



Fédérer, Accélérer, transformer

Feuille de route

Fabrication additive

Alliance
Industrie du Futur

Version préliminaire



Tables des matières

1. Préambule - Contexte général

- 1.1. Particularités de la fabrication additive
- 1.2. Position de la France
- 1.3. Identifier les priorités et savoir les faire évoluer
- 1.4. Objectifs du présent document

2. Vers une R&D du futur : recherche de performance et compétitivité

- 2.1. Concentrer les aides à la R&D « amont » sur les priorités court, moyen et long terme
- 2.2. Favoriser la mutualisation des moyens et le partage entre les projets applicatifs
- 2.3. Orienter les compétences en orientant les moyens sur les priorités reconnues
- 2.4. Coordonner et diffuser un socle commun de veille

3. Faire rencontrer l'offre et la demande

- 3.1. Explorer la demande par grand cluster et par horizon
- 3.2. Développer l'offre des PME/BER
- 3.3. Soutenir l'action des Régions dans l'accompagnement des projets PME « fabrication additive »

4. Animer une filière française industrielle naissante

- 4.1. Créer et diffuser des référentiels
- 4.2. Fédérer les acteurs et l'information
- 4.3. Coordonner l'émergence et la mise en réseau d'infrastructures et plateformes

Préambule

L'industrie du futur se situe au carrefour de transformations majeures. L'arrivée du numérique et son développement quasi exponentiel sur 30 dernières années est un élément majeur de la mutation des outils de production, des modèles économiques, des structures sociétales traditionnelles et fournit un élément déterminant de réponse sur les enjeux écologiques et énergétiques qui nous font face. Ces transformations numériques, énergétiques, économiques, sociétales sont portées par les avancées technologiques et le à la nouvelle dynamique qui se dessine entre la recherche scientifique, l'innovation technologique et le développement économique. L'Alliance pour l'industrie du futur a identifié dans ses objectifs plusieurs grands domaines d'innovation technologiques représentatifs des besoins actuels et futurs permettant au tissu industriel de faire face à ces nouveaux défis.

La Fabrication additive constitue une des technologies les plus représentatives de ces grandes transformations avec de forts enjeux économique à court, moyen et long terme.

A l'heure où les premières lignes de production industrielle apparaissent ou sont en réflexion et où les dépôts de brevets se multiplient partout en nombre, les Etats et acteurs privés investissent des moyens considérables dans le développement de la fabrication additive.

De plus, les atouts Français sur ce sujet, de par sa force académique, son écosystème industriel, territorial et national constitue aujourd'hui une formidable opportunité pour la France de pouvoir se différencier et revendiquer son rôle sur la scène internationale.

Dans le cas particulier de la fabrication additive cette opportunité trouve toute son expression dans le décroisement radical des structures traditionnelle, et ce du terrain académique jusqu'aux nouveaux rapprochements inter-filière (aéronautique, automobile, ferroviaire, naval, énergie, médical, ...) sur des chaînes de valeur originales, seules à pouvoir réellement mettre en avant les leviers de compétitivité économiques les plus ambitieux.

Enfin, compte tenu de l'étendue et de la profondeur des champs de recherche et de l'interdisciplinarité et d'optimisation des procédés en fabrication additive, de l'effort d'appropriation nécessaire, aucun acteur privé ou public individuel n'a la capacité de développer seul des programmes de R&D et de développement du marché nécessaires pour répondre aux différentes problématiques de l'introduction de la fabrication additive dans la chaîne de valeur industrielle. L'Initiative Fabrication Additive de l'Alliance Industrie du Futur, avec le soutien des pouvoirs publics, a pour vocation de mutualiser et polariser toutes les énergies locales.

C'est dans cette optique que l'Alliance pour l'Industrie du Futur lors de son Comité de Pilotage du 9 Février 2016 présidé par le Ministre de l'Economie de l'Industrie et du Numérique a décidé de distinguer la Fabrication Additive aux cotés de 3 autres thèmes technologiques comme priorités pour l'Alliance pour l'Industrie du Futur.

Elle se situe également à la rencontre des conclusions de plusieurs rapports établis en France durant l'année 2015 et 2016 (rapport CCI - CGRAM ; rapport Fabrique de l'industrie ; rapport Roland Berger).

Dans sa mission de fédératrice, l'Alliance pour l'Industrie du Futur a voulu rassembler toutes les parties prenantes, académiques, industrielles autour de la volonté des pouvoirs publics et privés au niveau national et territorial de pouvoir focaliser au mieux les moyens et investissements, coordonner les actions, optimiser les retombées pour la compétitivité industrielle et l'intérêt général.

L'Initiative Fabrication Additive de l'Alliance Industrie du Futur

L'Alliance Industrie du Futur (AIF), créée en juillet 2015, est l'organe opérationnel du Programme Industrie du Futur de la Nouvelle France Industrielle. Fédérant les forces vives de l'industrie française (fédérations professionnelles, centres de recherche et académiques),

l'AIF a officiellement lancé le 15 mars 2016 « L'Initiative Fabrication Additive : Construire ensemble une filière française forte » par une rencontre de travail plénière ouverte à tous. Cette initiative rassemble aujourd'hui 120 personnes organisées en 10 communautés thématiques (Annexe 1 : Liste détaillée des contributeurs ayant permis la réalisation de cette feuille de route) :

1. Matériaux / Procédés / Machines
2. Chaîne numérique
3. Parachèvement / Post-traitement / Finition
4. Qualité / Contrôle
5. Hygiène-Sécurité-Environnement
6. Normes et standards
7. Certification
8. Education / Formation
9. Structuration des marchés
10. Soutien, diffusion et interopérabilité de l'offre française

Initiative volontairement opérationnelle, les pionniers de cette filière industrielle naissante ont permis l'émergence de 80 propositions de fiches actions dont la mise en œuvre permettra à la filière de construire son avenir. La structuration, la priorisation et l'instruction approfondie de ces propositions de fiches actions permettent aujourd'hui de dresser une première feuille de route nationale et collégiale pour la fabrication additive.

Enfin, ce travail collégial et coopératif a plus globalement permis d'asseoir une véritable communauté fertile en projets collaboratifs, recherches pragmatiques de synergies et mutualisations et prises de conscience quant aux enjeux communs.

Objectifs du document

Sous peine de risquer l'éparpillement et l'évaporation, l'Initiative Fabrication Additive française souhaite trouver sa première consistance et son sens formalisés à travers le présent document.

A partir de cette base, il est prévu de consolider les actions, de les préciser y compris dans leurs besoins d'accompagnement, de financement et horizons (décembre 2016), et de préparer des lignes d'arbitrages par priorités (janvier 2017), et de formaliser le plan d'action nationale en février 2017.

Ce travail devrait ensuite être actualisé par écarts sur une base annuelle (Mars).

La capacité de mobilisation de cette initiative trouvera son sens global et sera renforcée s'il va de pair avec la formalisation de Plans Régionaux/territoriaux, que l'AIF se propose de promouvoir avec à minima quelques régions pilotes, qui, sur le même principe d'un travail coopératif entre les acteurs académiques et industriels, identifient pour leur périmètre :

- L'impact des priorités nationales sur leur tissu local
- Les légitimités, les forces et les faiblesses locales
- Les contributions aux inflexions de la Feuille de Route nationale

Cette base commune a aussi vocation à nourrir le dialogue entre public et privé et la cohérence des moyens (académiques et industriels et à travers les territoires) que l'interdisciplinarité, l'inter-filière et la taille et la profondeur des défis à relever rendent nécessaire de mobiliser pour déployer opérationnellement cette feuille de route.

1. Contexte général

1.1. Particularités de la fabrication additive

La fabrication additive représente diverses techniques de fabrication par ajout de matière d'un objet en trois dimensions à partir d'un modèle numérique 3D et est ainsi directement liée au développement des usines « intelligentes », « agiles », « modulaires », proches des centres d'usage de demain, en particulier pour fournir la gestion de la chaîne d'approvisionnement, le développement de produits et de l'outillage. Les deux grands avantages de la fabrication additive par rapport à d'autres procédés de production de pièces sont la réalisation compétitive de pièces aux formes complexes (permettant par exemple l'ajout de fonctions, la réduction de la masse des pièces et la réduction du nombre de pièces au sein d'une structure induisant ainsi un gain au niveau de l'assemblage) et la possibilité de réaliser de très petites séries flexibles, favorisant ainsi la personnalisation à grande échelle. Ces caractéristiques vont également permettre de favoriser des approches systémiques très intégrées en association avec de nouvelles capacités d'apport d'électronique au plus près du besoin.

Dans l'industrie manufacturière, derrière le terme fabrication additive se cachent différentes technologies pouvant être segmentées en trois familles de matériaux cibles : métallique, polymère et céramiques. Les particularités de ces environnements rendent nécessaire une action originale et bien coordonnée. Ces trois familles ne sont ni exclusives entre elles, ni exhaustives (ce périmètre a été considéré au regard des objectifs de compétitivité à moyen terme des filières industrielles et ne considère donc pas, pour le moment, la fabrication additive des tissus biologiques ou organiques, des bâtiments, aliments ...). Le cas des céramiques, moins représenté pour cette première version du document devra être approfondi pour les occurrences suivantes.

Métal et ses particularités

La **particularité technologique** tient à 5 caractéristiques principales :

- Interaction entre matière (type de matériau) et énergie (type d'énergie). Plus que l'augmentation de la génération d'énergie, c'est l'amélioration du rendement qui est prioritaire ;
- Structure statistique de la poudre (morphologie/granulométrie, compaction, chimie, présence de défauts) ;
- Multi état (solide/liquide/gazeux) ;
- Multi échelle physique ;
- Présence intrinsèque de défauts : nécessité d'une prédiction de leur impact.

