

NOTE DE SYNTHÈSE

# Vers le smart manufacturing. Proposition d'un plan national

**anRT**

ASSOCIATION NATIONALE  
RECHERCHE TECHNOLOGIE

 **FUTURIS**

**LE POUVOIR DE  
L'INTELLIGENCE  
COLLECTIVE**

**MAI / 2022**  
**LES CAHIERS FUTURIS**

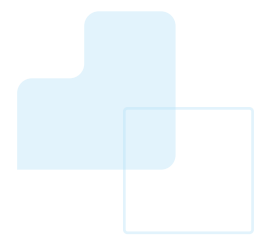
Un rapport du groupe de travail *Pour une politique industrielle du numérique*,  
présidé par Gérard Roucairol, président honoraire de l'Académie des technologies  
Pierre Bitard, auteur, ANRT  
Clarisse Angelier, directrice de publication, ANRT



Ces travaux sont soutenus financièrement par les souscripteurs FutuRIS :



AI CARNOT, AIR LIQUIDE, AMPIRIC - AIX-MARSEILLE UNIVERSITE, ANR, BERGER-LEVRAULT, BOUYGUES, BRGM, CEA, CNRS, CPU, EDF, ENGIE, FACEBOOK, GE HAELTHCARE, INSERM, INSTITUT MINES TELECOM, INRIA, INSTITUT PASTEUR, IRIS SERVIER, MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE, MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION, NOKIA, REGION PAYS DE LA LOIRE, SHNEIDER ELECTRIC, SNCF, TOTAL ENERGIES



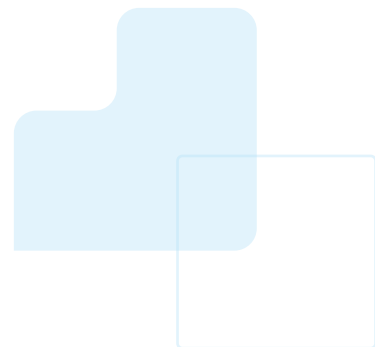
Le contenu n'engage que la responsabilité de l'ANRT en tant qu'auteur et non celle des institutions qui lui apportent leur soutien.

## **MEMBRES ACTIFS DU GROUPE DE TRAVAIL**



**Ali AL-GHOUWAYEL**, EFREI  
**Valerie BOTTA-GENOULAZ**, INSA LYON  
**Pascal BELLENGER**, AST INNOVATION  
**Sophie BETHOUX**, CEA  
**Cyril BRIAND**, LAAS-CNRS, Univ. Toulouse III Paul Sabatier  
**Stéphane DALMAS**, Inria  
**Patrick DANES**, LAAS-CNRS, Univ. Toulouse III Paul Sabatier  
**Younes EL GARRAI**, DAIKI CONSULTING  
**Benoit EYNARD**, Université de technologie de Compiègne  
**Pierre FAURE**, AFNeT et ATLAS  
**Vincent FRIGANT**, Université de Bordeaux  
**Emmanuel MAHE**, ENSAD  
**Yannick MARION**, BEELSE  
**Sergio MARTINEZ**, POLLEN METROLOGY  
**Clarisse POIDEVIN**, CEA-List  
**Isam SHAHROUR**, Université de Lille  
**Guillaume TURPIN**, Inria  
**Philippe VIALLETTELLE**, STMicroelectronics

A qui s'adressent nos remerciements appuyés.



# SOMMAIRE



## INTRODUCTION



### 1. DÉFINITION ET ENJEUX

#### 1 Au commencement, les écosystèmes métiers du smart manufacturing

1-1/ L'exemple de la robotique industrielle

1-2/ Définition

### 2. OBSTACLES ET FACTEURS FAVORABLES À UNE MEILLEURE APPROPRIATION

#### 1 Obstacles à surmonter pour un partage efficace des données de fabrication

#### 2 Des standards du smart manufacturing à la circulation vertueuse des données de fabrication

2-1/ Les standards comme outils de caractérisation des enjeux et comme opérateurs de la transformation

2-2/ La circulation de données de fabrication source de création de valeur

#### 3 Facteurs favorables, conditions de succès

### 3. ÉLABORER UN PLAN NATIONAL EN FAVEUR DU SMART MANUFACTURING

7

8

8

9

12

12

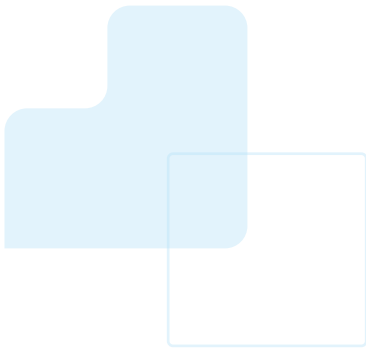
13

15

15

18





# INTRODUCTION

Le smart manufacturing, ou fabrication intelligente<sup>1</sup>, est approché comme un nouveau modèle de production industrielle. Il procède de la plateformes numérique des entreprises lorsqu'elle porte sur la production manufacturière. A ce titre, l'amplification de l'usage du cloud – informatique en nuage –, et de ses variantes, en est constitutive. Partant, d'un point de vue analytique, le smart manufacturing comporte deux dimensions constitutives : l'une technologique, l'autre organisationnelle. Comme pour le processus de plateformes numérique en général, réduire ce changement systémique à l'une ou à l'autre dimension n'aurait pas de sens. Aussi, les freins et les facteurs favorables à sa diffusion sont à trouver dans l'un et l'autre registre.

