développement, des technologies de fabrication additive. Depuis 2009, le chiffre d'affaires annuel généré par les ventes de matériaux de fabrication additive a été multiplié par trois pour atteindre près de 640 millions de dollars à la fin de l'année 2014. Actuellement, le marché est dominé par les photopolymères et les matériaux métalliques qui représentent respectivement 300 millions de dollars et 50 millions de

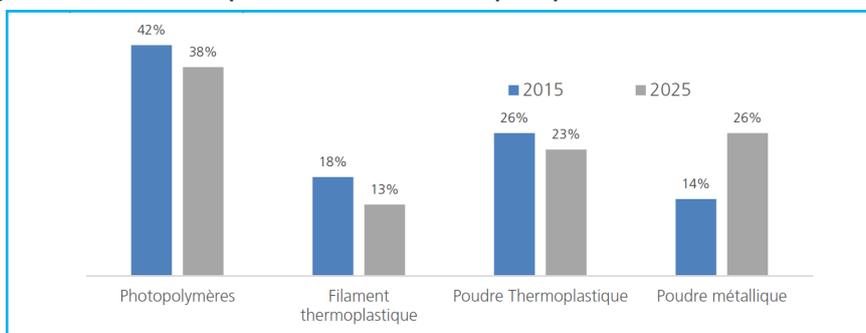
dollars (augmentation croissante des ventes de matériaux métalliques affichant un taux de croissance annuel moyen de près de 50 %, contre 30 % pour les photopolymères).

Figurent parmi les freins au développement de l'usage de cette technologie, le manque de fiabilité et de répétabilité de la fabrication de la pièce liée à la qualité des matières premières. En effet, pour deux machines identiques avec les mêmes paramètres de fabrication, il est souvent difficile d'obtenir la même qualité de pièce ce qui constitue un véritable frein à une démarche d'industrialisation. Ce verrou est un frein à la normalisation mais également au contenu des programmes de formation associés à des techniques davantage tournées aujourd'hui autour de l'échantillon ou du prototype. Toutefois, ce frein peut faire l'objet d'un partage de bonnes pratiques dans ce domaine (connaissance des procédés et des matériaux utilisés) et peut permettre d'engager des dynamiques d'écosystèmes.

Par ailleurs, un autre frein au déploiement de cette technologie réside dans les coûts d'acquisition. Des effets de volumes peuvent permettre de faire diminuer ces coûts.

Enfin, les industriels et utilisateurs de la fabrication additive ne peuvent faire l'économie des étapes de post-traitements. Différentes étapes de reprises et de finitions sont essentielles à l'obtention d'une pièce conforme au cahier des charges défini ; ces coûts pouvant représenter un surplus de 50 % à 300 % selon les pièces et les caractéristiques désirées. Ces éléments renforcent l'enjeu de la pré-conception, propice à des démarches d'écoconception.

Figure 1 : Estimation des parts de marché en % des principaux matériaux en 2015 et en 2025



Secteur	Volumes et parts de marché (2014)	Taux de croissance annuel moyen à 5 ans
Aérospatial	0,8 SMd – 18 %	15-20 %
Production et outillage industriel	0,8 SMd – 18 %	15-20 %
Santé	0,7 SMd – 15/17 %	20-25 %
Automobile	0,5 SMd – 12 %	15-20 %
Joallerie	0,5 SMd – 12 %	25-30 %
Energie	Moins de 5 %	30-35 %
Autres	Moins de 20 %	20-25 %
TOTAL	4-5 SMd	25 %

Source : PIPAME, 2017

³ Cf. Rapport Pipame. Futur de la fabrication additive, janvier 2017

QUELLES SONT LES DYNAMIQUES EN RÉGION HAUTS-DE-FRANCE ?

La région Hauts-de-France accueille un club régional « **Impression 3D et fabrication additive** ».

Sa mission est triple :

- Informer et accompagner les entreprises pour leur permettre de prendre ce nouveau virage technologique ;
- fédérer les entreprises en y associant les acteurs du secteur et les initiatives régionales ;
- promouvoir l'écosystème régional de l'impression 3D et développer les partenariats en région et hors région.

PASSÉ > PRÉSENT > FUTURS POSSIBLES

QUELLES SONT LES INFLEXIONS ET RUPTURES QUI POURRAIENT MODIFIER LES DYNAMIQUES EN COURS ?