Cette particularité technologique est également liée au procédé :

- Technologie accessible aux PME, les stratégies d'accès et les éventuels investissements en équipements propres sont « modulaires » (par seuils d'investissements indivisibles) mais son exploitation doit être maximale (la réduction du temps de cycle est fondamentale pour abaisser les seuils qui rendent la technologie compétitive). L'intrusivité et la taille des « modules » nécessite une trajectoire d'appropriation ;
- Besoin de formation spécifique, associant compétences procédé et métallurgiques

- Besoin de post-traitement / parachèvement, sans que la frontière avec les étapes amont soit stabilisée. Les optimums économiques (poudre/procédé/post-traitement) restent ainsi à stabiliser ;
- Couplage numérique/physique : Accès à des fonctions/conceptions inaccessibles avec les moyens traditionnels, traitements numériques multi-échelles ;
- Besoin de contrôler finement le procédé pour assurer sa qualité et sa répétabilité ainsi que la faisabilité de certaines formes ou microstructures.

Et enfin en lien avec les marchés :

- Compte tenu de son caractère disruptif, nous ne sommes pas équipés pour le moment pour la prédiction systématique (modèles de retour sur investissements, ...) des créneaux d'intérêt (et de leurs horizons) ;
- Transition d'un *business* de prototypage vers une approche réellement industrielle (montée en volume, en cadence, en reproductibilité, ...) ;
- La technologie est émergente en métal. Elle suscite l'éclosion de *business model* innovants en devenir.

Polymères et leurs particularités

Lié au Matériau

- Structure statistique du matériau entrant et définition d'un modèle de comportement de mise en forme (poudre, granulés, fil fondu) ;
- Etendue (foisonnement) des possibilités matières (matériau flamme retardant, cristal, chargé, composites, ...) / fin de la limitation amorphe ou semi-cristallin suivant le procédé.

Lié au procédé

- Besoin de formation spécifique sur les briques conceptions et procédés (procédés et résultats éloignés des procédés usuels des utilisateurs de demain de la fabrication additive polymères).
- Intégration du procédé dans une chaîne de production standard, permettant l'hybridation fabrication additive et technologie traditionnelle, et notamment de lever les limitations géométriques et esthétiques actuelles de la technologie.
- Fonctionnalisation des produits par du multi-matériau, permettant entre autres l'intégration de fonctions électroniques (« plastronique » appliquée à la fabrication additive)
- Développement d'application multi-matériaux

Lié au marché

- Accès à la personnalisation à grande échelle et ce jusqu'aux applications grand public.
- Globalement développée avant le métal, la technologie inspire des modèles d'affaire innovants, mais dont la robustesse à l'épreuve du temps doit être réexaminée (abaissement des coûts). Recherche de la transition d'un business de prototypage vers une approche réellement industrielle (montée en volume, en cadence, en reproductibilité, ...) ;
- Création de nouvelle chaîne de valeur (déplacement du lieu de production par la mise à disposition de bibliothèque d'objet, déplacement de la valeur de l'objet à la valeur de son fichier numérique)

1.2. La croissance du marché est un fait

Grâce aux possibilités offertes par la fabrication additive, de nombreuses perspectives industrielles s'ouvrent à l'échelle internationale et le marché croît chaque année de plus de 20 %¹.

Figure 2 : « Technologies clés 2020 », Rapport DGE (2016)

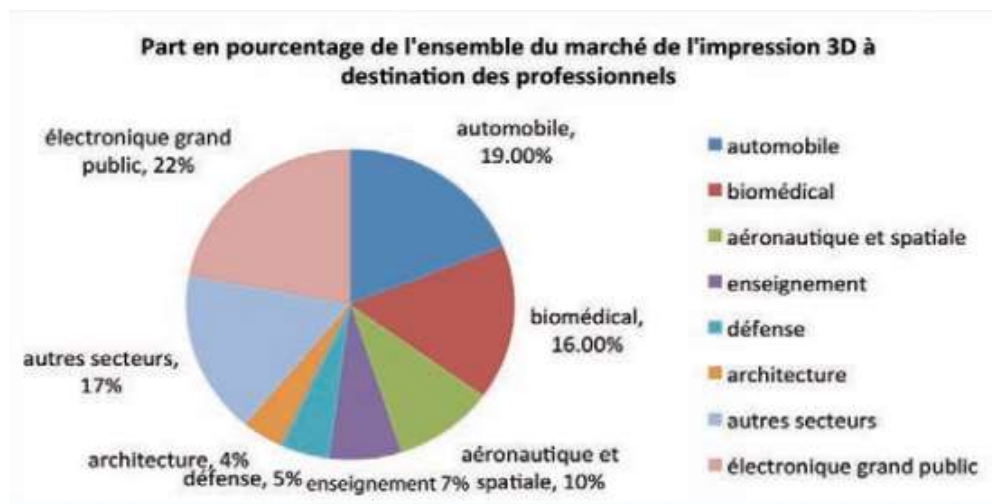


Figure 1 : Xerfi, 2014 : L'impression 3D en France et dans le monde, repris par Erdyn et Xerfi, Crédit Suisse

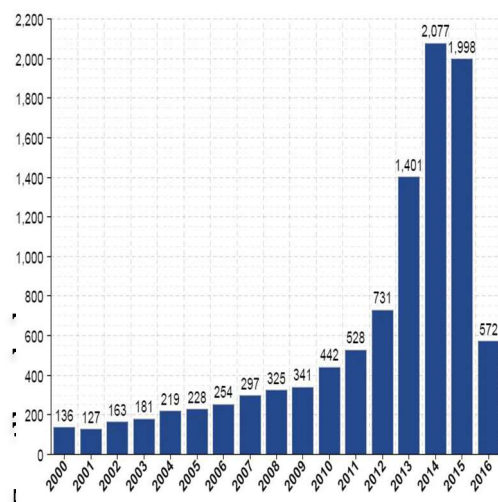
1.3 Position de la France

A l'échelle internationale, les pays industrialisés organisent depuis quelques années la coordination de leurs efforts de recherche en matière de fabrication additive. On observe également de nombreux pays qui réservent des appels à projets dédiés à la thématique, soutenant ainsi fortement le développement de la recherche académique et industrielle. Le tableau ci-dessous a été construit pour la circonstance (à partir des données du rapport CGRAM et Wohlers notamment). Il récapitule quelques orientations et initiatives annoncées.

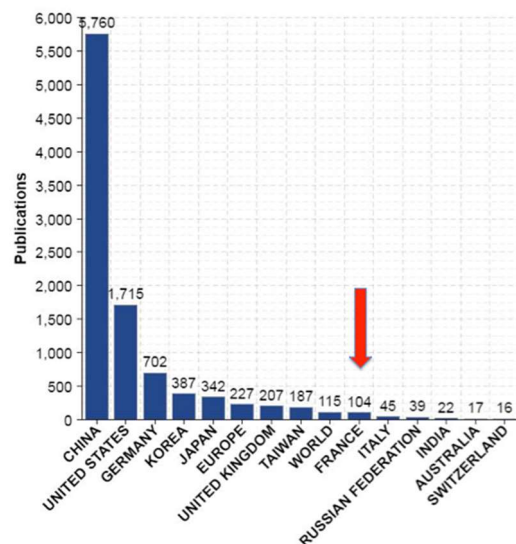
Pays	Programme - coordination lancé en	Stratégie visible	Exemple d'initiatives
Chine	2014	"Made In China 2025" "Additive Manufacturing Industry Promotion Plan 2015-2016"	– 5 priorités : développement des matériaux, amélioration des procédés, développement des équipements, standardisation, démonstrateurs – 2 domaines applicatifs clés : aérospatial et médical – Premier déposant en nombre de brevets (origine académique)
Allemagne	2012	"German Bundestag: Report on research, innovation and technological performance Germany 2015" Intégration de la Fabrication Additive dans le programme "Industrie 4.0"	– Coordination de 14 instituts Fraunhofer et coordination nationale des programmes autour d'une roadmap industrielle unique... – Développement activités qualité et certification – Programmes régionaux pour les travaux Industrie/Recherche

Japon	2014	"Points of Economic and Industrial Policies" Projet TRAFAM	– Déploiement de la Fabrication Additive dans le plan de revitalisation – Développement nouvelles générations d'imprimantes 3D : vitesse, précision, matériaux – 20M\$/an dédiés au projet
Corée du Sud	2014	"2015 Smart Manufacturing R&D Mid to Long Term Roadmap" "2014 Roadmap for 3D printing Strategic Technology" "2014 3D Printing Industry Promotion Strategy"	– Education : 10 universités choisies pour spécialisation en impression 3D, programme de formation continue – Industrie : faire émerger 5 leaders mondiaux (15% du marché et 20% des brevets) – Focalisation sur 8 domaines applicatifs : médecine, électricité/électronique, automobile, défense ...
Etats-Unis	2012	America Makes National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) Investissement privé	– Programme R&D d'Open Innovation : 86 membres, investissements 2Md\$ en R&D, 1Md\$ en formation des salariés et techniciens – Rachat Arcam (Suède) et tentative de rachat SLM (Allemagne) par GE \$ 1,4 Md (SLM annulé, substitué par ConceptLaser pour un montant équivalent, 675 M€)
Grande-Bretagne	2015/2016	"The Catapult Programme"	– Network of manufacturing centers – Aides publiques 12M/an (dont 2 Europe) pendant 10 ans

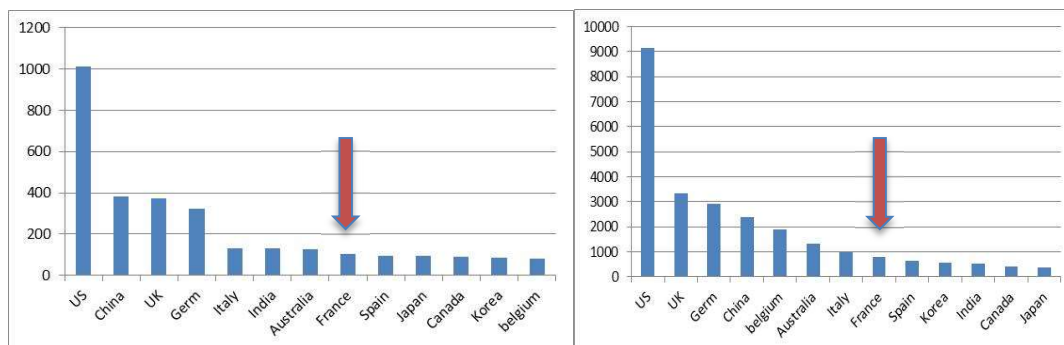
Devant le potentiel de cette technologie, on observe également une explosion des prises de brevet depuis 2012. Pourtant, la France n'est positionnée qu'au 10^{ème} rang mondial (source FIST SA).



