Fiches de mission technologique

# 1 Digitalisation de la chaîne de valeur

## 1.1 Chaîne de valeur

### 1.1.1 Enjeux industriels

Différents enjeux industriels apparaissent à chacun des niveaux du système de production élargi :

* Au niveau de la **chaîne des fournisseurs** :
  + Services en ligne permettant la recomposition agile du business (“*Manufacturing as a Service*”), et l'intimité digitale avec le client à travers des hubs collaboratifs ;
  + Optimisation globale de la logistique, comprenant la gestion de stocks (incluant le stock périssable ou démodable) ;
  + Intégration facile et immédiate des PME.
* Au niveau des **sites industriels** :
  + Modélisation et optimisation des flux matière et énergétiques et leur traçabilité ;
  + Services généraux en “1 clic” (services avancés et intégrés comme la maintenance prédictive simplement accessible en “1 clic”).
* Au niveau de la **ligne de fabrication** :
  + Optimisation des lignes de fabrication dans le monde virtuel, tant au niveau de la conception de la ligne que de l'optimisation de ses paramètres en cours d'exécution ;
  + Flexibilité des lignes de fabrication afin de satisfaire la demande globale et la demande de personnalisation (diversité des produits et entrants).
* Au niveau de la **station** :
  + Développement et industrialisation des techniques de fabrication avancées, en particulier fabrication additive, composites, contrôle non destructif (cf. Fiches dédiées).
* Au niveau des **données et systèmes d’information** :
  + Systèmes intégrés de gestion des données de la chaîne de fournisseurs (distribuées amont-aval) ;
  + Conception et gestion des processus de Systèmes d’Information ;
  + Modes collaboratifs intégrés entre méthodes, fabrication et la production, en déployant le "Design for Manufacturing" (pouvant notamment assurer des boucles de retour de la production vers le bureau des méthodes et le bureau d'étude).
* Au niveau des **ressources** :
  + En ce qui concerne les machines : capacité des ressources (machines, robots, …) à s’intégrer en mode "plug & play" ;
  + En ce qui concerne l’humain : mise en place de “services en ligne” pour l’opérateur “augmenté” tels que des applications de planification, de gestion des procédés, de la qualité, outils de formation, grâce à l’usage des périphériques mobiles, réalité augmentée, … (cf. Fiches dédiées) ;
  + En ce qui concerne les matériaux : développement et maîtrise numérique des nouveaux matériaux et procédés (cf. Fiches dédiées) ;
  + En ce qui concerne les données : maîtrise des technologies de traitement des données massives pour l’industrie.
* Au niveau des **interfaces** :
  + Génération et gestion de données “embarquées” dans les produits et machines en cours de fabrication et durant toute le cycle de vie (notamment par étiquettes RFID “intelligentes”), en remplacement ou complément d’un système d’information centralisé.

### 1.1.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

De par son caractère d’innovation de rupture, la sémantique et les modes d’organisation de nos sociétés seront impactés par la digitalisation de la chaîne de valeur et plus précisément par :

* Mise en place d’une infrastructure numérique (et *infostructure*) pour les systèmes de production, de logistique et les écosystèmes de production (incluant fournisseurs, sous-traitants, …) ;
* Amélioration de la compétitivité et de la réactivité par le numérique en optimisant les coûts de production et la chaîne des achats, en augmentant la qualité de production et en maîtrisant les processus ;
* Déploiement de la recomposition permanente de la chaîne de valeur à travers des services de production (*“Manufacturing as a Service”*) ;
* Apparition de nouveaux modèles de captation de valeur s'appuyant sur le numérique (notamment au travers de la définition des « Valeurs Ajoutées Digitales », économiques, organisationnelles, décisionnelles, cognitives, environnementales, sociales, humaines, …) ;
* Développement de nouveaux modèles relationnels (relation client, management, business, …) ;
* Mise en place de la culture et des moyens de la transformation permanente des processus organisationnels en s'appuyant sur les avancées du numérique ;
* Accompagnement, acceptation et appropriation des technologies numériques par les entreprises et les individus ;
* Rôle de l’humain au centre des systèmes de production à travers des services en lignes ;
* Respect par l’industrie de son environnement "par *design*", avec une gestion environnementale de l'ensemble des systèmes industriels ;
* Développement d’un fort niveau de collaboration entre services (notamment bureaux d'étude ingénierie et unités de production), qui pourront être géographiquement dispersés tout en étant inter-connectés ;
* Déploiement d’outils numériques souverains.

### 1.1.3 Verrous technologiques

Les verrous technologiques qui freineraient le développement industriel de la digitalisation de la chaîne de valeur sont :

* Gestion du patrimoine, historique et hétérogénéité des données et des machines, archivage ;
* Modélisation, simulation, optimisation, validation des processus dans l’usine incluant leur évolution dynamique et leur intégration (dont la modélisation de haut niveau du processus adaptatif qui pilote la qualité), prenant en compte le périmètre multi-physique et multi-échelle ;
* Internet des objets, objets connectés industriels parfois mobiles et autonomes ou optimisés en énergie, outils intelligents, capteurs (cf. Fiche dédiée) ;
* Fusion et orchestration des données industrielles, répartition de l'intelligence et du traitement des opérations (gestion de la boucle de retour et anticipation des défauts) ;
* Protocoles de coopération et intelligence « machine-to-machine » ;
* Interfaces et interaction homme-machine sur une diversité d’objets ;
* Nouvelles architectures systèmes de systèmes et systèmes autonomiques ;
* Analyse des données (massives, archivées, hétérogènes, non structurées,…) notamment l’élaboration d’information de haut niveau (résumés des séries temporelles), algorithmes d’apprentissage et passage à l’échelle ;
* Flexibilité et configuration à la volée des ressources de production ;
* Sécurité et sûreté de fonctionnement, détection, protection, fonctionnement en mode dégradé, évaluation des vulnérabilités (cf. Fiche dédiée) ;
* Modélisation des interfaces entre les parties prenantes de la conception d'un système de production, et applications destinées à supporter la collaboration, la négociation, et l'optimisation de ces interfaces ;
* Modélisation des scénarii d’usage des technologies, prototypage rapide et tests.

### 1.1.4 Verrous sociétaux

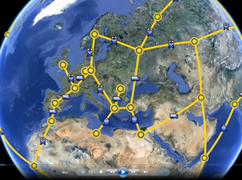
L’industrie du futur et la digitalisation de la chaîne de valeur sont devenues un enjeu social majeur de par :

* Appropriation par la société, les entreprises et les personnes de l'écosystème digital de la nouvelle économie, notamment en termes de génération de données brutes ;
* Aspects éthique (protection des données personnelles, partenaires sociaux, ...) et juridiques (sécurité et responsabilité civile des objets autonomes, ...) ;
* Accompagnement du changement d'activité, de métiers (compétences) et d’identités professionnelles, lié à la mutation numérique et en particulier la désintermédiation dans la nouvelle économie ;
* Sécurité des personnes, des objets et des data face aux menaces ;
* Définition de critères de retour sur investissement interprétables par les participants aux différents niveaux de la chaîne de valeur.

