



## Les robots dans l'industrie : Saisir l'opportunité

### Contributeurs

Guillaume Garnier, Jean-Paul Gomez, Christian Joubert, Valérie Lavaste (société Altran (\*)).

Bernard Barbier, Michel Laroche, Jean-Paul Laumond (Académie des technologies).

*(\*) mécénat de compétences*

## Table des matières

Préambule :	3
<b>1 Un peu d'histoire</b>	<b>3</b>
1.1 La recherche de l'efficacité, Organisation - Mécanisation - Robotisation	3
1.2 Histoire des robots et grandes étapes de la robotisation dans l'industrie	4
1.3 Des domaines d'application de la robotique qui s'élargissent	7
1.3.1 L'Agriculture	7
1.3.2 Le Médical	8
1.3.3 Le BTP	8
<b>2 Place de la France dans la robotisation</b>	<b>9</b>
2.1 L'utilisation des robots dans l'industrie	10
2.2 La conception et la fabrication des robots	11
2.3 Le redécollage récent de la robotisation industrielle en France	12
<b>3 Robots et robotisation : éléments d'analyse et perspectives</b>	<b>14</b>
3.1 Robots et usages – évolutions techniques en cours et à venir	14
3.1.1 L'intégration croissante de l'IA dans le robot	14
3.1.2 L'intensification de l'interaction homme-machine et de la cobotique	16
3.1.3 L'introduction du Jumeau Numérique	17
3.2 Chaîne de valeur et Robotisation	18
3.3 Autres facteurs influençant la robotisation des processus de production	20
3.4 Pourquoi robotiser aujourd'hui, hors situation de plein emploi ?	21
3.4.1 La productivité, la compétitivité et la rentabilité	21
3.4.2 L'amélioration des conditions de travail et de sécurité	22
3.4.3 Un levier de relocalisation ou de non-délocalisation	23
<b>4 Robots et industrie : des enjeux pour saisir l'opportunité</b>	<b>23</b>
4.1 Trois enjeux pour une robotisation réussie	24
4.1.1 La cyber sécurité – un enjeu majeur	24
4.1.2 Le respect des contraintes environnementales	26
4.1.3 Les aspects juridiques liés à l'utilisation de l'IA	29
4.2 Synthèse	30
4.3 Recommandations	31

# Les robots dans l'industrie : Saisir l'opportunité

## Préambule :

La **recherche de l'efficacité**, et les automates, lointains ancêtres des **robots**, ont largement précédé l'émergence de l'**industrie**, mais ces trois thèmes se retrouvent pour justifier de **l'opportunité que représente la robotisation** pour aider à concrétiser la volonté, fortement affichée par la France, de réindustrialiser ses territoires.

En effet, le recours aux robots peut apporter le surcroît d'efficacité économique qui permet à une entreprise d'éviter l'abandon d'une production face à une concurrence étrangère ou d'être contrainte à une délocalisation compétitive. Il permet aussi de développer de nouvelles productions ou de relocaliser des opérations.

. Ce mouvement, qui aboutit à une **création de richesses** augmentée sur notre sol, peut être avantageusement complété par le développement d'une industrie amont et des services autour des robots, secteurs porteurs d'emplois nouveaux et qualifiés.

Le texte est organisé en 4 parties :

- D'abord, découvrir l'histoire de la robotique et des robots.
- Ensuite, montrer la grande disparité d'implication des pays industrialisés sur ce thème, et la faiblesse actuelle de la France dans ce domaine.
- Puis présenter les évolutions en cours et à venir de la robotique.
- Enfin convaincre des opportunités offertes et alerter sur les défis à relever pour pouvoir tirer profit nationalement du potentiel « sociétal » de la « robotisation de l'industrie », évolution majeure qui pourrait contribuer à redynamiser l'industrie en France, et créer **activités, richesses et emplois qualifiés**.

Centré sur les applications industrielles, ce texte n'aborde pas le thème des applications militaires des robots. Toutefois le caractère dual de ce domaine technologique fait que certaines recommandations sont à considérer au titre de la souveraineté.

## 1 Un peu d'histoire

### 1.1 La recherche de l'efficacité, Organisation - Mécanisation - Robotisation

Des découvertes récentes ont montré que les grandes pyramides égyptiennes n'ont pas été bâties par des cohortes d'esclaves contraints par le fouet, mais bien par des ouvriers spécialisés et compétents dans le cadre d'une organisation très poussée. Toutes les activités étaient planifiées, documentées et suivies dans le but évident de bien gérer les moyens affectés à ces travaux. L'objectif était celui d'une plus grande efficacité car on parlait de délai (la vie du pharaon) et pas encore de productivité ou de rentabilité.

Cette recherche d'efficacité est à l'origine de toutes les évolutions majeures qui ont abouti à la civilisation moderne. Le temps de travail et la proportion de la population travaillant pour assurer les besoins de base de la société n'a pas cessé de se réduire. Les innovations, le développement de l'industrialisation et les évolutions technologiques ont augmenté

exponentiellement les capacités de production et libéré des moyens humains pour de nouveaux emplois dans la science, les arts, les services et ... la réflexion.

L'imprimerie, le métier Jacquard et la machine à vapeur ont ainsi participé fortement à la transformation de la société. Les robots, la robotisation et leurs capacités nouvelles s'inscrivent-ils dans cette logique ? La réponse est certainement OUI. La question se pose alors de savoir s'ils seront aussi source d'un bouleversement majeur ou, simplement, de perturbations plus ou moins importantes de la société.

Si l'on connaît la réaction violente des « Canuts » lyonnais après la généralisation des métiers à tisser Jacquard dans les ateliers lyonnais, il faut s'intéresser à un phénomène voisin aux effets importants qui s'est déroulé en Angleterre : la révolte des artisans tondeurs et tricoteurs en Angleterre. Cette révolte, dite « des Luddites » (1811-1812), a entraîné la destruction des métiers à tisser mis en place dans les manufactures ; elle est la manifestation d'une crainte qui peut se répéter à chaque évolution majeure des technologies, celle de perdre son statut ou le travail qui permet de vivre.