Nombre de publications dans des revues internationales : France 8e rang mondial, 4e rang européen. (Source Scopus)

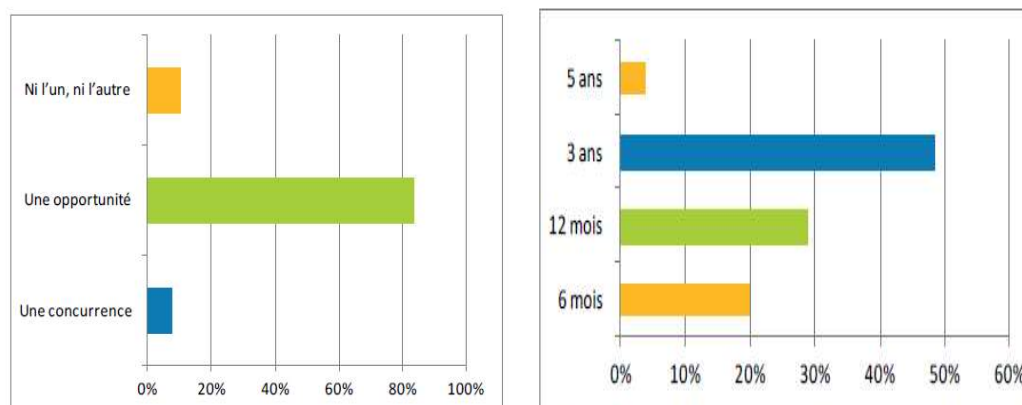


Nombre de citations des articles français : France : 8e rang mondial, 5e rang européen



Il est clé que la France reste compétitive sur cette technologie. En cours d'appropriation par l'aéronautique et le spatial et en développement dans le médical, cette technologie est amenée à se développer dans les secteurs du luxe, de l'automobile, de l'énergie, du spatial, du bâtiment et des industries de la mécanique.

Cette opportunité n'échappe à personne. A titre d'illustration, quelques éléments de réponses recueillies lors d'une enquête nationale (source : IPC - Enquête : parlons fabrication additive - Juillet 2016).



▲ Figure 1 : Impression 3D : Opportunité ou risque ? ▲ Figure 17 : A quel horizon imaginez-vous vous équiper ?

La France a des atouts d'excellence et des compétences réelles sur l'ensemble de la chaîne de valeur, des poudres à la réalisation des pièces finies de haute valeur ajoutée, en passant par la conception des pièces, des machines et de la chaîne numérique.

- Atouts académiques
 - Les instituts Carnot de la filière Manufacturing (pilotage CETIM) ont établi une première cartographie des acteurs de la R&D en fabrication additive en France. Cette cartographie, appelée à être actualisée régulièrement dans le cadre de la présente initiative identifie les laboratoires spécialisés proches des problématiques soulevées par les applications concrètes. Au total, avec 250 équivalents temps plein, 33 millions d'euros de matériel dédiés et un budget annuel de 32 millions d'euros, dont le tiers provenant de partenariats industriels directs, les laboratoires Français disposent d'un potentiel pour pouvoir se démarquer de façon forte sur la thématique
 - Des compétences « mobilisables » (modélisation physique, mathématiques appliquées, science des matériaux, sources d'énergie...) de recherche fondamentale, essentielles au développement de la technologie souvent reconnues mondialement sur leurs domaines.
- Atouts industriels (liste non exhaustive)
 - Des acteurs reconnus déjà à l'échelle industrielle (Eramet, Constellium, Safran, Fives - Michelin - AddupSolutions, Prodways, BeAM, ESI Group, Dassault Systèmes...).
 - Un écosystème de PME innovantes (Sculpteo, Avenao, Polyshape, Fusia, Prismadd, Volum-e, ... dynamiques et créatives (impression, numérique...))

Ces atouts, si correctement valorisés, donnent une opportunité de :

- Revenir dans la course des machines ;
- Relocaliser certaines productions en raccourcissant la chaîne d'approvisionnement et en intégrant plus de fonctions et d'intelligence dans des pièces uniques ;
- Se positionner sur des marchés d'avenir.

1.4. Identifier des priorités et savoir les faire évoluer

Une première analyse des préoccupations des industriels a fait ressortir des priorités qui doivent guider l'orientation des efforts des différents acteurs de cet écosystème. Une deuxième boucle d'analyse, plus ciblée, étendue aux PME/PMI précisera cette lecture d'ici fin 2016 puis sera actualisée annuellement.

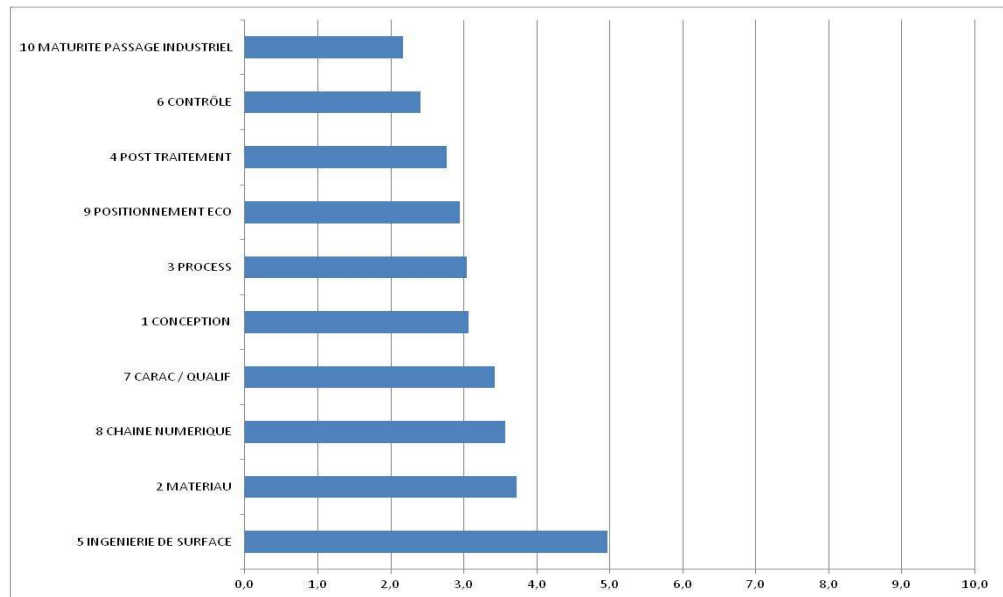
- Priorité Par famille de matériau

Polymères	Métal	Céramique
Recherche de matériaux orientés par les performances mécaniques, tenue aux UV. Sauf pour faire des pièces et services « ponctuels » : prototypage, fablab	• Titane : propreté, recyclage • Aluminium : coûts (matière première et amortissement machine) • Aciers : attendent de croiser le point d'inflexion (volumes), en commençant par les outillages • Cuivre (automobile, énergie) : limité par la conductibilité, il existe un besoin pour une action de fond. • Dans l'aéronautique : Titane, Aluminium, Inconel	Pour applications dans le médical notamment (également d'autres champs en perspective). En priorité en évaluation pour la prochaine mise à jour de la feuille de route

- Par Technologies

Technologies phares	Technologies émergentes	Technologies de niche
Polymères • Priorité 1 : FDM • Priorité 2 : SLS	Exemple : fil, hybridation impression - usinage	Peu d'acteurs présents et essentiellement pointus sur leur spécialité
Métal • Priorité 1 : SLM • Priorité 2 : EBM, CLAD		

- Par étapes de la chaîne de valeur ajoutée



Enquête priorités industrielles (ordre de priorité : nombre faible pour priorité importante)

- Recherche de la dimension économique : l'abaissement du seuil de compétitivité est la porte d'accès au développement des volumes, donc à l'accélération du déploiement de la fabrication additive
- Interaction Process/Matériau
- Contrôle
- En conception : concevoir des pièces
 - A l'identique : a peu d'intérêt hors prototypage et démonstrateurs
 - Fonctionnellement optimisées (produit et matériau) sur base de géométries existantes : le meilleur compromis enjeu/accessibilité aujourd'hui
 - Totalement reconçues : implique un effort majeur de formation et de conduite du changement pour explorer la créativité de conception hors des espaces traditionnels de contrainte liés aux procédés classiques.

2. Vers une R&D du futur : recherche de performance et compétitivité

Conscient du retard accusé par la France (cf. Partie introductive), les porteurs de cette initiative préconisent un « **surinvestissement** » d'avenir. Cet effort concerne les maturités faibles (« amont ») aussi bien que les maturités élevées (« aval »). Cette préconisation est liée à deux constats particuliers à la Fabrication Additive : le caractère très intriqué et le grand écart interdisciplinaire des compétences scientifiques impliqués ainsi que l'émergence de nouvelles chaînes de valeur, notamment inter-filière aboutissant à de nouveaux modèles économiques, potentiellement très disruptifs.

2.1. Concentrer les aides à la R&D « amont » sur les priorités court, moyen et long terme

Comprendre

GT1

La nécessité de faire progresser la compréhension de fond pour préparer la productivité et les performances de demain, et les échelles de temps requis par les défis scientifiques dans une configuration où l'interdisciplinarité est essentielle rendent nécessaire une mutualisation globale des risques et une perspective évolutive mais pluriannuelle.

La France doit utiliser son savoir-faire « amont », qui est un de ses atouts majeurs, pour se replacer en tête de la course.

- En s'appuyant sur un réseau de laboratoires d'excellence dans les différents « domaines » physiques (voir annexe)
 - Coopérant entre eux sur l'ensemble de la chaîne de valeur
 - En maîtrisant et en articulant les redondances horizontales (labos travaillant sur les mêmes sujets) et verticales (sur la chaîne de valeur)
- En dédiant un budget
 - Sur une période de 3 à 5 ans, actualisé annuellement
 - Pour des objectifs explicites, alignés avec les priorités (annexes priorités amont métal, priorités amont polymères) prenant en compte les programmes existants et l'état de l'art mondial
 - Pour des projets collaboratifs dont les résultats sont ouverts aux adhérents à la Filière Française, y compris les PME/PMI.