Le nouveau modèle de production fabrication intelligente ne se réduit ni à la digitalisation du processus de production, ni à un usage intense des données de production. S'agissant de plateformes numérique, son appropriation au sein des entreprises induit une transformation des compétences et des capacités pour de nombreux métiers. La fabrication intelligente se traduit aussi par une profonde modification des relations au sein de l'écosystème des entreprises qui l'adoptent, médiatisées par une

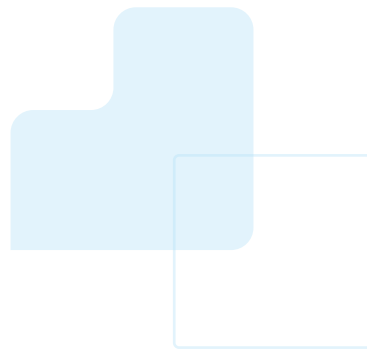
circulation de données renouvelée. Ces relations nécessitent l'instauration de nouvelles enveloppes contractuelles au service de la confiance. On pense en premier lieu à celles qui s'instaurent entre les entreprises, intégrateurs-systémiers, sous-traitants de premier rang, prestataires spécialisés sur un maillon donné de la chaîne de valeur des données, startups, etc. Ensuite, sont impliqués des acteurs publics, susceptibles d'agir sur les conditions-cadres propices à ce nouveau modèle de production (système de recherche, contribution à la production de normes, dispositifs d'incitation, etc.). Ceci justifie la perspective adoptée par ce rapport, qui consiste à déduire d'une mise en lumière de l'état des pratiques et enjeux techno-économiques pour les entreprises une suggestion de stratégie nationale en faveur du smart manufacturing.

Ce document vise à proposer un plan national en faveur du smart manufacturing, exposé en troisième partie. La première partie définit la fabrication intelligente et explicite les enjeux auxquels répond cette transformation de notre appareil productif. La seconde fait état des principaux freins et facteurs propices au développement du smart manufacturing.

<sup>1</sup>- Les deux terminologies sont utilisées dans ce document sans distinction.

# O1

## DÉFINITION ET ENJEUX



Le smart manufacturing constitue une opportunité à saisir pour réindustrialiser la production sur le site France. Ce faisant, il est susceptible de jouer un rôle dans le renforcement de l'autonomie stratégique du pays. Le changement majeur qu'il représente, les innovations qu'incarne ce nouveau modèle de production, permettent d'envisager le développement d'une nouvelle industrie, une nouvelle phase d'industrialisation sur le territoire national et européen. Cette conviction partagée se fonde sur des éléments d'analyse tels que le haut niveau de compétences et de savoir-faire dans les entreprises (grandes, ETI, PME, startups) et les laboratoires publics sur les composantes numériques fondamentales du smart manufacturing en France.

### 1/ AU COMMENCEMENT, LES ÉCOSYSTÈMES MÉTIERS DU SMART MANUFACTURING

Lors du travail collectif, la fabrication intelligente a été abordée en recensant les principaux écosystèmes métiers qui la composent, à une maille qui soit pertinente : (1) Internet des objets industriels et systèmes cyber-physiques ; (2) Cloud pour l'industrie; (3) Fabrication additive ; (4) Intelligence machine, dont les techniques d'apprentissage artificiel ; (5) Applications 5G et 6G industrielles ; (6) Méthodes et technologies de cybersécurité des systèmes industriels critiques. Le dosage des solutions issues de ces six écosystèmes métiers dépend des industries et des entreprises, et donne un éclairage sur le stade de diffusion du modèle. C'est à partir de ces champs métiers que le groupe de travail a été constitué.

#### 1.1. L'exemple de la robotique industrielle

La robotique industrielle, en tant que système cyberphysique mobilisant l'IoT, fait partie des composantes de France 2030, et des domaines de compétence de l'Inria<sup>2</sup>, du CEA-List<sup>3</sup> ou encore du LAAS-Cnrs<sup>4</sup> pour ne citer qu'eux<sup>5</sup>. Il y a une prise de conscience politique de l'importance de cet écosystème métier au service de l'industrialisation. Dans la plupart de ces domaines, une intense recherche technologique est à l'œuvre, au sein des instituts publics de recherche. Si des startups se font, le cas échéant, les relais du transfert de connaissances, le besoin de projets de R&D partenariaux se fait aussi sentir. Plusieurs composantes techno-organisationnelles du smart manufacturing, dont la maturité est à mettre à l'épreuve, restent insuffisamment expérimentées.

2- Cf. <https://www.inria.fr/fr/taxonomy/term/1276>. Au moment où se sont tenues les réunions du GT, l'Inria réalisait une cartographie détaillée et compréhensive de ses ressources sur le sujet.

3- Cf. <https://list.cea.fr/fr/lindustrie-du-futur-numerique-connectee-et-intelligente/>

4- Cf. <https://www.laas.fr/public/fr/lindustrie-du-futur>

5- Liste non exhaustive qui mentionne les organisations des participants à ce GT. Liste à laquelle on doit ajouter, au sein du Laboratoire Roberval de l'UTC, Benoît Eynard, contributeur à ce GT, cf. <https://uteam.fr/consultant/presentation/benoit-eynard>



Dans le cadre de France 2030, €800m ont été alloués à la robotique industrielle. La moitié de ce montant soutiendra la fabrication des robots qui intègrent les techniques de l'intelligence artificielle, que l'on nomme « robotique adaptative » ; l'autre moitié est destinée à accompagner la transformation de sites industriels vers l'installation de machines intelligentes. L'entreprise Siléane est citée comme référence. Elle produit des robots intelligents capables, par exemple, de conditionner des poches de perfusions ou de déchets nucléaires.