Au début du XIX<sup>ème</sup> siècle l'Angleterre inventait, grâce au moteur à vapeur, la production mécanisée et l'industrie. Le besoin de main-d'œuvre, associé aux difficultés créées dans les campagnes par l'enclosure<sup>1</sup> des terres, aura pour conséquences un premier exode rural massif. Un autre se produira du fait de la mécanisation intensive de l'agriculture (seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle), du développement de l'industrialisation de la fabrication des objets. Elle donnera naissance à de nouveaux métiers regroupés sous le terme générique d'ouvriers.

Les marchés économiques étaient détenus jusque-là par des artisans qui se cooptaient au sein de corporations. La résistance au changement des « détenteurs » d'un marché se produit régulièrement à chaque évolution technologique d'importance. Il est intéressant de noter que la sortie de crise des Luddites s'est traduite en 1813 par deux évolutions : l'augmentation des salaires des ouvriers qui travaillaient sur les métiers à tisser mécanisés associée à une baisse de leur temps de travail, et la mise en place d'une loi très répressive contre les actions de destruction des métiers à tisser. Toute l'histoire économique est émaillée de ces innovations majeures où les équilibres économiques et sociaux sont bouleversés.

La robotisation, qui va profiter désormais des développements de l'intelligence artificielle, touche autant les chaînes de production (comme celles des automobiles), que les services (comme par exemple le robot compagnon ou le robot médical ...), les tâches répétitives comme celles à fortes pénibilité ou nécessitant de la force. Elle fait partie des grandes révolutions évoquées ci-dessus. Dans cet article, les différents aspects de l'introduction et de la mise en place de la robotique, essentiellement dans le monde industriel, seront abordés ainsi que les règles à respecter pour s'assurer de la pertinence des choix qu'elles nécessitent.

Le contexte économique et social français actuel, accentué par la crise du Covid, impose de ne pas perdre de vue certaines questions :

- Faut-il robotiser alors qu'un chômage « structurel » important subsiste ?
- Dans le cadre du combat contre le réchauffement climatique, la consommation énergétique des robots est-elle un enjeu ?
- La robotisation est-elle un déterminant important de la réindustrialisation et de relocalisation de l'industrie ?

## 1.2 Histoire des robots et grandes étapes de la robotisation dans l'industrie

A l'origine des robots se trouvent les automates, dont le premier exemplaire est apparu au XII<sup>ème</sup> siècle. Si la mécanisation a apporté son lot de modifications dans l'organisation du

---

<sup>1</sup> Enclosure des terres : mouvement du XVI<sup>ème</sup> siècle où des champs ouverts et des pâturages communs cultivés par la communauté ont été convertis par des propriétaires fonciers en pâturages privés pour des troupeaux de mouton pour le commerce de la laine. Il s'ensuit un fort appauvrissement de la population rurale et un exode massif vers les villes où l'industrie se mettait en place. L'Enclosure Act, voté par la chambre des communes, met fin aux droits d'usage et démantèle la communauté. C'est la privatisation complète des terres agricoles qui étaient exploitées de façon communautaire.

travail, c'est la recherche d'une plus grande efficacité à travers la notion d'Organisation Scientifique du Travail, basée sur la décomposition d'une série de tâche en tâches élémentaires et répétitives les plus simples possibles, qui a induit les évolutions les plus profondes. A la fin du XIXème, Taylor a voulu simplifier le travail des ouvriers, mais en faisant cela, il a rendu possible la mécanisation des tâches élémentaires et introduit « l'aliénation » du travailleur.

Parallèlement, les gestionnaires de production, sociologues et ingénieurs ont associé leurs réflexions pour mettre en place des systèmes de plus en plus complexes permettant de décharger l'homme des tâches les plus pénibles ou répétitives et augmenter la vitesse d'exécution. On parlait de mécanisation ou de machine transfert, c'était le début des robots dans la chaîne de production.

Dans ce contexte, un ROBOT<sup>2</sup> dans une entreprise est défini de la façon suivante : une machine fixe ou mobile, à même d'effectuer des opérations d'assistance ayant pour but de décharger l'homme de tâches répétitives, pénibles, ou nécessitant une grande vitesse d'exécution<sup>3</sup>.

Une autre définition est : un ROBOT est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) conçu pour accomplir automatiquement des tâches imitant ou reproduisant, dans un domaine précis, des actions humaines<sup>4</sup>. La conception de ces systèmes est l'objet d'une discipline technologique, la robotique, branche de l'automatisme.

Le premier robot industriel dans une chaîne de production fut mis en place par General Motors en 1961.

Par la suite le **secteur de la production automobile** s'est affirmé comme le « leader » en termes d'introduction de robots au sein de ses sites de production. Cela a commencé par l'identification des opérations qui présentaient un intérêt à devenir automatisées ou robotisées sans avoir à refondre complètement les principes architecturaux d'assemblage. Les industries du secteur ont choisi d'introduire des robots dans leurs usines pour y réaliser des opérations qui peuvent être bloquantes avec l'architecture du process d'assemblage : soit trop contraignantes ergonomiquement (manutention de pièces type ouvrant ou d'outillage type pince de soudure), soit trop contraignantes sur la répétabilité des opérations (en fréquence horaire, ou en précision minimum nécessaire d'application). Le degré de robotisation variable car lié aux besoins et aux capacités socio-économiques de l'entreprise.

Inspirés par l'apparition et les capacités initiales des robots, mais très en amont de la réalité actuelle, les auteurs de Science-Fiction, en particulier Isaac Asimov dans son cycle des Robots et son cycle des Fondations, anticipaient le développement des robots « humanoïdes » (par l'aspect et les capacités de réflexion) et ont commencé, dès les années 1940, à développer toute une approche de la relation entre l'homme et le robot ainsi que de la place du robot dans la société des hommes.