2.2. Favoriser la mutualisation des moyens et le partage entre les projets applicatifs

Anticiper le besoin et y répondre

Multi-GTs - AIF

La mutualisation et le partage capacitaire – le *pooling and sharing* – sont en premier lieu une réponse à la mise sous tension des budgets de R&D. Elle a également un objectif de consolidation industrielle au niveau national et ainsi se positionner au mieux dans la compétition internationale.

Quatre actions doivent être menées pour favoriser la mutualisation dans le domaine de la recherche technologie dans le cadre de la Fabrication Additive. Elles ne sont pas exclusives de la Fabrication Additive, mais ce domaine peut y être un pilote et se doit d'y être exemplaire :

- Identifier dans les programmes en cours ce qui peut être partagé, dans le respect des règles de confidentialité et de PI.
- Expliciter des lignes guide de propriété industrielle/intellectuelle qui encouragent le partage et la diffusion des connaissances, compte tenu de l'interdisciplinarité et du niveau intime de coopération entre académiques et industriels. Lier le niveau de l'aide au niveau d'ouverture des connaissances acquises (ouverture totale/ ou inter-filière / ou restreinte aux seuls participants / ...) aux acteurs de la Filière française.
- Favoriser la détection et la facilitation par l'AIF avec les pôles de compétitivité, ANR, BPIFrance, DGE, des synergies entre projets candidats.
- Créer un référentiel méthodologique commun afin que les programmes/études qui démarrent puissent générer des données qui seront ultérieurement partagés/comparées/agrégées (cohérence).

2.3. Orienter les compétences en orientant les moyens publics vers les priorités reconnues

Animer

AIF

Les acteurs actuels industriels et académiques de la Fabrication Additive en France ont fixé les objectifs techniques pour permettre à cette filière de se différencier par rapport à leurs concurrents internationaux. Ces orientations se déclinent comme suit :

- Focaliser les moyens publics et privés sur les priorités reconnues et y orienter les compétences
 - Réduction du coût d'obtention des matériaux de base (poudres, fils) des technologies prioritaires, y compris le recyclage « boucle courte » (capacité du matériau à être réutilisé en poudre)
 - Pour chaque classe de matériaux (métal, polymère, céramique)
 - Compréhension, simulation et maîtrise d'une interaction matériau - énergie efficace dans les technologies prioritaires pour assurer une productivité maximisée
 - Conception et développement des applications
 - Intégration et accélération des calculs (notamment pour le passage du hors ligne au temps réel)
 - Développement de machines compétitives et ouvertes

- Standardisation des méthodologies d'obtention des données et création de bibliothèques « ouvertes »
- Instrumentation et contrôle (*ex situ* et *in situ*)

... en donnant la priorité aux matériaux connus en réponse à des besoins industriels identifiés. Spécifier les limites des matériaux existants pour préciser les manques et cahiers des charges de nouveaux matériaux, non encore disponibles en fabrication additive sera un socle solide pour, dans un deuxième temps, développer des matériaux qui bénéficient pleinement des particularités de la Fabrication Additive.

Anticiper le besoin et y répondre

AIF

- Orienter les compétences sur les priorités

L'analyse commanditée par filière Manufacturing des instituts Carnot vise à identifier les compétences existantes en France. Une première analyse a été réalisée et publiée. Elle montre l'intérêt et la faisabilité de la démarche de confrontation avec les priorités reconnues. Une analyse plus fine, plus ciblée en nature de compétences et plus large dans l'identification des compétences utiles (dites « mobilisables ») même si elles ne sont pas dédiées à la Fabrication Additive, a été lancée, en synchronisation avec l'analyse, elle aussi plus fine, des besoins et priorités. Cette analyse sera ensuite actualisée régulièrement.

Un travail de mise en perspective de ces compétences dans le panorama mondial doit également être conduit et entretenu.

2.4. Coordonner et diffuser un socle commun de veille

Benchmarker

AIF

La veille est un enjeu majeur pour cette activité en évolution rapide. Coordonner et diffuser un socle commun de veille est un facteur de lucidité et de dynamisme de la Filière.

- Le bouillonnement mondial rend difficile l'extraction et l'évaluation des informations utiles, même pour les grandes entreprises la tâche de veille est très lourde et incertaine.
- Les académiques et les centres métiers font des veilles ciblées, limitées par leurs moyens, et la cohérence d'ensemble demande à être organisée.
- Les PME sont soumises à des éclairages ponctuels, souvent partiels et différés.
- Les moyens modernes permettent d'éditer un socle commun de veille homogène, fiable et régulièrement actualisé.

A partir du financement d'un socle initial, il s'agit d'animer les moyens existants pour faire émerger un socle commun de veille, et non de mettre en place des moyens/ressources lourds ou nouveaux.

Initiative 1 : Organiser le financement pluriannuel Public/Privé de la recherche Amont sur les priorités retenues

Initiative 2 : Orienter les aides publiques sur les projets applicatifs

- Alignés avec les priorités
- Qui ouvrent leurs résultats à la communauté

Initiative 3 : Favoriser autour de l'AIF, en liaison avec les grands pôles nationaux, les synergies (pour les projets existant) et la mutualisation (pour les projets à venir). Mise en place d'une coordination des plateformes.

Initiative 4 : Mettre en place un réseau des pôles de veille (public et privés qui le souhaitent) pour rédiger et publier des synthèses d'abord sous forme de lettre trimestrielle, puis sous des formes interactives à implanter.

3. Faire rencontrer l'offre et la demande

3.1. Explorer la demande par grand cluster et par horizon

Anticiper le besoin et y répondre

GT10 - AIF

La demande est naissante ; il est nécessaire de l'explorer de façon organisée, par grands clusters (regroupements par chaîne de valeur et/ou filière et/ou métier) et par horizon, sous la coordination de l'AIF. La fabrication additive n'est pas appelée à remplacer l'ensemble des technologies existantes. Cette analyse doit donc faire apparaître les applications et les usages accessibles, avec quelles priorités, à quels horizons et à quelles conditions technico-économiques (technologies, matériaux, ...). Cette approche par les usages accessibles par horizons sera un point de structuration pour les projets et démonstrateurs mutualisés intra et inter cluster. Notamment sur les filières suivantes :

- **Aéronautique**
Le GIFAS a créé un sous-groupe du groupe industriel dédié à l'ALM pour une durée initiale de deux ans dont la mission est orientée supply-chain. Le sous-groupe s'est structuré en 5 lots qui traitent des technologies (polymères, métal), de la supply-chain, du design et de la certification. Les responsables des lots organisent des réunions qui ont permis de créer une dynamique autour des spécifications et des données mais aussi une capacité de dialogue avec les autorités pour les aspects de certification.
- **Automobile**
Dans le cadre du « GT9 » de l'AIF, la PFA a pris en charge, en recherchant les synergies avec les autres branches industrielles (Aéronautique, plasturgie) l'analyse des potentiels de la fabrication Additive pour l'automobile. Ce travail coopératif a permis
 - D'identifier, sélectionner et préciser des projets concrets spécifiques Automobile
 - Trois projets de démonstrateurs à court terme (2017)
 - Une analyse de la chaîne de valeur (2017)
 - La recherche d'une mutualisation de stratégies « Buy » (2018 - 2020)
 - Un projet de développement de fonctions en technologie fil fondu polymère (FDM) (2018 - 2020)
 - Une étude d'optimisation des aciers pour outillages (2018 - 2020)
 - De souligner l'intérêt de l'automobile pour 4 voies développées par l'AIF (Bases de données, mutualisation des études, cartographie des fournisseurs, HSE)
- **Energie**
Les besoins identifiés sont le développement de matériaux et procédés pour les fonctions de conduction électrique et thermique. Les métaux non ferreux dont le cuivre sont à ce jour très peu transformés par fabrication additive.
Associé aux nouvelles possibilités de conception, la mise au point de solutions techniques permettra d'augmenter les performances des équipements et donc de réduire les pertes énergétiques et l'impact environnemental.
- **Moulage/injection**
Les technologies de fabrication additive sont utilisées depuis maintenant 7 ans pour la fabrication d'empreintes de moule en plasturgie. Néanmoins, cette technologie n'a pas encore obtenu sa maturité et continue d'innover et de présenter des nouveaux défis (durée de cycles, finition, ...) pour permettre l'amélioration de la performance industrielle française.

Dans tous les secteurs, les outillages sont, avec leur équation coût/valeur particulière, l'une des priorités de développement, avec des technologies dépendantes essentiellement de la taille de série visée.

- Médical

Ce secteur d'activité est soumis à des processus de qualification et des agréments avant l'accès au marché (marquage CE, 510 k FDA), mais la personnalisation, supportée par les techniques numériques, est un facteur de compétitivité et de flexibilité pour les fabricants d'implants.

La fabrication additive pour des dispositifs médicaux porte essentiellement sur la fabrication de prothèses ou orthèses. Elle permet de sécuriser les techniques opératoires, donnant ainsi accès à des pratiques de soin mieux maîtrisées et plus économiques (personnalisation des prothèses, diminution du temps opératoire, amélioration de la précision des actes chirurgicaux, diminution des ré interventions).

L'offre, techniquement incertaine, est mal connue. Il faut donc la mettre en visibilité, et lui permettre de s'adapter aux besoins. Cette mise en visibilité et diffusion passer par :

- Fédérer l'action des fournisseurs, autour de l'initiative fédérée par le SYMOP
 - Initialiser et entretenir une cartographie des fournisseurs français (matériaux, machines, logiciels, contrôle).
 - Favoriser des machines « ouvertes » tout en maîtrisant la qualité et la portabilité (machines, poudres et logiciels)
- Promouvoir la technologie à travers d'actions ciblées (pédagogie, mise en visibilité...).
- Systématiser l'accès des PME/PMI à un réseau structuré de plateformes de transfert, aux méthodes homogènes animées par l'AIF.
- Capitaliser, diffuser sous la conduite du GT « Matériaux et procédés » un guide de conception des pièces réalisées en Fabrication Additive par type de procédés / matériaux et selon les performances requises.

3.2. Favoriser le dialogue technique entre offreurs et demandeurs

Anticiper le besoin et y répondre
Connecter

AIF - BdD

Pour faciliter la généralisation de l'usage de la fabrication additive, les bureaux d'études et leurs clients ont besoin de bases de données qualifiées (état de l'art) et partagées (donneurs d'ordre / utilisateurs / Producteurs) sur lesquelles s'appuyer dans leur démarche.