L'interrogation de la base ScanR<sup>7</sup> permet d'identifier 2240 entités environ qui développent des recherches et des solutions de robotique en France, ou en sont utilisatrices précoces. Selon la typologie adoptée, on compte, outre plus de 450 unités de recherche, environ 700 PME, 200 ETI et plus de 130 grandes (y compris des filiales).

#### **Encadré 1** **La robotique à l'Inria (2021), une illustration**

L'Inria, Institut national de recherche en informatique et en automatique, dispose de plusieurs équipes-projets qui ont la robotique comme focus, en particulier les robots collaboratifs. Ce n'est pas l'unique domaine métier contribuant au smart manufacturing sur lequel l'Inria effectue des travaux. Le responsable des partenariats stratégiques de la direction de l'innovation de l'Inria a pour mission d'identifier et de qualifier l'offre de l'Institut pour l'industrie du futur. Sur les quelque 200 équipes projets de l'Inria, environ 70 se déclarent compétentes en matière de recherches pour les écosystèmes du smart manufacturing.

Cette analyse vise à structurer l'offre tout en s'assurant de sa bonne adéquation à la demande industrielle. Un point d'attention consiste à bien caler les travaux de l'Institut en particulier à l'égard des grands programmes et projets publics de soutien, comme par exemple, la filière et le PEPR cybersécurité (co-piloté par l'Institut), la 5/6G, etc. L'équipe-projet est la bonne maille pour garantir le dynamisme et la réactivité nécessaire sur ces sujets émergents (à l'échelle politique).

Source : Participation de Guillaume Turpin, Inria, aux travaux du GT.

## **1.2. Définition**

Au-delà d'exemples de sous-systèmes techniques du smart manufacturing, il est utile de se doter d'une définition aussi complète que possible. Nous avons choisi, entre toutes celles qui sont citées, la définition suivante, qui émane du centre de référence du domaine, le CESMII<sup>8</sup>.

*« La fabrication intelligente consiste en l'orchestration des flux d'information et d'évènements ; elle est efficace et collaborative, et comprend des processus commerciaux, physiques et numériques au sein des usines et sur l'ensemble de la chaîne de valeur.*

*Dans la fabrication intelligente, les ressources et les processus sont intégrés, surveillés et évalués en continu via la détection, la modélisation des processus, l'analyse prédictive et le flux de travail nécessaires pour automatiser les actions de routine et prescrire des actions pour les situations non routinières.*

*Dans la fabrication intelligente, les organisations, les personnes et la technologie fonctionnent en synergie via des processus et des solutions technologiques sécurisées, évolutives, en temps réel, ouvertes et interopérables, proactives et semi-autonomes, orchestrées et résilientes et durables.*

*La fabrication intelligente est transformante et a un impact radical sur les performances de l'écosystème de fabrication grâce à des améliorations mesurables dans des domaines tels que : la vitesse, l'agilité, la qualité, le débit, les coûts/la rentabilité, la sécurité, la fiabilité des actifs et l'efficacité énergétique. Par conséquent, elle améliore la rentabilité qui à son tour accélère les investissements dans l'innovation.»*

Cette définition souligne le caractère systémique de la fabrication intelligente, ses dimensions technologique et organisationnelle, et son potentiel de transformation radical du système industriel. Elle met enfin l'accent sur l'efficacité énergétique qu'offre cette plateformes de la production industrielle. C'est une caractéristique distinctive relevée par les experts du groupe de travail.

7- Cf. <https://scanr.enseignementsup-recherche.gouv.fr/>,

8- Le CESMII (Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute) est l'institut national américain créé pour accélérer l'adoption à grande échelle de la fabrication intelligente. NB : pour cette version française, notre traduction.

## 2/ LES ENJEUX JUMEAUX DU SMART MANUFACTURING : RÉINDUSTRIALISER ET RÉDUIRE LES IMPACTS CARBONE DE L'INDUSTRIE

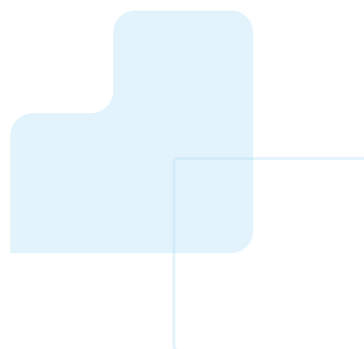
En 2020, l'industrie manufacturière<sup>9</sup> représentait 13,5% de la valeur ajoutée totale et 10,5% de l'emploi salarié en France. L'industrie française consommait environ 35 millions de tonnes équivalent pétrole<sup>10</sup>.

A titre de comparaison, l'industrie manufacturière de l'Union Européenne s'élève en moyenne à 14,5% du PIB en 2020. Elle reste, à cette échelle, le principal consommateur d'énergie et, avec 32% de l'énergie consommée, un important producteur de carbone. En France, l'industrie n'est que le troisième secteur émetteur de GES, avec autour de 19% des émissions, après le transport routier (27%) et l'agriculture/sylviculture (21%)<sup>11</sup>.

