



PLAN
MARSHALL
4.0



MÉTIERS D'AVENIR

LA FABRICATION ADDITIVE

Métal / Plastique / Résine / Céramique

Janvier 2017

Le Forem, Service de veille, analyse et prospective du marché de l'emploi

DES MÉTIERS D'AVENIR DANS LA FABRICATION ADDITIVE ?

Anticiper les évolutions, l'émergence de métiers ou la transformation de métiers actuels constitue un axe majeur de la mission d'analyse et d'information sur le marché du travail du Forem. Une première étude exploratoire réalisée en 2013 a permis de dégager les grandes tendances d'évolution des secteurs. En 2016, le Forem poursuit sa démarche en publiant des rapports sur les effets de la transition numérique sur les secteurs en termes d'activités, métiers et compétences. Des métiers d'avenir sont ainsi identifiés. Ils peuvent être de natures différentes :

- nouveaux métiers;
- métiers actuels en développement;
- métiers à potentiel de croissance en effectifs.

Partant de cette base, une analyse en profondeur, « métier par métier » est mise en œuvre. Elle permet de mieux cerner les évolutions des métiers et d'adapter, après l'analyse de grands domaines de transformation attendus, l'offre de prestations. Cette analyse prospective se fonde sur la méthode *Abilitic2Perform*.

Abilitic2Perform est une méthode d'anticipation des compétences basée sur l'animation de groupes d'experts lors d'ateliers successifs. Cette méthode est inspirée des études relatives à la prospective stratégique¹, dont certains outils sont mobilisés comme l'analyse structurelle ou morphologique. Les rapports d'analyse font l'objet d'une publication régulière sur le site Internet du Forem.

Le présent rapport, porte sur la fabrication additive² dans les industries exploitant le métal, le plastique et/ou la résine. Le panel d'experts qui a participé à la présente démarche a permis d'aborder l'exploitation de la fabrication additive dans des secteurs comme la défense, l'aéronautique, le loisir créatif, ainsi que la fabrication de produits métalliques et en polymère à destination des particuliers et des entreprises.³

¹ Voir notamment, Godet M., Manuel de Prospective stratégique - Tome 1 : *Une indisciplinisme intellectuelle*, Paris, Dunod, 2007 et Godet M., Manuel de Prospective stratégique - Tome 2 : L'art et la méthode, Paris, Dunod, 2007.

² « L'impression 3D » est le terme grand public pour désigner ce processus de fabrication. Le terme « fabrication additive » (*additive manufacturing*) est le terme employé dans le milieu industriel et qui a été retenu par les comités de normalisation. Cf. AFNOR, NF E 67-001, 2011, « Fabrication additive : vocabulaire » & ISO/ASTM 52921:2013.

³ Bien qu'il existe une demande, la production de pièces métalliques pour les particuliers est actuellement un secteur qui est inaccessible pour la plupart des exploitants de la fabrication additive, vu notamment, le coût des machines.

TABLE DES MATIERES

DES MÉTIERS	
D'AVENIR DANS LA FABRICATION ADDITIVE ?	2
Partie 1 – Synthèse des résultats	6
Le périmètre du processus de fabrication additive	6
Quelles sont les grandes tendances qui détermineront le plus l'évolution de la fabrication additive dans les prochaines années ?	7
Quelles sont les actions à mener pour soutenir les évolutions attendues et/ou nécessaires ?	9
Impacts des évolutions : quels besoins en compétences ?	11
Partie 2 – La démarche et les résultats pas à pas	13
1. Le périmètre du processus de la fabrication additive	14
2. les facteurs les plus importants	16
3. La sélection des facteurs les plus influents	17
4. Les évolutions probables et souhaitables	18
5. Le profil d'évolution	18
6. Les impacts sur les activités et les besoins en compétences	25
Annexe : Impact des hypothèses d'évolution sur les tâches	28

Les fabrications additives dans le secteur de l'alimentation et de la création biologique ne sont pas abordées dans le présent rapport. Elles ne présentent pas une maturité et une ressemblance suffisante⁴ avec les autres fabrications additives que pour les traiter dans le cadre de la présente analyse.

Si l'année 1986 voit la création d'une société commercialisant le premier procédé de fabrication additive, son exploitation est restée jusqu'il y a peu, limitée et confinée au prototypage.

Aujourd'hui, la fabrication additive recouvre de nombreuses techniques de fabrication mobilisant différentes technologies⁵. Elle permet de travailler avec un nombre plus ou moins important de matières suivant les gammes de matériaux exploitées. Ce type de fabrication a atteint désormais un niveau de maturité permettant de l'exploiter dans un cadre de production commerciale.

Quelle que soit la technologie exploitée, le procédé consiste à fabriquer une pièce par ajout de matière couche par couche et ce à partir d'un fichier informatique, résultat d'une modélisation réalisée par un programme CAO/DAO⁶. Il s'agit donc de passer directement de la pièce virtuelle à la pièce fabriquée.

La fabrication additive comporte des avantages par rapport aux autres procédés de fabrication.

Au niveau des produits, elles offrent « une liberté de forme extrêmement complexe et irréalisable »⁷ avec les autres procédés. Elles ont également l'avantage de fournir des solutions permettant un allègement des pièces.⁸

Au niveau des opportunités économiques, elles permettent une optimisation de la production en évitant des étapes d'assemblage et l'utilisation de l'ensemble de la matière première⁹. Elles permettent également la diminution des coûts de maintenance pour les clients des entreprises exploitant cette technologie du fait que les pièces de rechange ne sont plus stockées mais imprimées sur demande.

Elles permettent également une personnalisation extrême des produits et une production à la demande.¹⁰ À titre d'exemple, on peut citer dans le domaine du loisir créatif, la possibilité pour le particulier de faire réaliser, rapidement et à un coût accessible, une figurine de ce qu'il désire à la taille souhaitée, dans le respect de la législation sur les droits d'auteur, des dessins et des modèles.

Cependant, l'exploitation de la fabrication additive n'est pas exempte de défauts ou de difficultés. Parmi les plus importantes, on peut relever :

- des temps de fabrication qui ne permettent pas d'envisager actuellement la production de masse ;
- une taille maximale des pièces produites limitée ;
- un état de surface des produits nécessitant un important travail de post-traitement ;
- un changement de paradigme dans la manière de concevoir les pièces, difficile à mettre en place ;
- un manque de normes de production et de maturité des machines (inhérents à la jeunesse de la technologie) dans le processus de production ;
- un coût d'investissement important pour mettre en place une solution de fabrication additive en particulier pour le travail du métal.

Il est important de noter que les participants sont unanimes pour mettre en avant le fait que la fabrication additive vient en complément des autres procédés de fabrication. C'est l'exploitation de l'ensemble des techniques de production qui permettra de répondre au mieux aux besoins et contraintes exprimées par les clients particuliers ou de l'industrie.

⁴ P. ex. toutes les fabrications additives traitées dans le présent rapport sont réalisées avec des matières inertes alors que les secteurs de l'alimentation et de la création biologique travaillent avec des matières organiques.

⁵ Il existe sept familles normalisées de procédés par addition de couches ayant chacune leurs spécificités en matière de source d'activation, de mécanisme de liaison, de procédure de fabrication d'une couche, de post-traitement, de dénomination commerciale, etc. Cf. la Norme PR NF ISO 17296-2.

⁶ Conception assistée par ordinateur et dessin assisté par ordinateur.

⁷ A-F Obaton, A. Bernard, G. Taillander et J-M. Moschetta, Fabrication additive : état de l'art et besoins métrologiques engendrés, dans Revue française de métrologie, n°41, 2016, p.22-23.

⁸ P.ex. des pièces mieux optimisées, ou avec une structure alvéolaire.

⁹ Roland Berger Strategy Consultants, Regards sur l'économie wallonne, Économie par le numérique, SOGEPa, septembre 2015. P. 74.

¹⁰ A-F Obaton, ibidem.

Qu'en est-il du potentiel économique de la fabrication additive ? Selon le rapport 2016 du Cabinet américain « Wohlers Associates »¹¹ sur la fabrication additive, le marché de l'impression 3D (la vente d'équipement, de consommables et de services d'impression) aurait augmenté en 2015 de 25,9 % pour atteindre une valeur de 5,165 milliards de dollars. Ce même rapport constate également un léger tassement de cette croissance qui était d'une moyenne de 31,4 % ces trois dernières années. Ce chiffre est à remettre en perspective des « 100 milliards de dollars du marché mondial de l'usinage, ou des plus de 10 000 milliards de dollars de l'industrie manufacturière mondiale (environ 15 % du PIB mondial) ».¹²

On peut également noter que la question d'exploiter la fabrication additive se pose aujourd'hui dans toutes les entreprises dont une partie du modèle économique repose sur la vente de pièces détachées. À titre d'exemple, les grandes marques de l'électroménager françaises explorent l'idée qu'un produit plus durable serve d'argument de vente. La société Seb a ainsi investi dans l'impression 3D pour créer des milliers de pièces détachées imprimées et livrées chez les réparateurs ou chez les particuliers. Au niveau des espaces de stockage, cette société stockait 5 millions de pièces détachées début 2016 dans un entrepôt de 15 000 mètres carrés. Il a été annoncé une volonté de

réduire ces espaces de stockage de 50 à 75 % grâce à la fabrication additive.¹³

Au niveau belge, il faut noter que notre pays dispose d'un leader reconnu internationalement dans les services de fabrication additive avec la société flamande « i.materialise¹⁴ ». Par contre, il apparaît qu'il n'y aurait pas la possibilité de voir éclore un fabricant de machines en Belgique car « le paysage industriel est dominé par deux gros acteurs internationaux (Stratasys {USA et Israël} et 3D Systems {USA}) qui mettent en œuvre une politique active de rachat, empêchant de nombreux acteurs nationaux d'atteindre une taille critique ».¹⁵ Cette tendance s'est confirmée avec l'arrivée sur le marché de poids lourds comme Général Electric (pour le métal) et de HP (pour le plastique).

On peut noter que la Wallonie dispose de centres de recherche réputés et reconnus. Par contre, de l'avis des participants, la formation en fabrication additive est actuellement limitée aux sensibilisations et aux formations organisées par Technifutur et Sirris (Masterclass).

Il faut ici insister sur le fait que la formation à l'exploitation de la fabrication additive implique pour les centres de formation, de disposer d'une palette d'imprimantes exploitant les différentes technologies em-

ployées dans la fabrication additive. Il s'agit d'investissements très importants quand on sait que pour une seule technologie, pour le travail du métal, on parle d'imprimantes de centaines de milliers d'euros. Par ailleurs, une offre de formation existe auprès des fabricants d'imprimantes, dispensée pour l'exploitation de leur propre matériel.