Il est donc nécessaire de définir un référentiel commun où

- Les matériaux peuvent être identifiés
- Leurs propriétés sont définies par technologie en fonction d'un mode opératoire (paramètres process) donné ainsi que leurs recommandations d'utilisation
- Les exigences minimales à obtenir en termes de propriétés physiques et mécaniques

Capitaliser
Diffuser
Connecter

GT1 et BdD

La base des matériaux disponibles doit être rapidement initialisée, confrontée au recueil des besoins, puis entretenue.

Expérimenter
Capitaliser et
diffuser

GT3

A la confluence des besoins et de l'offre, nous devons créer une bibliothèque publique « matériaux/paramètres/cas d'usage », permettant, à partir de l'analyse des besoins fonctionnels de la pièce réalisée :

- De consulter des cas d'usage type faisant apparaître :
 - L'intérêt de l'utilisation de la Fabrication Additive
 - Les propriétés géométriques, physiques et mécaniques atteintes
 - Le détail des gammes de fabrication et de post traitements
 - Les règles de conception suivies
 - Le coût détaillant la part matière / procédés / post traitement
- D'être orienté dans l'aide au choix de la technologie à utiliser (procédés et post traitement à appliquer)
- D'être guidé dans la formulation des cahiers des charges
- De décliner, à terme, des « abaques » et documents de référence permettant d'optimiser le choix propriétés recherchées / Post traitement adapté.

Cette démarche doit permettre d'encourager l'alimentation de cette bibliothèque par les résultats publics (laboratoires) et privés (industriels).
Une telle base de données nécessite un travail de caractérisation coordonné et mutualisé important.

Anticiper le besoin et y
répondre
Connecter

GT2

Le volet numérique et ses limites (faisabilité technique, ergonomie et vitesses de calcul) sont très structurants sur ce qui peut être popularisé ou traité en temps réel. Les efforts doivent donc porter sur :

- Développement des méthodologies d'analyse à capitaliser dans le guide de conception
- Accélération des calculs
- Continuité numérique, développement d'interfaces conviviales
- Aide à la conception (CAO/FAO), couplage optimisation topologique/prédiction des performances / qualification au regard des normes
- Prédiction/optimisation des coûts.
- Prédiction des propriétés obtenus à l'issue des post traitements et traitements thermiques

Globalement, une démarche d'homogénéisation, incarnée par le GT transverse « structuration des bases de Données » doit être conduite et entretenue pour favoriser la standardisation des données, pouvoir les compiler et les mettre à disposition de la communauté.

3.3. Développer l'offre des PME/BER

Diffuser
Anticiper le besoin et y
répondre

GT10

Populariser la technologie auprès des PME/BER pour qu'elles développent leur offre implique d'identifier celles pour lesquelles la technologie représente une opportunité.

- Dans le cas du métal :
 - Hors prototypage et petites séries spécialisées sur des niches, le métal implique, pour le passage à l'échelle industrielle, des coûts fixes élevés à l'entrée. Les entrants ont donc besoin d'une taille adaptée aux marchés visés pour répondre à ces spécificités (ramp-up, point d'inflexion...) et parce qu'elle donne un accès plus facile à l'intégration sur la chaîne de valeur.
 - Pour cela, il faut éviter le saupoudrage sur des PME « isolées », qui seront à risque (de trésorerie et de moyens matériels et humains) lors du passage à l'échelle industrielle, encore balbutiant
 - Dans ce contexte, il faudra favoriser
 - L'adoption de la technologie Fabrication Additive Métal par des PME/PMI dont la taille et la vision stratégique permettent le passage à l'échelle industrielle
 - L'alignement (capitalistique ou non) sur des chaînes de valeur (y compris régionalement) ; développement d'une offre complète (maîtrise de l'ensemble de la chaîne de valeur)
- Dans le cas du polymère
 - Le marché de sous-traitance est très développé (majorité de TPE / PME sous-traitants en rang 2/3 de la filière automobile par exemple). Les entrants ont donc besoin :
 - De formations pour l'intégration de cette nouvelle technologie
 - D'un accompagnement pour soutenir les investissements nécessaires jusqu'à la qualification et l'appropriation de cette technologie.
 - Dans ce contexte, il faudra favoriser :
 - L'adoption de la technologie Fabrication Additive polymère par des PME / PMI dont l'activité et les marchés sont sur les secteurs clés touchés par la Fabrication Additive
 - L'alignement (capitalistique ou non) sur des chaînes de valeur : développement d'une offre complète (y compris régionalement). Cet alignement est aujourd'hui insuffisant pour pérenniser leurs modèles d'affaire.

Evaluer/aider les projets de développement technologique « PME » sur la base de leur pertinence technologique, économique, accessibilité, moyens matériels et humains ; et contribuer à sécuriser leur engagement (investissement ou sous-traitance qui peuvent être à risques financiers élevés).

3.4. Soutenir l'action des régions dans l'accompagnement des projets PME « Fabrication Additive »

Diffuser
Anticiper le besoin et y
répondre

GT 10 + Cetim

Le développement de la filière Fabrication Additive en France passe par un accompagnement des PME/PMI.

Pour les PME/PMI, la décision d'intégrer la Fabrication Additive est un sujet sensible. Il s'agit en effet à la fois

- De saisir les opportunités proposées par cette nouvelle technologie (nouveaux produits, nouveaux usages, nouveaux marchés, nouvelles relations avec les clients, montée en gamme dans les chaînes de valeurs, ...)
- Tout en sécurisant le parcours de décision et, le cas échéant, d'intégration et d'appropriation de la technologie en interne ou via des alliances avec des partenaires externes

Un diagnostic pilote a été mis au point et testé par le Cetim dans la Région Val de Loire (4 cas). Adapté à la situation de chaque entreprise, il doit lui permettre de détecter les opportunités d'intégrer cette technologie pour ses propres produits ou pour étendre son offre technologique pour la réalisation des pièces de ses clients. Il doit également lui permettre d'identifier ses forces et faiblesses. Ce diagnostic :

- Est à large spectre. Au-delà de la dimension technologique, il intègre le positionnement stratégique de l'entreprise, son modèle économique, la chaîne numérique, la capacité d'appropriation et d'intégration de la technologie (notamment compétences), ...
- Il s'appuie sur des intervenants formés puis coachés (mise du dispositif sous assurance qualité) et capables d'interpréter et de conseiller, dépassant ainsi largement le simple « questionnaire/audit » déclaratif
- Il analyse l'opportunité pour l'entreprise d'aller vers la Fabrication Additive (seule et/ou en collaboration avec d'autres)
- Fournit une recommandation de parcours pour l'entreprise

Cette base, nourrie par l'expérience du programme « RobotStartPME », appliqué à la robotique et déployé sur 250 cas dans toutes les régions avec le support de 35 consultants, et y compris son architecture de déploiement (détection et formation des intervenants en particulier) fournit donc la base recherchée par l'AIF.

Son déploiement doit être coordonné par le GT « déploiement » de l'AIF. Il passe nécessairement par les Régions et l'accélération de ce déploiement requiert un soutien coordonné nation/régions.

Initiative 1 : Favoriser l'exploration des potentialités par grand cluster industriel

Initiative 2 : Créer les bibliothèques de matériaux/paramètres/cas d'usage

Initiative 3 : Soutenir une coopération nation-régions pour la cohérence des projets de développement technologiques PME/PMI

Initiative 4 : Organiser une aide aux projets d'usage et de diffusion auprès des PME/PMI alignés avec les critères retenus (capacité de passage à l'échelle industrielle et alignement sur la chaîne de valeur)

4. Animer une filière industrielle française naissante

Animer

AIF

4.1. Créer et diffuser des référentiels communs

Formation et compétences

Capitaliser
Diffuser

GT 8

Le rôle de la formation est d'autant plus central dans l'appropriation par les acteurs, donc dans le développement de la fabrication additive, que les perspectives sont évolutives.

Il n'existe pas ou trop peu de formations professionnalisantes et qualifiantes de référence en France et à l'international.

Un groupe cœur de plus de 40 experts industriels et académiques, fédérant les différentes initiatives lancées en France, s'est donné pour objectif de faire de la formation Fabrication Additive un atout pour la France. Cette initiative vise à :

- Etablir une enquête auprès d'une cinquantaine d'entreprises de tous secteurs impliquées dans la fabrication additive :
 - Activités spécifiques et identification des compétences à associer à chaque activité
 - Niveau de formation auquel il faut associer les activités et les compétences
 - Les deux compétences clé attendues sont la conception et le prototypage
- Construire des formations de référence (formation initiale et formation continue) sur la fabrication additive :
 - Constitution d'un référentiel national Activités/Compétences sur la fabrication additive (initiative de la Fédération de la Plasturgie et des Composites, publication fin 2016)
 - Communication auprès des « vecteurs » de la formation (professeurs, etc.)
 - Labellisation/Certification de formations dédiées à la fabrication additive,
 - Identification de passerelles métier
- Cartographier des compétences en formation existantes sur la fabrication additive (identification de prestataires)
- Mettre en cohérence des différents programmes d'accompagnement en formation sur la fabrication additive
 - 1ere étape : mise en lien, échanges sur les bonnes pratiques et les freins rencontrés, identification des manques
 - 2eme étape : déploiement sur l'ensemble des Régions (consolider l'outil d'accompagnement)

La normalisation doit permettre de diffuser la technologie, de favoriser les innovations, d'améliorer l'interopérabilité des systèmes et d'abaisser les coûts d'acquisition des nouvelles technologies, en particulier pour les PME.

Nous devons contribuer activement à la construction européenne et mondiale pour assurer que les règles qui se créent sont compatibles avec les intérêts de notre industrie nationale.

Les positions françaises sur les travaux européens et internationaux sont mises au point par la commission UNM 920 « fabrication additive ». Elle a été créée en juillet 2010 avec un domaine d'activité correspondant aux procédés par ajout de matière (fabrication de pièces directement à partir d'un modèle 3D sans utiliser d'outillage) et destinés à tous les secteurs, en particulier les industries mécaniques, aéronautiques et l'odontologie. Elle compte 67 inscrits. Cette commission a la charge pour le domaine de rédiger les normes françaises et de représenter la France dans l'élaboration des normes européennes et internationales.