La réindustrialisation des territoires français et européen constitue un enjeu majuscule des prochaines années. Réindustrialiser, via un nouveau modèle productif, constitue une nécessité pour développer les emplois de demain tout en réduisant la taille des chaînes de valeur. Cette réindustrialisation représente à la fois la source des questionnements nécessaires à la recherche technologique et l'aboutissement d'une partie substantielle des efforts scientifiques et techniques de l'Union Européenne, et de la France. Réindustrialiser représente aussi la meilleure façon, pour la France et l'Union, de renforcer leur autonomie stratégique.

L'autonomie stratégique, et l'actualité des derniers mois vient nous le rappeler douloureusement, concerne les chaînes d'approvisionnement en intrants, matériaux et énergie. Les consommations d'énergie fossile industrielles pèsent lourd dans le bilan carbone de l'UE, que ce soit lors des étapes de production, ou via leur contribution lors de l'usage des produits et services, lesquels incorporent et peuvent aussi produire à nouveau des gaz à effet de serre.

Réciproquement, à l'échelle européenne, compte tenu de la diversité des situations d'industrialisation, ce fardeau énergétique de l'industrie en fait un levier dont l'activation peut encore avoir un effet important. A l'échelle nationale, le modèle productif smart manufacturing doit s'imposer en tant que recours essentiel pour réindustrialiser tout en mitigant l'empreinte carbone de l'industrie.



9- Hors énergie, artisanat commercial et industries extractives.

10- La consommation brute d'énergie comprend l'électricité, la vapeur, le gaz, les combustibles minéraux solides et les produits pétroliers ainsi que bois depuis 2012 et l'hydrogène depuis 2019.

11- Cf. « Émissions de gaz à effet de serre par activité. Données annuelles de 1990 à 2020 », Insee, 17.03.2022

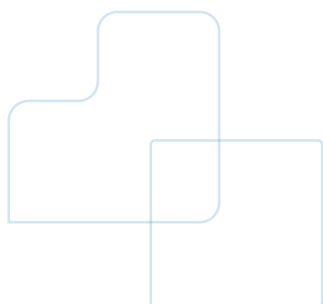


# 02

## OBSTACLES ET FACTEURS FAVORABLES À UNE MEILLEURE APPROPRIATION

Les gains attendus résultant d'une mise en œuvre à grande échelle du smart manufacturing sont principalement de deux ordres. D'une part, le recours à ces technologies d'une efficacité supérieure, en particulier lorsqu'elles sont combinées, améliore les processus de production qui en sont dotés. Des améliorations en matière de bien-être et de santé au travail sont aussi attendues. D'autre part, une partie substantielle des gains provient d'une circulation améliorée des données de fabrication de bout en bout.

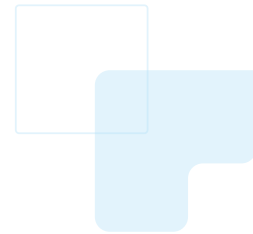
Il est possible d'identifier plusieurs catégories d'obstacles à une plus large adoption des pratiques et technologies de fabrication intelligente par les entreprises.



### 1/ OBSTACLES À SURMONTER POUR UN PARTAGE EFFICACE DES DONNÉES DE FABRICATION

Compte tenu de la multiplicité d'intervenants, y compris sur un même maillon de la chaîne de valeur de la fabrication, une difficulté première tient à la mise en place d'accords interentreprises de partage des données. Sujet sensible que des solutions techniques peuvent contribuer à apaiser, à condition que les dimensions techniques de protection et de sécurisation soient correctement abordées. Si les difficultés persistent, ce n'est pas uniquement du fait de mauvaises appréciations des enjeux respectifs des partenaires industriels. Cela provient d'une complexité intrinsèque réelle de l'organisation industrielle des chaînes de fabrication. L'effet de l'adoption du cloud computing est ici ambivalent. L'entreprise cliente renonce à être propriétaire de son infrastructure informatique pour en devenir locataire. La qualité de service du système informatique de production (sécurité, disponibilité, variation de charge, etc..) devient alors l'objet d'une gestion contractuelle. La partie déportée dans le cloud du processus de fabrication bénéficie d'une flexibilité accrue, les données du processus de fabrication d'un suivi dédié affiné.

Les gains en efficacité et en productivité majeurs apportés par le numérique, partout présent et à de multiples échelles, sont incarnés par une palette subtile de logiciels et de composants. Ceux-ci peuvent être opérés par des sociétés distinctes, dont les modèles d'affaires diffèrent. L'intégrateur-systémier doit alors



gérer de nombreuses relations établies sur des bases contractuelles variées. La numérisation des processus industriels tend à prendre la forme de la plateformes, mouvement au cours duquel chaque partenaire s'attache à jouer le premier rôle.

