ÉTUDE PROSPECTIVE

Futur de la fabrication additive

Restitution de l'étude – Benoit RIVOLLET – Tech2Market

Les Rendez-vous du Pipame – 26 Janvier 2017

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE

PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation
des mutations économiques

DGE
DIRECTION GÉNÉRALE
DES ENTREPRISES

Commanditaires et consortium

Étude prospective : Futur de la fabrication additive

Tech 2 Market

In Extenso innovation . croissance

- Structuration méthodologique et garant des livrables
- Consultation et animation des groupes de travail
- Étude des filières industrielles et des impacts sur les territoires
- Établissement des scénarios prospectifs et des recommandations

cetim

INNOVATION PLASTURGIE COMPOSITES

CTTC

Ctif

YOUFACTORY usine collaborative

- Expertise sur les procédés et les matériaux
- Expertise sur l'implémentation des technologies chez les industriels
- Expertise normative et brevets
- Accès à plusieurs études et groupes de réflexions
- Validation des livrables
- Quelques consultations par le CETIM

PIPAME

Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Méthodologie et objectifs de la mission

Une étude décomposée en 8 volets et portant sur 10 mois de travaux

Le périmètre de l'étude couvre à la fois l'impression additive à destination de l'industrie, les services associés et l'impression 3D grand public.

25 entretiens Janvier-Mars

Volet 1

Analyse de la demande française en matière de fabrication additive : objectif de dresser un état des lieux en France et dans le monde de l'impression 3D et de la fabrication additive dans les principaux secteurs.

Volet 2

Caractérisation de l'offre française : ce volet vise à apporter une vision de la dynamique du secteur afin de dégager un éclairage sur le positionnement concurrentiel des acteurs français sur la scène internationale.

25 entretiens Avril-Juin

Volet 3

Analyse des facteurs de développement de la fabrication additive afin d'évaluer la capacité des entreprises et acteurs du territoire à s'approprier l'impression 3D. Il s'agit en parallèle d'identifier les freins capables de ralentir l'adoption de ces technologies.

Volet 4

Analyse des impacts du développement de la fabrication additive sur les territoires, impliquant notamment des opportunités en termes de relocalisation ou de décentralisation de la production manufacturière.

Méthodologie et objectifs de la mission

Une étude décomposée en 8 volets et portant sur 10 mois de travaux

2 groupes de travail Juin-Octobre

Volet 5 → **Réflexion prospective à court et moyen termes** sur les perspectives de développement de la fabrication additive au sein de chaque branche industrielle et pour les applications grand public.

Volet 6 → **Recommandations opérationnelles et priorisées** aux industriels et aux pouvoirs publics afin de favoriser l'émergence de pépites française et de renforcer la structuration de la filière pour mieux la développer.

2 groupes de travail Juin-Octobre

Volet 7
Volet 8

→ **Focus sur la fabrication additive métallique en particulier aluminium, titane, superalliages et aciers** et de son potentiel à venir par marché en se basant sur quatre axes de réflexions : technique, marché, compétitivité et économique.

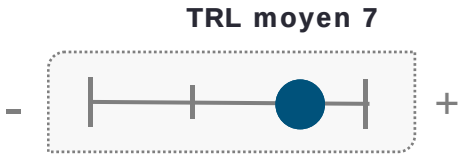
Typologie d'acteurs consultés et invités en ateliers :

- **Utilisateurs :** responsables innovation, prospective, directeur technique dans le domaine du spatial, aéronautique, ferroviaire, énergie, médical, BTP.
- **Offre :** fournisseur de matières, de solutions logicielles, intégrateurs, sous-traitants, machines.
- **Grand public et territoires:** CCI, Pôles, SGAR, CMA, Fablabs, associations.

PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

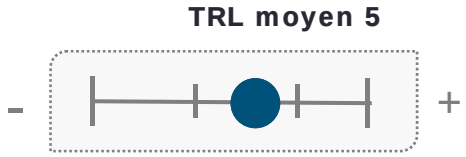
Applications industrielles et maturité (1/3)

Aéronautique et spatial



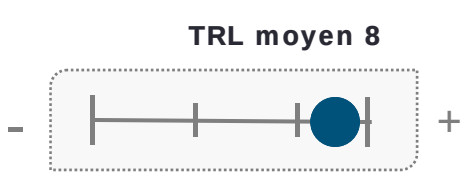
- Précurseur : 15 % du marché de la fabrication additive
- 15 à 20% de croissance annuelle → 2,6 Md$ en 2020
- Équipementiers/motoristes : TRL 7 à 9 (SLM, CLAD, EBM)
- Aérostructures : TRL 3 à 5 et peu utilisé actuellement
- Matériaux: Ti6Al4, Inconel 718, résine ULTEM, Aluminium
- Certification des pièces représente le défi le plus important

Automobile



- 10 à 15% de croissance annuelle → 1,1 Md$ en 2020
- La FA directe ne répond pas aux cadences et aux volumes de la filière (sauf sport automobile et haut de gamme)
- Pénétration principalement via le prototypage de pré-série, l'outillage (80% de l'impression 3D sable, régulation thermique) et l'aide à la production (gabarits, fixations)

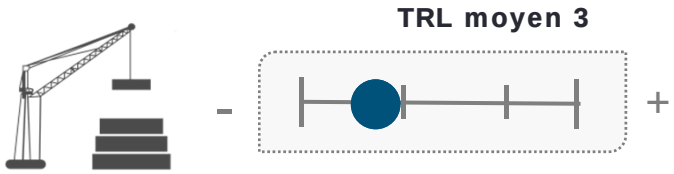
Médical / Dentaire



- Précurseur : 13% du marché en 2014 → 900M$ en 2020
- Applications: couronnes et chapes, prothèses de hanches (maturité élevée), implants
- Intérêt principaux : personnalisation de masse, l'intégration de porosité, la réduction des stocks
- Matériaux : Co-Cr, Ti pur, Ti6Al4V, 316L, PEEK, HAP, Zircone

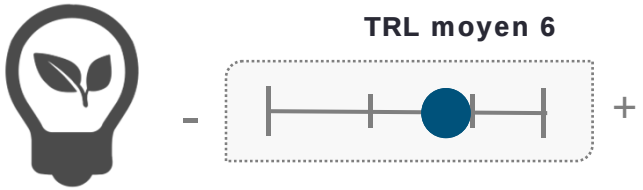
Applications industrielles et maturité (2/3)

Construction et architecture



- Un segment secondaire : 3,2% du marché mondial
- Estimation de la pénétration de la fabrication additive
  - CT: Moules et peaux de coffrages en résine
  - MT: Eléments béton préfabriqués en usine (corniches)
  - LT: Construction d'habitat sur site
- Maitriser la paramétrie de production et livraison du béton