Combien d'entreprises wallonnes investissent aujourd'hui dans la fabrication additive ? Il n'y a pas de données objectives sur le sujet et il est difficile de faire des projections car le marché n'en est qu'à ses débuts et la pénétration de cette technologie est encore relativement faible.

Cette mise en garde faite, Sirris estime que l'on peut compter en Wallonie en 2020, 50 entreprises concernées par la fabrication additive, directement ou en sous-traitance. Ce à quoi il faut encore ajouter quelques offreurs de services, de fournisseurs de technologie et d'entrepreneurs dans le secteur digital. De plus, une dizaine d'entreprises par an, qui ne veulent pas investir pour fabriquer elles-mêmes, achètent une imprimante de bureau pour tester la technologie, informer le personnel ou encore réaliser de petits prototypes.

¹¹ Le rapport Wohlers est une référence pour le secteur de la fabrication additive. Un rapport est publié chaque année sur base d'informations recueillies auprès de 51 constructeurs d'équipements industriels, 98 prestataires d'impression, 15 producteurs de consommables, ainsi que des contributions de 80 experts depuis 33 pays. <http://wohlersassociates.com/press71.html>, page consulté le 14/12/16.

¹² C-P. Astolfi, E. Constantin, A. Moulet, *Fabrication additive, mobiliser les forces françaises*, Presse des Mines, Les Docs de la Fabrique, 2016, p. 20.

¹³ http://www.liberation.fr/futurs/2016/07/06/l-impression-3d-au-chevet-des-appareils-electromenagers_1464231, 6 juillet 2016, consulté le 17 janvier 2016.

¹⁴ <https://i.materialise.com>

¹⁵ Direction générale des Entreprises (France), *Technologies Clés 2020*, 2016, p.294. http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/technologies-cles-2020/technologies-cles-2020.pdf.

Concernant la question du **potentiel d'emploi dans le domaine de la fabrication additive pour les entreprises wallonnes**, les experts ont pu donner plusieurs indications.

Tout d'abord, il ne s'agit pas de former du personnel à un nouveau métier mais de greffer un groupe de compétences supplémentaires aux différents profils rencontrés dans le secteur industriel. Nous sommes donc face à une série de métiers qui vont s'étendre à la fabrication additive. Pour les participants, il est donc évident qu'il faut ajouter des modules de formations relatifs à la fabrication additive et ne pas créer un cursus indépendant.

Ensuite, le ticket d'entrée pour monter une entreprise rendant des services basés sur la fabrication additive est relativement élevé. Selon l'avis des participants, pour les matières plastiques, afin d'avoir une gamme de solutions confortables, il faut s'équiper de machines de plusieurs milliers et dizaines de milliers d'euros. On peut même pour certaines technologies atteindre la centaine de milliers d'euros. Le modèle économique pour être rentable dans le service aux particuliers est plus difficile à trouver. En effet, une entreprise peut voir apparaître un nouveau concu-

rent disposant d'un parc d'imprimantes 3D plus récentes, donc plus performantes, alors qu'elle n'a pas encore rentabilisé son matériel.

Le modèle économique pour les industries répondant à des demandes industrielles est autre (produits très spécifiques, marché oligopolistique...). Cependant, la production métallique par fabrication additive requiert d'entrée de jeu des imprimantes 3D de plusieurs centaines de milliers d'euros. Il faut y ajouter, pour l'impression métallique, la prise en compte de l'environnement à mettre en place pour exploiter la machine et pour lequel il y a des tâtonnements vu la jeunesse des technologies en question.

Si on regarde du côté des entreprises participantes aux présents ateliers, elles indiquent soit que le personnel actuel est suffisant pour leur besoin en fabrication additive, soit que leur stratégie à moyen terme implique le développement de ce type d'activités et donc la disponibilité de personnel formé à l'exploitation de ces machines. Cela devrait être vrai pour toutes entreprises dont une partie du modèle commercial repose sur la vente de pièces détachées. Un des participants estimait ainsi que si les compétences relatives à la fabrication additive, dans son entreprise,

reposait sur une équipe de cinq à dix personnes aujourd'hui, cette même équipe devrait compter entre 25 et 30 personnes dans les trois à cinq ans.

Ce rapport comprend deux parties. La première présente une synthèse des résultats reprenant l'ensemble du profil d'évolution et les activités clés pour l'avenir. La seconde présente, dans le détail, l'ensemble du processus d'analyse dans l'ordre chronologique de son déroulement.

Le lecteur y retrouvera notamment une série d'actions pouvant être menées afin de se préparer ou de provoquer l'avenir ainsi que la liste (non exhaustive) de compétences pointées comme importantes par les experts, pour la réalisation des tâches et activités du processus de fabrication additive.

Le présent rapport a la particularité de ne pas analyser un métier déterminé mais de partir d'un processus de fabrication impliquant plusieurs profils métiers. Ce choix a été posé avant le lancement de l'étude, constatant a priori que les grandes étapes du processus de fabrication additive représentent le dénominateur commun à l'ensemble des participants de la présente analyse. L'ensemble des métiers cités dans ce rapport sont à appréhender indépendamment du genre.

Partie 1 – Synthèse des résultats

Le périmètre du processus de fabrication additive

La production de pièces par fabrication additive nécessite de respecter un processus composé d'un ensemble de tâches à mener à bien. Quel que soit le contexte, la taille de l'entreprise, la technologie, la matière exploitée ou encore les savoirs et savoir-faire à mobiliser, ce processus reste assez semblable. La différence se situe au niveau de l'organisation du travail et par conséquent, du nombre de profils métiers à mobiliser pour réaliser cette production.

Dans le cadre de la production d'une pièce simple et sans originalité, en matière plastique, la mobilisation d'un unique designer 3D sera suffisante pour l'ensemble du processus tandis que la production d'une pièce métallique structurellement complexe et optimisée mobilisera des bureaux d'études composés d'ingénieurs et de dessinateurs-projeteurs pour la conception, ainsi que des opérateurs machines et du personnel dédié au post-traitement dans les étapes ultérieures du processus. Un découpage de l'organisation du travail entre les différents profils, dans ce type de contexte, est disponible dans la deuxième partie de ce rapport¹⁶.

En amont du processus, il s'agit de comprendre la demande du client et de lui proposer la solution optimale pour y répondre. Avec les clients industriels, c'est une étape où le manque de normes et de certifications concernant la fabrication additive entraîne un travail important de communication et d'échange entre les parties afin d'établir un référentiel et des définitions communes. Au niveau des demandes des particuliers, il faut souvent recadrer les possibilités et les solutions offertes par la fabrication additive par rapport aux attentes et contraintes exprimées par le client.

La modélisation de la pièce à produire en 3D est la tâche centrale du processus. À partir d'un programme DAO/CAO, il s'agit de produire un modèle numérique de l'objet qui consiste, dans les cas les plus complexes à :

- dessiner la pièce ;
- appliquer toutes les forces et contraintes induites par la technologie employée, le matériau utilisé, la géométrie de la pièce... ;
- optimiser le modèle¹⁷.

Durant cette étape et par la suite, il faut définir la manière dont sera orientée la pièce dans l'espace d'im-

pression. Suivant les technologies, il faut parfois prévoir des supports de construction pour combler les zones vides afin d'obtenir la forme voulue.¹⁸

La définition et la planification du processus de fabrication sont des tâches tout à fait similaires à ce que l'on rencontre dans toutes productions industrielles.

Pour les activités liées à la production, une fois l'impression lancée, il n'y a plus d'intervention possible. En cas de nécessité, il faut arrêter l'impression, sans possibilité de la poursuivre par la suite.¹⁹ Notons que le nombre d'opérateurs nécessaires à cette étape est relativement réduit dans la mesure où les imprimantes 3D sont fortement et de plus en plus automatisées et que le temps de préparation est largement inférieur au temps d'impression.

Les activités liées au post-traitement sont plus importantes que dans les autres procédés de fabrication. Les participants indiquent qu'il existe toute une série de techniques de post-traitement différentes suivant les technologies et les matières employées ainsi que le fini de surface attendu. Cependant, on voit également des machines proposant des solutions automatisées de post-traitement mais qui par ailleurs, nécessitent des opérations de maintenance.

¹⁶ Cf. p. 15.

¹⁷ P. ex. en vue d'alléger l'objet à produire).

¹⁸ Ces supports sont imprimés en même temps que la pièce et sont enlevés au cours de son post-traitement.

¹⁹ Excepté pour les impressions par dépôt de fil plastique.

L'assurance qualité des objets s'effectue également selon les processus des procédés de fabrication traditionnels. Toutefois, dans le cadre du développement de l'industrie 4.0, il s'agit d'une tâche que l'on cherche également à automatiser au maximum.

Les tâches liées à la maintenance sont à la fois remplies par des techniciens au sein de l'entreprise (maintenance préventive et proactive²⁰) et des techniciens des fabricants ou des importateurs de machines (maintenance curative). Dans le premier cas, il s'agit essentiellement d'alimenter la machine, de réaligner correctement les axes mécaniques de l'imprimante, nettoyer les lentilles, etc. Dans le deuxième cas, il s'agit essentiellement de main-d'œuvre formée par le fabricant ou l'importateur pour ses machines. Ces fabricants et importateurs sont situés hors du territoire wallon.

Le respect des consignes de sécurité, est une tâche que l'on retrouve dans toutes fabrications industrielles et qui incombe à l'ensemble du personnel. Il est important de signaler que dans le cas d'utilisation de poudre métallique, le non-respect des consignes provoque des risques très graves pour la santé. Par ailleurs, ce type de matériau peut facilement, en cas de non-respect des consignes, provoquer des incendies difficiles à éteindre.

Quelles sont les grandes tendances qui détermineront le plus l'évolution de la fabrication additive dans les prochaines années ?

Dix facteurs²¹ ont été retenus par les participants comme des facteurs clés pour l'évolution des procédés liés à la fabrication additive dans les trois à cinq prochaines années.

Le développement de la fabrication additive est intimement lié à **l'apparition de nouvelles matières** exploitables par cette technologie. La gamme des matières actuellement disponibles pour l'impression métallique est beaucoup moins étendue que la gamme des matières premières que l'on peut exploiter dans les fabrications soustractives. Les participants estiment que cette gamme devrait sensiblement s'étendre dans les trois à cinq ans. C'est un facteur important considérant que plus il y a de matières disponibles, plus l'offre de solutions basée sur la fabrication additive peut être importante. Par contre, au niveau des matières plastiques et résines, pour les services rendus aux particuliers, la gamme des produits disponibles comble les besoins.