Le processus normatif vise à assurer l'équilibre entre les différentes parties prenantes (fabricants, utilisateurs, autorité réglementaire...) Et de coordonner les travaux des différents secteurs industriels.

La prise de responsabilité en normalisation internationale et européenne par la France est significative (Annexe).

Les sujets retenus lors de la réunion conjointe UNM920/sous-groupe fabrication additive de l'AIF sont les suivants :

- Poudres, en liaison avec les travaux du groupe joint ISO/ASTM sur les spécifications techniques sur les poudres métalliques ;
- Définition de pièce type, en liaison avec les travaux du groupe joint ISO/ASTM sur la définition de pièces types ;
- Environnement ;
- Fabrication additive pour les équipements sous pression ;
- Exigences médicales en fabrication additive ;
- Préconisation de sécurité pour la fabrication additive.

Ils ont conduit la commission UNM920 à mettre en place des groupes ad hoc pour instruire ces différents sujets avec l'objectif de rédiger des propositions françaises à porter à l'international. Dans ce cadre, l'accord de coopération avec le Bureau de Normalisation du Québec (BNQ) pourra être utilisé pour renforcer la capacité de la France à faire adopter ses propositions de projets de normes à l'ISO.

Par ailleurs, les données matériaux pour lesquelles de nombreuses informations, principalement issues de travaux académiques sont disponibles, mais de façon très dispersée et non forcément cohérente, constituent l'une des informations à structurer, consolider et étayer notamment au travers de l'action du GT transverse « structuration des bases de données ». Cette initiative pourra prendre en compte les résultats du projet européen SASAM qui a permis de d'identifier les caractéristiques d'un premier lot de matériaux, un effort complémentaire est à produire pour recenser et mettre à disposition les données matériaux nécessaires en relation très étroite avec les contributeurs académiques, centres techniques,

Initiative 1 : Soutenir, dans le cadre de la commission française UNM 920, les travaux normatifs sur les 6 thèmes identifiés (Poudres, Définition de pièce type, Environnement, Fabrication additive pour les équipements sous pression, Exigences médicales en fabrication additive, Préconisation de sécurité pour la fabrication additive) et porter ces propositions au niveau ISO pour en faire des normes internationales.

Initiative 2 : Engager des travaux relatifs aux données matériaux nécessaires au dimensionnement et à la réalisation de pièces par fabrication additive ; ce travail devra s'appuyer sur les compétences des laboratoires et organismes de recherche dans le cadre d'une collaboration européenne.

Hygiène, Sécurité, Environnement

Benchmarker
Capitaliser
Diffuser
Anticiper le besoin et y répondre

GT 5

La maîtrise des risques industriels en général comprend une anticipation des problématiques d'Hygiène-Sécurité et Environnement (HSE).

Dans le cas de la fabrication additive, la préoccupation HSE est un enjeu central car :

- Mal prise en compte, elle peut exposer les individus et indirectement créer une barrière de rejet technique et médiatique
- Sur-contrainante, elle peut créer une charge contre-compétitive

Les machines de fabrication additive relèvent au niveau de l'Hygiène et de la Sécurité pour l'Espace Economique Européen (EEE) de la Directive Machines. Cette directive européenne impose le respect, dès leur conception, de différentes Exigences Essentielles de Sécurité (EES) qui couvrent notamment les risques mécaniques, électriques, d'expositions aux substances (poussières, gaz...) ou encore d'explosions ; et ce dans les différentes phases d'utilisation de la machine (production, nettoyage, maintenance...).

Il s'agit ainsi de rapidement identifier les principes minimaux permettant d'assurer la sécurité des personnes et le respect de l'environnement afin de convertir le principe de précaution en avantage plutôt que de le voir devenir un risque.

Des solutions existent déjà pour traiter correctement, pour les technologies concernées, les risques HSE. Afin de déployer de manière sûre la fabrication additive au sein des industriels français, plusieurs actions sont proposées :

- Formalisation et diffusion d'un guide des bonnes pratiques (manipulation et nettoyage des pièces en particulier). Règles techniques pratiques permettant de prémunir l'exposition des travailleurs (EPI, durée, renouvellement d'air...)
- Benchmark international des pratiques HSE relatives à la Fabrication Additive
- Elaboration d'un diagnostic HSE des installations existantes (lignes industrielles et machines de laboratoire) existantes, permettant de capitaliser sur les bonnes pratiques et déterminer les points d'amélioration
- Conception des actions de sensibilisations : brochures, journées techniques, ...
- Inclusion d'un volet HSE dans les actions de formations
- Mise à disposition des méthodes d'analyse de risque pour la conception et l'utilisation de cette technologie en se focalisant sur ses aspects spécifiques

L'action est évaluée sur une durée de 3 ans et devra être structurée et coordonnée dans la durée autour des différentes parties prenantes tels que :

- Fabricants de machines, de poudres en liaison avec la commission UNM920 en relation avec les instances de normalisation internationales CEN et ISO, notamment pour le développement de normes de sécurité spécifiques (Accord de Vienne) en vue de donner une présomption de conformité à la directive machines.
- Institutions européennes de protection de la santé et de sécurité
- Institutions scientifiques capables d'évaluer, d'analyser et de modéliser les phénomènes
- Utilisateurs, académiques et PME/PMI en particulier

4.2. Fédérer les acteurs et l'information

Animer

AIF

L'AIF a une position d'indépendance et de neutralité qui la rend indispensable à l'animation efficace des grandes actions transverses.

Benchmarker

- Animation de la veille scientifique et technologique dans le contexte international, européen en particulier

Benchmarker
Anticiper le besoin et y répondre

- Etudes (à lancer ou collecter) : benchmark, recensements pour favoriser la structuration de marché et d'acteurs
 - Marché/usage/chaine de valeur
 - Projets R&D (national, régional, européen...)
- Entretien et mise à disposition des cartographies (compétences, acteurs, matériaux) et des bases de données partagées
- Organisation de Groupes de travail coopératifs et du partage général de l'information

4.3. Coordonner l'émergence et la mise en réseau des projets et plateformes

Animer

AIF

En fédérant les acteurs de la fabrication addition, l'AIF a vocation à organiser le dialogue et la coordination des méthodes sur deux axes complémentaires, que les acteurs individuels ne peuvent remplir :

- Mise en cohérence des périmètres et objectifs des projets R&D :

Au-delà du travail de recherche de synergie et partage pour les programmes existants, mentionné plus haut, une structure d'animation doit permettre aux acteurs industriels et académiques, en amont de la conception et de la structuration de projets, de

- Evaluer l'alignement de leurs objectifs avec les priorités nationales
- Situer leurs intentions de projet dans le contexte global
- Identifier des intentions projets connexes et encourager les mutualisations

- Coordination des plateformes (instrument de mutualisation de moyens et de compétences). Au-delà de la réalisation des programme R&D, elles doivent également être un support de réalisation des actions transverses décrites par cette feuille de route.
 - Maîtrise des redondances (horizontales entre labos émulant les mêmes compétences et verticales entre labos complémentaires sur la chaîne de valeur). En liaison avec les Régions, les Instituts Carnot, les Centres Techniques Industriels, le réseau des labos « amont »
 - Faciliter la rationalisation du réseau des plateformes, de leur localisation.
 - Mettre en visibilité de la cartographie nationale
 - Aider au bon alignement entre la gouvernance des IRT impliqués par la Fabrication additive et les priorités nationales
 - Mise en place de référentiels homogènes d'émergence et de gestion des plateformes physiques
 - Accès des plateformes de transfert aux meilleures connaissances amont, françaises ou étrangères
 - Qualité et vitesse des formations supportées et du transfert à leur tissu industriel et académique environnant