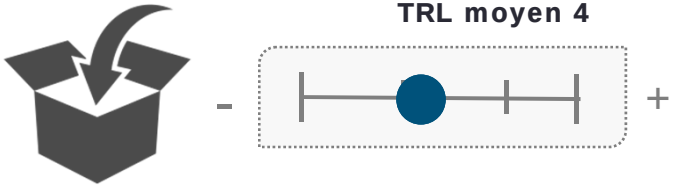
Energie



- Energies renouvelables (éolien, PV): pièces souvent trop volumineuses (plusieurs mètres à dizaines de mètres)
- Nucléaire: besoin d'atteindre un niveau de qualification et de certification pour envisager la FA en application critique
- Gaz et pétrole: 3,9% du marché (systèmes fluidiques complexes : pompes, filtres…)
- Facteurs d'acceptation : formes complexes, économie de matériaux difficile à usiner, réparation, intégration de fonction
- Freins : manque de directives en matière de certification, faible recul sur la ductilité et comportement en fatigue, pièces de trop grandes dimensions pour la fabrication additive directe

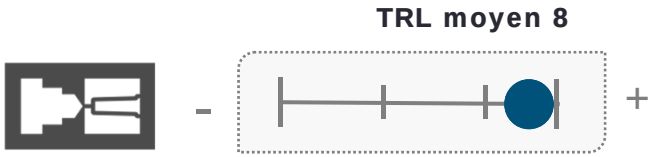
Applications industrielles et maturité (3/3)

Emballage



- Un segment jugé secondaire et au prototypage rapide (accélération des cycles de développement et de validation) et aux acteurs du luxe.
- Applications naissantes à l'image du procédé Pack&Strat® (fabrication directe et rapide d'emballage en mousse polymère ou en carton par découpe successive de plaques).
- Emballage alimentaire (bouteille, flacons) : fabrication additive directe en série peu adaptée, préférence nette pour le prototypage ou la production de moule en cire/résine pour résister aux cadences de production de bouteilles.

Fonderie – Moules – Outillage - Forge



- La fabrication additive est particulière adaptée pour la réalisation d'outillage → un des marchés les plus matures.
- Fonderie: fonderie cire perdue (projection de matière), fonderie sable (frittage laser récent, projection de liant), fonderie par gravité (stratoconception très utilisée, EBM, SLM et DED en cours de développement).
- Plasturgie : thermoformage (peu exploité actuellement), injection soufflage (optimisation du refroidissement dans les moules aluminium), injection .
- Intérêt : régulation thermique, début des outillages polymères.

Synthèse des besoins exprimés dans les technologies professionnelles

L'augmentation de la productivité des machines, un besoin majeur et transverse	
Augmentation de la vitesse de production	Fabrication de pièces de grandes tailles
Sensibilisation aux nouvelles approches de conception	
Repenser le design des pièces existantes	Oser la complexité sans surcoût pour les nouvelles pièces
Développer de nouveaux matériaux et en assurer l'accessibilité	
Consolidation de la filière amont des matériaux	Besoin de gagner en maturité sur les matériaux existants
Élargir les gammes de matériaux existants	
Produire des pièces de meilleure qualité par une maitrise du procédé	
Meilleure gestion des paramètres de fabrication	Intégration des opérations de contrôle qualité dès la fabrication
Cibler les critères prioritaires pour évaluer la conformité d'une pièce	Augmentation de la fiabilité du procédé
Besoins transverses exprimés	
Développer des offres de formation académiques et continues	Clarifier la situation en termes de PI et de partage des responsabilités
Manque de recul sur les risques pour la santé et la sécurité	

Synthèse de l'analyse spécifique Aluminium

Approche marché

- **Aérospatiale :** tire la fabrication additive des alliages d'aluminium (pièces de grandes dimensions pour les aérostructures) ;
  - procédés productifs comme le procédé fil-arc se développent avantageusement par rapport aux procédés lit de poudre ;
  - nouveaux procédés vont demander de **nouveaux alliages** (microstructure, résistance mécanique).
- **Automobile :** utilise de plus en plus l'aluminium pour des raisons d'allégement mais ce secteur est celui de la fabrication grande série tirée par **les coûts.** Concurrence des matériaux polymères ou composites à matrice polymère
- Pénétration à court terme de la FA Aluminium via le segment de l'outillage (moules aluminium à faibles coût et durée de vie, canaux de refroidissements)

Approche technique

- **Freins :**
  - difficulté de mise en œuvre de certaines nuances, peu de nuances adaptées à la fabrication additive ;
  - opérations de post traitements, contraintes/déformations résiduelles qui sont sources d'écarts dimensionnels ;
  - mauvais états de surface obtenus.
- Les procédés de lit de poudre → le plus de verrous technologiques et de limitations actuelles mais les meilleurs résultats en termes de contraintes et déformations résiduelles et précision dimensionnelle, comparé à la projection de poudre et au dépôt de fil.