La qualité des fiches techniques communiquées aux exploitants par le fournisseur des matières premières à l'attention des exploitants de la fabrication additive

est également un élément à prendre en compte. Le manque de précision des données fournies nécessite un important travail de calibration pour obtenir la qualité souhaitée d'un produit.²² Bien que les participants considèrent que c'est à l'exploitant de la machine de trouver la meilleure manière de travailler la matière, l'alliance de grands groupes industriels, habitués à fournir des fiches techniques très précises, avec des fabricants d'imprimantes 3D devrait permettre d'augmenter la qualité et la précision des fiches techniques. Ceci devrait contribuer à diminuer le temps passé par l'exploitant à chercher la procédure optimum de fabrication. Cependant, cette avancée n'est pas attendue dans les trois à cinq ans. De plus, c'est une démarche difficile à mener étant donné les secrets de fabrication qui permettent à une entreprise de se démarquer de ses concurrents. Une collaboration entre l'exploitant et le fabricant ne doit pas aboutir à ce que le fabriquant d'imprimante 3D accède à ce type d'information.

L'augmentation de la rentabilité par une plus grande productivité des machines est un facteur clé pour le développement de la fabrication additive. Cependant, les participants considèrent qu'une machine plus performante fera appel à des technologies plus avancées ou plus nombreuses et sera donc plus onéreuse in fine.²³

²⁰ La maintenance proactive consiste notamment à surveiller la machine en fonctionnement pour détecter toute anomalie avant qu'un incident ne prenne de l'ampleur.

²¹ Les facteurs sont pointés en gras dans le texte.

²² P. ex., une fiche technique indique que la matière peut être travaillée dans un intervalle donné de température. Pour l'exploitant, il s'agit de trouver la température précise qui lui permettra de fabriquer la pièce avec le meilleur ratio entre la qualité de la pièce et la quantité de matière consommée.

²³ Une analogie peut être faite avec l'introduction des nouvelles technologies dans le secteur automobile : celles-ci sont d'abord réservées aux véhicules haut de gamme, les plus coûteuses, avant d'arriver sur les autres gammes de voitures.

La rentabilité devrait être un peu meilleure dans les années à venir mais devrait être freinée par les coûts d'investissement et d'exploitation de la machine.

L'amélioration des performances au niveau des tolérances et de la qualité des pièces produites par fabrication additive et leur certification²⁴ est un facteur également retenu. Les pièces produites par fabrication additive doivent répondre à des contraintes similaires à celles des pièces produites par fabrication soustractive. Les conséquences d'une pièce défectueuse dans des secteurs comme l'aéronautique ou la défense peuvent être dramatiques. Les participants signalent que la certification est plus difficile à obtenir pour les pièces produites par fabrication additive vu le manque de recul à ce sujet. Ce facteur a fait également émerger la question du post-traitement des pièces, la qualité finale des produits en étant grandement dépendante. Le post-traitement est un travail plus conséquent avec la fabrication additive que pour des méthodes de production classiques. Les experts considèrent que ce travail sera toujours présent mais qu'il sera moins important, grâce à l'évolution de la technologie des imprimantes 3D qui permet d'obtenir un meilleur état de la surface des produits mais aussi par le fait que pour certaines matières, le post traitement puisse être réalisé automatiquement. Cependant, il devrait y avoir très peu d'évolutions sur ce dernier point dans les trois à cinq ans.

Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive est un facteur qui peut jouer sur la diffusion de cette technologie dans un cadre

professionnel. Si la fabrication d'une pièce par les méthodes soustractives est bien connue, il faudra tâtonner, dans un certain nombre de cas, pour produire celle-ci par fabrication additive. Les participants sont unanimes sur le fait que le réseau économique autour de la fabrication additive va se développer. L'arrivée d'un leader mondial, bien que non prévu pour le moment, pourrait également avoir un effet d'entraînement sur d'autres entreprises. Celles-ci pourraient initier ou confirmer l'exploitation de la technologie.

Les contraintes liées aux demandes des clients sont un facteur qui se retrouve dans toute activité de production commerciale. Si les contraintes sont différentes selon les secteurs, elles sont toujours jugées élevées. Les participants considèrent que les performances technologiques tirent le client vers plus d'exigences ce qui pousse la technologie à s'améliorer.

La facilité de mise en œuvre des machines de la fabrication additive est un facteur important car leur utilisation optimale n'est pas aisée et implique une expérience conséquente. Ce facteur fait également référence à la maturité des machines. Aujourd'hui, une partie des participants considèrent que les fabricants d'imprimantes 3D proposent des machines jugées de « version prototype améliorée » qui sont relativement fermées²⁵ pour maintenir une grande dépendance de l'entreprise utilisatrice envers le fabricant de l'imprimante 3D. Par contre, les participants répondant à des commandes pour particuliers utilisent des machines qui offrent plus de possibilités de modifications ou d'utilisation de consommables qui ne sont pas délivrés

par le fabricant. Cependant, ces mêmes exploitants constatent que ces possibilités sont en train de se réduire. Les fabricants veillent à augmenter de plus en plus la dépendance de l'exploitant auprès d'eux. Cette situation est jugée handicapante car elle freine les tests et l'exploitation de nouveaux matériaux disponibles sur le marché.

Le développement d'algorithmes de conception performants est un facteur clé pour le développement de la fabrication additive d'objets très complexes. Leur modélisation demande, en effet, une puissance de calcul très importante nécessitant des « superordinateurs ». Ce facteur permet d'aborder également le logiciel employé pour la conception. Les programmes actuels de conception assistée par ordinateur n'ont pas été créés spécifiquement pour la fabrication additive. Il y a donc une marge d'évolution sensible pour optimiser l'utilisation du logiciel et la modélisation de l'objet à fabriquer.

Il faut noter que la production à destination du grand public n'est pas impactée par ce facteur car les outils disponibles sont jugés déjà suffisamment performants.

De manière générale dans l'industrie, **la proximité des services après-vente des fabricants ou des importateurs de machines** a un impact direct sur la production et sur le rendement de l'exploitant de cette machine.

Dans le cadre de la fabrication additive, il s'agit d'un facteur d'autant plus important qu'elles n'ont pas encore eu le temps d'atteindre le niveau de maturité et

²⁴ La certification est un processus attestant de la conformité des caractéristiques d'un produit aux normes en vigueur.

²⁵ Une machine est considérée comme plus ou moins fermée en fonction des consommables employables et des possibilités pour l'exploitant d'effectuer une modification ou une réparation sans devoir passer par le fabricant de la machine.

de robustesse de celles des autres procédés de fabrication.

Les participants estiment que le service des importateurs permet le développement de la fabrication additive. Toutefois, ces importateurs se trouvent géographiquement trop éloignés des entreprises wallonnes que pour proposer une réactivité optimale.

Le développement de la normalisation sur la fabrication additive est également un facteur retenu. La norme permet de baliser un cadre de travail et d'établir des définitions communes. Il y a actuellement très peu de normes sur le sujet ce qui ne facilite pas la communication entre les entreprises. Un important travail de clarification doit dès lors être mené pour s'assurer que chacune des parties engagées dans un projet de fabrication additive adoptent les mêmes référentiels pour communiquer efficacement. Les participants confirment que le travail est en cours mais qu'il s'agit d'un processus relativement long qui peut prendre plusieurs années.

Enfin, **l'arrivée de technologies liées à la fabrication additive dans le domaine public** pourrait voir émerger de nouveaux acteurs. Ce dernier facteur a été retenu en amont de l'analyse. Il s'est révélé finalement avoir peu ou pas d'impact pour les entreprises. En effet, l'arrivée des technologies de la fabrication additive dans le domaine public ne rend pas plus facile sa mise en œuvre et son exploitation commerciale. Par contre, en parler abondamment dans la société peut favoriser la

demande au niveau des particuliers. Enfin, la technologie arrivant dans le domaine public est considérée par les participants comme obsolète tout en restant relativement coûteuse.

Quelles sont les actions à mener pour soutenir les évolutions attendues et/ou nécessaires ?

Le développement de la fabrication additive favorise **l'émergence de nouveaux matériaux** qui, à son tour, favorise la diffusion de ce procédé de fabrication dans le tissu industriel. Il s'agit donc d'une évolution naturelle qui ne nécessite pas d'action particulière. Par contre, les participants préconisent le développement de plateformes permettant de réaliser des tests sur les matériaux pour déterminer des spécifications qui sortent de l'ordinaire.²⁶ Les entreprises peuvent déjà pour un certain nombre de cas faire appel à des centres de recherche et de développement situés en Belgique mais les possibilités sont actuellement limitées en comparaison du champ des possibilités.

Les participants sont convaincus que **l'augmentation de la rentabilité par une augmentation de la productivité** est un résultat qui peut être obtenu en optimisant la collaboration entre les centres de recherche, les universités et les entreprises. Pour cela, il faut une excellente connaissance des besoins des entreprises par un échange d'informations dans les deux sens entre les entreprises et les centres de recherche. Cependant, une partie des participants signale que cette

collaboration a des limites car elle ne peut concerner les informations relatives aux secrets de fabrication des produits et des pièces fabriquées.

Une possibilité pour réduire le temps de fabrication est d'avoir un parc d'imprimantes 3D plus important. Dans le cadre d'une fabrication professionnelle dans les secteurs industriels, l'achat d'une imprimante 3D travaillant le métal, se chiffre à plusieurs centaines de milliers d'euros. Le « ticket d'entrée » pour exploiter cette technologie est donc considérable. L'accès à des emprunts spécifiques pour l'investissement dans du matériel lié à la fabrication additive dans le cadre d'une poursuite ou du développement d'une activité économique est une piste.

Les participants relèvent qu'il existe une marge considérable entre le coût annoncé par le fabricant et le coût réel qu'implique la fabrication additive. Outre l'achat de l'imprimante 3D, il faut prendre en compte les coûts liés à la mise en place de l'environnement spécifique dans lequel elle doit fonctionner²⁷, les pertes de matières premières, les coûts liés au maintien du fonctionnement optimum, etc. Créer une information établie par les entreprises pour les entreprises sur le coût réel de l'exploitation des imprimantes 3D serait une action précieuse à mener. Ceci permettrait d'éviter qu'une entreprise se lance dans une fabrication additive sans estimation financière correcte.

Tout comme dans les autres procédés de fabrication, la qualité finale d'un objet implique l'application d'un

²⁶ P. ex. des tests sur la stérilisation des produits dans le cadre de pièces ou produits à destination de l'industrie médicale et pharmaceutique.