De point de vue de la fluidité de la circulation des données industrielles, des progrès ont été faits et le smart manufacturing y pousse. Mais des progrès restent à faire. Ainsi, manquent encore, de l'avis des praticiens :

- des protocoles de communication largement adoptés entre les dispositifs de fabrication intelligente ; en leur absence, l'interopérabilité est bridée et l'efficacité du système réduite ;
- des protocoles et standards de mesure des bilans coûts/avantages énergétiques des dispositifs numériques impliqués ; des normes communes pour le stockage et le partage d'informations relatives à la consommation d'énergie et aux économies d'énergie dans les processus de fabrication industriels ;
- des protocoles et normes de cybersécurité communs aux processus de fabrication ;
- une plateforme de fabrication intelligente polyvalente et ouverte qui permet la mise en réseau des systèmes commerciaux et d'automatisation de plusieurs fournisseurs.

Compte tenu de la perspective qui est la nôtre depuis plusieurs années, nous ne saurions trop insister sur l'importance décisive que pourrait revêtir la mise en place d'une plateforme de fabrication intelligente polyvalente et ouverte.

## **2/ DES STANDARDS DU SMART MANUFACTURING À LA CIRCULATION VERTUEUSE DES DONNÉES DE FABRICATION**

Les standards fonctionnent comme des opérateurs de transformation, utiles aux entreprises pour passer des méthodes traditionnelles de fabrication aux méthodes « intelligentes ». Leur adoption et

appropriation constituent des passages obligés vers le smart manufacturing. La première phase de toute transformation numérique vers le smart manufacturing consiste à identifier et choisir les standards impliqués. Ensuite, les premiers usages d'une ou de plusieurs des composantes du smart manufacturing, parfois exploratoires, nécessitent d'appliquer, d'adopter et de s'appropriier les bons standards.

### **2.1. Les standards comme outils de caractérisation des enjeux et comme opérateurs de la transformation**

Une représentation commune des standards du système de production numérisée de l'entreprise comporte 4 niveaux (/ « couches ») interdépendants<sup>12</sup>.

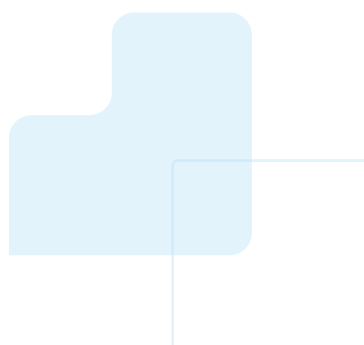
- Au niveau le plus élevé, celui de l'entreprise toute entière, se trouvent des standards en matière d'architecture et de méthodologies de référence pour l'automatisation et l'intégration de systèmes ; autrement dit des standards portant sur des fonctions de l'entreprise.
- Au deuxième niveau, apparaissent les standards MOM (Manufacturing Operations Management, gestion des opérations de fabrication), employés pour l'utilisation des logiciels des systèmes de gestion des processus de fabrication de bout en bout. Ces standards s'appliquent à l'échelle du fonctionnement des usines.
- Au troisième niveau, on trouve les standards qui s'appliquent au fonctionnement connecté des 'appareils électroniques (devices)' et du contrôle de supervision et d'acquisition de données (SCADA). Ces standards vont réguler les fonctionnements à l'échelle de l'atelier de production (interfaces homme-machine, contrôleurs logiques programmables, composants et leurs protocoles de communication).
- Enfin, au quatrième niveau, se trouvent les standards d'application générale, quel que soit le niveau, et qui vont concerner les procédures pour sécuriser numériquement la mise en œuvre de systèmes d'automatisation et de contrôle industriels, et toutes les procédures qualité (dont la RSE).

12- Telle que l'on peut la trouver, par exemple, dans Ahmadzai Ahmadi, Chantal Cherifi, Vincent Cheutet, Yacine Ouzrout. Recent Advancements in Smart Manufacturing Technology for Modern Industrial Revolution: A Survey. Journal of Engineering and Information Science Studies, 2020. hal-03054284

**Tableau – Standards internationaux à l’interface production-numérique classés selon les 4 niveaux**

<b>NIVEAU</b>	<b>STANDARDS</b>	<b>DESCRIPTION</b>
<b>Entreprise</b>	ISO 15704 ISO 20140	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modélisation et architecture d’entreprise – Exigences pour les architectures et les méthodologies de référencement d’entreprise</li> <li>Systèmes d’automatisation et intégration – Évaluation de l’efficacité énergétique et autres facteurs de fabrication des systèmes qui influencent l’environnement</li> </ul>
<b>MOM</b>	IEC 62264 ISO 22400	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégration des systèmes entreprise-contrôle – Intégration entre le domaine des activités et du contrôle de la fabrication et le domaine de l’entreprise</li> <li>Systèmes d’automatisation et intégration – Indicateurs de la performance clé pour le management des opérations de fabrication</li> </ul>
<b>Dispositifs et SCADA</b>	IEC 61158 IEC 61784 IEC 65512	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réseaux de communication industriels – Spécifications des bus de terrain –Spécification du protocole de la couche application</li> <li>Définit un ensemble de profils de communication spécifiques au protocole basés principalement sur la série IEC 61158, à utiliser dans la conception de dispositifs impliqués dans les communications dans la fabrication en usine et le contrôle de processus.</li> <li>Contrôle-commande des processus de fabrication par lots</li> </ul>
<b>Transverses/ multi-niveaux</b>	IEC 62443 ISO 50001	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réseaux de communication industriels – Sécurité informatique des réseaux et des systèmes</li> <li>Systèmes de management de l’énergie – Exigences et recommandations pour la mise en œuvre</li> </ul>

Source : D’après Ahmadzai A. et al. (2020), cf. infra. NB : Tableau non exhaustif listant des exemples choisis.