Synthèse de l'analyse spécifique Autres métaux

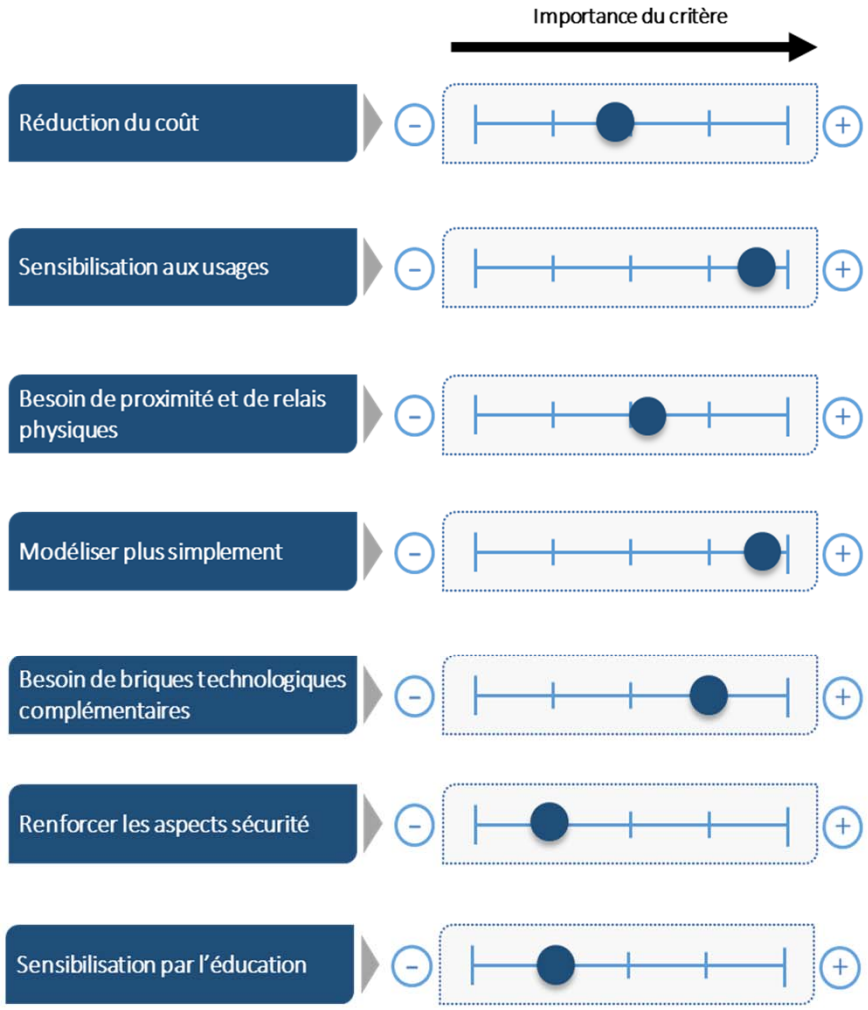
Approche marché

- Croissance de la productivité + baisse des coûts d'approvisionnement → toutefois la FA ne représente pas un modèle viable et ne trouve sa place à ce jour que sur quelques composants à très forte valeur ajoutée, difficilement ou impossible à réaliser autrement.
  - Aucune perspective de concurrence frontale avec les procédés conventionnels .
  - Le titane en fusion en lit de poudre → mâture pour le médical.
- Automobile : en raison de ses contraintes de coûts et de grande série, la mise en œuvre de la fabrication additive n'est pas encore adaptée
- **Paradoxe : des applications court-terme qui ne représentent pas d'importants volumes** (outillage, pièces de remplacement).

Approche technique

- Alliages et applications concernées par la fabrication additive :
  - absence des aciers au carbone (peu d'aciers utilisés par le mécanicien traditionnel) ;
  - aciers pour traitement thermique encore difficiles à mettre en œuvre ;
  - aciers inoxydables: l'acier à outil H13 et l'acier maraging sont disponibles.
- Normalisation incomplète à ce stade: normes seulement pour le nickel et le titane.
- Les facteurs clés de ce développement sont :
  - la robustesse de l'approvisionnement et la définition de cahier des charges sur les poudres (répétabilité et maîtrise des propriétés) ;
  - élaboration de nouveaux matériaux (matériaux à gradient de composition).

Synthèse des besoins exprimés dans les technologies grand public

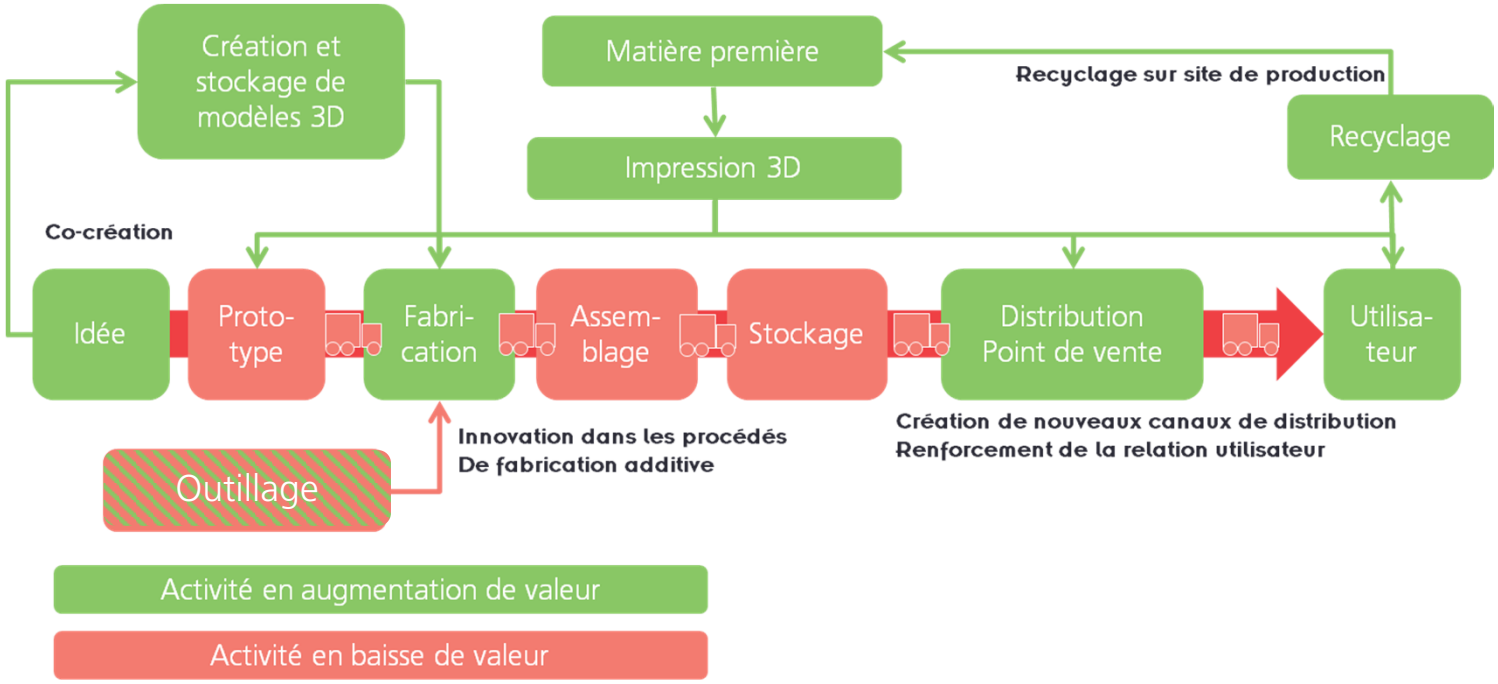
GRANDS BESOINS EXPRIMÉS	AXE DE DÉVELOPPEMENT
	Faire comprendre au consommateur/grand public que tout n'est pas réalisable et privilégier l'accompagnement par cas d'usage opérationnel pour confrontation à la réalité technico-économique de l'impression 3D
	Généraliser l'offre d'aide au montage pour les machines d'impression 3D livrées en kit et former les revendeurs et les distributeurs pour apporter un relai de proximité
	Encourager le développement de solutions de modélisation ergonomiques et simples d'utilisation et d'interfaces qui offrent la possibilité de personnaliser des modèles 3D pré-conçus. Ce besoin de simplification de la modélisation peut être complété par des briques technologiques complémentaires (scanners 3D, intégration de carte arduino).
	Des aspects à considérer dès à présent car si les besoins ou les impacts ne se feront pas sentir à court terme, ils représentent un véritable enjeu pour le développement moyen terme de la filière grand public française

Synthèse des besoins exprimés dans les technologies grand public

- **Commerce de détail :** véritable remise en question de l'approvisionnement, de la commercialisation des produits ainsi que du processus de création.
- **Enjeu double :** être capable de proposer rapidement des solutions personnalisées et démocratiser l'accès aux machines et aux techniques de fabrication.
- **Buzz médiatique :** impact négatif par manque de transparence → frein à l'adoption de la FA grand public (stagnation du marché, désintérêt progressif des consommateurs).
- **Freins principaux :** apprentissage de la modélisation 3D, généralisation de scans 3D, manque de formation et de sensibilisation sur les applications potentielles.
- **Court terme :** marché de niche réservé aux amateurs-bricoleurs et petits professionnels, la généralisation de l'impression 3D grand public ne devrait pas exploser avant 10 ans.