²⁷ P. ex. suivant le contexte d'utilisation, il faut un environnement en surpression ou sous-pression.

post-traitement efficace. Il s'agit souvent de procédés confidentiels et propres aux entreprises. Cependant, les connaissances relatives aux objectifs et aux techniques élémentaires de post-traitement demeurent des fondamentaux à acquérir par des formations réalisées en dehors des entreprises. Ensuite, c'est par une formation au sein de l'entreprise que les compétences liées au post-traitement spécifique aux objets produits par l'entreprise sont acquises.

Les participants insistent sur le fait qu'il ne s'agit pas de créer une formation exclusivement dédiée au post traitement dans la fabrication additive mais bien d'intégrer la partie « fabrication additive » dans les formations « post-traitement » déjà existantes. Les participants insistent également sur l'importance de mener des recherches sur les méthodes de finition étant donné qu'il s'agit d'un enjeu permettant aux entreprises de se démarquer.

Le développement d'un **réseau économique autour de la fabrication additive** peut être favorisé par cartographie des besoins des entreprises exploitant ce processus de fabrication.

Les participants signalent qu'il existe en France des clubs d'impression 3D où des collaborations et des synergies entre entreprises s'initient²⁸. Ce type d'action est à imiter en Wallonie. De plus, il faut poursuivre les

démarches qui favorisent la sensibilisation de la part des entreprises à destination des acteurs professionnels mais aussi à destination des jeunes. Les programmes de sensibilisation, séminaires et conférences proposés à la foire de Hanovre (All.) ou au salon de Lyon (Fr.)²⁹ doivent également inspirer les industriels wallons.

Les contraintes du client, l'arrivée de certaines technologies publiques et la facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D représentent un ensemble de facteurs qui ont conduit à mettre en avant des actions à mener au niveau de la formation relative à la fabrication additive. Les participants considèrent comme souhaitable, voire essentiel à l'ère du numérique de s'ouvrir l'esprit à la conception en trois dimensions. Cela devrait commencer dès le plus jeune âge, notamment par l'exploitation dans les écoles d'outils comme la pâte à modeler et par la suite le dessin en perspective d'objets simples. De plus, si le contexte le permet, l'utilisation pratique d'imprimantes 3D avec des logiciels gratuits et simples d'utilisation devrait être mise en place dans le cadre des cours généraux. Enfin, il faut noter que la France vient de lancer un premier concours national d'impression 3D.³⁰ Toutes ces actions devraient permettre de faciliter la compréhension et la manipulation des imprimantes par la suite dans le cadre d'études professionnalisantes. Sur ce dernier point, les participants ont insisté sur le besoin

d'intégrer les aspects relatifs à la fabrication additive dans les formations CAO.

Au niveau de l'accès au service des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive, le développement d'un répertoire des fournisseurs de machines réalisé par et pour les entreprises, comprenant notamment un retour d'expérience des clients, permettrait d'établir une comparaison aisée entre le type et la qualité des services proposés par les différents fabricants.

Les actions à mener au niveau de la normalisation et des certifications sur de la fabrication additive sont de deux ordres : tout d'abord les étudiants dans le supérieur se destinant à travailler dans l'industrie doivent avoir un cours d'introduction aux normes et aux schémas de certification. Ceci permettrait, au final, de maîtriser le vocabulaire relatif aux normes et à la certification ainsi que la manière de pouvoir lire et d'exploiter correctement ce type de documents. Ensuite, pour les entreprises, il s'agit de poursuivre le travail de participation à l'élaboration des normes belges, européennes et internationales.

²⁸ P. ex. le « Club Impression 3D et Fabrication Additive Nord-Pas de Calais » qui est une initiative portée par les Chambres du commerce et de l'industrie de la région Hauts de France. Cf. <http://www.clubimpression3d.fr/>

²⁹ Cf. <http://www.3dprint-exhibition.com>

³⁰ « Chaque participant devra proposer un objet imprimé en 3D. Il s'agit de concevoir et d'imprimer en 3D, un prototype innovant, original et créatif représentant un objet du quotidien écologique et respectueux de l'environnement. Le concours est ouvert aux élèves et apprentis de la classe de 4ème jusqu'au niveau Bac+5, toutes filières confondues, en France métropolitaine et dans les Départements et Régions d'Outre-Mer. Il est ouvert aux participations individuelles et par classe ». <http://www.education.gouv.fr/cid109364/les-jeunes-et-l-industrie-lancement-du-premier-concours-national-d-impression-3d.html> - 18/11/2016. Consulté le 15/12/16.

Impacts des évolutions : quels besoins en compétences ?

Le croisement entre le scénario d'évolution sur trois à cinq ans et le périmètre du processus de la fabrication additive indiquent que ce sont les contraintes imposées par le client, l'amélioration des performances des matériaux et leur certification ainsi que la facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D qui impactent le plus les tâches à entreprendre pour mener à bien le processus.

Les tâches les plus impactées sont la définition du besoin du client et l'établissement de cahier des charges du produit et la sélection de la technologie adéquate, la définition du processus de fabrication, et la veille technologique et économique sur le marché de la fabrication additive.

Dans cette première partie, nous évoquons uniquement par tâche, les compétences les plus influencées par le scénario d'évolution du métier. Une liste des compétences à maintenir ou à développer en lien avec les tâches les plus impactées est disponible dans la seconde partie de ce rapport³¹, à laquelle nous renvoyons le lecteur pour plus de détails.

Au niveau de la définition du besoin du client et de la production du cahier des charges, le fait de travailler sur un processus aussi jeune que la fabrication additive, implique beaucoup plus d'échanges autour de l'objet à produire. La technologie évoluant, la réponse apportée à un besoin exprimé aujourd'hui ne sera pas

la même que dans deux ans. C'est une grande différence avec les autres procédés de production où la maturité a atteint un tel niveau que les évolutions sont minimales. Au niveau des compétences, considérant que la fabrication additive est complémentaire des techniques traditionnelles, il est nécessaire d'avoir une connaissance transversale des techniques de fabrication et en particulier de leurs avantages et de leurs inconvénients ainsi qu'une bonne idée de la rentabilité de chacune des solutions disponibles dans l'entreprise.

La modélisation et l'orientation de l'objet à concevoir dans l'espace d'impression nécessitent de respecter les contraintes dimensionnelles et géométriques de l'objet tout en y intégrant l'ensemble des contraintes physiques pour obtenir le produit final. La compétence première est de maîtriser les outils DAO/CAO adaptés à la fabrication additive. L'évolution sera apportée par les développements informatiques attendus dans des logiciels de conception spécifiquement réalisés pour la fabrication additive. Ceux-ci tiennent compte d'un ensemble de paramètres que l'on ne retrouve pas dans les programmes actuels et offrent la possibilité de réaliser des simulations informatiques. Maîtriser ces logiciels informatiques de nouvelle génération, conçus initialement pour la fabrication additive sera une compétence recherchée.

L'étape relative aux **tests du processus de fabrication** est très différente suivant la taille et le contexte de fabrication. Si la connaissance du comportement de l'imprimante 3D et du matériau mis en œuvre reste

des éléments à mobiliser pour affiner le processus, celui-ci devrait, du moins pour les grands groupes et dans le cadre de l'industrie 4.0, être de plus en plus automatisé et informatisé. Ceci nécessitera des compétences à la fois de programmation et de mécanique.

Le lancement du processus de fabrication est une tâche répétitive qui demande de la minutie. Cependant, elle est également de plus en plus automatisée via un ERP qui s'occupe de la gestion et du monitoring de la fabrication.

Pour les grands groupes industriels et suivant les contextes de fabrication, il en va de même pour **la réalisation du contrôle qualité**. On cherche à la remplacer par du monitoring constant et un processus de fabrication contrôlé à l'extrême. Dans d'autres contextes d'exploitation de la fabrication additive, l'inspection visuelle et le toucher restent les manières d'effectuer ce contrôle.

Le post-traitement mobilise les mêmes compétences que celui de pièces usinées. Cependant, on voit apparaître des appareils qui réalisent certains types de post-traitement de manière tout à fait satisfaisante. Une automatisation se développe donc pour différents procédés, suivant le matériau travaillé et le résultat souhaité.

³¹ Cf. pp. 26-27.

Les compétences requises pour **la maintenance** d'une imprimante 3D restent les mêmes que pour une machine de fabrication traditionnelle. La maintenance réalisée chez l'exploitant de fabrication additive va, suivant les contextes, d'un grand nombre d'opérations (nettoyage des lentilles, graissage des axes, montage/démontage de l'ensemble de l'imprimante) à quelques tâches simples comme l'approvisionnement en consommable. Vu la complexité de la machine, le reste est réalisé par le technicien du fabricant de celle-ci. L'évolution tend à réduire les opérations de maintenance et à l'implémentation d'un monitoring accru des machines.

Enfin, la fabrication additive emploie de nouveaux matériaux. Ceci implique de **nouveaux risques** sur lesquels il est important de sensibiliser le travailleur en plus des nouvelles consignes de sécurité.