Isaac Asimov a ainsi posé les principes des lois de la robotique, alors même que les robots n'existaient pas encore :

- « Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger. »
- « Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi. »
- « Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi. »

---

<sup>2</sup> Les mots robot et robotique ont pour origine le mot tchèque "robota" ("travail") issu de la pièce de théâtre RUR (Rossum Universal Robots) (Karel Capek, 1921).

<sup>3</sup> D'après la définition dans le rapport du sénat [https://www.senat.fr/rap/r19-162/r19-162\\_mono.html](https://www.senat.fr/rap/r19-162/r19-162_mono.html)

<sup>4</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Robot>

## Encart n°1 : Robotisation – la chronologie

1801	<i>Création des métiers à tisser programmables de Joseph-Marie Jacquard,</i>
1921	<i>Apparition du mot « robot ».</i>
1942	<i>Isaac Asimov définit les trois lois célèbres de la robotique.</i>
1954	<i>Aux États-Unis, c'est le début de la robotisation en usine : George C. De Vol dépose le brevet du premier robot nommé « Unimate », qui deviendra officiellement le premier robot industriel. C'est un bras capable de déplacer seul des pièces plus ou moins lourdes. Pour vendre son invention il s'associera à Joseph F. Engelberger et ils créeront une société nommée Unimation Inc.</i>
1961	<i>Ce robot sera installé la première fois en usine, sur la chaîne de General Motors (usine automobile).</i>
1970	<i>Un professeur de l'université de Stanford, Victor Scheinman a développé un bras articulé à 6 degrés de liberté. Il sera aussi le premier robot à pouvoir être contrôlé à distance par micro-ordinateur.</i>
1981	<i>Au Japon, Takeao Kanade crée le premier robot à moteur intégré directement à son bras, qui permet de réaliser des actions plus rapides et précises.</i>
1987	<i>Deux grandes industries de la production robotique –Asea, (entreprise suédoise) et Brown Boveri Ltd, (entreprise Suisse)- fusionnent afin d'associer leurs connaissances et de faire plus de profits, ce groupement se nommera ABB.</i>
1991	<i>Un robot de grande dimension et lourd (200 kilogrammes), est créé, il sera appelé « IRB 6000 ». Il sera alors le plus rapide et le plus précis des robots de l'époque.</i>
1996	<i>Apparition de la notion de « cobots »</i>
2001	<i>Première opération à distance avec le Da Vinci : Opération Lindbergh par le Professeur Marescaux à New York et la patiente à Strasbourg.</i>
2001	<i>La société FANUC a mis en place un système de « fabrication dans le noir », où des robots construisent d'autres robots sans surveillance humaine jusqu'à 30 jours et à une vitesse de 50 par période de 24 heures.</i>
2002	<i>Le Dr Michael Grieves a introduit le concept de l'équivalent numérique d'un produit physique ou « jumeau numérique ».</i>
2003	<i>Un programme est créé et peut-être installé dans la mémoire les robots afin d'accélérer la vitesse de production de 90%, c'est le Teachsaver.</i>
2004	<i>30 ans après la création de la robotisation, ABB a vendu plus de 100 000 machines, et est le leader mondial de l'époque.</i>
2008	<i>Universal Robots a vendu le premier robot collaboratif au monde à un fournisseur danois de plastiques et de caoutchouc pour la surveillance des machines CNC.</i>
2009	<i>Le robot militaire Big Dog est utilisé en conditions réelles en Afghanistan.</i>

En 1996, est apparue la notion de cobots qui sont une catégorie de robots (non autonomes) « dédiés à la manipulation d'objets en collaboration avec un opérateur humain ». Plus généralement, il peut s'agir d'un système automatisé impliqué dans des tâches ou relations cobotiques. Colgate et Peshkin le définissent comme « robot conçu pour une interaction directe avec un opérateur humain, dans un espace de travail partagé »<sup>5</sup> ;

<sup>5</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cobotique>

Après 60 ans d'évolution, l'intégration des capacités et des mouvements des robots industriels est prise en compte dès la conception du produit. En parallèle et en coordination, la chaîne de fabrication (parfois l'usine) est conçue afin d'optimiser les résultats, techniques et économiques. On parle de convergence produit-process.

Suivant les besoins, un robot ou une ligne de production peuvent être modélisées dans un logiciel de simulation qui peut prendre en compte les mouvements des opérateurs à leur poste et en déplacement dans l'atelier.

Aujourd'hui, si les concepteurs des robots se posent toujours la question de la méthodologie d'intégration des Lois d'Asimov et des dérivés de ces lois dans les programmes de conduite des robots actuels, ils doivent les adapter et les compléter pour tenir compte de la grande variété des domaines d'application de la robotique moderne, domaines qui devraient continuer à s'étendre à l'avenir en profitant des évolutions en cours ou en préparation

### 1.3 Des domaines d'application de la robotique qui s'élargissent

Désormais personne ne s'étonne devant un atelier robotisé ou un entrepôt de logistique automatisé. De même la grande majorité de nos concitoyens accepte d'être questionnée par un robot avant d'être, éventuellement, dirigée vers le « bon » interlocuteur. Les robots ont ainsi pris en douceur une place importante dans les services tout en restant connus surtout pour leur place en production industrielle ou grâce à quelques applications « humanoïdes ». Mais bien d'autres domaines cherchent à exploiter les possibilités offertes par la robotisation.

#### 1.3.1 L'Agriculture

Par exemple les travaux d'entretien sur des cultures dites « en planches » sont souvent des postures prolongées ergonomiquement éprouvantes. L'introduction de robots ou systèmes robotisés dans le secteur agricole se présente comme une solution aux problèmes ergonomiques et aux optimisations des fonctionnements dans ce secteur.

#### Encart n°2 : **Agriculture – les chiffres clefs**

- **20 laboratoires** dans le monde spécifiquement positionnés sur la robotique agricole en particulier en élevage, culture en serres et récolte de fruits et légumes.
- L'agriculture est le **2<sup>ème</sup> marché mondial de la robotique** de service professionnel. Il est estimé à 16,3 milliards à l'horizon 2020.
- **50% des agriculteurs français** qui s'installent en élevage laitier achètent un robot de traite.