Impact territorial de la fabrication additive

Une recomposition à moyen terme de la chaine de valeur



Dans la petite industrie ou le commerce de détail, une telle recomposition de la chaîne de valeur interviendra progressivement, en parallèle de la sensibilisation grandissante des consommateurs à ces nouveaux schémas organisationnels.

<u>Levier :</u> développement de l'économie de quartier et de l'artisanat numérique avec comme point central les commerces de proximité.

Impact territorial de la fabrication additive

Le Fablab comme nœud local d'acculturation et d'expérimentation

- **Les Fablabs se développent à partir de communautés locales :**
  - Il existe à priori autant de Fablab différents qu'il y a de Fab Manager différents.
  - Forte prise en compte de leur contexte local ;
  - **Force structurelle d'importance** : réponse à des enjeux du territoire, en lien avec les usages et les besoins d'une clientèle locale.
- **Initiatives collaboratives** :
  - Croissance du mouvement poussée par un souffle collaboratif qui touche peu à peu le monde de l'entreprise ;
  - Participent à la formation et à l'évolution des compétences et des savoir-faire ;
  - S'inscrivent dans une **démarche d'utilité publique**, relativement à la structuration d'un écosystème en émergence.

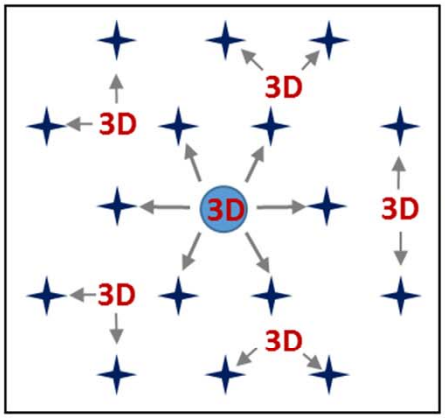
Les Fablabs contribuent ainsi à l'essor et à la démocratisation de ces nouvelles technologies de la fabrication numérique.

Ces tiers-lieux doivent permettre d'accompagner l'évolution des méthodologies de conception et des compétences.

Impact territorial de la fabrication additive

Réflexion sur la capture de la valeur ajoutée associés à la transformation des territoires par la production décentralisée

Production distribuée



Plus forte réduction du stock

Flux logistiques internes réduits

Centre de réparation

3D Impression dans des ateliers

Plusieurs scénarios de capture de valeur

Fabrication chez le réparateur par le réparateur

Fournisseur → 3D

Fabrication chez un acteur tiers à proximité

Fournisseur → 3D →

Fabrication chez le fournisseur à proximité

Fournisseur 3D →

Fabrication chez le réparateur par le fournisseur

Fournisseur 3D

PIPAME

Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Analyse SWOT de l'offre française dans un contexte international

Forces	Faiblesses
• 6e place mondiale en termes de recherche scientifique. • Tous les niveaux de la chaîne de valeur présents sur le territoire. • Présence de grands donneurs d'ordres français sur les principaux segments utilisateurs. • La France pilote la couche européenne de la normalisation au niveau CNE et fait partie des principaux acteurs de la commission ISO. • Compétences en matériaux et notamment filière poudre.	• Une recherche éclatée et peu présente dans les projets européens et internationaux. • Un tissu industriel de sous-traitants riche en termes de savoir-faire mais qui souffre de la faible taille critique de ses acteurs. • Peu de fournisseurs de poudres métalliques ou céramiques développées spécifiquement pour la fabrication additive. • Dispersion des financements (pas de gros pôle de compétences en fabrication additive).
Opportunités	**Menaces**
• Augmentation de la masse critique des acteurs de la sous-traitance et de la recherche. • Une tendance forte à la verticalisation des activités. • La France positionnée pour défendre les différentes avancées technologiques par son rôle majeur dans la normalisation internationale. • Une identification des bons pôles de compétences par rapport à un besoin précis a été exprimée par les utilisateurs. • Faciliter les mises en relation et partage de connaissances.	• Une part importante de la demande des donneurs d'ordre en fabrication additive part à l'étranger. • Peu de génération d'activités et d'emplois sur le territoire national par les acteurs étrangers qui prennent pourtant des parts de marchés importantes. • Un manque de coopération et de partage des connaissances qui peut bloquer le développement de la filière. • Verrouillage de la filière par les constructeurs de machines étrangers. • Concurrence forte avec l'Allemagne et la Belgique.

Leviers de la fabrication additive industrielle

Exemple de réflexion sur les différents leviers de développement de la FA

Levier court terme

2016 - 2020

Impact modéré

- Augmentation de la productivité et de la fiabilité des procédés
- Intégration et réduction du coût des post-traitement
- Répétabilité des lots lors des production de matière

Fiabilité
Productivité
Qualification-Normalisation facilitées

Levier moyen terme

2020 - 2025

Impact fort

- Sensibilisation sur les nouvelles approches de design
- Intégration des solutions logicielles actuelles de FA à la chaine de conception
- Approche multi-physique et multi-échelle pour développer de nouveaux matériaux