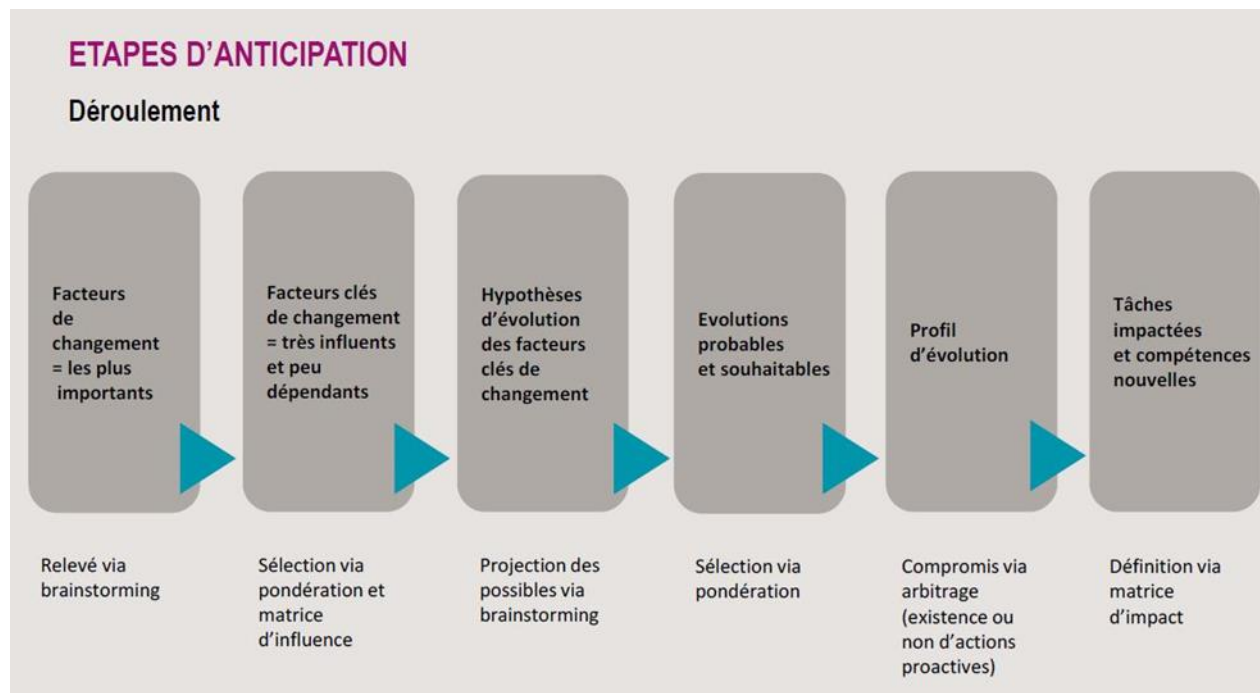
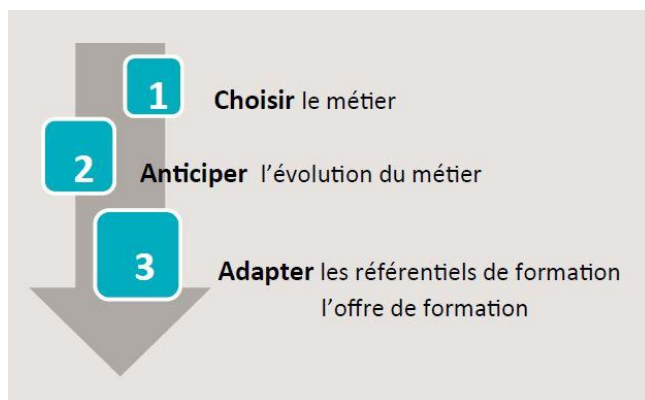
Partie 2 – La démarche et les résultats pas à pas

Cette partie du document décrit l'ensemble du processus suivi dans le cadre du déploiement de la méthode *Abilitic* appliquée à la fabrication additive.

La démarche se base sur la participation d'un panel d'experts à une série d'ateliers encadrés par un animateur qui conduit les réunions et par un back officer qui prend note des éléments cités en séance.

La méthode alterne, d'une part, des phases de réflexion créative et collective de type brainstorming et, d'autre part, des phases individuelles destinées à noter la pertinence ou l'impact des idées précédemment émises. Le traitement de ces notes, par le back officer et l'animateur, permet d'objectiver les éléments récoltés. Les résultats obtenus au terme de chaque phase servent de matière première à la phase suivante.

Trois grandes étapes doivent être parcourues : choisir un métier, anticiper les évolutions et leurs impacts sur le métier, puis adapter les prestations. Le présent rapport se focalise essentiellement sur la deuxième phase consacrée à l'anticipation.



Les quatre ateliers se sont déroulés en 2016, du 13 octobre au 24 novembre. Ils ont rassemblé une dizaine de personnes issues de différents milieux : entreprises, centres de compétence, opérateur de formation, représentant du secteur, et le Forem (cf. le colophon).

La fabrication additive a été sélectionnée pour faire l'objet d'un exercice détaillé d'anticipation, sur base de l'analyse de grandes tendances d'évolution des secteurs de l'industrie et de la numérisation en général.

La suite du document reprend étape par étape, le déroulé de la procédure d'analyse :

1. Périmètre de la procédure de fabrication additive.
2. Recensement des facteurs de changement les plus importants.
3. Sélection des facteurs les plus influents.
4. Hypothèses d'évolution des facteurs clés de changement.
5. Évolutions probables et souhaitables.
6. Profil d'évolution.
7. Impacts sur les activités et les besoins en compétences.

1. LE PÉRIMÈTRE DU PROCESSUS DE LA FABRICATION ADDITIVE

La première étape des ateliers prospectifs consiste à réaliser un périmètre du métier analysé reprenant par activité, l'ensemble des tâches exercées dans le cadre de celui-ci. Cependant, la présente analyse ne porte pas sur un métier spécifique mais sur une technologie dont l'exploitation nécessite des compétences pouvant mobiliser plusieurs métiers. C'est pourquoi le présent périmètre porte sur l'ensemble des tâches à réaliser pour une utilisation professionnelle de la fabrication additive dans un cadre de production. Faute d'un périmètre officiel de référence utilisable dans le cadre de cette analyse, le présent périmètre a été réalisé sur base des sources disponibles en la matière et précisé avec les experts lors du premier atelier.

Les cinq premières activités concernent la réalisation de l'objet à imprimer en 3D. La sixième activité est jugée essentielle pour rester au fait de l'évolution des possibilités et des solutions offertes par la technologie de la fabrication additive.

La septième activité citée est jugée comme particulièrement importante pour les participants, notamment dans le cas d'utilisation de poudres métalliques.

Activités	Tâches	Profils associés ³²
1. Conception.	1.1 Définir le besoin du client. 1.2 Établir le cahier des charges du produit et sélectionner la technologie adéquate. 1.3 Réaliser la modélisation 3D. 1.4 Orienter la/les pièce(s) dans l'espace d'impression.	1.1 et 1.2 : cadre technico-commercial et ingénieur orienté matériaux. 1.3 et 1.4 : dessinateur-projeteur et ingénieur orienté matériaux.
2. Pré-production.	2.1 Définir le processus de fabrication. 2.2 Planifier la fabrication. 2.3 Tester le processus (paramétrage, test, correction).	2.1 : ingénieur à orientation informatique, chercheur 2.2 : gestionnaire de production.
3. Production.	3.1 Lancer la fabrication de la solution. 3.2 Réaliser des contrôles qualité de la production.	3.1 : opérateur machine 3.2 : responsable qualité.
4. Post-production.	4.1 Sortir le produit de l'imprimante. 4.2 Réaliser le post-traitement (lisser, poncer, peindre...) 4.3 Contrôler le post-traitement.	Usineurs, polisseurs, peintres...
5. Maintenance de la machine.	5.1 Mener une maintenance préventive. 5.2 Mener une maintenance curative. 5.3 Mener une maintenance proactive.	5.1 et 5.3 : technicien de maintenance ou opérateur machine de l'entreprise. 5.2 : technicien de maintenance du fabricant de machine.
6. Veille technologique et du contexte de développement économique de la fabrication additive.	6.1 Se maintenir informé de l'évolution des technologies, des marchés et des possibilités offertes par l'impression 3D.	Cadre technico-commercial et ingénieur travaillant dans le domaine de la fabrication additive.
7. Activité transversale (activité 2 à 5).	7.1 Appliquer les consignes de sécurité dans le cadre de l'utilisation des imprimantes 3D.	Ensemble du personnel.

Tableau 1 : Le périmètre du processus de la fabrication additive.

³² Comme signalé dans la première partie du rapport, dans le cadre d'un service au particulier pour des pièces en résine et plastique, l'ensemble des tâches peut être effectué par une seule personne.

2. LES FACTEURS LES PLUS IMPORTANTS

L'anticipation des facteurs de changement, c'est-à-dire la détermination des facteurs de l'évolution de la fabrication additive s'effectue, selon la méthode Abilitic2Perform, en deux étapes : d'une part, le recensement des facteurs de changement et, d'autre part, la limitation aux facteurs de changement les plus importants. Ces deux étapes ont été réalisées lors du premier atelier.

L'objectif de la première étape est d'établir, via brainstorming, une liste la plus exhaustive possible de facteurs de changement. Pratiquement, la question suivante a été posée à l'ensemble des experts : *Quels sont, dans un horizon de trois à cinq ans (2020-2022), les facteurs qui détermineront/influenceront le processus de la fabrication additive ?*

Après un temps de réflexion individuelle, chaque expert a présenté les facteurs à l'ensemble du groupe qui a réagi et commenté les propositions de chacun, et les a éventuellement reformulés. Au total, les experts ont ainsi recensé 37 facteurs de changement qui relevaient de différentes dimensions : politique, économique, socioculturelle, technologique, légale.

La seconde étape, c'est-à-dire l'identification des facteurs de changement les plus importants, s'est faite sur la base d'un vote pour lequel chaque expert disposait d'une bourse de 19 points³³ à répartir sur les facteurs de changement (avec un maximum de cinq points par facteur) qui selon eux affecteraient le plus

l'évolution des métiers en lien avec la fabrication additive d'ici trois à cinq ans. Les trois critères suivants ont été pris en compte pour la sélection des facteurs de changement les plus importants :

1. La mobilisation (le nombre d'experts ayant voté pour le facteur).
2. L'importance relative (la moyenne des notes attribuées).
3. L'étendue (la différence entre note maximale et note minimale).

Le vote d'importance a ainsi permis de désigner 20 facteurs comme les plus importants pour l'évolution des métiers :

A1	L'augmentation de la productivité, de la rentabilité.
A2	La promotion de la technologie dans l'enseignement et la formation.
A3	La gamme des matériaux utilisables en fabrication additive.
A4	La diminution du prix des matières premières.
A5	L'amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et reconnaissance par le législateur.
A6	Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive.
A7	L'importance de l'information autour de la fabrication additive.

A8	La réduction des délais de développement des nouveaux produits grâce à de la fabrication additive.
A9	Les contraintes liées à la demande du client.
A10	L'arrivée de certaines technologies de la fabrication additive dans le domaine public.
A11	Les projets de sensibilisation autour de la fabrication additive.
A12	Les « success stories » de la fabrication additive.
A13	Le développement de la normalisation/certification sur de la fabrication additive.
A14	La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.
A15	Les connaissances de la société sur la fabrication additive.
A16	La réduction des coûts d'utilisation des machines de fabrication additive.
A17	L'adoption massive de la fabrication additive pour la production par des sociétés leaders du marché.
A18	Le développement d'algorithmes de conception performants.
A19	La sécurité liée à l'utilisation des machines de fabrication additive.
A20	L'accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.

Tableau 2 : Les 20 facteurs de changement importants retenus après le vote d'importance.

³³ C'est-à-dire, le nombre de facteurs divisé en deux.