Pour en savoir plus <sup>6</sup>

Ils peuvent aussi apporter une réponse aux objectifs économiques et écologiques. Des robots autonomes, équipés de GPS et de caméra pour localiser la parcelle de travail, ainsi que d'outillages spécifiques aux tâches à effectuer, permettent, grâce à leur localisation précise,

<sup>6</sup> <https://agriculture.gouv.fr/les-tms-ou-troubles-musculo-squelettiques#:~:text=nombreux%20sont%20les%20postes%20en,musculo%2Dsquelettiques%22%20ou%20TMS./>  
<https://positivr.fr/ecorobotix-robot-desherbant-reduction-herbicides/>  
<https://www.ecorobotix.com/fr/robot-desherbant-autonome/>  
<https://agriculture.gouv.fr/robotique-lagriculteur-augmente/>  
<https://www.terre-net.fr/materiel-agricole/tracteur-quad/article/10-robots-agricoles-stars-du-sima-2019-207-146302.html/>

d'avoir un suivi des cultures et une gestion optimisée des intrants (engrais et traitements), d'émettre des rapports de synthèse sur l'état des sols et ainsi d'intervenir à bon escient.

### 1.3.2 Le Médical

L'augmentation du nombre de patients à soigner en raison de l'allongement de l'espérance de vie et les exigences en termes de qualité couplée à la pénurie de personnels permettent à la robotique d'être une solution d'avenir. Le secteur médical et plus précisément le milieu chirurgical intègre des systèmes robotiques afin d'assister les chirurgiens.

La chirurgie est, par définition, une discipline médicale qui consiste à pratiquer manuellement et à l'aide d'instruments des actes opératoires sur un corps vivant.

Les technologies robotiques permettent des opérations plus fiables et plus précises. Mais du fait des contraintes importantes en matière de sécurité, les robots sont dotés d'un faible niveau d'autonomie. On parle alors d'acte "robot assisté".



Des chirurgiens opèrent un patient avec la plateforme robotisée Da Vinci Xi, à l'hôpital Robert-Debré à Paris le 5 avril 2019, ils utilisent des télécommandes (AFP - THOMAS SAMSON)

### 1.3.3 Le BTP

Toujours dans le but de réduire la pénibilité et d'augmenter la productivité, le secteur du bâtiment et des travaux public entame doucement la robotisation de certaines tâches. Il existe différents niveaux de robotisation :

- De l'**exosquelette**, qui est un outil permettant de démultiplier la force physique et réduire les troubles musculo-squelettiques ou TMS liés aux déplacements et manipulations de charges lourdes (matériaux ou outillages). Ces tâches contraignantes ergonomiquement ont un potentiel de robotisation très important (dans ce cas, l'opérateur fait son geste technique et peut en faire plus et plus longtemps).



Co-développé avec la start-up RB3D, ExoPush, le robot d'assistance du groupe Colas pourrait changer la vie de nombreux « tireurs au râteau ».

- En passant par les **bras robots télécommandés**, permettant (entre autres) à l'opérateur de ne pas se situer dans une zone à risque. Dans ce cas, l'opérateur ne réalise plus le geste technique. Il « conduit » le robot. Le robot réalise le geste et permet à l'opérateur d'éviter les risques d'accidents.



HRP-5P appearance (left) and HRP-5P carrying an approx. 13 kg board (right)

- Jusqu'aux **robots autonomes**, qui sont capables de réaliser plusieurs tâches en autonomie. Dans ce cas, l'opérateur, ou des algorithmes d'Intelligence Artificielle, supervisent le robot mais n'interviennent ni pour les gestes techniques ni pour piloter « pas à pas » ce que le robot doit faire..



Bouygues Entreprises France Europe a réalisé, en partenariat avec l'Université de Nantes, **la première maison imprimée en 3D** Première d'une longue série, Yhnova a la particularité d'avoir une forme architecturale complexe, avec ses murs courbes et ses angles arrondis.<sup>7</sup>

## 2 Place de la France dans la robotisation

Les exemples de développement de nouvelles applications de la robotique semblent montrer que la France est bien présente dans la dynamique de robotisation et l'élargissement de ses applications. En réalité cette impression est trompeuse.

En 2020, **2,7 millions de robots sont installés dans le monde dont 580 000 unités en Europe et seulement 42 000 en France** d'après le rapport « World Robotics 2020 Industrial Robots » paru le 24/09/2020.

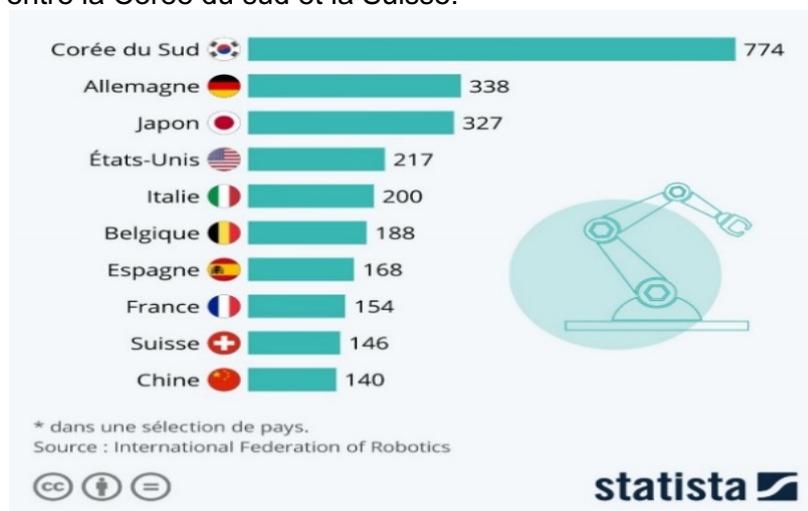
La France est en retard sous les deux aspects :

- Utilisation des robots dans son industrie.
- Conception et production de robots

<sup>7</sup> <https://www.bouygues-construction.com/realisations/yhnova-maison-imprimee-en-3d/>

## 2.1 L'utilisation des robots dans l'industrie

Malgré l'apparence universelle des économies modernes et développées, l'observation des différents pays montre des situations très contrastées avec des taux de robotisation variant d'un facteur 5 entre la Corée du sud et la Suisse.