À plus long terme, la production en grande série de pièces via la fabrication additive est envisageable (passage de la consommation de masse à la personnalisation de masse) même si des verrous technologiques restent à lever (productivité, fiabilité, normalisation...). Des modèles d'écosystèmes hybrides peuvent émerger entre des procédés classiques et la fabrication additive à même de « re-territorialiser » l'industrie sous forme de grappe. Cette hybridation est favorisée par la production distribuée, mais également par le recrutement de compétences relationnelles avec le monde académique, de personnes possédant la culture du partage et de l'échange professionnel, ou encore de la créativité et le goût de l'innovation⁴.

Au niveau des principaux secteurs industriels d'application des technologies de fabrication additive, les applications futures et émergentes sont différentes selon les besoins et contraintes spécifiques à chaque secteur :

- Automobile et industrie manufacturière :

- Consolider plusieurs composants au sein d'une seule et même pièce complexe ;
- Créer de l'outillage de production ;
- Produire des pièces de rechange et des composants ;
- Accélérer le cycle de développement produit grâce au prototypage rapide, et aux tests de forme et d'ajustement.

- Aérospatial :

- Créer des pièces à géométrie complexe non réalisables avec les méthodes traditionnelles ;
- Contrôler la densité, la rigidité et la propriété des matériaux de certaines pièces ;
- Créer des pièces plus légères.

- Pharmacie/Santé :

- Planifier des chirurgies grâce à des modèles anatomiques précis réalisés à partir de scanners ou IRM ;
- Développer des implants ou prothèses orthopédiques sur-mesure ;
- Utiliser des modèles imprimés en 3D pour la formation médicale ;
- Bio-imprimer des tissus vivants pour le test de médicaments.



MICRO-SCÉNARIOS

Elaborés en atelier, ces scénarios proposent un contenu de l'évolution possible de la variable étudiée, articulés à partir de trois hypothèses :

- **une hypothèse basse** (quelle évolution de la variable défavoriserait l'industrie régionale),
- **une hypothèse haute** (quelle évolution de la variable favoriserait l'industrie régionale),
- ainsi qu'un scénario s'inscrivant davantage dans une forme de continuité (**hypothèse tendancielle**).

A noter : les micro-scénarios du bloc « évolutions technologiques » ont été développés en agrégeant l'ensemble des connaissances produites sur l'ensemble des variables étudiées (Big Data, cobotique, intelligence artificielle etc.). En conséquence, ils sont identiques sur l'ensemble des fiches produites, mais proposent un contenu séquencé selon une entrée économique, environnementale, et sociale.

UNE INTÉGRATION INSUFFISANTE DES ENJEUX DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES QUI MET LES INDUSTRIELS À LA TRAÎNE DE L'ÉCHIQUIER INTERNATIONAL

Peu informées, mal préparées, les industries régionales travaillent à leur transformation numérique au cas par cas, au gré des demandes de leurs clients. Il en résulte des pertes de parts de marchés pour celles qui anticipent le moins l'évolution des attentes.

Au niveau local, en dépit de l'implication des représentants économiques (branches professionnelles, institutionnels...), seules les entreprises de taille conséquente et les entreprises appartenant à un groupe parviennent à tirer leur épingle du jeu et à développer des stratégies numériques efficaces et globales.

En conséquence, l'outil de production est vieillissant pour les établissements les moins intégrateurs de technologies numériques, et la production en recul car de moins en moins adaptée aux besoins des clients (de plus en plus exigeants). L'industrie n'attire plus, peine à recruter, et ne renouvelle pas ses compétences.

Une partie des industries régionales est peu ou mal connectée. Le niveau de digitalisation des petites structures se limite à rendre visible l'activité de l'entreprise ou à l'usage de logiciels de gestion administrative ou de comptabilité. Elles sont vulnérables aux nouvelles formes de cyberattaques (rançons).

Par ailleurs, les outils financiers publics visant à digitaliser plus largement l'industrie ont davantage profité à des entreprises qui souhaitaient se relocaliser en France, mais qui n'ont pas nécessairement été créateurs d'emplois.

Sur un plan environnemental, les aides publiques se concentrent davantage sur les ruptures technologiques vers une industrie décarbonée (hydrogène...).