3. LA SÉLECTION DES FACTEURS LES PLUS INFLUENTS

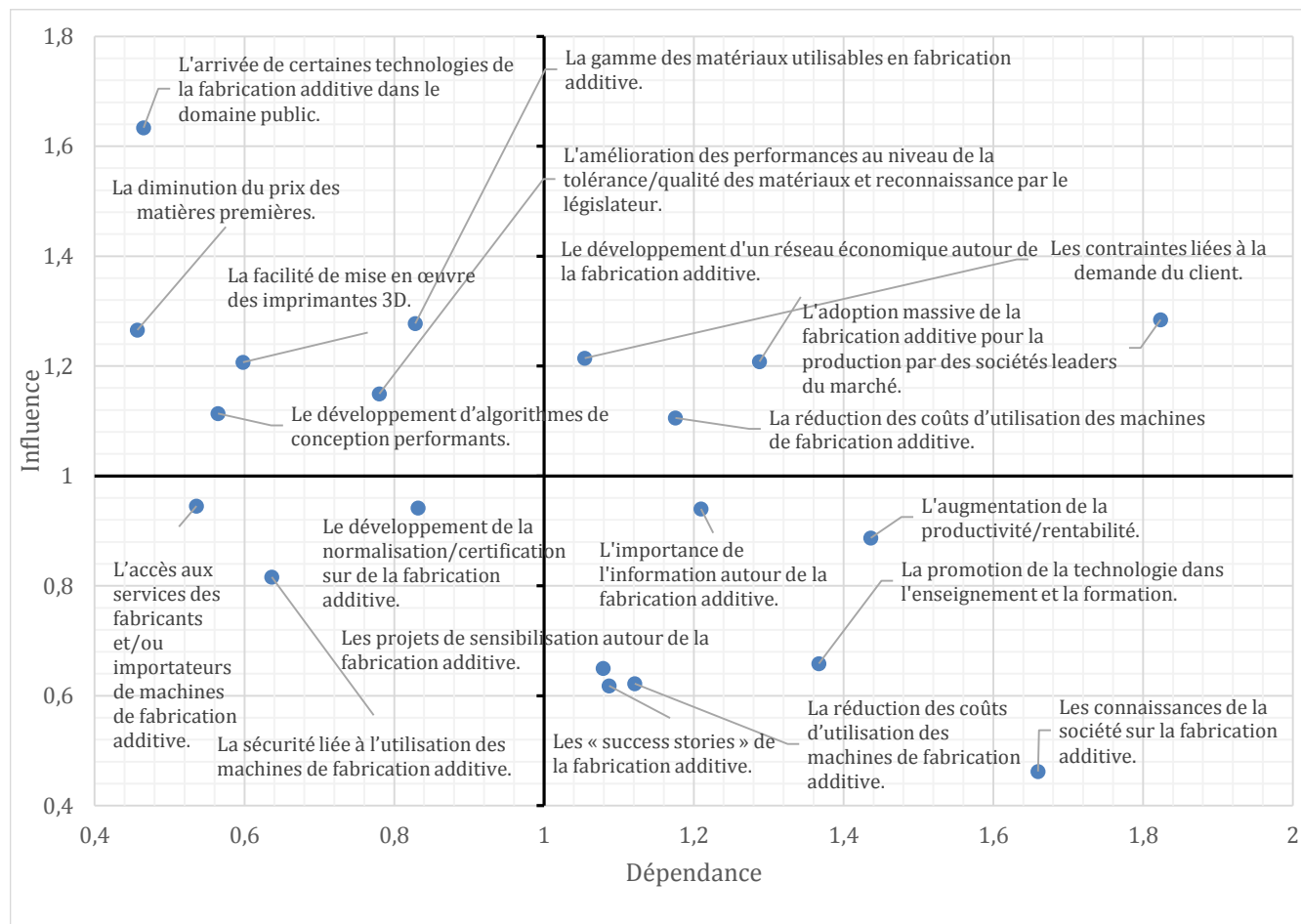
Il a ensuite été demandé aux experts lors du second atelier, de se prononcer sur l'influence que ces facteurs de changement exercent les uns sur les autres. Ils ont pour ce faire rempli à distance, entre les ateliers un et deux, une matrice en y notant l'influence des facteurs en ligne sur les mêmes facteurs en colonne (0 : aucune influence ; 1 : influence faible ; 2 : influence moyenne ; 3 : influence forte).

La compilation des matrices des experts est visualisée dans le graphique 1 qui représente les positions d'influence / dépendance relatives des vingt facteurs.

La sélection des dix facteurs à garder pour la suite des travaux a été réalisée dans un premier temps sur la base des deux critères suivants (voir graphique 1) :

1. Les facteurs simultanément très influents sur les autres et peu dépendants des autres (cadrant supérieur gauche).
2. Les facteurs les plus influents et à dépendance moyenne (cadrant supérieur droit).

La discussion sur les résultats bruts du vote d'influence tels qu'ils ressortent dans le graphique, a mené les experts à valider neuf des dix critères sélectionnés par la méthode. Les experts ont cependant marqué leur volonté de retirer le facteur « la réduction des coûts d'utilisation des machines de fabrication additive » pour le remplacer par les facteurs « le développement d'algorithmes de conception performants » ou « le développement de la normalisation/certification sur de la fabrication additive » jugés



Graphique 1 : Résultat de la compilation des matrices des votes d'influence des experts.

comme plus intéressants dans le cadre de la présente analyse. Le facteur relatif au « développement d’algorithmes de conception performants » a finalement été retenu après un tour de vote parmi les experts présents en séance. Ci-contre, le tableau représentant les dix facteurs dominants retenus :

F1. L’étendue des matériaux utilisables en fabrication additive.
F2. L’augmentation de la productivité/rentabilité.
F3. L’amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et certification.
F4. Le développement d’un réseau économique autour de la fabrication additive.
F5. Les contraintes liées à la demande du client
F6. L’arrivée de certaines technologies de fabrications additives dans le domaine public.

F7. La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.
F8. Le développement d’algorithmes de conception performants.
F9. L’accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.
F.10. Le développement de la normalisation/certification sur la fabrication additive.

Tableau 3 : Les dix facteurs dominants retenus après le vote d’influence.

4. LES ÉVOLUTIONS PROBABLES ET SOUHAITABLES

Une fois ces dix facteurs déterminés, il s’agissait d’envisager leur évolution possible. Pour ce faire, il a été demandé aux experts, lors du second atelier, de décrire les situations actuelles et futures (dans un horizon de trois à cinq ans) pour chaque facteur de changement. D’abord dans le cadre d’une réflexion indivi-

duelle, puis dans un second temps, en duo en élaborant par écrit et pour chaque facteur, des synthèses de la situation actuelle et dans un futur proche et ensuite, des hypothèses d’évolution.

Ces hypothèses ont ensuite été soumises au vote des experts qui étaient invités à exprimer, d’une part, une estimation du caractère probable de l’hypothèse,

d’autre part, une appréciation de son caractère souhaitable.

5. LE PROFIL D’ÉVOLUTION

Le tableau des pages suivantes a servi d’input au troisième atelier, dont le premier objectif était, pour chaque facteur, de retenir l’hypothèse à considérer pour la suite du travail : l’hypothèse la plus probable a été confrontée à l’hypothèse la plus souhaitable. Lorsque l’hypothèse la plus probable était différente de l’hypothèse la plus souhaitable, un arbitrage était réalisé entre les deux. Si le groupe d’experts estimait qu’il

était possible de mettre en œuvre des actions permettant d’atteindre l’hypothèse la plus souhaitable, c’est celle-ci qui était retenue. Dans le cas inverse, on retenait la plus probable. La formulation de certaines hypothèses a été légèrement précisée ou enrichie à l’occasion de cette discussion.

Note de lecture du tableau 3 :

Les hypothèses d’évolution ayant été identifiées comme **les plus probables sont sur fond bleu et en italique.**

Les hypothèses d’évolution identifiées comme **les plus souhaitables sont sur fond jaune et soulignées.**

Les **hypothèses d’évolution retenues**, parce que probables et souhaitables, ou après arbitrage, sont **surlignées en gras** et entourées.

Facteurs de changement	A	B	C	D
F1. L'étendue des matériaux utilisables en fabrication additive.	À partir de 2018-2019, peu de nouveaux matériaux sortent et la fréquence des sorties ralentit dans les prochaines années.	La gamme de matériaux disponibles pour une fabrication additive augmente très peu par rapport à la situation de 2016. Les "data sheets" fournissent des informations approximatives nécessitant un important travail d'étalonnage pour sortir des produits conformément au cahier des charges.	<i>La gamme de matériaux disponibles pour une fabrication additive augmente sensiblement par rapport à la situation de 2016. Les "data sheets" fournissent des informations approximatives nécessitant un important travail d'étalonnage pour sortir des produits conformes au cahier des charges.</i>	<u>La gamme de matériaux disponibles pour une fabrication additive augmente sensiblement par rapport à la situation de 2016. Les "data sheets" fournissent des informations précises nécessitant un travail d'étalonnage très rapidement réalisé pour sortir des produits conformes au cahier des charges.</u>
F2. L'augmentation de la productivité/rentabilité.	Même si on dispose de machines plus rapides, la demande ne décolle pas. La productivité et la rentabilité restent faibles également à cause des investissements et des coûts de production importants.	<i>Grâce à une demande accrue et à des machines plus rapides, la productivité et la rentabilité sont meilleures. Cependant, les coûts des investissements et/ou de production diminuent trop peu, ce qui ne permet pas d'élargir - ou très peu - la gamme des produits rentables à produire.</i>	Grâce à une demande accrue et à des machines plus rapides, la productivité et la rentabilité sont meilleures. La gamme de produits rentables à produire s'élargit. Suite également à des coûts d'investissement et de production en diminution, on considère que la situation de la productivité et de la rentabilité s'améliore sensiblement.	<u>Grâce à une demande accrue et à des machines plus rapides, la productivité et la rentabilité sont meilleures. La gamme de produits rentables à produire s'élargit. Grâce également à des coûts d'investissement et de production en diminution, on considère que la situation de la productivité et de la rentabilité s'améliore fortement.</u>
F3. L'amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et certification.	Le post-traitement des pièces est une étape indispensable et demande un investissement certain. Le nombre de cas de défaillance des pièces produites en fabrication additive est à la limite de l'acceptable. Il y a peu de certification des matériaux imprimés.	Le post-traitement des pièces est une étape indispensable mais moins importante que par le passé. Le nombre de cas de défaillance des pièces produites en fabrication additive est dans la norme des pièces produites par les méthodes soustractives. On constate un léger développement de la certification des pièces produites en fabrication additive.	<i>Le post-traitement des pièces est une étape indispensable. Le nombre de cas de défaillance des pièces produites en fabrication additive est dans la norme des pièces produites par les méthodes soustractives. On constate un développement important de la certification des pièces produites en fabrication additive.</i>	<u>Le post-traitement des pièces est une étape indispensable mais moins importante que par le passé. Le nombre de cas de défaillance des pièces produites en fabrication additive est dans la norme des pièces produites par les méthodes soustractives. On constate un développement important de la certification des pièces produites en fabrication additive.</u>