### 1.1.5 La mission en quelques mots

**Doper la compétitivité par le numérique, développer et capter la valeur ajoutée digitale, maîtriser les mutations industrielles et faciliter l'émergence des écosystèmes de la nouvelle économie.**

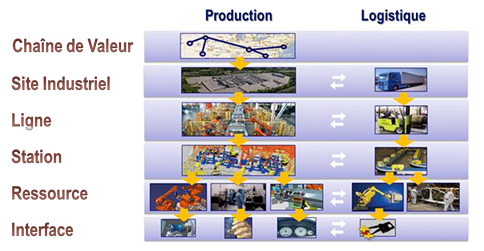
### 1.1.6 Illustrations graphiques



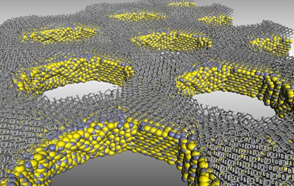
*Image 1 : Entreprise numérique étendue*



*Image 2 : Simulation et modélisation des processus de production*



*Image 3 : Reconfiguration dynamique de la chaîne de valeur*



*Image 4 : Modèles numériques de nouveaux procédés*

## 1.2 Confiance numérique

La numérisation des processus de l’usine et des sites industriels exige de mettre en place des « *boucliers éthiques, technologiques et numériques de protection* » des personnes, des infrastructures, des infostructures et des données au coeur-même de l’environnement cyber-physique.

Ces « boucliers de protection de l’entreprise, de l’usine et des sites industriels connectés » concernent :

* la sécurisation des données personnelles (« *Privacy* ») ;
* la sécurité physique et la santé des personnes ;
* la cybersécurité (la prévention contre les attaques) ;
* l’anticipation des risques et résilience.

### 1.2.1 Enjeux industriels

* Garantir « l’intégrité et la sûreté de fonctionnement » de la ligne de fabrication, de la station, des sites industriels en général et des machines, véhicules, outils, « accessoires », équipements informatiques de support en particulier ;
* Garantir la sécurité physique et la santé des opérateurs et acteurs humains en interaction quasi-permanente avec des réseaux d’objets et robots connectés ;
* Se conformer aux législations en vigueur concernant la protection des données personnelles émanant des opérateurs et acteurs humains de l’Industrie du Futur.

Il conviendra de décliner ces enjeux pour :

* Assurer la « résilience » de toutes les infrastructures et infostructures en cas d’incidents, de « crise » ou suite à des « attaques » ;
* Garantir « l’intégrité et la véracité de tous les flux de données » issus des différents réseaux d’objets intelligents (systèmes de contrôle industriel, réseaux électriques, réseaux de surveillance, réseaux de supervision, etc.) ;
* Mettre en place un dispositif d’anticipation des risques de toute nature, tant vis-à-vis des personnes, que des infrastructures, infostructures et des données.

### 1.2.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

La sécurité numérique se métamorphose et vit un changement d’échelle faisant naître de nouveaux paradigmes sociétaux et sémantiques pour :

* Placer l’humain au cœur et développer une culture de la « politique et des processus » de sécurité, de « privacy » et de cybersécurité au sein de l’entreprise, de l’usine et des sites industriels connectés (notamment par la mise en place des codes de bonnes pratiques au sein des personnels tant pour la sécurité physique que pour la cybersécurité) ;
* Intégrer dans les « business models » des entreprises, usines et sites industriels connectés les coûts (rédhibitoires) consécutifs à des défaillances, voire des manques en termes de sécurité des personnes et de cybersécurité (par exemple, coûts liés à la « fuite » d’informations sensibles, au piratage sous la forme d’une prise de contrôle par des agents malveillants de machines, outils et véhicules, rançonnage, etc.) ;
* Introduire des niveaux de certification en termes de sécurité des personnes en interactions avec des réseaux d’objets / robots / machines intelligents, de « privacy », et enfin de cybersécurité des entreprises, des usines et sites industriels connectés ;
* Créer des nouveaux modèles d’assurance des entreprises, usines et sites industriels connectés, notamment ceux pilotés par les usages *in situ*.

### 1.2.3 Verrous technologiques

La chaîne de sécurité repose sur différents verrous technologiques tels que :

* L’hétérogénéité des systèmes, infrastructures, infostructures dont il faut garantir l’intégrité (réseaux de serveurs informatiques, d’énergie, de surveillance, de contrôle, etc…) ;
* La complexité, la taille et le passage à l’échelle des systèmes, infrastructures, infostructures dont il faut garantir l’intégrité ;
* L’agilité en « temps réel », face à la grande « vitesse » d’évolution et de changement des conditions et de l’environnement opératoires, *a fortiori* sur des sites industriels très exposés, mais également dans l’entreprise et les usines ;
* Modélisation, simulation et visualisation des flux dynamiques de « points faibles en sécurité physique et en cybersécurité » d’une chaîne de production, d’une usine et d’un site connectés ;
* L’optimisation des paradigmes de cryptographie *end-to-end* ou en local (*on the device*) en fonction des besoins et du compromis « *privacy*-cybersécurité » ;
* La vérification de propriétés de flots d’information et de sécurité d’exécution des composants logiciels coeur de système.

### 1.2.4 Verrous sociétaux

Malgré la forte attente en terme de nos sociétés en termes de sécurité, des verrous sociétaux demeurent comme :

* Chaîne de responsabilité civile dans des sinistres impliquant ou causés par des objets, robots, véhicule connectés et autonomes ;
* Définition et mise en place de « métriques » de diagnostic, d’analyse et de prédiction des risques inhérents à la sécurité physique des personnes et à la cybersécurité (métriques susceptibles d’être normalisées et partagées par les producteurs, clients, assureurs, investisseurs, etc.) ;
* Définition et mise en place de « métriques » de confidentialité des données personnelles ;
* Appartenance des données émanant d’un opérateur sur une chaîne de fabrication, collectées au travers de dispositifs « connectés » ;
* Définition des compromis à obtenir entre la protection des données personnelles et la « sécurisation » des entreprises, usines et sites ;
* Questions sociologiques et juridiques relatives à la place du comportement et de l’erreur humaine dans la boucle de cybersécurité en cas de faille ou fuite.