Dans une région présentant un profil industriel énergétique particulièrement consommateur (d'énergie, comme de matières), le caractère émergent des technologies développées et leurs coûts d'entrée (R&D) et d'acquisition (investissements) découragent massivement les PME/TPE et artisans de production.

D'un point de vue social, les salariés peu formés, peu préparés, voient dans la technologie un concurrent et pas un facilitateur accentuant ainsi la baisse de l'acceptabilité technologique nécessaire à une industrie connectée.

MICRO-SCÉNARIOS SUITE

LA DIFFICILE MISE EN RÉSEAU DU TISSU INDUSTRIEL

Le tissu industriel est mal identifié par les plans de soutien nationaux à la digitalisation de l'industrie. Les artisans de production, par exemple, ne sont pas intégrés dans les politiques d'investissement et d'accompagnement à la transformation numérique. Ces derniers se cantonnent à développer des marchés locaux avec l'appui de technologies abordables (objets connectés, système d'*edge computing*, fabrication additive...). Leur modèle économique est fragilisé par la faiblesse du nombre de leurs clients.

La propriété intellectuelle continue d'être dominante dans la régulation de l'innovation.

Les investissements publics en faveur d'une transition environnementale profitent assez peu à certains secteurs *a contrario*, par exemple, de l'agriculture, secteur précurseur dans les nouvelles technologies liées à la gestion de l'environnement.

L'innovation sociale est mal intégrée dans le soutien aux vecteurs de transition qui se cantonnent à des expérimentations locales.

Depuis la stratégie de Lisbonne, les taux d'emploi se sont améliorés en France même si les salariés accusent un retard dans la maîtrise des savoirs de base.

L'industrie connectée modifie le contenu de ces savoirs de base qui s'élargissent aux habilités numériques (capacité à supporter la charge cognitive d'une relation Hommes-Machines, capacité à protéger sa vie privée avec l'usage des réseaux sociaux...) mais sans réelle capacité à construire une offre d'accompagnement de ces mutations de compétences. De nouveaux risques liés à la santé au travail émergent, dans un contexte de fragilisation du modèle social suite à la destruction d'emplois liés au numérique. Ce recul du nombre d'emplois induit à terme une baisse de recette pour les collectivités.

LA MAÎTRISE DE LA CHAÎNE DE VALEUR NUMÉRIQUE POUR DE NOUVELLES CRÉATIONS DE VALEUR

Grâce à un cadre sécurisant (choix logiciels, aides publiques...), les industries investissent massivement dans les technologies numériques.

Les industries augmentent leur productivité grâce à ces solutions et sont plus innovantes (ex : fabrication additive qui permet des prototypes rapides), leurs capacités d'adaptation aux besoins des consommateurs s'améliorent.

À la recherche de toujours plus de gains de productivité, de plus en plus d'entreprises se tournent vers la digitalisation de leur appareil productif.

Parallèlement les plans de relance gouvernementaux se succèdent, les encourageant dans cette voie. Cela permet aux établissements à la fois de limiter leurs coûts (gestion des stocks), d'améliorer leur performance environnementale (optimisation de la consommation d'énergie et de matières) et d'améliorer les conditions de travail des opérateurs.

Des plans de formation et de sensibilisation sont également déployés, permettant aux jeunes générations de mieux connaître les nouveaux métiers que l'industrie connectée leur propose.

RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES

- Floriane Laverne, Frédéric Segonds, Nabil Anwer, Marc Le Coq. « Conception pour la fabrication additive : un état de l'art ». COLLOQUE AIP-Priméca 2015, Mar 2015, La Plagne, France
- Guillaume Blum, Michel de Blois, Nadim Tadjine, « L'impression 3 D : de l'émerveillement technique aux enjeux organisationnels, économiques et sociétaux », École de design, Université Laval
- Apec, « La fabrication additive – tendance métiers dans l'industrie », 2017
- Pipame. « Futur de la fabrication additive ». Rapport. Janvier 2017



Date de publication : février 2021

Rédaction : Karen Maloingne - Ahlam Benlemselmi
Christophe Meulemans - Sylvie Delbart
Contact : collegedeprospective@hautsdefrance.fr

Retrouvez l'actualité et les publications du collège sur le site
de l'Agence Hauts-de-France 2020-2040
<https://2040.hautsdefrance.fr>