L'intégration, à chaque niveau, est un défi. Alors quand il s'agit d'une transformation engageant l'ensemble de l'écosystème de standards (et des processus sous-jacents) vers un modèle de fabrication intelligente, auquel les processus de conception sont alors plus étroitement associés, il s'agit d'une véritable gageure. Pour rajouter encore à la complexité de l'exercice, chaque entreprise fait partie d'un réseau, d'un maillage au sein duquel elle interagit avec d'autres entreprises afin de fournir les produits et services qui sont les siens. Un intégrateur-systémier, de type constructeur automobile aéronautique ou ferroviaire, d'ordinateurs, de téléphones ou de machines-outils, qui s'engage dans cette démarche peut entraîner avec lui des dizaines, voire des centaines de partenaires...et une myriade de standards et de normes. L'exigence de continuité numérique représente un enjeu central pour l'évolution vers le smart manufacturing.

Les standards et normes agissent à la fois comme des freins et comme des facteurs de diffusion du smart manufacturing.

Des freins car :

- tout le spectre n'est pas couvert et ils ne bénéficient pas d'une harmonisation suffisante ;
- ils sont aussi très nombreux, tous ne sont pas issus d'organismes de standardisation internationaux, certains qui s'imposent, proviennent d'OEM.

Des facteurs favorables car :

- ils constituent, en eux-mêmes, des opérateurs du changement ;
- c'est grâce à leur mise en œuvre (et à la mise en œuvre de standards de facto émanant des pratiques) que la transformation du modèle productif s'effectue.

## 2.2. La circulation de données de fabrication source de création de valeur

A l'examen des chaînes de valeur du smart manufacturing, le partage des données de fabrication entre les parties prenantes contribuerait à créer de la valeur. Un accroissement de la circulation des données, telle que permise par la mise en œuvre de standards et autres ontologies sémantiques à l'initiative des acteurs, favoriserait la création de valeur en<sup>13</sup> :

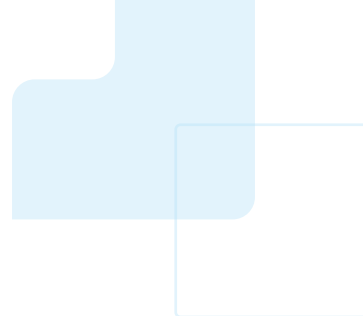
- améliorant les capacités d'optimisation des équipements et dispositifs ; combiner les données d'utilisateurs multiples d'un même équipement/d'une même machine permet aux constructeurs d'améliorer les algorithmes sous-tendant la maintenance prédictive, par exemple ;
- permettant de bénéficier d'un suivi des produits le long de la chaîne de valeur ; en gagnant une visibilité de bout-en-bout sur leurs chaînes de valeur, les fabricants peuvent réagir rapidement à des événements imprévus et réduire leurs frais d'inventaire ;
- garantissant une traçabilité optimisée du processus le long de la chaîne de valeur ; les constructeurs peuvent établir la confiance et mieux répondre aux obligations réglementaires contraignantes en disposant d'un accès à un enregistrement numérique complet et continu tout au long de leur chaîne de valeur ;
- encourageant l'échange entre producteurs de données caractéristiques des produits ; le partage de données sur les caractéristiques des produits (composition par ex.) permet aux fabricants d'optimiser et de synchroniser les processus de production connectés ; un jumeau numérique du produit partagé entre un fournisseur et son donneur d'ordres peut permettre d'éliminer les inspections qualité des intrants et les mesures topographiques utilisées pour intégrer automatiquement les pièces ;
- contribuant à la vérification de provenance ; les consommateurs demandent de plus en plus de transparence en matière d'origine des produits et veulent pouvoir vérifier l'authenticité.

## 3/ FACTEURS FAVORABLES, CONDITIONS DE SUCCÈS



La transformation du modèle de production des entreprises industrielles vers le smart manufacturing permettra d'activer ses propriétés d'efficacité, en particulier au regard de l'exigence d'efficacité énergétique. Ses qualités pourraient permettre une forte régénération du tissu industriel à l'échelle des territoires.

13- Cf. World Economic Forum, 2020, "Share to Gain: Unlocking Data Value in Manufacturing", White Paper, January. NB : Rédaction et traduction de l'auteur.



Fondamentalement, le smart manufacturing peut constituer une voie d'accès à une réindustrialisation compatible avec les objectifs de décarbonation (cf. Accord de Paris sur le climat).

L'automatisation associée à la robotisation et à la fabrication additive peuvent conduire à déployer des circuits d'approvisionnement plus courts, à localiser des capacités productives au plus près des besoins, et à réduire les consommations de matières et d'énergie. En outre, un surcroît de robustesse et d'agilité de la chaîne logistique peuvent aussi en être attendus. Des chaînes logistiques mieux intégrées, tirant le meilleur parti des technologies numériques (cf. ci-dessous), contribueraient à une meilleure gestion des risques liés aux aléas climatiques, épidémiques (cf. automobile et semiconducteur) et/ou géopolitiques.

Un problème important à la résolution duquel le smart manufacturing est susceptible d'apporter des réponses est la surproduction. Les coûts de cette surproduction endémique sont gigantesques et se traduisent par un mauvais emploi de nombreuses ressources limitées. Certains l'estiment à un quart du coût de la fabrication initiale. Le smart manufacturing comporte la capacité d'une production « au plus juste des besoins » grâce à une meilleure adéquation de l'offre à la demande.