### Classement des pays les plus « robotisés » au monde

Nombre de robots pour 10 000 employés dans le secteur industriel (2019)

Les explications de telles différences peuvent être recherchées dans la situation de l'emploi comme en Allemagne ou au Japon. En Allemagne, le choix de la robotisation est lié à une triple problématique de :

- recherche de production à qualité constante,
- vieillissement de la population,
- taux de chômage très faible.

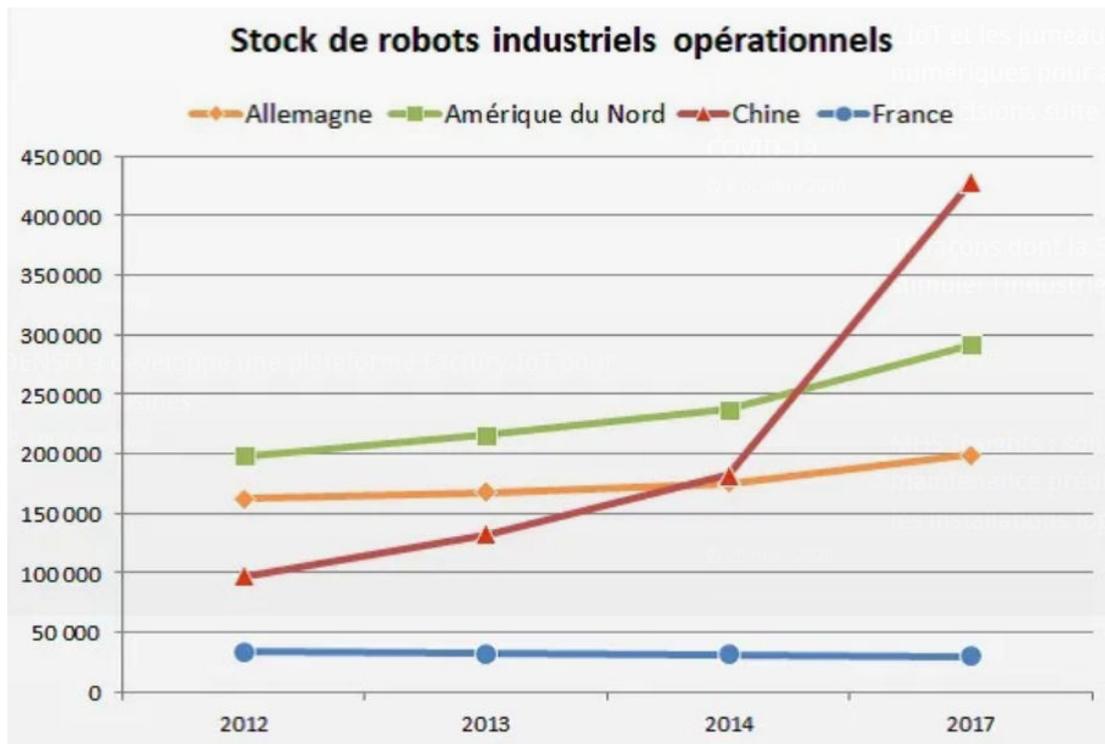
Le Japon est un des pays les plus impliqués dans l'introduction de robots dans les chaînes de montage mélangeant les hommes et les machines. N'oublions pas le plan quinquennal japonais de 2015 « industrie 4.0 » qui a stimulé les entreprises japonaises à robotiser encore plus leurs chaînes de production pour répondre à la problématique du vieillissement de sa population. La Corée du Sud a également lancé son « plan pour la 4<sup>ème</sup> révolution industrielle » en Corée.

Pour ces raisons démographiques et les choix stratégiques politiques faits, on retrouve ces trois pays en tête de la robotisation des pays dans le monde.

NB : le plein emploi est une réalité dans ces pays et le coût de la main d'œuvre a peu évolué en proportion.

D'autres pays, en l'occurrence l'Italie et la France, ont amorcé leur « robotisation », mais sur une dynamique nettement plus faible que celle de l'Allemagne, dynamique qui stagne à partir de 2008. Cela pourrait être lié à plusieurs facteurs comme :

- l'importance du chômage structurel dans ces pays,
- un coût moindre de la main-d'œuvre rentrant dans l'équation économique,
- les aides apportées aux emplois,
- à la réticence de la société civile vis-à-vis de cette évolution considérée comme destructrice d'emplois.



La « stagnation robotique » française dure jusqu'en 2017 alors que le nombre de robots explosait en Chine, et continuait à augmenter régulièrement en Allemagne et en Amérique du Nord.

## 2.2 La conception et la fabrication des robots

La politique de désindustrialisation mise en œuvre dans les années 70-80 a orienté notre économie vers l'économie de service. Le marché de la consommation intermédiaire de l'industrie devenant atone en France, les investisseurs ne se sont pas orientés vers la mise en place de ce nouveau marché que constitue la production de robots. Le retard pris par rapport aux autres pays ayant fait le choix au contraire d'une économie gardant une forte caractéristique industrielle se fait aujourd'hui sentir.

La réticence marquée vis-à-vis de la robotisation n'a pas non plus joué en faveur du développement d'une industrie de production de robots en France et a, de fait, entraîné la disparition des quelques acteurs existant dans les années 70.

Le rapport « Technologies clefs 2020 » élaboré par la Direction Générale des Entreprises du Ministère de l'Économie, publié en 2016, évalue ce marché mondial à 20 milliards d'euros en 2020 (dont 65% de robotique industrielle, 23% de robotique de service professionnel et 12% de robotique personnelle). Malgré des compétences certaines, une recherche active dans ce domaine et quelques tentatives, la France n'occupe plus une place significative dans cette activité industrielle face aux champions mondiaux que sont le Japon, l'Allemagne, la Suisse ou les USA.