### 1.2.5 La mission en quelques mots

**« Confiance Numérique *as a Service* » pour l’Industrie du Futur au travers de la mise en place de structures certifiées au plus haut niveau autour de la *privacy* (ou protection des données personnelles), la sécurité physique des personnes et la cybersécurité.**

### 1.2.6 Illustrations graphiques

## 1.3 Réseau d’objets intelligents / *Internet of Things (IoT)*

Le déploiement massif et systématique de réseaux de capteurs, de combinaisons de travail, d’accessoires, d’outils « sensibles » communicant sans fil entraîne une interaction avec toutes les composantes d’une entreprise, d’une usine et d’un site industriel qu’elles soient :

* humaines (opérateurs, conducteurs, contrôleurs, ...),
* matérielles (machine d’usinage, de levage, de perçage, d’extraction, etc.),
* mobiles (camions, grues, wagonnets, ascenseurs, etc.),
* de support (ordinateurs, etc.),
* ou contextuelles (conditions météos, températures, composition physico-chimique de l’air).

Le réseau d’objects intelligent se voient également conférer le pouvoir de partager à distance et en temps réel (« *empowerment* »), leur « expérience » étendue, au-delà des humains, aux objets et leur « environnement » au sens large.

Les réseaux d’objets intelligents ou IoT (« *Internet of Things* ») constituent ainsi de gigantesques passerelles réactives entre les mondes physique, chimique, biologique et le monde numérique.

### 1.3.1 Enjeux industriels

Les enjeux industriels, rejoignant les enjeux plus généraux du numérique, se traduisent concrètement par le pouvoir de partager à distance et en temps réel (« *empowerment* ») avec :

* la chaîne des fournisseurs ;
* les sites industriels ;
* la ligne de fabrication ;
* la station ;
* l’environnement ;
* les processus et l’organisation ;
* l’humain dans l’entreprise, dans l’usine et sur les sites industriels.

On retrouve ainsi tous les enjeux industriels de la digitalisation de la chaîne de valeur au travers des réseaux intelligents (cf. partie enjeux industriels dans la Fiche “Digitalisation de la chaîne de valeur”).

### 1.3.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

De façon complémentaire aux enjeux transformationnels et sociétaux concernant la digitalisation de la chaîne de valeur, on retrouve certains enjeux plus spécifique aux réseaux d’objets intelligents tels que :

* Maîtriser les flux de données issues de l’IoT et les intégrer dans la mutation de l’organisation, de la production et de tous les processus, bonnes pratiques, etc. ;
* Mettre en place une infrastructure et infostructure qui garantissent la collecte, la communication, le stockage, la visualisation et le traitement en temps réel du « fluide digital » (les données) qui circule dans l’IoT ;
* « Piloter par les usages » au sens large dans lesquels sont impliqués les réseaux d’objets intelligents (co-évolution humains-machines) ;
* Opérer un IoT ergonomique et « *friendly* » (appropriable *by design*), éthique (*privacy*), sûr (cybersécurité) et fiable (robuste).

### 1.3.3 Verrous technologiques

Concernant plus spécifiquement le réseau des objets intelligents et également complémentaire aux verrous technologiques de la digitalisation de la chaîne de valeur, on retrouve :

* Interopérabilité (complète) des différents réseaux d’objets intelligents ;
* Optimisation de l’architecture des réseaux d’objets intelligents, de leur positionnement et de leur intégration dans l’organisation, dans les activités humaines, dans l’entreprise, dans l’usine sur les sites de production ;
* Intégration, miniaturisation, innocuité, consommation énergétique, coûts des objets intelligents ;
* Communication temps réel (M2M, M2H, H2H, ...) notamment sans fil ;
* Nouvelles architectures intégrées, « Homme-Machine connectés » (*wearable computing*).

### 1.3.4 Verrous sociétaux

En sus des verrous sociétaux (acceptation sociale, volet éthique, accompagnement du changement, sécurité) de la digitalisation de la chaîne de valeur, le réseau des objets intelligents se heurte à des verrous sociétaux tels que :

* Appropriation de l'écosystème d’une vie au travail totalement immergée dans les réseaux d’objets intelligents par la société, les entreprises et les personnes ;
* Aspects éthiques (protection des données personnelles collectées) et juridiques (sécurité et responsabilité civile des objets autonomes) ;
* Accompagnement du changement d'activité, de métiers (compétences) et d’identités professionnelles.

### 1.3.5 La mission en quelques mots

**De façon spécifique, par rapport aux missions de la digitalisation de la chaîne de valeur, la mise en oeuvre des réseau d’objets intelligents reposera notamment sur l’interopérabilité des différents réseaux d’objets intelligents la protection des données personnelles, la cybersécurité et l’appropriation et la sécurité physique des humains placés en permanence au travail au cœur d’un environnement d’IoT en tant que passerelle entre les mondes numériques et physiques.**

### 1.3.6 Illustrations graphiques

## 

# 2 Automatisation, transitique, robotique de process

## 2.1 Enjeux industriels

Les processus d’automatisation, transitique et robotique sont intimement corrélés aux enjeux d’optimisation globale de la *supply-chain* et doivent permettre de :

* Passer de la **production de masse à la personnalisation de masse** afin d’apporter plus d’agilité dans la production et la fabrication en :
  + configurant et reconfigurant de manière dynamique les lignes de fabrication ;
  + optimisant les lignes de fabrication pour chaque nouveau produit ;
  + assurant la planification et l’ordonnancement en temps réel de la production ;
  + minimisant les coûts dans ces nouvelles conditions d’agilité, notamment face à un marché volatile.
* Améliorer la **qualité perçue et fabriquer des produits de plus en plus «sophistiqués» techniquement** pour fabriquer des produits plus complexes tout en élevant la qualité du produit final grâce à :
  + l’apport de la mesure et des analyses type CND;
  + l’amélioration de la précision des outils de production;
  + l’utilisation de nouvelles générations de robots plus mobiles et autonomes, aptes à :
    - exécuter des tâches complexes dans des environnements divers et sujets à évolution;
    - collaborer avec d’autres agents artificiels ;
    - collaborer avec les opérateurs humains.
* Assurer une **traçabilité extrême et un suivi des pièces et des lots sur plusieurs années** : ce qui demande une historisation des données en temps réel au moment de la fabrication (fonction native des MES (*Manufacturing Execution System*), DCS (*Distributed Control System*) et PLC (*Programmable Logic Controller*)).
* **Réduire les temps de mise sur le marché** grâce notamment aux outils de conception générant automatiquement le code PLC.
* **Générer et structurer l’ensemble des données (datas)** nécessaires à l’analyse complète des systèmes suivant un standard défini de façon à alimenter les systèmes numériques amonts.