Ainsi, du point de vue du producteur, le smart manufacturing peut permettre une connaissance plus fine de la demande. La circulation des données sur les produits, jusques et y compris, au cours de leur usage, constitue une source essentielle d'économies et de réduction des impacts environnementaux : circuits courts, économie circulaire, approvisionnement optimisé, etc. L'amélioration de la circulation des données est cruciale. Insistons : des systèmes hétérogènes sont à interconnecter par des accords raisonnés entre industriels au sein de la chaîne de valeur des données. Poussant un cran plus avant le

raisonnement, la plateformes numérique du smart manufacturing peut encourager fabricants et clients-usagers à inscrire leurs relations dans « l'économie de fonctionnalités<sup>14</sup> ». Modèle de transactions économiques au sein duquel ce sont les fonctions remplies par les produits et équipements (les fonctionnalités) qui sont achetées (louées) et non le bien lui-même. Le client n'a plus à posséder le produit et, sans en faire l'acquisition, il bénéficie des services du produit lui-même (un nombre de lavages de la machine à laver pour les consommateurs finaux<sup>15</sup>, des heures de vols avec un moteur d'avion pour une compagnie aérienne<sup>16</sup>, des miles d'usage de pneus pour une compagnie de transport routier<sup>17</sup> etc.).

Par l'usage de la « fabrication additive via l'informatique en nuage » (le cloud manufacturing), les ressources de production elles-mêmes font l'objet de la mutualisation. Les économies d'échelle obtenues sont déportées vers la plateforme mutualisée. Le client bénéficie des avantages de la 'grande série', un coût unitaire réduit, sans avoir à supporter de coûts fixes. Cette « production physique as a service » procure de nombreux effets positifs dont celle de mettre à fin à l'obsolescence programmée, les intérêts du client final et du producteur (lui aussi client intermédiaire de services de cloud manufacturing), se combinent alors favorablement.

Enfin, le smart manufacturing, en ce qu'il met en œuvre les capacités de l'informatique prédictive, permet d'internaliser les externalités environnementales négatives. Le fonctionnement des machines, des équipements, des produits in silico à partir de modèles de comportements affinés, sous formes de jumeaux numériques, garantissent une parfaite anticipation des répercussions environnementales de l'usage des produits ou services. Le prix du produit reflète alors de manière juste les conséquences de l'usage sinon délaissé par les mécanismes marchands.

14- Cf., par exemple, Bourg, D., Buclet, N., 2005, L'économie de fonctionnalité: changer la consommation dans le sens du développement durable, Futurible, Numéro 313, Novembre 2005, p.27-37.

15- Cf. e.g., <https://www.forbes-rentals.co.uk/listing.asp?Category=J>

16- Cf. e.g., l'offre TotalCare de Rolls-Royce sur ses moteurs Trent <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2021/17-11-2021-poweroftrent-rr-announces-totalcare-agreement-with-mng-airlines.aspx> ;

17- Cf. e.g., <https://business.michelinman.com/freight-transportation/freight-transportation-services/michelin-fleet-solutions>



## Encadré 2

### **Beelse, l'offre de cloud manufacturing : dématérialisation des stocks et production à la demande.**

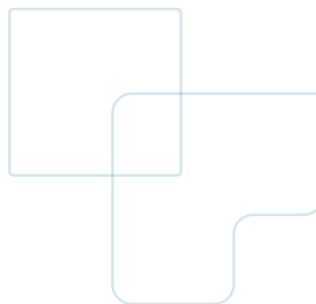
La plateforme de cloud manufacturing de Beelse fournit des services de production à la demande au plus près du lieu d'usage grâce à la fabrication additive. L'entreprise propose rien moins qu'un nouveau système de production manufacturière mutualisée. Ce système permet à un client qui souhaite produire des pièces en fabrication additive de bénéficier d'un service de production à la demande, de manière flexible, avec un rapport qualité-prix avantageux et selon un circuit court.

Le client est déchargé du coût de la détention de stock physique et d'investissement machine. Le stock devient virtuel, détenu dans un répertoire coffre-fort dans le cloud de Beelse. Cette dernière détient « l'ADN » de l'objet physique à produire, l'ensemble des caractéristiques qui permettront de réaliser une production conforme en qualité sans avoir à disposer d'équipements de production en propre. Ainsi Beelse ouvre à une large clientèle des capacités de production de nouveaux produits 'en serviciel'. Cette modalité de fabrication emporte un impact environnemental positif :

- « 0 stock » ;
- disponibilité des pièces « à vie » ;
- « circuit court », donc réduction des pollutions liées au transport ;
- les intrants sont en outre, autant que possible, biosourcés.

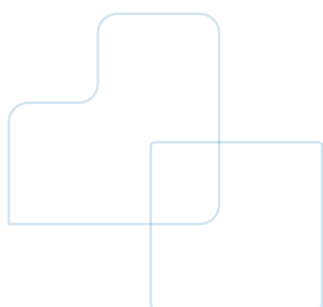
Le marché est en forte croissance, et aucune plateforme de fabrication additive n'est aussi avancée que Beelse.