Conception et simulation
Matériaux architecturés

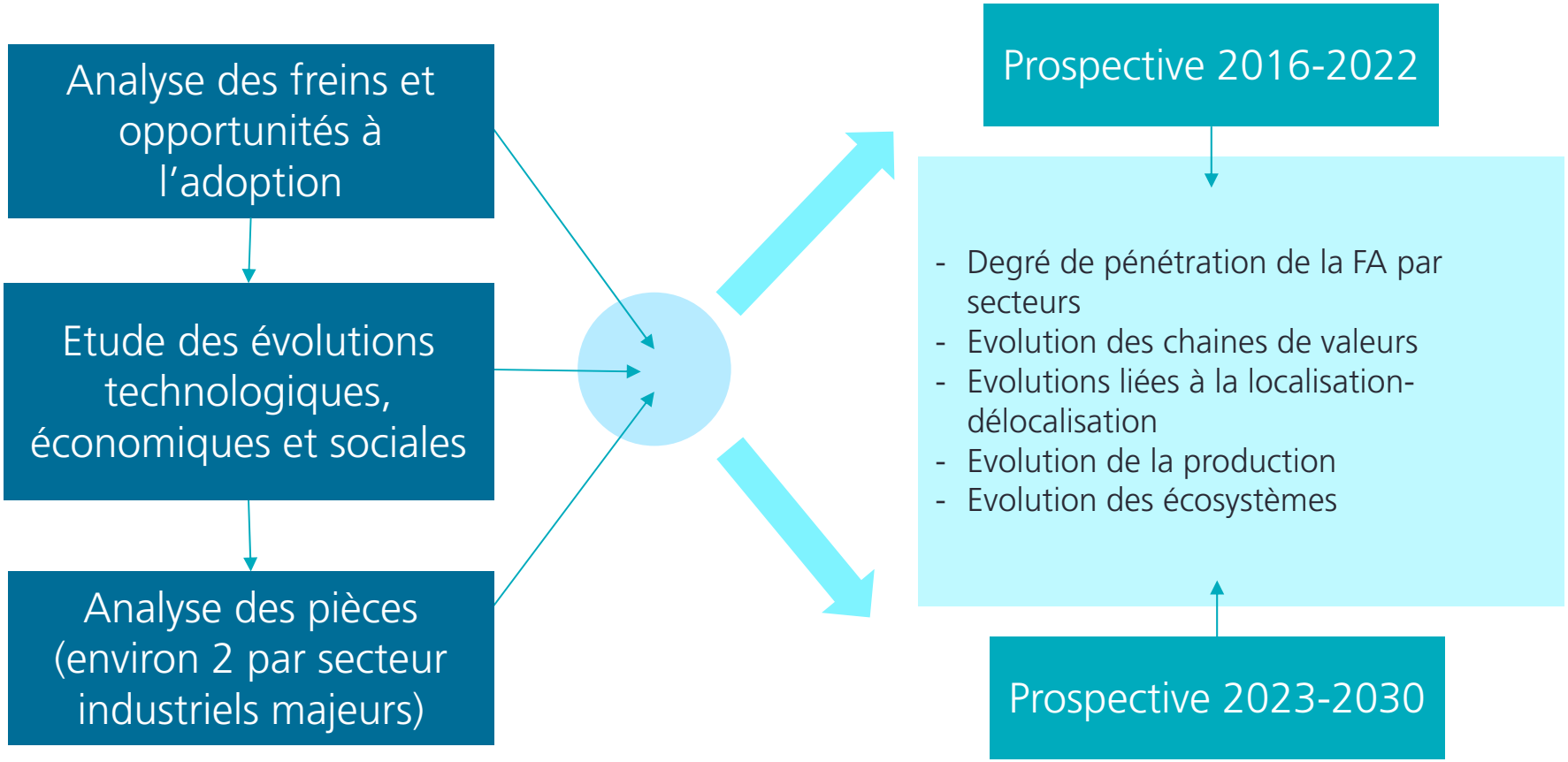
Bon positionnement français sur le plan international

PIPAME

Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Proposition de démarche prospective

Méthodologie de constructions des 4 scénarios prospectifs

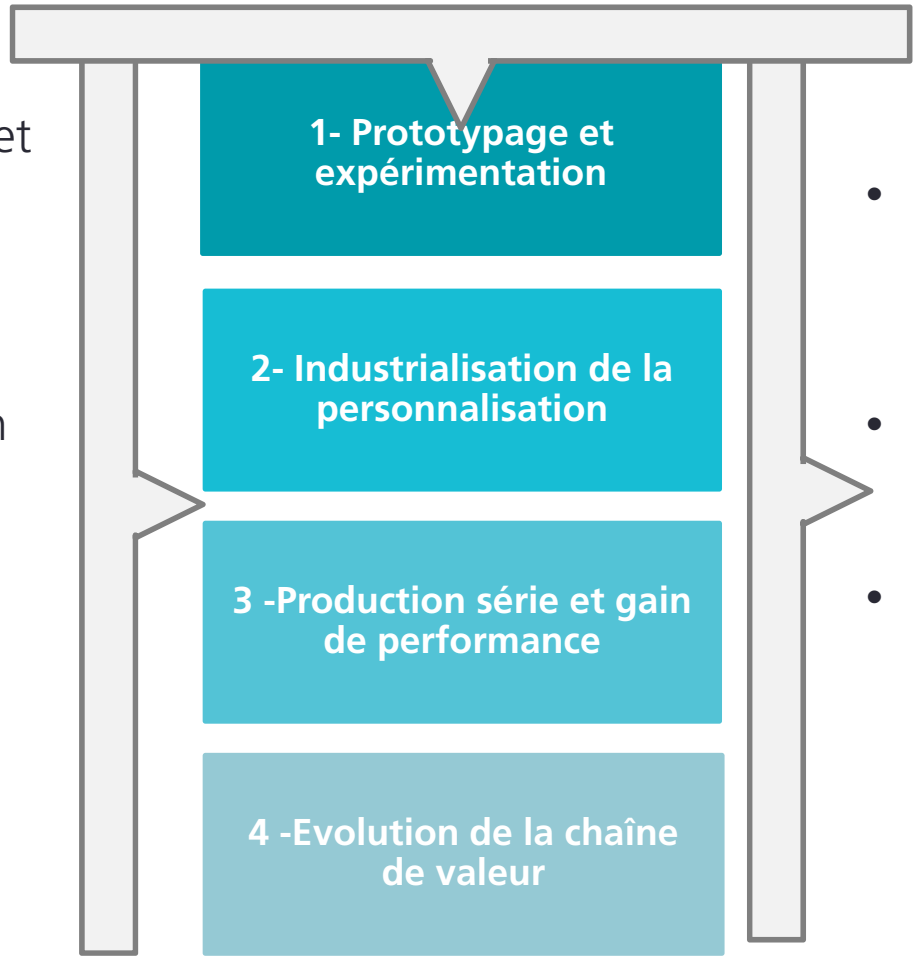


PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Les scénarios prospectifs retenus