Il est donc paradoxal de constater que, dans le même temps, **la France s'est hissée au 4ème rang mondial pour la recherche en robotique** et que ses universités et écoles d'ingénieurs proposent des formations de haut niveau en robotique (par exemple : l'ISIR de Sorbonne Université ex-UPMC, unité ENS/CNRS/INRIA...)⁸. Les activités de recherche dans ce domaine sont reconnues d'excellent niveau, en particulier du fait de la synergie exploitée

⁸ <http://www.isir.upmc.fr/>

avec celles menées dans des domaines connexes comme l'IA. Le laboratoire LAAS du CNRS à Toulouse par exemple jouit dans ce domaine d'une reconnaissance internationale. Créé par le CNRS en 2007, le groupement de recherche en robotique (GDR Robotique) réunit plus de 1200 chercheurs et ingénieurs relevant de différents établissements publics et privés.

Mais en France, la recherche se trouve disséminée en petites équipes de recherche sans moyens d'entretenir de grosses infrastructures matérielles. Les projets, limités dans le temps, ont permis d'acquérir des plateformes matérielles. C'est à ce titre que le réseau national de plateformes expérimentales ROBOTEX9 (2011-2020), a enrichi les équipements des équipes dans le cadre des investissements d'avenir. Mais le support et la maintenance de ces équipements lourds ne sont pas assurés dans la durée or les recherches en robotique ont besoin de ces plateformes de démonstration pour progresser.

Des bases et des atouts existent donc pour corriger la situation actuelle, mais ils nécessitent encore d'être renforcés et pérennisés grâce, entre autres, à une meilleure organisation de la recherche (financement, planification, orientation, regroupement, pôles d'excellences ...).

Dans cette logique, la mise en place d'un organisme de type « **Institut de la Robotique** » est souhaitable. Cet Institut, doté des plateformes expérimentales, pourrait exploiter une forte synergie en couvrant aussi les robots militaires, au moins pour les technologies génériques. et pourrait être complété par une structure de type IRT ou équivalent.

En l'absence d'une telle action volontariste pour la filière, la non-présence dans la partie amont de la chaîne de valeur industrielle globale pourrait devenir un frein pour la reprise de la dynamique de robotisation que l'on observe en France depuis 2018. Cette dynamique serait certainement très utile et probablement indispensable au succès du processus de relocalisation/réindustrialisation souhaité pour la France.

Une telle absence priverait aussi la France d'un secteur d'activités de haute technologie à forte valeur ajoutée et d'une grande partie des emplois de haut niveau associés nécessaires à la conception, à la réalisation et à l'usage des robots.

### 2.3 Le redécollage récent de la robotisation industrielle en France

En 2018, les entreprises françaises ont commencé à s'engager dans un rattrapage après avoir reconsidéré leur stratégie par rapport à la robotisation au vu des succès économique (croissance régulière et supérieure à celle de la France) et social (peu de chômage dans les pays concernés par la robotisation).

"La France réalise une incroyable réussite sur la production intelligente avec des robots industriels. Les installations annuelles ont augmenté au cours de la période 2014-2019 de 18 % en moyenne par an", déclare Milton Guerry, président de la Fédération internationale de robotique.

. Extrait d'un article de la Dépêche du 27/09/2020 <sup>10</sup>;

L'industrie cliente la plus importante est bien sûr l'automobile, avec une part de 40 % des installations en 2019, mais dans l'industrie générale, les installations ont augmenté de 11 %.

"Aujourd'hui, la France fait partie des 3 premiers utilisateurs de robots industriels au sein de l'Union européenne : son stock opérationnel d'environ 42 000 unités est environ le double du stock du Royaume-Uni qui compte 21 700 unités. Le principal utilisateur de l'UE reste l'Allemagne qui dénombre un stock opérationnel d'environ 221 500 unités, soit environ cinq

<sup>9</sup> <http://equipex-robotex.fr/>

<sup>10</sup> <https://www.ladepeche.fr/2020/09/27/un-nombre-record-de-robots-installes-en-france-9099867.php>

fois le stock de la France – suivi de l'Italie avec un stock opérationnel de 74 400 unités", indique la Fédération internationale de robotique, qui souligne qu'"à long terme, les avantages de l'augmentation des installations de robots restent identiques : la production rapide et la livraison de produits personnalisés à des prix compétitifs."

Même si ces informations montrent que l'évolution est positive, la situation en France reste très insatisfaisante comme le montre l'analyse, réalisée par l'Insee, de la répartition des robots en fonction de la taille des entreprises <sup>11</sup>.

<b>Encart n 3 - Usage de la robotique par secteur et taille (en %)</b>			
dans les sociétés de 10 personnes ou plus, implantées en France, des secteurs principalement marchands, hors secteurs agricole, financier et d'assurance.			
	<b>Part des sociétés ayant :</b>		
	<b>un robot industriel ou de service</b>	<b>un robot industriel</b>	<b>un robot de service</b>
<b>de 10 à 19 personnes</b>	5	3	2
<b>de 20 à 49 personnes</b>	9	7	2
<b>de 50 à 249 personnes</b>	14	11	5
<b>250 personnes ou plus</b>	27	22	12
<b>Ensemble</b>	8	6	3

- En 2018, 5 % des sociétés de 10 à 19 personnes disposent d'au moins un robot industriel ou de service, 3 % disposent d'au moins un robot industriel et 2 % d'au moins un robot de service.
- Mais, globalement, seules 8% des sociétés, quelle que soient leurs tailles, disposent d'au moins 1 robot. Il s'agit d'un pourcentage globalement très faible. Cela signifie que 92% des sociétés n'ont pas de robot...
- Seul 1/4 des « grosses entreprises » utilisent des robots !
- Enfin le tableau semble mettre en évidence un effet de seuil attaché à la taille de l'entreprise.

La France et l'Italie viennent de décider de réinstitutionnaliser les plans quinquennaux. L'idée est de « rééclairer l'action publique d'une vision de long terme », expliquait le Premier Ministre, ainsi que de préparer "l'après-coronavirus" sur les plans économiques, sociaux, etc.