Bleu italique : plus probable – Jaune souligné : plus souhaitable – Gras : hypothèse retenue

F4. Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive.	Le réseau autour de la fabrication additive n'est pas suffisant ce qui freine le développement économique espéré autour de ces technologies.	<i>Le réseau se développe petit à petit et n'atteindra pas son stade de maturité avant 5 ans.</i>	En cinq ans, le réseau se développe ; il devient structuré et efficace. Il joue pleinement son rôle de facilitateur pour le développement de la fabrication additive.	
F5. Les contraintes liées à la demande du client.	Les contraintes clients sont de plus en plus importantes. Avec ces nouvelles contraintes de la fabrication additive perdent de la compétitivité par rapport à des fabrications soustractives, là où elles étaient pourtant performantes.	Les contraintes clients stagnent au niveau actuel ou évoluent très peu. Le niveau de compétitivité de la fabrication additive se maintient par rapport aux solutions de fabrications soustractives.	<i>Les contraintes clients stagnent au niveau actuel. La fabrication additive devient de plus en plus des solutions compétitives par rapport aux fabrications soustractives.</i>	Les contraintes clients sont de plus en plus importantes mais les technologies de la fabrication additive évoluent tellement que ce n'est pas un problème. La fabrication additive gagne en compétitivité par rapport aux solutions de fabrications soustractives.
F6. L'arrivée de certaines technologies dans le domaine public.	Les technologies arrivant dans le domaine public sont obsolètes et n'ont donc aucun impact pour les sociétés actuellement concernées par la fabrication additive.	<i>Quelques technologies tombent dans le domaine public avec pour conséquence une diminution du prix des machines basées sur ces technologies. Cela a très peu d'impacts positifs ou négatifs pour les entreprises.</i>	<i>Quelques technologies tombent dans le domaine public avec pour conséquence une diminution du prix des machines basées sur ces technologies. Cela impacte sensiblement, positivement ou négativement, les entreprises.</i>	
F7. La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.	Les machines deviennent plus complexes et/ou plus fermées freinant leur déploiement dans les entreprises.	<i>Une utilisation et une manipulation optimales des machines sont difficiles et impliquent une expérience conséquente. De plus, les machines sont relativement fermées pour maintenir une grande dépendance de l'entreprise utilisatrice par rapport au fabricant d'imprimantes 3D.</i>	La concurrence entre fabricants s'intensifie ce qui implique une facilité d'utilisation grâce à l'automatisation et une possibilité d'ouverture des machines permettant la réparation et/ou la modification par des tiers (autre que le fabricant d'origine).	<u>La concurrence entre fabricants s'intensifie, ce qui implique une facilité d'utilisation grâce à l'automatisation et une possibilité d'ouverture des machines permettant la réparation et/ou la modification par des tiers (autre que le fabricant d'origine). L'ergonomie et la fiabilité des machines est également sensiblement améliorée.</u>

Bleu italique : plus probable – Jaune souligné : plus souhaitable – Gras : hypothèse retenue

F8. Le développement d'algorithmes de conception performants.	Évolution lente des performances et de l'accessibilité aux outils CAO ³⁴ qui ne sont pas mieux adaptés qu'aujourd'hui à la fabrication additive.	<i>On assiste à l'apparition de nouveaux outils CAO permettant une optimisation du design pour la fabrication additive. L'utilisation de ces outils est réservée à des spécialistes.</i>	On assiste à l'apparition de nouveaux outils CAO permettant une optimisation du design pour la fabrication additive. L'utilisation de ces outils est accessible pour une large majorité d'entreprise.	<u>On assiste à l'apparition de nouveaux outils CAO permettant une optimisation du design pour la fabrication additive. L'utilisation de ces outils est très accessible et permet de pousser l'optimisation des produits et des processus à leur limite.</u>
F9. L'accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.	Il y a peu de fabricants/ importateurs. Ils offrent un service limité et insuffisant pour respecter les standards de l'industrie. C'est un frein pour le développement de la fabrication additive.	<i>Il y a peu de fabricants/ importateurs. Ils offrent un service limité et juste suffisant pour respecter les standards de l'industrie et permettre le développement de la fabrication additive. Ces opérateurs se trouvent géographiquement éloignés des entreprises wallonnes (rayon de plus de 50 km et hors Wallonie).</i>	Il y a peu de fabricants/ importateurs. Ils offrent un service limité et juste suffisant pour respecter les standards de l'industrie et permettre le développement de la fabrication additive. Ces opérateurs se trouvent géographiquement proches des entreprises wallonnes (rayon de 50 km et en Wallonie).	<u>Il y a suffisamment de fabricants/ importateurs pour assurer un service après-vente rapide et efficace tout à fait satisfaisant pour les entreprises produisant à partir de machines additives.</u>
F.10. Le développement de la normalisation /certification sur la fabrication additive.	On voit l'apparition de nouvelles normes mais de manière lente et progressive.	<i>On constate une apparition de normes qui permettent une intégration plus facile de la fabrication additive dans l'industrie technologique.</i>	<u>On assiste à une généralisation des normes et de leur utilisation dans l'industrie technologique en lien avec la fabrication additive.</u>	

Bleu italique : plus probable – *Jaune souligné : plus souhaitable* – **Gras : hypothèse retenue**

Tableau 4 : Les hypothèses d'évolution pour chaque facteur de changement clé.

³⁴ Conception Assistée par Ordinateur.

Les dix hypothèses d'évolution retenues constituent le scénario d'évolution à l'horizon 2020-2022. Sur la base de ce scénario, les experts ont été invités à proposer des pistes d'actions/recommandations à mener afin de faciliter leur émergence (si l'hypothèse d'évolution la plus souhaitable a été retenue) et/ou de se préparer

au changement (si l'hypothèse d'évolution la plus probable a été retenue). Le recensement des pistes d'actions/recommandations s'est fait en session plénière, en passant en revue les facteurs de changement et les hypothèses retenues associées.

La liste des actions à mener afin de préparer ou provoquer le changement est reprise ci-dessous en vis-à-vis de chacune des hypothèses choisies

Facteur de changement	Hypothèse d'évolution retenue	Actions
F1. L'étendue des matériaux utilisables en fabrication additive.	<p><u>Probable</u> La gamme de matériaux disponibles pour une fabrication additive augmente sensiblement par rapport à la situation de 2016. Les "data sheets" fournissent des informations approximatives nécessitant un important travail d'étalonnage pour sortir des produits conformes au cahier des charges.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Développer des plateformes permettant d'effectuer des tests sur des matériaux exploités en fabrication additive afin d'en connaître les caractéristiques spécifiques répondant à un besoin défini. • Réaliser une veille technologie et de l'environnement économique pour être au courant au plus tôt des matériaux exploités et par des fournisseurs.
F2. L'augmentation de la productivité/rentabilité.	<p><u>Probable</u> Grâce à une demande accrue et à des machines plus rapides, la productivité et la rentabilité sont meilleures. Cependant, les coûts des investissements et/ou de production diminuent trop peu, ce qui ne permet pas d'élargir – ou très peu – la gamme des produits rentables à produire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcer la collaboration entre les centres de recherche, les universités et les entreprises. • Favoriser l'investissement pour l'acquisition des imprimantes 3D. • Créer une information sur le coût réel lié à l'exploitation des imprimantes 3D.
F3. L'amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et reconnaissance par le législateur.	<p><u>Probable</u> Le post-traitement des pièces est une étape indispensable. Le nombre de cas de défaillance des pièces produites en fabrication additive est dans la norme des pièces produites par les méthodes soustractives. On constate un développement important de la certification des pièces produites en fabrication additive.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Soutenir les recherches menées sur les méthodes de finition. • Intégrer la partie « fabrication additive » dans les formations « post-traitement » déjà existantes.

Facteur de changement	Hypothèse d'évolution retenue	Actions
F4. Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive.	<u>Souhaitable</u> En cinq ans, le réseau se développe ; il devient structuré et efficace. Il joue pleinement son rôle de facilitateur pour le développement de la fabrication additive.	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographier les besoins des entreprises en matière de fabrication additive. • Participer à des « club d'impression 3D » où des professionnels de la fabrication additive sont présents. • Élaborer des programmes de présentation incluant des conférences ou des séminaires sur de la fabrication additive lors des foires professionnelles.
F5. Les contraintes liées à la demande du client.	<u>Souhaitable</u> Les contraintes clients sont de plus en plus importantes mais la technologie de l'AM évolue tellement que ce n'est pas un problème. L'AM gagne en compétitivité par rapport aux solutions de fabrication soustractive.	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir l'esprit à la conception en 3D dès le plus jeune âge en exploitant des outils tels que : <ul style="list-style-type: none"> ○ la pâte à modeler ; ○ le dessin en perspective d'objets simples ; ○ la pratique de la modélisation et de l'impression 3D avec des logiciels gratuits et simples d'utilisation. • Intégrer les aspects relatifs à la fabrication additive dans les formations CAO, dans le cadre d'un cursus professionnalisant.
F6. L'arrivée de certaines technologies de la fabrication additive dans le domaine public.	<u>Probable</u> Quelques technologies tombent dans le domaine public avec pour conséquence une diminution du prix des machines basées sur ces technologies. Cela a très peu d'impacts positifs ou négatifs pour les entreprises.	
F7. La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.	<u>Probable</u> Une utilisation et une manipulation optimales des machines sont difficiles et impliquent une expérience conséquente. De plus, les machines sont relativement fermées pour maintenir une grande dépendance de l'entreprise utilisatrice par rapport au fabricant d'imprimantes 3D.	
F8. Le développement d'algorithmes de conception performants.	<u>Souhaitable</u> On assiste à l'apparition de nouveaux outils CAO permettant une optimisation du design pour la fabrication additive. L'utilisation de ces outils est très accessible et permet de pousser l'optimisation des produits et des processus à leur limite.	<ul style="list-style-type: none"> • Ce facteur n'a pas donné lieu à des actions à mener.

Facteur de changement	Hypothèse d'évolution retenue	Actions
F9. L'accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.	<p><u>Probable</u></p> <p>Il y a peu de fabricants/ importateurs. Ils offrent un service limité et juste suffisant pour respecter les standards de l'industrie et permettre le développement de la fabrication additive. Ces opérateurs se trouvent géographiquement éloignés des entreprises wallonnes (rayon de plus de 50 km et hors Wallonie).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Développer un répertoire des fournisseurs de machines réalisé par et pour les entreprises exploitant la fabrication additive, comprenant notamment un retour d'expérience des clients.
F.10. Le développement des normalisation/certification sur la fabrication additive.	<p><u>Probable</u></p> <p>On assiste à une généralisation des normes et de leur utilisation dans l'industrie technologique en lien avec la fabrication additive.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser l'étude introductive des notions relatives aux normes et aux schémas de certification. • Poursuivre le travail de participation à l'élaboration des normes belges, européennes et internationales mené par les entreprises.