Finalement, cette approche du smart manufacturing promeut l'attractivité des carrières dans l'industrie. La thématique des métiers de haute-technologie et ayant une contribution environnementale positive est susceptible de rencontrer un écho favorable auprès des jeunes talents vers les entreprises opérant ce virage. Le renouvellement substantiel des compétences au sein des entreprises industrielles accompagne l'évolution vers le smart manufacturing. La préservation de certaines compétences « cœurs de métiers » et de valeurs de l'entreprise en transformation, constitue un enjeu complémentaire important.



# 03

## ÉLABORER UN PLAN NATIONAL EN FAVEUR DU SMART MANUFACTURING



Il n'y a pas, à ce jour, malgré l'urgence, de plan d'action coordonné à l'échelle nationale. Ce plan national en faveur du smart manufacturing mérite d'être formulé afin d'impulser le changement d'ampleur nécessaire. Il pourrait naturellement prendre sa place au sein de France 2030. L'Académie des technologies devrait être consultée pour l'élaboration, le suivi et l'évaluation de ce plan. La DGE, en coopération avec la DGRI, tenant compte de l'avis de l'Académie des technologies, élaboreraient un plan national pour le développement et le déploiement de la fabrication intelligente afin d'améliorer la productivité et l'efficacité énergétique du secteur manufacturier Français. Les scénarios d'évolution en faveur de l'instauration d'une économie bas carbone, lorsqu'ils s'attachent aux technologies nécessaires à des industries moins émettrices, s'appuient sur des changements de process analogues à ceux véhiculés par le smart manufacturing.

Le plan national en faveur du smart manufacturing doit identifier les domaines dans lesquels les actions engagées sous l'égide et avec le financement du SGPI pourront :

- faciliter le développement, le déploiement et l'adoption plus rapides de technologies et de processus de fabrication intelligents ;
- améliorer la compétitivité et renforcer les entreprises manufacturières ;
- entraîner une plus grande efficacité énergétique et des impacts environnementaux réduits pour les fabricants.

Compte tenu de l'importance des enjeux – réindustrialisation et prospérité économique sous contrainte environnementale –, la durée du plan devra être courte, 5 ans maximum, les moyens engagés à la hauteur.

Selon des modalités à déterminer en fonction des actions (appels à projets, appels d'offre, subventions, prêts, accompagnement en compétences, etc.), les actions du plan doivent comprendre :

**1/** l'identification des standards (y compris des standards de facto), normes et ontologies sémantiques strictement nécessaires et suffisants au développement du smart manufacturing.

**2/** l'établissement de la liste (1) et l'édification desdits standards et normes en interaction avec des entreprises utilisatrices – des « lead users » dans les entreprises et les secteurs les plus en demande ou les plus avancées – et les producteurs des technologies, selon un mode de développement agile et rapide en favorisant l'appropriation in itinere. L'AFNeT et le programme ATLAS, ainsi que l'Association GAIA-X, devraient pour les ensembles d'actions (1) et (2) être mobilisées, ou, à tout le moins consultées dans la préparation des actions puis en tant que relais d'action. L'appétit pour l'adoption du smart manufacturing par les lead users serait utilement testé par voie d'enquête nationale. Cette enquête fournirait en outre une base de référence afin de mesurer les effets du plan.

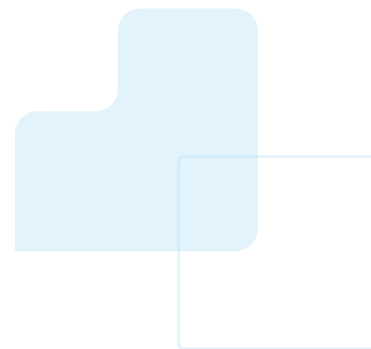
**3/** dans la lignée de l'appel à manifestation d'intérêt « Compétences et métiers d'avenir » du PIA4, le soutien à l'émergence de talents et l'accélération de l'adaptation des formations aux besoins de compétences des métiers du smart manufacturing ;

**4/** le déploiement des résultats des recherches, lorsqu'elles sont au niveau de maturité qui en permet l'appropriation industrielle, menées par les établissements publics concernés par les 6 écosystèmes métiers du smart manufacturing (cf. 1.1).

**5/** la dissémination de lignes de conduite et de méthodologies éprouvées en matière de cybersécurité des infrastructures – y compris des plateformes publiques ouvertes – sous-jacentes au smart manufacturing.

**6/** le recours aux ressources des infrastructures de calcul haute performance existantes ou à développer plus encore.

**7/** une démarche complète d'évaluation du plan, y compris, au départ, une évaluation des actions passées ou en cours menées par les différents ministères et qui entendent contribuer à des actions en faveur de tout ou partie du smart manufacturing. Ce plan doit se traduire par une notable accélération de la mise en place du smart manufacturing dans un grand nombre d'entreprises industrielles. En tant que contributeur à l'atteinte des objectifs de la Stratégie nationale bas-carbone, et facteur d'accroissement de la compétitivité des entreprises industrielles, son horizon temporel devrait être court, cinq ans maximum. Outre une présentation des progrès du plan sur un rythme annuel à l'Assemblée nationale, une évaluation décisive à mi-parcours devra par conséquent être réalisée.













**anRT**

ASSOCIATION NATIONALE  
RECHERCHE TECHNOLOGIE

33 rue Rennequin  
75017 - PARIS  
Tél : +33(0)1 55 35 25 50  
com@anrt.asso.fr  
www.anrt.asso.fr