ANNEXES

Priorités de recherche pour métal et polymères

Comprendre

GT1

Priorité « Amont » métal - SLM

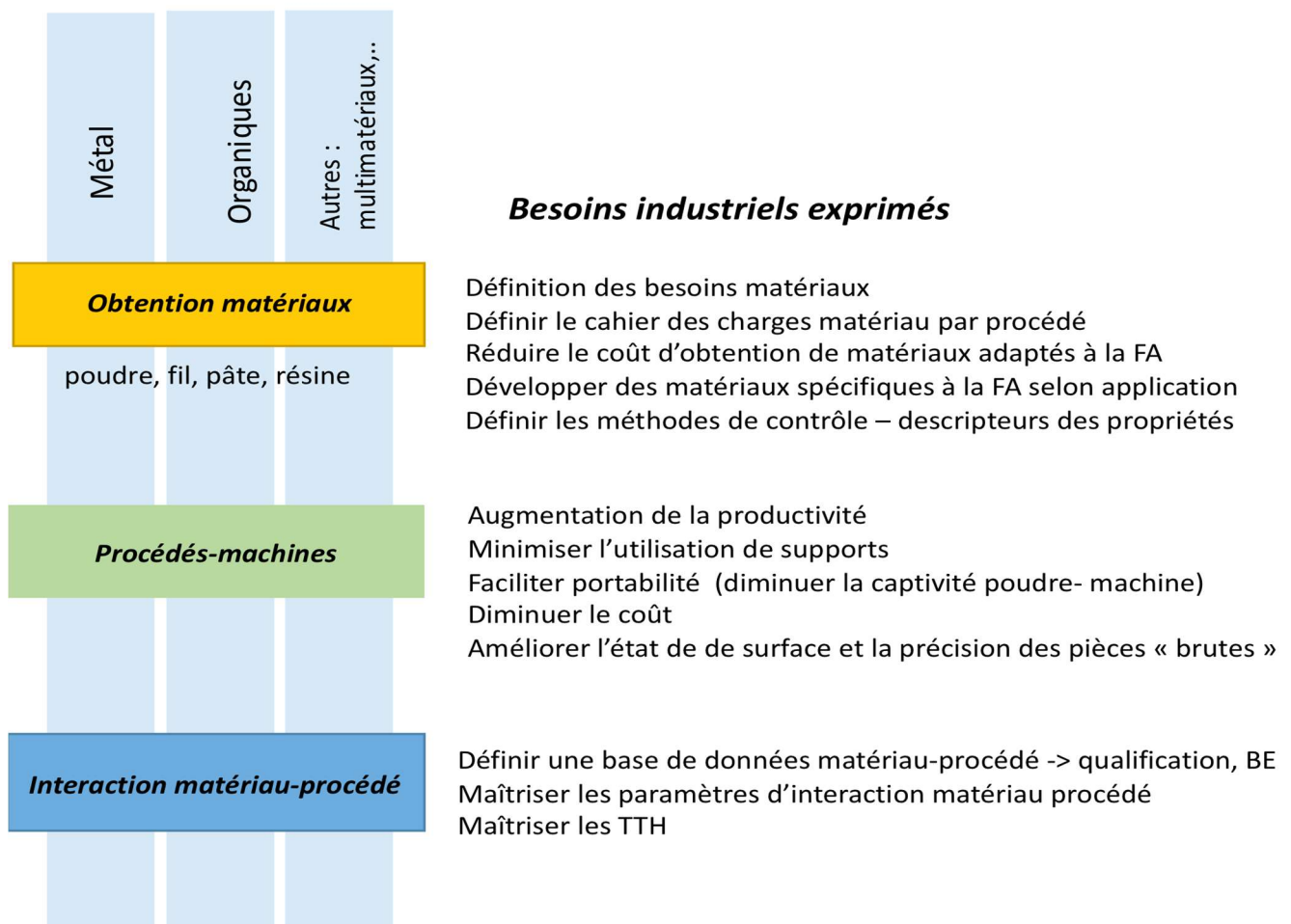
- Dépôt d'énergie : Effet de la source d'énergie, simulation mécanique statistique
- Prise en compte statistique du matériau à l'état de poudre et rhéologie de la poudre
- Coût d'obtention des poudres (gaz + process). Valeur/non-valeur des bords de distribution ?
 - Dans un deuxième temps
 - Matériaux compatibles avec les fluides
 - Maîtrise de la réactivité de surface
 - Mettre au point de nouveaux matériaux, tirant profit des particularités, sera une priorité très forte, mais dans un deuxième temps
- Interaction procédé/matériau
- Prédiction des microstructures par la simulation du comportement de la poudre sous l'effet de la chaleur en couplant les phases solides et liquides
- Robustesse respective des poudres et des procédés
 - Maîtrise des rugosités (fonctionnellement et maîtrise procédé)
 - Optimisation (et recyclage) des supports
 - Définition d'une métrique de vieillissement au recyclage
- Interaction procédé/conception des pièces
 - Calcul de la géométrie finie telle que fabriquée et application de techniques de compensation
 - Calcul des contraintes résiduelles sous l'effet de forts gradients thermiques
 - Lois de comportement de polycristaux multiphases en présence de défauts (vides) et évolution des défauts
 - Prédiction du comportement à l'usage (tenue en service, fatigue, oxydation)
 - Calcul des contraintes résiduelles sous l'effet de forts gradients thermiques
 - Lois de comportement de polycristaux multiphases en présence de défauts (vides) et évolution des défauts
 - Prédiction du comportement à l'usage (fatigue, oxydation)
- Qualification des défauts, construction des bases de « défautèque » ad hoc, et construction des approches numériques pour qualifier le risque de présence de défaut.
- Techniques numériques : accélération des calculs (méthodes d'abaques, ...)
- Développement de l'instrumentation (tomographie, ...)
- Technologies de contrôle *in situ* (contrôle/traçabilité dans un premier temps, boucle de contrôle process seulement dans un deuxième temps)

Priorités « Amont » polymères - Cas du SLS

- Dépôt d'énergie : Simulation mécanique statistique
- Prise en compte statistique du matériau à l'état de poudre
- Mise au point de matériaux compatibles avec les exigences techniques (transparence, UL, Tenue feu/fumée, agression chimique, vieillissement...)
- Optimiser le coût d'obtention des poudres.
- Maîtriser l'interaction procédé/matériau
- Prédiction des microstructures par la simulation du comportement de la poudre sous l'effet de la chaleur en couplant les phases solides et liquides
- Robustesse respective des poudres et des procédés
- Maîtrise des rugosités (fonctionnellement et maîtrise procédé)

- Optimisation (et recyclage) de la poudre non frittée
- Techniques numériques : accélération des calculs (méthodes d'abaques, ...), prédiction aspect de surface, prédiction caractéristiques mécaniques
- Interaction procédé/conception des pièces
- Lois de comportement de polycristaux multiphases en présence de défauts (vides) et évolution des défauts
- Prédiction du comportement à l'usage (fatigue, vieillissement)
- Développement de l'instrumentation (ex tomographie)
- Technologies de contrôle in situ (contrôle/traçabilité dans un premier temps, boucle de contrôle process seulement dans un deuxième temps)
- Développement des technologies de parachèvement
- Identification des revêtements et caractérisation
- Caractérisation économique des technologies liées à l'aspect.

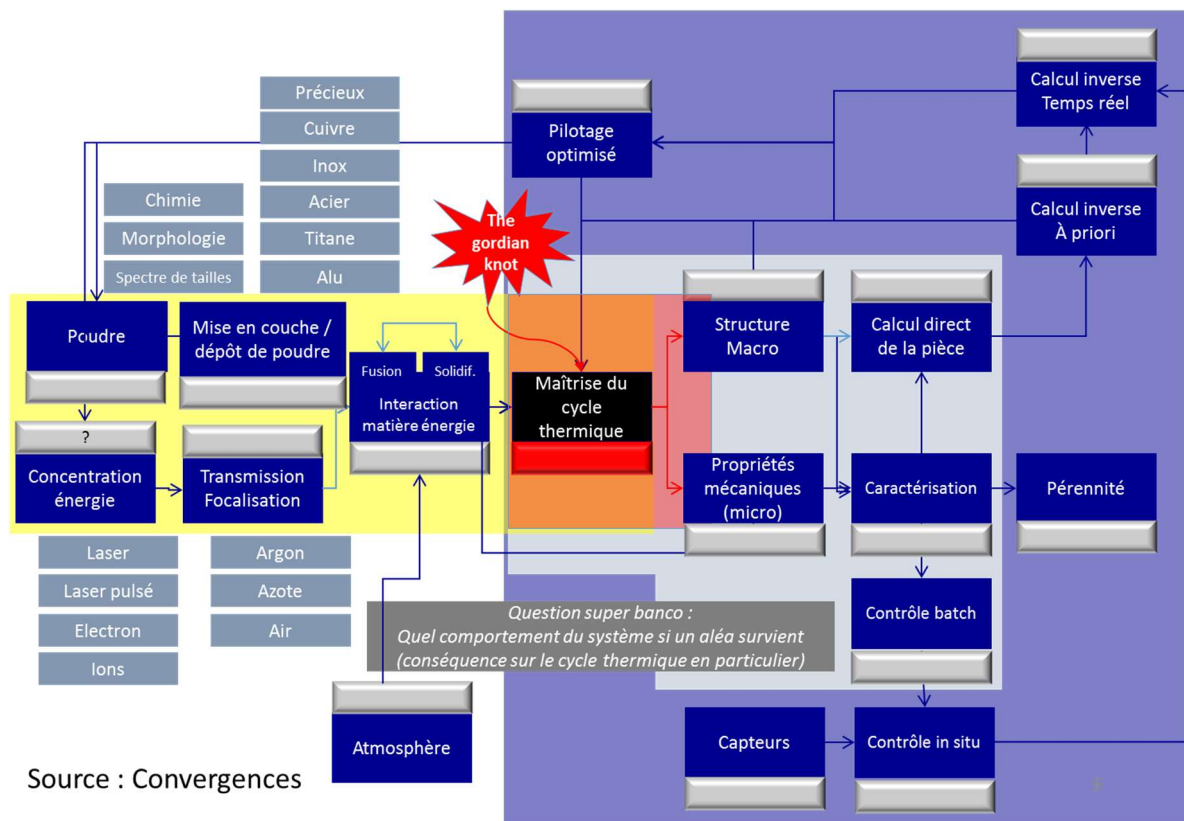
Le besoin des acteurs de la fabrication additive Française concernant les aspects matériaux/procédés se décline selon les axes suivants :



Annexe « domaines physiques »