## 2.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

* Recréer un cercle vertueux de création de valeur ajoutée par une augmentation de la compétitivité afin de **gagner des parts de marché, se développer à l’international, produire en France et ainsi préserver, développer et rapatrier l’emploi sur le territoire.**
* **Réduire la pénibilité au travail (TMS)** par la suppression des tâches répétitives et positionner les collaborateurs sur des métiers à haute valeur ajoutée.[[1]](#footnote-1)
* **Encourager l’innovation** et favoriser le développement des Constructeurs de Machines spéciales françaises grâce à l’agilité apportée avec l’automatisation et la robotique.
* **Augmenter l’attractivité des métiers** de l’Industrie française pour les jeunes diplômés.
* **Répondre aux contraintes environnementales** de plus en plus fortes.
* **Réduire les coûts matières et de l’énergie**, notamment par des approches d’optimisation globale et intégrée de la chaîne PLM.

## 2.3 Verrous technologiques

* **Silotage important des applications en place entre la conception et l’automatisme** alors que l’avenir sera à la génération automatique d’une configuration de système de fabrication, du code programme des PLC à partir des codes réalisés par les logiciels de conception et de simulation. Les plates-formes d’ingénierie incluant un PLC deviendront les « boites de production » sécurisée du process de fabrication.
* **L’optimisation intégrée** (planification – ordonnancement – maintenance) et robuste des chaînes de production ainsi que leur reconfiguration en ligne présentent des verrous algorithmiques en terme de modélisation, échelle et combinatoire des problèmes sous-jacents.
* **Interopérabilité entre les acteurs de l’offre perfectible** (non compatibilité de l’environnement de programmation qui oblige les utilisateurs finaux à maîtriser plusieurs outils constructeurs). Réseaux et bus de terrain non homogènes et multiples protocoles existants (ASI, CAN OPEN, PROFIBUS, MODBUS, ETHERNET, POWERLINK, …) qui freinent les investissements des utilisateurs finaux.
* **Intégration native de la cybersécurité** dans les produits à accélérer pour donner confiance aux utilisateurs finaux sur la sécurité de leur process de fabrication. Point d’autant plus capital avec l’ouverture de plus en plus forte des systèmes.
* **Standardisation internationale** indispensable autour des ontologies, des langages, des architectures et des formats de données échangées pour supporter les scénarii industriels de création de valeur.
* Sur les robots eux-mêmes : **amélioration de la précision** (robot intelligent, reconnaissance, vision), configuration rapide (apprentissage intuitif, interface intuitive, langage), mobilité du robot, adaptabilité à l’environnement (robot collaboratif, repositionnement).
* **Systèmes de chariots automatiques**, d’AGV (*Automated Guided Vehicles*) permettant une automatisation globale des flux à l’intérieur d’une usine et sur des zones de stockage. Ces systèmes étant complètement autonomes (à la différence des chariots « guidés » par exemple), les verrous technologiques sont principalement :
  + Concernant le guidage automatique sans infrastructure robuste, les axes de recherche portent sur des systèmes qui fusionnent les informations localisation/guidage et sur les améliorations des lois de commande.
  + Pour la sécurité des systèmes notamment en logiciel (mise en sécurité du chariot lui-même et de son environnement), les axes de recherche portent sur les composants utilisés et sur les logiciels.
* **Nouvelles plates-formes d’ingénierie** permettant l’optimisation de la transition « du produit au système de production » tenant compte des contraintes de fabrication à l’étape même de la conception des produits, choisissant les meilleurs technologies possibles, les équipements et leurs configurations les plus adéquates, minimisant le temps entre l’idée d’un nouveau produit (ou une commande d’un produit personnalisé) et la fabrication du produit ainsi que son coût de revient.
* Modularité, reconfigurabilité sur demande des équipements notamment en lien avec un socle numérique « *cloud manufacturing* ».

## 2.4 Verrous sociétaux

* **Perte de savoir-faire français** en matière de construction de machines « haut de gamme ».
* **Adaptation nécessaire des métiers des automaticiens** vers l’automatisme du futur (évolution de la programmation vers la conception et mise en route).
* La modélisation des préférences et règles métier est un enjeu dont dépend l’acceptation des outils d’aide à la décision. **Robotique et automatisation jugées comme destructrices d’emplois.** Les robots ne doivent pas être utilisés pour remplacer les hommes mais pour les aider dans les tâches qui, autrement, leur seraient impossibles (force, précision, accessibilité...).
* Les usines robotisées sont plus difficilement “délocalisables” (il n’y a pas autant d’intérêt à les délocaliser dans les pays à bas coût salarial), et créeront ainsi, en France, une infrastructure locale pourvoyeuse d’emplois.
* **Acceptation nécessaire des industriels à la connexion ouverte** (usine connectée, télé diagnostic, WI-FI).
* Les chariots autonomes connaissent également les mêmes contraintes d’acceptabilité vis-à-vis des utilisateurs (associés à des pertes d’emploi et appréhension de la sécurité dans le cadre d’une relation de collaboration homme/machine).

## 2.5 La mission en quelques mots

**Permettre aux PMI françaises de franchir un saut technologique en matière d’automatisme (et de robotique) afin de les rendre compétitives avec les technologies modernes permettant de répondre aux attentes de leurs clients (traçabilité, agilité, flexibilité, meilleure gestion des flux, amélioration de la qualité des produits, …).**

## 2.6 Illustrations graphiques





logistique autonome

# 3 Fabrication additive

## 3.1 Enjeux industriels

Nouveau paradigme de fabrication par couches, optimisant l’utilisation de la matière tout en permettant de réaliser des pièces complexes aux géométries internes et externes inaccessibles aux procédés de fabrication classiques.

Procédé de fabrication très flexible, entièrement intégré dans la chaîne numérique du Développement Rapide de Produit (DRP), adapté à la personnalisation des produits par l’absence d’outillages spécifiques.

Si la Fabrication Directe (fabrication des pièces par technique additive) constitue un enjeu majeur, l’Outillage Rapide (fabrication des modèles et outillages de mise en forme) est une réalité industrielle importante qui permet d’accéder directement aux grands procédés de mise en forme (plasturgie, fonderie, verre, …)

On identifie deux grandes filières avec des problématiques différentes :

* Une filière plutôt grand public, avec dans un premier temps, la réalisation de pièces non métalliques en très faible quantité sur des machines à bas coût
* Une filière industrielle, pour la fabrication rapide d’outillages fonctionnalisés (canaux de régulation, intégration de capteurs, …) à hautes performances permettant de réaliser des pièces beaucoup plus complexes et de meilleure qualité
* Une filière manufacturière, pour des productions aujourd’hui de petites séries, mais à vocation d’aller vers la grande série, dont l’un des défis consistera à travailler des matériaux métalliques « classiques ».