Les principes clés associés aux différents scénarios

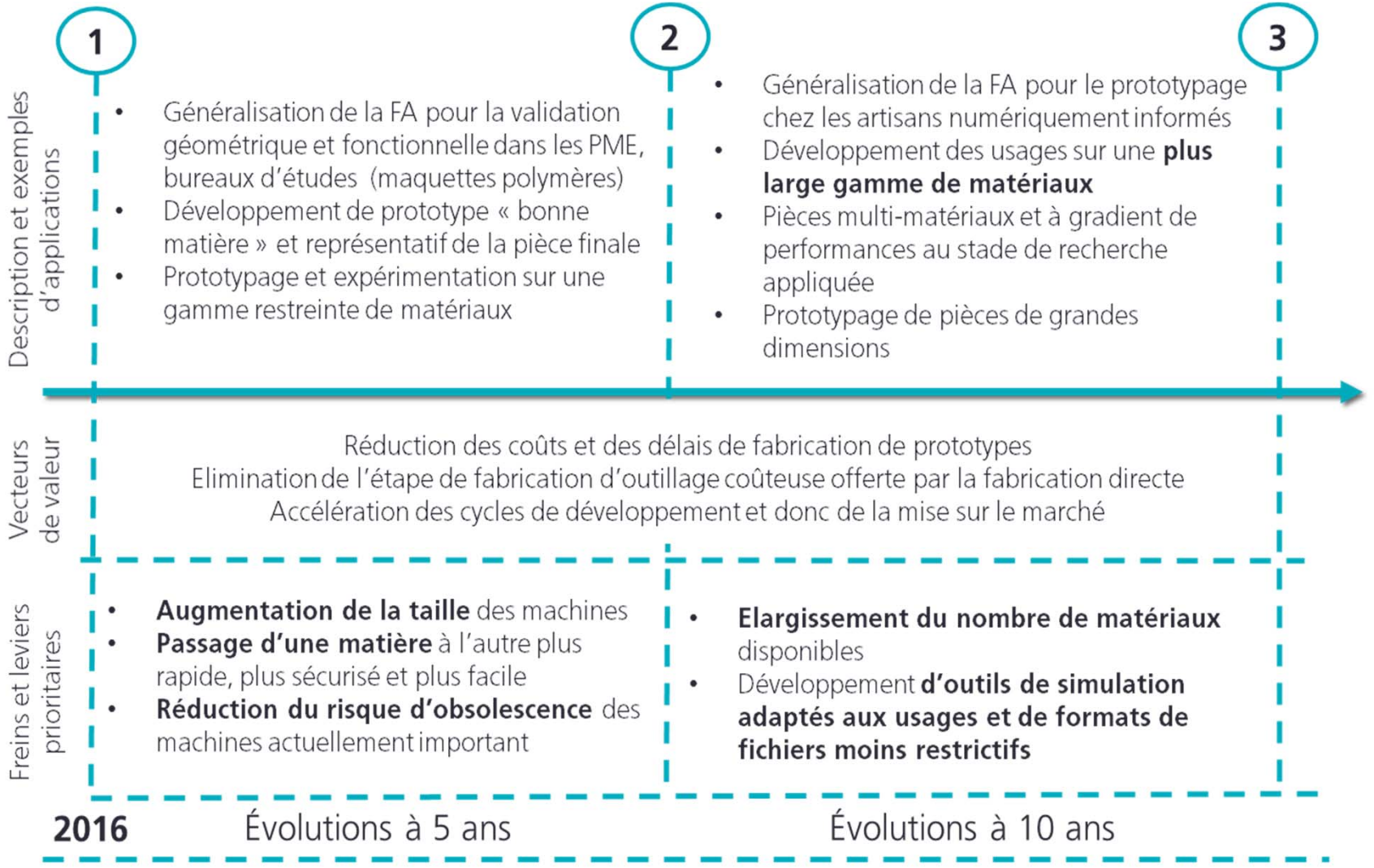
- **Identification** et hiérarchisation des verrous et leviers de développement de la fabrication additive
- **Évaluation de l'impact** des facteurs prioritaires sur les différents scénarios



- **Scénarios d'évolution à** moyen long terme (2020-2030)
- **Analyse** selon l'axe industriel mais aussi grand public
- **Mise en place d'un scénario pessimiste et d'un scénario mixte**

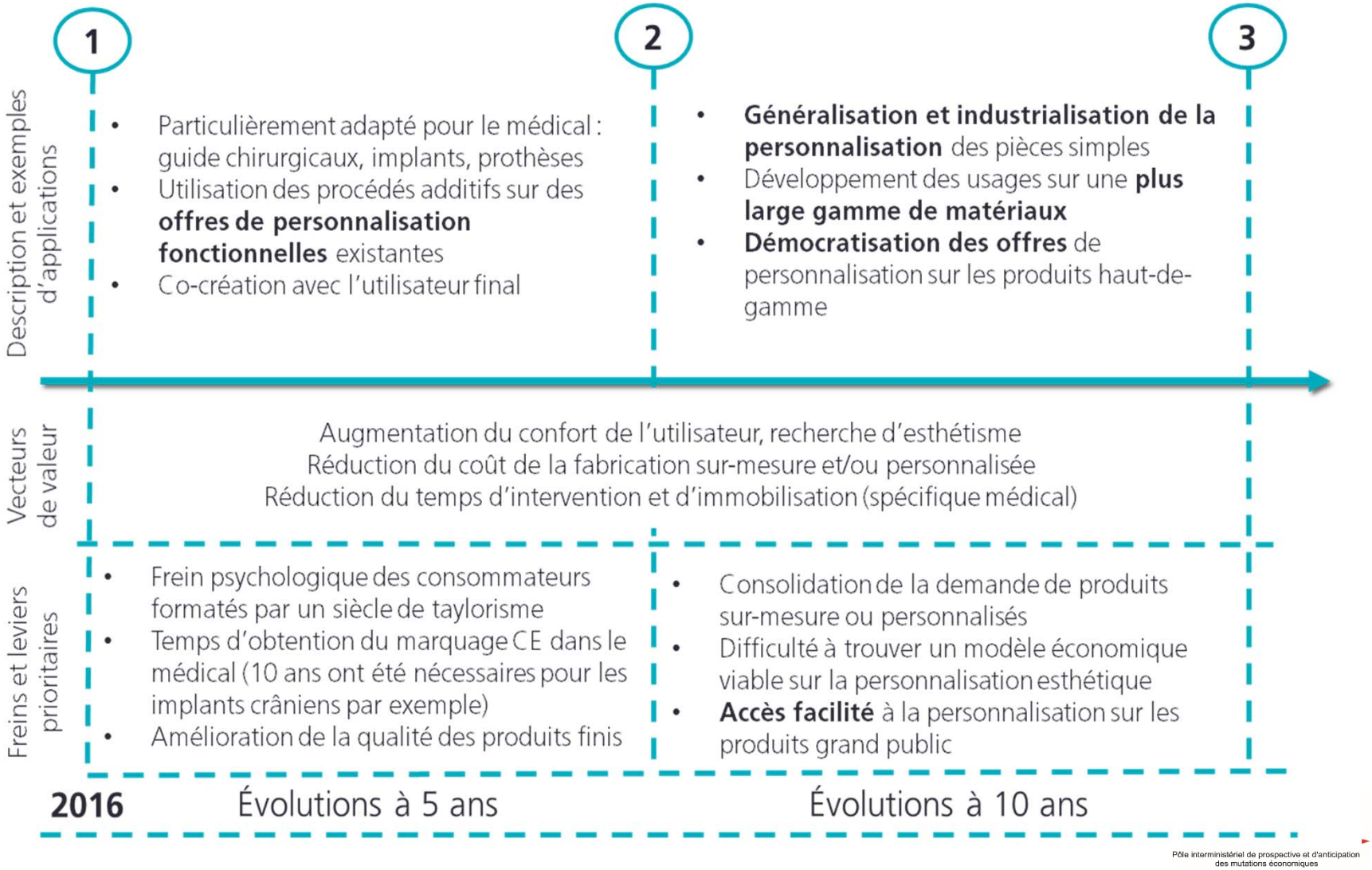
PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Scénario 1 : Prototypage et expérimentation