Mais, comme vu précédemment, à côté de l'effet favorable généré par une intégration importante de robots dans l'industrie, d'autres éléments doivent être considérés. Il s'agit, d'une part, **des richesses supplémentaires créées, et, d'autre part, des emplois qualifiés générés par l'intégration d'une industrie du robot industriel** dans la chaîne de valeur globale du pays. Trois des pays les plus performants au niveau économique possèdent cette caractéristique d'être à la fois de gros producteurs de robots et d'être dotés d'industries fortement utilisatrices de robots.

Nul doute que la robotisation de l'industrie dans la démarche de réindustrialisation, et les débats qui lui seront associés, pourraient donner au renouveau français une dynamique à la

<sup>11</sup> Source : Insee, enquête TIC 2018.

hauteur des enjeux du redéploiement de l'industrie et permettre en particulier le développement en France d'entreprises concevant et produisant des robots.

## 3 Robots et robotisation : éléments d'analyse et perspectives

### 3.1 Robots et usages – évolutions techniques en cours et à venir

Les évolutions envisagées pour les robots industriels visent à les rendre plus adaptables, plus « intelligents », plus autonomes, tout en étant plus sûrs pour l'homme.

Historiquement, la protection de l'homme a été traitée en premier, d'abord par l'isolement physique, puis par l'équipement des robots de capteurs et de logiques établissant un périmètre de sécurité autour de lui. Ensuite l'exploitation de l'adaptabilité « naturelle » des robots est venue rapidement afin de maximiser la rentabilité d'un investissement souvent important. A l'origine, cette adaptabilité a été recherchée dans la programmation et la capacité du poste de travail à traiter différents produits sans reconfiguration lourde (adaptabilité passive). Avec l'évolution des capteurs et des systèmes de traitement de l'information, l'adaptabilité d'un robot est devenue plus intégrée au système (prise en compte des variabilités d'une pièce brute par exemple).

Aujourd'hui les travaux de recherche permettent d'envisager des progrès sur les 3 axes suivants :

- améliorer l'autonomie des robots,
- accroître les possibilités offertes par la cobotique,
- optimiser l'usage des robots dans les processus de production.

Dans ce paragraphe, nous mettrons l'accent sur trois pistes répondant à ces objectifs :

- l'intégration croissante de l'Intelligence Artificielle (IA) dans le robot : des moyens augmentés de perception et d'action,
- l'intensification de la relation homme machine,
- l'introduction du jumeau numérique : outil de conception, d'optimisation, de simulation, et d'intégration du robot dans la chaîne de production.

#### 3.1.1 L'intégration croissante de l'IA dans le robot

Sous le terme d'IA (« Intelligence Artificielle », parfois au pluriel), on a tendance à regrouper l'ensemble des **techniques permettant à des machines d'accomplir des actions ou de résoudre des problèmes initialement réservés aux humains**, et qui peuvent paraître très simples, comme par exemple reconnaître des objets dans une image. Mais cette capacité peut être très complexe à modéliser puis à programmer. Il ne s'agit pas de doter la machine d'une réelle intelligence, mais de lui permettre de réaliser des tâches complexes égalant voire dépassant les performances d'une personne humaine dans des domaines bien définis et qui peuvent être très variés : optimiser un trajet, éviter un obstacle, calculer un temps de parcours, repérer une anomalie sur une radiographie ou un équipement industriel, jouer aux échecs ou au jeu de go.

Dans un rapport réalisé par un cabinet de consultants pour le Pôle Interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations Economiques (PIPAME) et remis en février 2019<sup>12</sup>, trois grandes catégories de tâches cognitives sont repérées comme permettant des progrès considérables de la robotique grâce à l'IA :

- la **perception par la machine de son environnement** (vision par ordinateur, traitement automatique du langage),
- la **compréhension des situations** par la machine,
- la **prise de décision** par la machine.

Même si le rapport pointe que certaines tâches de compréhension et de décision prises par les humains restent encore aujourd'hui hors de portée des outils d'IA dont nous disposons, cette frontière entre l'homme et l'IA tend à se réduire. C'est entre autres l'enjeu du développement des techniques d'apprentissage telles que le **Machine Learning** et le **Deep Learning** qui, en « entraînant » des IA, visent à les rendre capables de réagir devant des situations non apprises. Appliquées à la robotique ces techniques ouvrent de larges perspectives d'utilisation dans des domaines comme le contrôle, l'inspection ou l'interaction homme-machine.

#### Encart n° 4 : **Machine Learning et Deep Learning**

Deux des techniques algorithmiques qui permettent de résoudre des problèmes complexes et mettant en jeu des volumes de données très importants sans avoir recours à la programmation explicite :

- Le « **Machine Learning** » s'appuie sur des modèles mathématiques et des méthodes statistiques. Il existe plusieurs méthodes d'apprentissage automatique : l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage par renforcement qui repose sur une analyse des effets des actions du programme. Le Machine Learning est très utilisé en IA aujourd'hui par exemple pour le développement du véhicule autonome ou la maintenance prévisionnelle.

- Le « **Deep Learning** », ou apprentissage profond, fait référence à un type d'Intelligence Artificielle particulier utilisant notamment le modèle des réseaux de neurones pour générer des modèles grâce à l'apprentissage. Ils sont utilisés aujourd'hui pour des tâches de classification ou de contrôle, pour de la reconnaissance faciale, vocale ou encore le traitement automatisé du langage.

Ces processus d'IA consistent à faire ingurgiter à une machine de très nombreuses données et à faire en sorte qu'elle les mette en lien avec telle ou telle propriété recherchée.