Comprendre

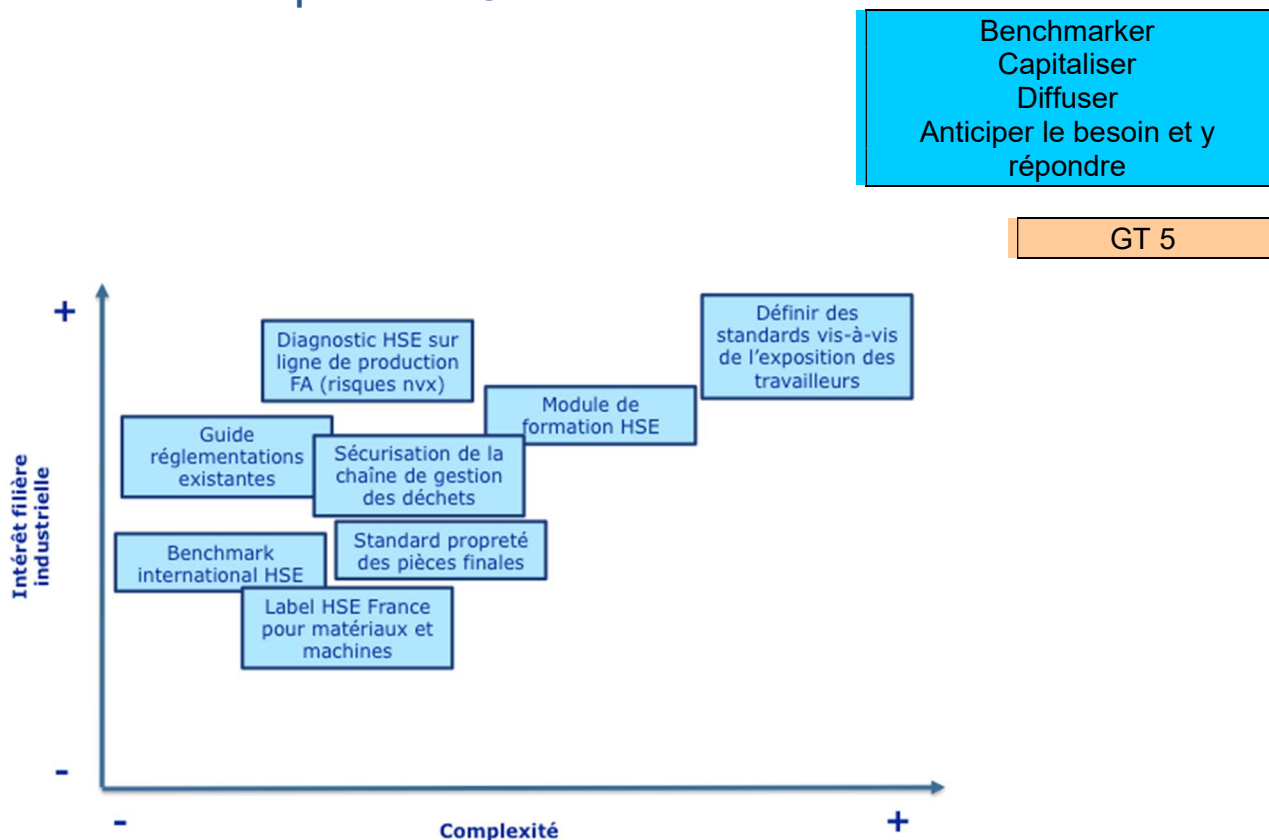
GT1



Annexe Numérique

La chaîne numérique est un élément essentiel du processus de fabrication additive. Elle en traverse toutes les étapes (d'où la nécessité de piloter la continuité numérique), de la conception (de géométries et propriétés innovantes) à l'accès au marché (et aux clients industriels ou individuels) en passant par la simulation des performances et la simulation et conduite du procédé, le contrôle, la traçabilité et le stockage durable de données en masse dans ce but

Annexe priorités HSE



Annexe Accompagnement des PME/PMI

Quatre fondamentaux pour un accompagnement réussi, issus de l'expérience

« RobotstartPME »

- Une méthodologie commune et sécurisante d'accompagnement global, au-delà de la seule question de la technologie (stratégie, modèles économiques, organisation, supply chain, continuité numérique, compétences et intégration du facteur humain, communication, management du projet...)
- Un réseau d'experts de proximité identifiés et qualifiés, formés et animés au niveau national dans la réalisation de leurs interventions en PME/PMI pour sécuriser les livrables et la qualité des interventions des experts
- L'appui d'un tissu industriel identifié d'intégrateurs et de plateformes de test/faisabilité
- Une gouvernance permettant l'amélioration continue du dispositif d'appui au travers de retours d'expériences organisés et pilotés

L'accompagnement doit être adapté au contexte de l'Entreprise

Il est important d'adapter l'accompagnement proposé aux PME/PMI selon le niveau de maturité des entreprises, en articulant les différentes étapes ci-dessous au travers de points d'entrée multiples :

- Découverte, sensibilisation à la fabrication additive

- Qualification de la demande de l'entreprise
- Parcours d'accompagnement selon les 4 phases clés énoncées ci-après pour guider les PME
- Expérimentations
 - Rejoindre une plateforme de moyens partagés
 - Réaliser des premiers tests (premières pièces sur des plateformes existantes, prototype, choix et qualification de matériaux, ...)
- Programmes de formations thématiques (métallurgie des poudres, post-traitement, finition, conception, chaîne numérique...)
- Programmes de R&D (nouveaux matériaux, accéder à de nouveaux marchés...)

L'accompagnement d'une PME/PMI, passe donc par 4 phases clés, chacune d'elles permettant d'instruire des décisions de type Go/NoGo pour le lancement de la phase suivante

- Diagnostic personnalisé / étude d'opportunité
- Etude de faisabilité et de rentabilité
- Avant-projet définitif et choix du fournisseur
- Qualification et réception de l'installation

Axes fonctionnels transverses

- Anticiper le besoin et y répondre
- Comprendre
- Capitaliser
- Connecter le matériel et logiciel
- Expérimenter
- Benchmark
- Diffuser
- Animer, rechercher l'efficacité globale

Participation aux groupes de normalisation UNM

Diffuser
Anticiper le besoin et y répondre

GT 6

INSTANCE	SECRETARIAT	RESPONSABLE
CEN/TC 438 "Fabrication additive"	UNM	Eric Baustert (VOLUM-e)
ISO/TC 261/WG 3 "Méthodes d'essai"	UNM	Philippe Bertrand (Enise)
ISO/TC 261/AH STEP NC AMF	UNM	Alain Bernard (Ecole Centrale Nantes)
ISO/TC 261/ASTM/JG53 "Exigences pour l'achat de pièces en Fabrication Additive France"	UNM	Philippe Bertrand (Enise)
ISO/TC 261/ASTM/JG66 "Spécifications techniques sur les poudres métalliques"	UNM	Rémi GIRAUD (Erasteel)

Participation aux groupes de travail Fabrication Additive - AIF

L'ensemble des personnes inscrites aux différents groupes de travail sont listées par ordre alphabétiques. Les pilotes respectifs des groupes sont soulignés dans le texte.

GT1 Matériaux / Procédés / Machines : Pierre Alvarez, Radia Bala, Philippe Barabinot, Claude Barlier, Vincent Baudinaud, Didier Boisselier, Francis Briand, Macquaire Bruno, Hélène Chanal, Christophe Chaput, Christophe Colin, Chrystel Deguet, Jerome Dubois, Eric Firtion, Olivier Gille, Philippe-Franck Girard, Philippe Grasser, Louis-Romain Joly, Yannick Lafue, Anthony Martin, Charlotte Mayer, Tiberiu Minea, Bruno Mortaigne, David Muller, Simon Ordonneau, Jean-Daniel Penot, Jean-François Perrin, Simon Perusin, Patrice Peyre, Simon Philibert, Joël Rosenberg, Sakina Seghir, Thierry Sortais, Jérémie Soulestin, Olivier Strebelle, Philippe Tailhades, Jean Thierry, Benoit Verquin, Thierry Vignes

GT2 Chaîne numérique : Stephane Abed, M'hamed Boutaous, Etienne De Pommery, David Delafosse, David Fraboulet, Slaheddine Frikha, Dominique Ghiglione, Jean-Luc Jacquot, Philippe Henri Leroy, Jean-Jacques Liodenot, Philippe Mourgue, David Muller, Gilbert Quilghini, Joël Rosenberg, Nicolas Tardif, Christophe Tournier, Donal Valerie, Felix Wouts

GT3 Parachèvement / Post-traitement / Finition : Bruno Langlois, Charpentier Coralie, Jean Thierry, Pierre Alvarez, Philippe Barabinot, Claude Barlier, Vincent Baudinaud, Philippe Bergonzo, Sandy Blanc, Hélène Determe, Jerome Dubois, Christophe Grosjean, Louis-Romain Joly, Pascal Lamesle, Anthony Martin, Tiberiu Minea, Simon Perusin, Serge Rioual, Sakina Seghir

GT4 Qualité / Contrôle : Alexis Beakou, Helene Chailloy, Olivier Fouche, Philippe Grasser, Ivan Iordanoff, Frédéric Jenson, Steve Mahaut, Eric Maire, Mathieu Montoux, Anne-Francoise Obaton, Nathalie Peignet, Nicolas Saintier, Astrid Tezenas, Donal Valerie

GT5 Hygiène / Sécurité / Environnement : Nicolas Bedouin, Didier Boisselier, Yannick Cadoret, Corinne Chovet, Payard Christophe, Bruno Debray, Hélène Determe, Guy Marlair, Bélahcène Mazari, Pascal Revirand, Elisabeth Rey, Lionel Ridosz, Philippe Riviere, Alexis Vignes

GT6 Normes / Standards : Ladj Diakite, Alain Genty, Rémi Giraud, Yannick Leblanc, Pascal Souquet

GT7 Certification : Gilles Bonnet, Mehdi Camus, François Cortial, Isabelle Dam, Xavier Demonet, Axel Fulpin, Daniel Lecuru, Wilson Maia, Florence Olle, Damien Reynaud, Thierry Thomas, Benoit Verquin, Pascal Vinzio, Willy Vivanz

GT8 Education / Formation : Philippe Bertrand, Arnaud Delamézière, Emmanuel Duc, Cyril Faure, De Forges Charles, Imade Koutiri, Olivier Larre, Gwenaëlle Levecque, Benoît Marty, Simon Philibert, Pascal Revirand, Bruno Salmon-Legagneur, Felix Wouts

GT9 Structuration des marchés : Delphine Baudouin, Hugues Bornecque, Hervé Cadenne, Philippe Chape, Gerard Chevalier, Bertrand Demotes-Mainard, Severine Durieux, Gregoire Ferre, Morgan Franc, Jean-Michel Goiran, Frank Hilaire, Hervé Michel, Marc Michel, Thierry Rayna, Joël Rosenberg, Franck Simon

GT10 Soutien diffusion et interopérabilité de l'offre française : Sylvain Charpiot, Jean-Paul Comin, Emmanuel Delabarre, Christophe Eschenbrenner, Emilie Garcia, Philippe Lubineau, Nicolas Parascandolo, Stanislav Rudico, Sebastien Vercruysse

GT Ad-hoc 1 Base de données matériaux : Isabelle Dam, Hélène Determe, Jérôme Dubois, Dominique Ghiglione, Remi Giraud, Philippe Lubineau, Jean-Daniel Penot

GT Ad-hoc 2 Cartographies : Hélène Determe, David Muller, Thierry Sortais

Animation transverse : Sawsen Ayaripoulighen, Christophe Colin, Helene Determe, Eleanor Fontaine, Ivan Iordanoff, Imade Koutiri, Philippe Lubineau, Tahar Melliti, Joel Rosenberg, Thierry Sortais, Jeremie Soulestin, Jean Sreng, Felix Wouts

Annexe Acronymes

AIF : Alliance Industrie du Futur
ALM : Additive Layer Manufacturing
ANR : Agence Nationale pour la Recherche
BE : Bureau d'études
BER : Bureau d'études et réalisations
DGE : Direction Générale des Entreprises
FA : Fabrication additive
HSE : Hygiène, Sécurité, Environnement
PFA : Plateforme Automobile