Tableau 5 : Plan d'actions par hypothèse d'évolution retenue.

6. LES IMPACTS SUR LES ACTIVITÉS ET LES BESOINS EN COMPÉTENCES

Les deux dernières étapes du travail ont porté sur l'impact du scénario d'évolution sur les tâches à réaliser dans le cadre d'un processus de fabrication additive et sur les besoins en compétences pour le mener à bien.

À ce stade de la démarche, le scénario d'évolution est confronté au périmètre du processus, tel qu'il a été précisé lors du premier atelier.

La question qui a été posée aux experts est la suivante : « À l'horizon 2021, les hypothèses d'évolution vont affecter la fabrication additive. Dans le contexte

de chacune des hypothèses d'évolution, quelle importance revêtira chacune des activités ci-après ? » (Échelle d'intensité : 0 = importance nulle, 1 = importance très faible, 2 = importance faible, 3 = importance forte, 4 = importance très forte).

Cet exercice a permis d'identifier les tâches, qui vont être le plus directement concernées par les évolutions. L'ensemble des tâches ont ensuite été abordées avec les experts en groupe après un temps de réflexion individuelle.

Ceci a permis de dresser une liste de compétences à maintenir ou à développer d'ici trois à cinq ans.

Le tableau ci-dessous³⁵ reprend l'ensemble des compétences évoquées par activité et tâche dans le cadre de cette démarche.

Enfin, le dernier tableau³⁶ reprend l'impact des hypothèses d'évolution sur le périmètre du processus de fabrication additive tel que défini lors du premier atelier.

³⁵ Cf. pages 26-27.

³⁶ Cf. pages 28-29.

Activités	Tâches (afin de ...)	Hypothèses d'évolution (dans le contexte suivant...)	Ressources à mobiliser (il faut être capable de...)
1. Conception.	Définir le besoin du client. Établir le cahier des charges du produit et sélectionner la technologie adéquate.	Les contraintes clients sont de plus en plus importantes mais la technologie de l'AM évolue tellement que ce n'est pas un problème. L'AM gagne en compétitivité par rapport aux solutions de fabrication soustractive.	<ul style="list-style-type: none"> • Traduire le besoin exprimé en spécifications techniques, ce qui implique une écoute attentive et une capacité à communiquer avec pédagogie auprès du client. • Choisir le bon processus et la bonne technologie parmi l'ensemble des possibles de la fabrication additive et classique. • Calculer les estimations de coût en fonction de paramètres comme le temps de production, la quantité à produire, etc. • Avec les particuliers, rassurer et informer le client sur le processus de fabrication.
	Réaliser la modélisation 3D.	On assiste à l'apparition de nouveaux outils CAO permettant une optimisation du design pour la fabrication additive. L'utilisation de ces outils est très accessible et permet de pousser l'optimisation des produits et des processus à leur limite.	<ul style="list-style-type: none"> • Visualiser le produit dans l'espace. • S'ouvrir aux possibilités offertes par la fabrication additive en dépassant les freins et les contraintes exclusivement liées au paradigme des méthodes traditionnelles. Dessiner avec des programmes CAO/DAO dans le respect des contraintes dimensionnelles. • Maitriser le placement des supports de l'objet. • Pour les pièces complexes, comprendre les phénomènes physiques et les algorithmes en jeu. • Suivant les matériaux et la complexité de la pièce, avoir une maîtrise plus ou moins approfondie de la physique, de la thermodynamique, de la résistance des matériaux, de la microsoudure, de la métallurgie des poudres, etc.
	Orienter la/les pièces dans l'espace d'impression.		
2. Pré-production.	Tester le processus (paramétrage, test, correction).	Les contraintes clients sont de plus en plus importantes mais la technologie de l'AM évolue tellement que ce n'est pas un problème. L'AM gagne en compétitivité par rapport aux solutions de fabrication soustractive.	<ul style="list-style-type: none"> • Maitriser les méthodes générales de mise au point pour agir sur un processus de fabrication additive. • Connaître le comportement de l'imprimante 3D et le matériau employé lors du processus de fabrication. • Pour les grands groupes industriels, maitriser à la fois la programmation et de la mécanique afin d'automatiser cette étape.
3. Production.	Réaliser des contrôles qualité de la production.		<ul style="list-style-type: none"> • Dans le cadre de la fabrication à destination des particuliers (PME), interpréter sur base de l'aspect visuel de la pièce ou au toucher le problème rencontré pour le résoudre. • Exploiter les techniques spéciales familières de celles employées en fonderie dans le cadre de la fabrication additive métallique pour des produits impliquant de très hauts niveaux de contraintes.

Activités	Tâches (afin de ...)	Hypothèses d'évolution (dans le contexte suivant...)	Ressources à mobiliser (il faut être capable de...)
4. Activité transversale	Appliquer les consignes de sécurité dans le cadre de l'utilisation des machines.	La gamme de matériaux disponibles pour une fabrication additive augmente sensiblement par rapport à la situation de 2016. Les "data sheets" fournissent des informations approximatives nécessitant un important travail d'étalonnage pour sortir des produits conformes au cahier des charges	<ul style="list-style-type: none"> • Comprendre les enjeux derrière les consignes et les risques en cas de non-respect à toutes les étapes du processus. • Être sensibilisé aux risques particuliers et significatifs liés aux matériaux mis en œuvre dans la fabrication additive (en particulier pour les poudres).

Tableau 6 : Les tâches les plus impactées par le scénario d'évolution et les besoins en compétences.

Annexe : Impact des hypothèses d'évolution sur les tâches

	Activités	1. Conception.				2. Pré-production.		3. Production.		
	Tâches	Définir le besoin du client.	Établir le cahier des charges du produit et sélectionner la technologie adéquate.	Réaliser la modélisation 3D.	Orienter la/les pièces dans l'espace d'impression.	Définir le processus de fabrication.	Planifier la fabrication.	Tester le processus (paramétrage, test, correction).	Lancer la fabrication de la solution.	Réaliser des contrôles qualité de la production.
Hypothèses d'évolution	F1. L'étendue des matériaux utilisables en fabrication additive.	◐	◑	◒	◒	◑	◒	◑	◒	◒
	F2. L'augmentation de la productivité/rentabilité.	◐	◑	◒	◒	◑	◑	◑	◒	◒
	F3. L'amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et certification.	◐	◑	◑	◒	◑	◑	◑	◑	◑
	F4. Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive.	◐	◑	◒	○	◑	◒	◒	◒	◒
	F5. Les contraintes liées à la demande du client.	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑
	F6. L'arrivée de certaines technologies de fabrication additive dans le domaine public.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	F7. La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.	◒	◒	◒	◑	◑	◒	◑	◑	◑
	F8. Le développement d'algorithmes de conception performants.	◐	◑	◑	◑	◑	◒	○	○	○
	F9. L'accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.	○	◒	○	○	◒	◒	◒	○	○
	F10. Le développement de la normalisation/certification sur la fabrication additive.	◒	◑	◒	◒	◑	◒	◑	◑	◑

	Activités	4. Post-production.			5. Maintenance de la machine.		6. Veille technologique et du contexte de développement économique	7. Activité transversale
	Tâches	Sortir le produit de l'imprimante.	Réaliser le post-traitement (lisser, poncer, peindre...).	Contrôler le post-traitement.	Mener une maintenance préventive.	Mener une maintenance curative.	Se maintenir informé de l'évolution des technologies, des marchés et des possibilités offertes par l'impression 3D.	Appliquer les consignes de sécurité dans le cadre de l'utilisation des imprimantes 3D.
Hypothèses d'évolution	F1. L'étendue des matériaux utilisables en fabrication additive.	◐	◑	◐	◐	◐	◑	◑
	F2. L'augmentation de la productivité/rentabilité.	◐	○	◐	◑	◐	◑	◐
	F3. L'amélioration des performances au niveau de la tolérance/qualité des matériaux et certification.	◐	●	●	○	○	◑	◐
	F4. Le développement d'un réseau économique autour de la fabrication additive.	○	◐	◐	◐	◐	◑	○
	F5. Les contraintes liées à la demande du client.	◑	◑	◑	○	○	◑	◐
	F6. L'arrivée de certaines technologies de fabrication additive dans le domaine public.	○	○	○	○	○	◑	○
	F7. La facilité de mise en œuvre des imprimantes 3D.	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑
	F8. Le développement d'algorithmes de conception performants.	○	○	○	○	○	◑	○
	F9. L'accès aux services des fabricants et/ou importateurs de machines de fabrication additive.	○	○	○	◑	●	◑	◐
	F10. Le développement de la normalisation/certification sur la fabrication additive.	◐	◐	◐	○	○	◐	◑

Légende : ○ = impact nul / ◐ = impact très faible / ◑ = impact faible / ◒ = impact fort / ● = impact très fort.



NOUS REMERCIONS POUR LEUR PARTICIPATION AU PROCESSUS EN QUALITÉ D'EXPERTS

Nicolas BOURRE, CDC usinage, SONACA
Xavier BUTTOL, Technological Support coordinator, INISMA-CRIBC
Louis COLLIN, Project Manager, Vigo Universal
Amandine DELMARRE, Project Manager, Vigo Universal
Charles DEMOULIN, Managing Director, ADDIPARTS sprl
Simon DUBOIS, Formateur CFAO, Technifutur
Eric ENGLEBERT, Advanced Manufacturing Leader, Safran Aero Boosters
Christian EYMAEL, Veille et sensibilisation, Technocampus
Julien MAGNIEN, Engineer Additive Manufacturing, Sirris
Christian SKEVEE, Project & Technologies Manager, FN Herstal
Vittorino TUSSET, Head of Advanced Materials, Solution & Sensors, CRM Group
Michel VERSTREPEN, Responsable de lignes de produits, Le Forem
Laurent VOETS, Projet Manager Rapid Manufacturing, Sirris
Fabienne WINDELS, Coordinator Technology Watch and Intellectual Property, Sirris

ENCADREMENT MÉTHODOLOGIQUE DE LA DÉMARCHÉ ET RÉDACTION DU RAPPORT FINAL

Le Forem, Veille, analyse et prospective du marché de l'emploi :

Jean-Claude CHALON, Direction
Emilie HINDLET, Back officer
Lydwine KURAS, Coordination du projet
David PIEROUX, Animation et rédaction

EDITEUR RESPONSABLE

Marie-Kristine VANBOCKESTAL, Administratrice générale, Le Forem