Les enjeux et opportunités :

* Savoir concevoir les pièces pour tirer parti de cette technologie (approche matériaux/produit/process)
* Maîtriser la filière numérique et l’échange des données
* Augmenter la productivité en produisant plus de pièces par machine
* Intégrer la filière conception-fabrication-contrôle pour tendre vers le « zero marginal time to market »
* Maitriser la filière « poudres » et la filière « solide » métallique
* Développer une filière « pièces de grandes dimensions » (PGD)
* Développer l’offre française de machines, de têtes d’impression et de système de contrôle
* Promouvoir l’utilisation et la pénétration de cette technologie
* Développer le réseau de fournisseurs
* Garantir la qualité des pièces produites
* Maîtriser le comportement en service des pièces

Deux voies de structuration sont envisagées :

* Une voie de proximité, à périmètre local, à grande réactivité
* Une voie centralisée, avec des fermes de machines, à vocation internationale (localisée près des lieux d’expédition et à électricité peu cher)

## 3.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

### 3.2.1 Enjeux transformationnels

Possibilité de créer des ateliers de fabrication de toute petite taille (makers, mini-mills, ateliers mobiles, ateliers partagés – à l’instar de ce qui se fait en orthodontie dentaire, etc.)

Susciter la mise de services industriels propre à favoriser le développement d’un tissus industriel de makers (conseils en ligne, formations, place de marchés, service d’intimité avec le client …)

Possibilité de fabriquer des pièces détachées au plus près de l’équipement-cible (dans une usine, sur plateforme de forage, sur le front – pour les applications militaires, etc.)

Possibilité de rapatrier et redynamiser la filière « outillage »

### 3.2.2 Enjeux sociétaux

Rend possible de concept de « l’usine en ville » permettant de rapprocher les salariés de leur lieu de travail

### 3.2.3 Enjeux économiques

Créer une filière poudres et une filière solide française

Mettre en place un mécanisme d’aide au financement ou de portage des équipements pour les PME, qui s’appuie sur des promesses de charge de la part des industriels (critères pour BPI France)

En vue du développement du réseau PME en fabrication additive, créer un référentiel de diagnostic d’opportunité basé entre autre sur la définition d’un business model robuste et un calcul de ROI complet

## 3.3 Verrous technologiques

* Conception et réalisation de poudres adaptées à la fabrication additive
* Développement de systèmes à cartouche étanches et des filières de recyclage
* Nouvelles métallurgies
* Accélérer et/où développer les outils numériques de simulation du procédés (tous procédés)
* Accélérer et/où développer les méthodes et outils de mise sous contrôle du procédé (tous procédés)
* Accélérer le développement des matières de commodités polymères techniques.
* Accélérer et/où développer la fabrication additive composite, clé de voûte future de l’industrialisation de composites économico-techniques.
* Augmenter la productivité par une maturation et optimisation de la chaîne de production complète par une automatisation des procédés (transferts inter-étapes, etc …)
* Multimatériaux, matériaux anisotropes, matériaux à gradient
* Développement et industrialisation d’installations (R&D et Industrie) d’assemblage de couches métalliques solides (soudage diffusion, HIP), de dimensions importantes
* Insertion en cours de fabrication (poudre ou solide), en particuliers circuits électriques et capteurs
* Maîtrise du procédé (capteurs in situ)- Capabilité process (assurance qualité, répétabilité des caractéristiques des pièces obtenues)
* Facteurs de preuves de la durabilité des pièces produites à destination des BE
* Intégration produit – process, automatisation
* Nouvelles règles de conception : optimisation fonctionnelle couplée avec optimisations topologique et géométrique, et optimisation de structure
* Unification de la chaîne numérique
* Développement d’outils de simulation numérique de conception et de fabrication de pièces en FA
* Intégration des machines dans la filière globale avec, dans le cadre de la poudre, en amont : flux de poudres et en aval : extraction des pièces, soufflage, parachèvement, contrôle pour santé matière et conformité géométrique nettoyage, palettisation…
* Techniques et méthodologies de CND innovantes pour une couverture complète de la conformité des pièces
* Protection de la PI : cryptage, protection hardware au niveau des machines et dans la transmission des données, marquage de traçabilité …
* Normalisation (langages de modélisation (STM, AMF, 3MF …), procédés (terminologie, ontologie de procédés, paramètres), caractérisation des matières, essais, graduation multicritères des matières en vue du juste niveau de performance …)

## 3.4 Verrous sociétaux

Problématiques H&S liées à l’utilisation de poudres à granulométrie fine ou inflammable (ATEX), des liquides et des solides

Susciter l’envie d’investir dans ces nouveaux marchés de la nouvelle économie en sécurisant les prises de décision, grâce à des espaces partagés de confrontation des savoirs, d’innovation et d’expérimentation.

## 3.5 La mission en quelques mots

La France prend le leadership dans le domaine de la fabrication additive par :

* la conception en rupture des produits,
* le développement d’une filière matière
* le développement de la technologie de mise en oeuvre (SLM, FFF, SLS, etc.)
* le CND
* l’intégration complète de la filière
* la formation

## 3.6 Illustrations graphiques

Titanium buckle designed with AM - weight 70g reduction of 55%

Support structure for a satellite antenna

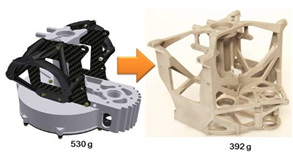
Steel nacelle hinge bracket for an Airbus A320

Formula One racecar brake duct bracket

Organic structures ensuring both structural & cooling functions

Airbus bracket

Soft Seat Structure

Unmanned helicopter frame

# 4 Monitoring et contrôle

## 4.1 Enjeux industriels

Dans un contexte de diversification et d’adaptation rapide des besoins de production, ainsi que l’adoption des nouveaux procédés de production (nouveaux matériaux plus complexes, composites, fabrication additive) souvent liée à un réseau de fournisseurs de plus en plus hétérogène, les enjeux sur la qualité/conformité et la connaissance des caractéristiques mécaniques du produit et par conséquence du process de production reposent sur des outils performants de monitoring et contrôle, en ligne ou hors ligne :

* **Surveillance des moyens de production** : connaître en permanence les sollicitations en fonctionnement et/ou la performance énergétique pour l’optimisation du procédé et le maintien en conditions opérationnelles (durée de vie des installations par exemple).
* **Maintenance prédictive** : anticiper les pannes, augmenter la disponibilité et optimisation des plans de maintenance, minimiser les temps et les coûts de réparation.
* **Qualité** : rendre le produit intelligent en lien avec le process de production, la garantie en ligne de la conformité du produit (par rapport à la réglementation) ou des défauts dès leur formation, en intégrant des modèles d’analyse de la nocivité des défauts. Estimer la durée de vie résiduelle en temps réel, prise en compte des matériaux et procédés nouveaux.

* **Optimiser le temps et les coûts des contrôles** : contrôles plus rapides (automatisés), plus fiables (diagnostics), plus discriminants, traçables, propres (sans rayonnement ionisant ou produits chimiques), compétitifs au niveau prix et expertise spécifique à déployer.

* **Intégration** : possibilité de passer à une chaîne de contrôle complète «tout numérique», et tirer parti au mieux de l’exploitation des données massives générées par cette chaîne.