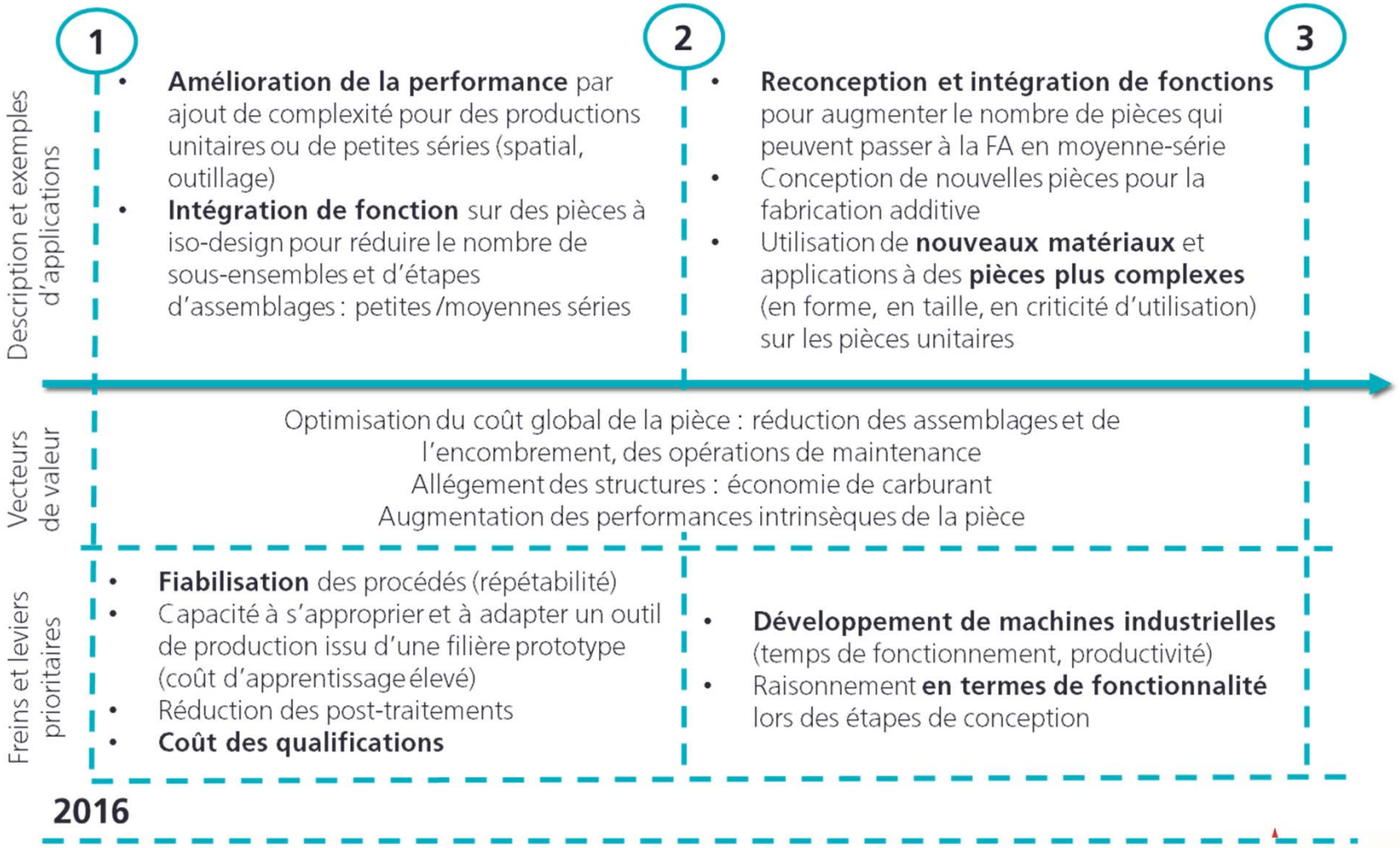


Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Scénario 2 : Industrialisation de la personnalisation : de l'esthétique au fonctionnel