Ces outils constitueront également le substrat numérique/sensitif de l’Internet des Objets industriels permettant, en lien avec le socle de l’usine digitale, l’émergence de fonctionnalités embarquées (SHM) et issues du traitement des données massives, concernant l’anticipation, l’optimisation des processus intra-usine et inter-usine.

## 4.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

* Optimiser le dimensionnement des produits et des process par la connaissance de l’état du produit au cours de son utilisation (conception de produits plus légers, économes en matière et en énergie)
* Réduire les non qualités perçues pour le client
* Optimiser les organisations par l’exploitation des données issues du monitoring
* Focaliser les opérateurs sur des contrôles à plus forte valeur ajoutée par l’automatisation de certains contrôles (par exemple visuels et tactiles d’aspect, CND expert, etc.) et la simplification de l’ergonomie des logiciels
* Garantir la convivialité, souplesse, disponibilité pour favoriser leur déploiement
* Renforcer l’intégrité, la sécurité, la sûreté et la confidentialité des informations recueillies pour protéger les salariés.

## 4.3 Verrous technologiques

### 4.3.1 Monitoring et contrôle

* Traitement des données et agrégation/fusion : Mise en œuvre d’analyse de données avancées (dont également démarche type données massives, intelligence artificielle, etc.) pour anticiper les non qualités de produit, process (machines)
* Ajustement en ligne en boucle fermée du processus pour le corriger ou l’optimiser, détection des signaux faibles.
* Optimisation du temps d’acquisition et de traitements des données (notamment en CND) pour permettre un diagnostic en temps réel, permettant également le monitoring de pièces et de composants en ligne
* Intégration à la chaîne numérique fournisseur/client : prise en compte de l’approche système de système pour arriver à des fonctionnalités de reconfiguration automatique des moyens de production, « manufacturing as a service » (cf. Fiche dédiée “Digitalisation de la chaîne de valeur”)
* Garantir la confiance numérique (sécurité, sûreté, disponibilité, intégrité, …) (cf. Fiche dédiée “Cybersécurité”)

### 4.3.2 Contrôle non destructif et surveillance des structures

* Évolution et optimisation des performances capteurs : CND, Imageurs haute résolution/fréquence/dynamique/gamme (multispectral), propre (sans rayonnements ionisants, ni consommable comme le ressuage), …
* Couplage des capteurs notamment CND et vision avec les nouvelles technologies robotiques (robotique collaborative, drone, robotique mobile ou téléopérée...)
* Développement de modules de simulation avancés intégrant les nouvelles technologies de contrôle et monitoring (tomographie, CND, caractérisation des matériaux …), et de nouveaux usages de la simulation numérique dans un contexte industriels
* Caractérisation de l’état mécanique de produits, contraintes, endommagement fatigue par des méthodes non destructives et de la chimique/texture de fluides (industries de process agro, pharma, etc.)
* Traitement signal proche capteur : « Smart CND », diagnostic automatique, analyse d’image avancée et nouvelles techniques d’imagerie (par exemple tomographie par ultra-sons), approche système pour distribution optimale des calculs

## 4.4 Verrous sociétaux

### 4.4.1 Monitoring et contrôle

* Acceptabilité du monitoring d’une chaîne de production, notamment vis-à-vis des opérateurs
* Acceptabilité des nouvelles méthodes de monitoring et contrôle, et formations/sensibilisations professionnelles

### 4.4.2 Contrôle non destructif et surveillance des structures

* Impact de l’émergence des nouveaux procédés et méthodologies, contrôles automatiques sur l’évolution des référentiels de normalisation, réglementation, et certification
* Evolution de certains métiers d’expert « qualité visuelle », « qualité d’expérience perçue », « expert CND »

## 4.5 La mission en quelques mots

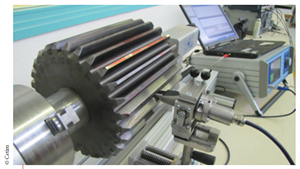
**Améliorer la performance industrielle et la qualité des produits par la mise en place d’outils de contrôle, monitoring et CND permettant l’analyse en temps réel de toute la chaîne de production.**

## 4.6 Illustrations graphiques

Cellule CND Tomographie X robotisée (CEA LIST)

Dispositif CND Ultra-sons portable (M2M-NDT)

(CETIM)

(CETIM)

# 

# 

# 5 Composites, nouveaux matériaux, assemblages

## 5.1 Enjeux industriels

Intégrer massivement les composites dans les marchés à fort volume, et vivre la révolution « composite » comme celle vécue pour les plastiques dans les années 60.

Une généralisation sur ces marchés à fort volume est nécessaire de par les bénéfices que peuvent apporter les composites par rapport aux matériaux métalliques :

* Allégement des produits (pour cause de réduction de la consommation de l’énergie et de gramme de CO2/Km parcouru dans l’automobile et dans l’aéronautique; développement de l’éolien terrestre et offshore, du stockage d’énergie…)
* Résistance à la corrosion
* Réduction du coût de fabrication par la maîtrise du procédé : tendance -10% par an.
* Facilité de mettre les pièces en forme, intégrer les fonctions et réduire le nombre de pièces et d’assemblages
* Amélioration de la tenue mécanique des pièces et système et optimisation de certaines propriétés (vibrations, conductibilité…)
* Recyclabilité
* Instrumentation des matériaux

Qui dit marché à fort volume, dit production à haute cadence, avec la nécessité de :

* Diminuer les temps de cycle de fabrication (usage des thermoplastiques)
* Développer des procédés « grande cadence » : Procédés de drappage automatique, Thermocompression/Thermoformage, Pultrusion, Procédés voies liquides (RTM), Enroulement filamentaire, placement de fibres ou de rubans de fibres, usinage, Assemblages mutlimatériaux, cycles thermiques rapides
* Réduire les coûts : Procédés « Net Shape », Réduction des pertes « matériaux » et rebus, Hybridation des procédés pour fonctionnaliser les pièces au maximum, procédés hors autoclaves, outillages/moules intelligents

Les clés de la réussite :

* Nécessité d’une réflexion globale « Matière-Procédé-Outillages-Produit » pour aboutir au meilleur compromis performance robuste, cycle et coût,
* Les procédés de mise en œuvre doivent être optimisés et adaptables, performants et fiables,
* La chaine numérique doit être la plus complète possible entre procédés et conception

## 5.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

Nécessité d’adaptation des moyens et compétences des entreprises.

## 5.3 Verrous technologiques

Matières premières et constituants (matrices et renforts)

* Fibres low cost (verre, carbone, végétales),
* Fibres et résine TD/TP bio sourcés,
* Fibres issues du recyclage
* Ensimages fibres pour résines TD / TP
* Augmentation des températures de fonctionnement
* Résines fluides, réactives,
* Résines inorganiques pour voie liquide,
* Recyclabilité
* Associer les chimistes pour la maîtrise de la formulation et la performance des matériaux
* Travailler avec les fournisseurs pour assurer l’approvisionnement de ces matériaux,

Equipements

* Robotisation des procédés
* Contrôle en continu
* Pilotage auto adaptatif
* Intégration de capteurs dans les pièces pour le suivi in-situ du comportement durant la vie du produit
* Procédés hors autoclaves
* Réduire le temps de préparation du matériau en amont du procédé de mise en œuvre
* Disposer de technologie de mise en œuvre « intelligent » : placer le renfort là où il doit être en minimisant les chutes matière
* Intégrer le maximum de fonctionnalité lors de la mise en œuvre du composite par l’hybridation des procédés
* Maîtriser la consommation d'énergie dans les procédés, technologies de chauffe
* Logiciels:
* Aide à la conception optimisée pour les ingénieurs
* Simulations des structures
* Simulations des procédés (mise en forme et usinage)
* Simulation des assemblages
* Solutions multi matériaux: pièces fonctionnalisées, assemblages et désassemblage
* Prendre en compte la variabilité des procédés, ce qui signifie une maîtrise des procédés par la simulation et approches stochastiques/en contexte aléatoire

Filière Recyclage

* Proposer une stratégie et des technologies pour le recyclage des matériaux composites TP et TD
* Adapter les technologies de mise en œuvre pour valoriser les déchets et les semi-produits issus de recyclage

Assemblage et contrôle (assemblages, hybride ou de deux pièces composites homogènes)

* Développer des méthodes d’assemblage innovantes, fiables et rapides (par exemple par soudage ou surmoulage) – composites/composites, composites/plastiques, composites/métal.
* Des méthodes de contrôle santé automatisées et adaptées aux pièces et aux procédés utilisés. Prédiction numérique de l’endommagement induit par les procédés.
* Associer la détection des défauts à l’analyse du comportement des structures classiques et nid d’abeilles (statuer sur la nocivité puis l'admissibilité des défauts de fabrication)
* Développer des méthodes de détection et d'analyse de la nocivité des défauts induits (chocs, foudre, brûlure, etc.)
* Développer les technologies de réparation des pièces

## 5.4 Verrous sociétaux

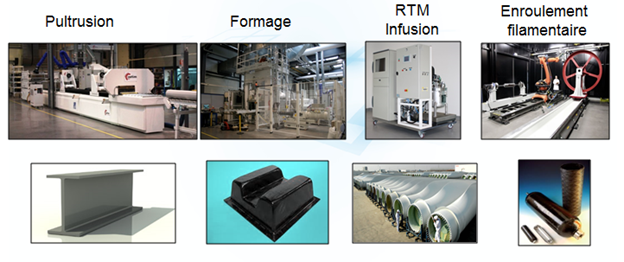
* Veiller à l’impact des réglementations environnementales (REACH, RoHS...) et sociétales (Hygiène & Sécurité).
* Mise en place d’une filière de recyclage
* Vis-à-vis du grand public, il y a déjà une bonne acceptation des produits composites (automobile, bien de grande consommation, avion).

## 5.5 La mission en quelques mots

La France réussit la « révolution composite » par :

* La proposition d’une offre « matériaux » la moins chère possible par rapport aux performances attendues et facilement recyclable
* une offre d’équipements permettant de mettre en œuvre des pièces dans un temps très court compatible avec la production grande série (de l’ordre de la minute)
* la possibilité de simuler les produits et les procédés pour garantir la qualité et la reproductibilité des pièces et des structures

## 5.6 Illustrations graphiques





RTM Crashbox CETIM

# 

Les problématiques sociales et sociétales, notamment le rapport de l’homme et de la technologie au sens large font des enjeux industriels un élément indissociable des enjeux sociaux et sociétaux.

## 6.1 Place de l’humain dans l’usine

### 6.1.1 Enjeux industriels

* Combiner les valeurs ajoutées respectives de l’humain et de la machine en focalisant le rôle de l’humain sur sa plus forte valeur ajoutée (expertise de geste, de diagnostic, d’expertise, etc.), et le décharger des tâches pénibles physiquement ou cognitivement
* Assurer le bien-être de l’humain dans l’organisation, source de performance.
* Re-déployer des espaces de travail en lien avec la reconfiguration les métiers et adapter les outils numériques pour optimiser les processus liés au cycle de vie du produit (cette démarche restant spécifique pour chaque terrain industriel)
* Accompagner la diffusion technologique (par exemple de robots collaboratifs et/ou mobile) et numérique (par exemple de dispositifs de réalité augmenté connecté) qui doit se faire dans une intégration mutuelle (sans entrave de sécurité en particulier) entre l’homme et la machine, en tenant compte de l’immense variété et différence de contexte. Cette diffusion doit se faire en co-développement entre les opérateurs et les managers afin de garantir son acceptation
* Garantir l’accessibilité cognitive qui doit faire partie intégrante du développement des technologies afin de faciliter leur utilisation donc leur diffusion.

### 6.1.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

* Revaloriser le rôle de l’homme (expertise de geste, de diagnostic, de perception, etc.), avec la machine (puissance, vitesse, robustesse, fiabilité, répétabilité, etc.), maintien des postes dans la transition technologique/numérique
* Revaloriser l’image sociétale des métiers de l’industrie et de la production, renforcer l’attractivité des postes de l’usine et l’adaptater aux nouvelles compétences générationnelles (jeux vidéos, interfaces mobiles)
* Réorganiser les métiers le long de la chaîne de production (conception, production, etc…)
* Réorganiser les espaces internes et les ateliers en lien fort avec le socle numérique de l’usine.
* Réduire la pénibilité du travail et limiter les Troubles Muscolo-Squelettiques et maladies liées au poste (physique, cognitif) avec une amélioration de la sécurité de l’opérateur.
* Renforcer le dialogue entre technologues et prescripteurs sociaux (ergonomes,…) pour faciliter l’appropriation des nouvelles technologies par les opérateurs et techniciens

### 6.1.3 Verrous technologiques

* Capture du contexte précis (par capteurs multimodaux) et ingénierie des connaissances permettant un accès cognitivement efficace de l’opérateur aux multitudes des données numériques (remonter automatiquement la bonne information, au bon moment, à la bonne personne, sous la bonne forme), notamment pour les documentations, plans, gammes, modes opératoires, données techniques, etc.. Reboucler le lien entre travail prescrit et travail réalisé.
* Décloisonnement des outils métiers (prise en compte des modèles process dans les outils de conception : conception par le process) avec l’accompagnement des collaborations entre métiers par le numérique tout au long de la chaîne de développement du produit et la réalité virtuelle dans le processus de collaborations inter-métiers et distantes
* Lien scientifique et technique à maintenir vers les compétences sociales, médicales et cognitives (ergonomie physique, cognitives, modèles biomécaniques, etc.)