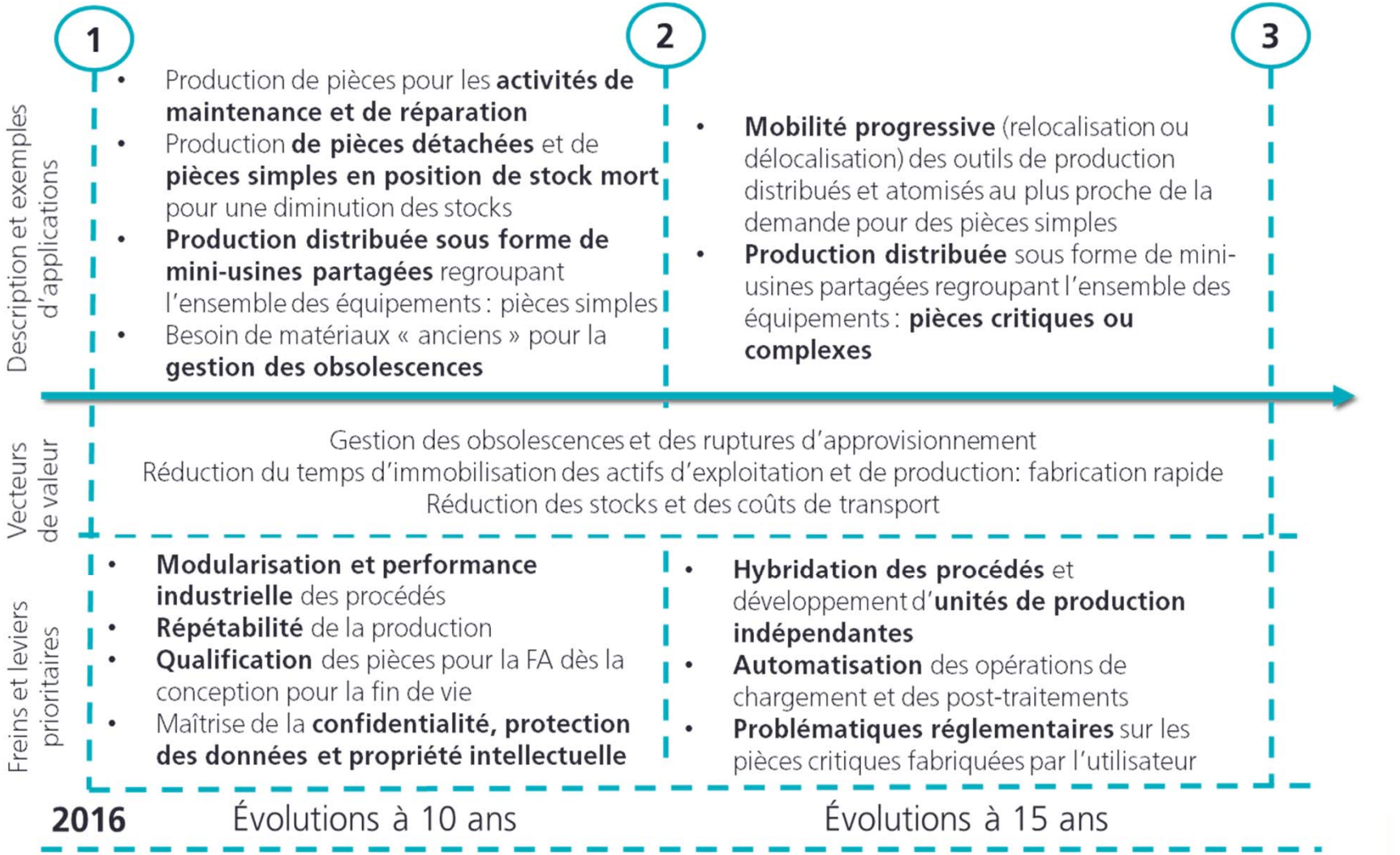


Scénario 3 : Production série directe et indirecte pour le gain de performance



PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques

Scénario 4 : Production série directe et indirecte pour le gain de performance



Impact des scénarios sur les marchés

Scénario Marché	Prototypage et expérimentation	Personnalisation	Production série et gain de performance	Évolution de la chaine de valeur : flexibilité et production à la demande
Aérospatial	Moyen (nouveaux matériaux, pièces de grandes tailles)	Faible (niche sur l'aviation de luxe, intérieurs)	Fort (allègement, intégration de fonction)	Fort (gestion des obsolescences, réduction du temps d'immobilisation)
Médical	Faible	Fort (segment porteur de la personnalisation)	Moyen (introduction de porosités sur certaines pièces)	Moyen (production d'implant à l'hôpital peu probable, réduction du stock sur certaines prothèses)
Outillage	Fort (segment porteur à court terme)	Faible	Fort (canaux de régulation et introduction de capteurs)	Faible (le procédé conventionnel est toujours utilisé)
Automobile	Faible	Faible (niche sur le sport automobile et le haut de gamme)	Moyen (variation d'alvéoles, pot catalytique)	Moyen (segment de la pièce détachée non critique)
Bien de consommation et grand public	Faible (moins de 5% de la population)	Moyen (réalisé par un prestataire en impression 3d)	Faible	Faible (la fabrication personnelle pas envisagée avant 2030)
BTP	Moyen	Faible	Moyen (peaux de coffrages et corniches complexes)	Moyen (construction d'habitat sur site)
Energie	Faible	Faible	Moyen (intégration de fonctions : échangeurs et microfluidique)	Fort (réparation)
Ferroviaire	Faible	Faible (l'ouverture à la concurrence un facteur de développement)	Faible	Fort (gestion des obsolescences, réduction du temps d'immobilisation)

Conclusion

Notre vision suite à l'analyse prospective

- Fabrication de maquette et prototypage : déjà ancrés depuis près de 30 ans.
- Adoption **généralisée au sein des petites entreprises attendue**, sans pour autant représenter d'importants volumes.

- Réalité économique à court terme : **fabrication de prothèses (dentaire déjà mâture) et d'outillage.**
- En parallèle, d'importants investissements en R&D vont être réalisés sur la période 0-5 ans afin de développer une opportunité moyen terme (5-10 ans) et **une réalité économique de la fabrication directe à l'échelle industrielle**

- Impact territorial :
  - Développement de l'artisanat numérique et de l'économie de quartier : un enjeu de pérennisation de l'activité de nos petites entreprises mais une recomposition de la chaine de valeur pas avant 10 ans.
  - Peu d'exemples de décentralisation des outils de production, de par le manque de vision à long terme et l'ancrage actuel de la production centralisée et organisée et de la division du travail.

- L'impression personnelle **plus difficile à court et moyen termes**, et qui passera certainement par une adoption préalable par les commerces de proximité.

Recommandations de l'étude

- Objectif de **porter la fabrication additive à une échelle industrielle :**
  - Promouvoir de réelles **stratégies de partenariat ;**
  - Mise en réseau des sous-traitants pour **répondre aux problèmes de masse critique ;**
  - Permettre de **favoriser les expérimentations** avec l'enseignement public ;
  - Assurer un **soutien des territoires** aux différentes initiatives structurantes.

- **Recommandations proposées sous forme de 8 fiches actions segmentées en fonction de leur gamme et de leur portée** (technologique, accompagnement, visibilité, formation).

Recommandations de l'étude

Compilation des recommandations formulées dans cette étude

Catégorisation des recommandations par un code couleur en fonction de leur gamme et de leur portée

- Technologique
- Visibilité
- Accompagnement
- Formation

1. Soutenir la démarche de l'Alliance pour l'Industrie du Futur pour favoriser l'industrialisation des technologies en construisant une roadmap technologique ;
2. Réaliser un bilan actualisé des 7 familles de procédés et un guide d'aide à la décision à destination des entreprises
3. Renforcer les actions de sensibilisation à tous les niveaux ;
   - Sensibilisation du grand public
   - Sensibilisation des PMI
   - Sensibilisation des pouvoirs publics et des financeurs
4. Faciliter le développement et l'accès à de nouvelles compétences en s'appuyant sur les plateformes, pilotes et fablabs existants
   - Renforcer la collaboration entre les FabLabs et les établissements d'enseignement primaires et secondaires
   - Définir un référentiel national de formation pour les formations continues et initiales
   - Etablir une cartographie des potentiels de formation initiale sur le territoire
5. Lancer un programme national d'accompagnement des entreprises
6. Renforcer la présence française sur la scène internationale
   - Encourager et faciliter l'accès aux financements européens et aux collaborations internationales
   - Mener des actions d'intelligence économique et de veille internationale
7. Favoriser les collaborations multi-filières
8. Un essor qui doit aller de pair avec la prise en compte des risques et leur réduction au niveau le plus bas possible

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Questions et discussions avec la salle

Benoit RIVOLLET – Tech2Market (In Extenso Innovation Croissance)

Les Rendez-vous du PIPAME – 26 Janvier 2017

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE

Tech2Market

In Extenso
innovation.croissance

PIPAME
Pôle interministériel de prospective et d'anticipation
des mutations économiques

DGE
DIRECTION GÉNÉRALE
DES ENTREPRISES