### 6.1.4 Verrous sociétaux

* Accompagnement du changement dans les entreprises, notamment par la formation des opérateurs, techniciens, cadres et dirigeants ; et plus généralement de la diffusion technologique / numérique au sein de l’environnement de travail par des actions de sensibilisation et de co-développement.
* Impacts de la transition sociale qui en découle des ré organisations (recrutement, effectifs, gestion des carrières, rémunérations, reconnaissance, organisation, évolution des compétences par spécialisation ou polyvalence, autonomie, …)
* Transformation et valorisation de l’image du travail dans l’industrie : créer une vision d’excellence et de modernité agissant pour l’attractivité des métiers et la productivité
* Aspects juridiques, réglementaires et normalisation notamment sur le volet sécurité des opérateurs auprès avec des machines, mais aussi confiance et garanties de confidentialité numérique notamment sur le volet « réseaux sociaux d’entreprise »
* Rythme et organisation de la formation à adapter à l’agilité des transformations technologiques.

## 6.2 Collaboration Humain - Robot

### 6.2.1 Enjeux industriels

* Améliorer la santé et la motivation des opérateurs, revaloriser les missions, limiter les accidents et les TMS, diminuer la pénibilité des tâches opérateurs
* Assurer la sécurité des opérateurs dans leur travail à proximité des cobots
* Limiter les risques psychosociaux
* Améliorer la flexibilité et le rendement des chaînes de production

### 6.2.2 Verrous technologiques

* Développement du continuum interaction robot/machine, notamment au niveau cobotique (îlot robotisé isolé autonome ou téléopéré, avec barrières de sécurité « flexible », coopératif partage de tâches et d’espace, collaboratif partage de geste/mobile)
* Adaptation personnalisée à l’opérateur de l’assistance physique ou cognitive (Adaptation des puissances, cinématiques et des modes de retours sensoriels à la physiologie, à l’individu et au contexte), et de l’environnement dans lequel le robot s’intègre (notamment par de la captation multimodal et multisensorielle du contexte).
* Commande et pilotage collaboratif par « apprentissage mutuel » : la machine apprend de l’homme et à l’homme (par exemple apprentissage par démonstration pour la robotique collaborative, etc.) permettant notamment la reprogrammation rapide et intuitive pour s’adapter à la variabilité
* Interfaçage et interopérabilité avec le socle numérique de l’entreprise et les autres moyens de production
* Garanties et exigences de sécurité, fiabilité des systèmes et des opérateurs notamment au niveau robotique collaborative

### 6.2.3 Verrous sociétaux

* Acceptation sociétale de la diffusion technologique au plus près de l’homme notamment du travail avec la machine, de la réorganisation du travail impliquant le développement de nouvelles compétences, du changement de l’environnement de travail (équilibre robot/humain), par exemple sur lien entre le travail prescrit et travail réalisé
* Conduite du changement sur cette diffusion technologique, avec des réflexions vers le « tout machine » pour certaines industries (débat social de la place de la machine dans le marché du travail et la chaîne de la valeur)

## 6.3 Réalité virtuelle et augmentée

### 6.3.1 Enjeux industriels

* Rapprocher la maquette numérique / jumeau numérique de l‘outil de production au plus près de la réalité (cf. Fiche détaillée)
* Réduire les cycles de conception
* Renforcer la collaboration entre les métiers de l’entreprise autour de la maquette numérique
* Améliorer le pilotage des process
* Améliorer les interfaces cognitiques entre l’homme et les machines
* Former les opérateurs

### 6.3.2 Verrous technologiques

* Développement d’interfaces (ascendant et descendant) non intrusives (par exemple montée en maturité des dispositifs de réalité augmentée performants, compatibles avec les impératifs de sécurité), portables « wearable », multimodales
* Démocratisation des outils RV et RA (amélioration des performances, du confort, des coûts des équipements et des usages)
* Interfaçage des outils RV et RA avec les modèles numériques (cf. Fiche dédiée “Chaîne numérique”)
* Interaction multi-agents

### 6.3.3 Verrous sociétaux

* Acceptation de l’intrusion cognitive des équipements par les opérateurs
* Différence d’approches générationnelles/conflits versus collaboration.

## 6.4 La mission en quelques mots

**Trouver le bon équilibre homme-machine en revisitant la place de l’Homme dans l’Usine en assurant la cohérence avec les nouvelles technologies et en visant une performance globale (économique, sociale, environnementale).**

## 6.5 Illustrations graphiques

Cobot assistance en effort (CEA)

Exosquelette port de charge (RB3D)

Réalité augmentée pour la maintenance (CEA)

Réalité virtuelle (ENSAM)

Cobot de partage de tâche (ENSAM)

# 7 Efficacité Énergétique et Empreinte Environnementale des Entreprises, Intégration dans l’écosystème

## 7.1 Enjeux industriels

L’industrie du futur façonne des produits à haute performance environnementale cherchant à tous niveaux l’optimum énergétique pour elle et son écosystème. Cette intégration de l’industrie et les progrès techniques induits en termes d’utilisation de combustibles alternatifs et de valorisation des sous-produits (gaz, liquides, solides, chaleurs perdues…) restent encore peu ou pas exploités. L’objectif à terme est une industrie responsable et intelligente, qui supprime ses consommations d’énergie fossile, en fabriquant les matériaux nécessaires au développement des énergies renouvelables et des transports propres.

## 7.2 Enjeux transformationnels et sociétaux

## 7.3 Verrous technologiques

## 7.4 Verrous sociétaux

Le bénéfice économique, tel que calculé usuellement et exacerbé dans un creux du prix de l’énergie, et le manque de résilience de montage inter-industriels type EcoParc (risque d’effet domino en cas de défaillance d’un tiers) sont des freins forts, à la généralisation d’outils de valorisation et de performance énergétique.

De plus, l’intégration énergétique de l’industrie ne sera que plus efficace si elle peut valoriser à cent pourcent ses effluents énergétiques, l’intégration des usines au plus près des zones urbaines permet d’approcher cet objectif. C’est pourquoi, l’acceptation de l’usine passe d’une part par la (re)valorisation de la place de l’homme dans l’usine, et d’autre part par la visibilité et la valorisation des services qu’elle rend (élimination des déchets ultimes d’industries environnantes, services aux réseaux électrique, de chaleur).

## 7.5 La mission en quelques mots

## 7.6 Illustrations graphiques

1. NB : Les développements de robots collaboratifs ou « cobots » capables d’intervenir de manière sure avec les opérateurs humains afin de les aider à accomplir des tâches complexes réclamant force et précision sont abordés dans la fiche « Place de l’homme dans l’usine ». [↑](#footnote-ref-1)