Bien que ces technologies atteignent des niveaux de performance parfois supérieurs à ceux atteints pas des experts humains, **elles n'offrent pas encore une visibilité totale sur les mécanismes de corrélation qu'ils "construisent en interne" pour les atteindre**, et leurs performances réelles ne peuvent pas être vérifiées après mise en service. Ces performances, donc la confiance que l'on peut avoir dans le comportement des robots ainsi pilotés, reposent sur les outils de programmation utilisés en conception et mise en œuvre. Dans ce contexte, seul un processus rigoureux de certification des acteurs et des outils peut répondre à ce souci et devient de plus en plus nécessaire. Toute une branche de recherche est actuellement en marche vers une IA de confiance, voire une IA prouvable ; les avancées de cette recherche pourraient à terme fournir les moyens de cette certification des résultats que l'IA permet d'obtenir.

<sup>12</sup> [https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence\\_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf](https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf)

### 3.1.2 L'intensification de l'interaction homme-machine et de la cobotique

Ce domaine, qui implique une situation de travail collaboratif entre des hommes et des robots se pratique déjà, mais à très faible échelle du fait de la question de la sécurité des hommes face à des robots dont la « force » dépasse souvent largement la capacité de résistance d'un homme.

Des situations simples de risque sont déjà traitées grâce aux capteurs disponibles et à des logiques de décision simples.

- Lorsque des robots transporteurs se déplacent au sein d'une usine pour transporter des masses importantes au milieu d'hommes intervenant également sur l'espace partagé, **qui a la priorité ?**
- Dans les programmes actuels l'homme a toujours la priorité. **Le robot doit s'arrêter.**



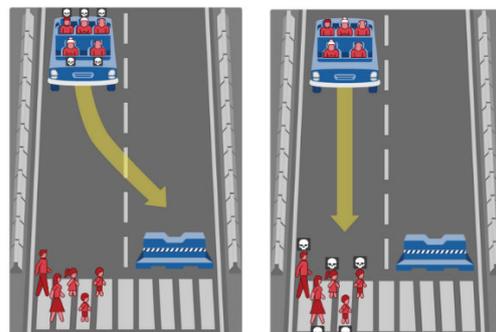
L'utilisation des capacités de l'IA par les robots augmentera significativement leur capacité de décision ainsi que la complexité des décisions qu'ils pourraient prendre. Par exemple, dans le cas précédent, on pourrait imaginer que le robot, au lieu de s'arrêter puisse décider entre une modification d'itinéraire, un signal d'alerte ou une autre option qu'il choisirait en fonction de sa perception de l'espace proche et de sa connaissance de l'environnement plus large.

De telles capacités rendraient la cobotique plus souple et plus « sûre » et lui permettraient certainement de se développer de façon importante.

L'application la plus complexe envisagée pour de telles capacités est celle envisagée pour la conduite des voitures autonomes avec une question très « délicate » à traiter :

Quel choix faire pour un robot conducteur de véhicule lorsqu'un accident est inévitable ? Comment choisir entre des victimes possibles, entre des jeunes, des vieux ou les occupants du véhicule ? Comment introduire de l'éthique dans le choix ?

- A l'analyse, il semblerait que selon la civilisation et sa culture, les choix soient différents, d'où l'idée de programmer les robots conducteurs en fonction du pays ou de laisser le choix à l'acquéreur de définir la règle éthique applicable.



Cette application de l'IA à la « **conduite automatique** » est rendue très difficile d'une part par la très grande variété des situations pouvant être rencontrées dans une utilisation en conditions de conduite dans le domaine public sur routes ouvertes, et d'autre part par la complexité juridique de l'établissement et du partage des responsabilités en cas de problème grave.

**Il en est tout autrement dans une entreprise**, milieu contrôlé, où des règles de comportement peuvent être instituées et respectées et où la responsabilité ultime est assumée par la direction de l'entreprise. L'existence de ces conditions d'application pratiques plus simples devraient permettre un développement rapide de ce type d'application dans les entreprises. Les entreprises ont su prendre en main et gérer le sujet de la sécurité au travail, en particulier les risques associés à l'utilisation des machines-outils ou des engins de manutention des très grosses charges dont les dangers s'apparentent à ceux auxquels expose l'utilisation des robots. Elles doivent pouvoir intégrer de telles « machines » dans leurs unités de production sans accroissement du risque « Sécurité au Travail ».

Au-delà de la « cohabitation », l'objectif de la cobotique doit être la « coopération » qui nécessite respect mutuel entre les acteurs et surtout capacités de communication et d'échange.

Quelle méthodologie adopter pour construire la relation de commandement des robots ?

Chercher la réponse adaptée à cette question fait bien sûr partie de la dimension cobotique. Lorsque les informaticiens se penchent aujourd'hui sur la programmation des robots qui vont interagir avec des hommes, ils se doivent d'intégrer dans la programmation et les ajustements ces éléments comportementaux. Pour que les robots restent au service des hommes, il convient d'intégrer ces aspects dans l'approche de l'insertion des machines dans les processus de fabrication des objets.

### 3.1.3 L'introduction du Jumeau Numérique

Depuis plusieurs décennies les constructeurs d'automobiles ont pris l'habitude, du fait de l'importance des investissements de production dans cette industrie, de marier outil de production et produit dès la phase de conception du produit afin d'optimiser l'économie globale des programmes (investissement et dépenses récurrentes).

Cela se traduit par la modélisation voire la simulation de la chaîne de production et des éléments robotisés qu'elle comportera, que ce soit sur les plans statique ou dynamique. Cela comprend naturellement leurs aspects topologiques, géométriques et dimensionnels. Mais cela peut aller, comme dans tout système complexe, jusqu'aux flux d'informations de contrôle-commande et de données numériques ou physiques échangées ou circulant dans le système de production robotisé. On comprend dès lors l'intérêt d'une telle modélisation-simulation, effectuée en phase de conception, dans l'exploitation ultérieure ou la maintenance de ce système. Avec l'augmentation des capacités de modélisation et de simulation cette pratique s'est développée, enrichie et théorisée pour aboutir au concept du « jumeau numérique ».

Le jumeau numérique, aussi appelé « Digital Twin » est la copie virtuelle d'un système physique complexe. Il constitue la modélisation numérique d'un système réel et de son fonctionnement. Véritable réplique d'un système physique ou d'un processus, il permet de reproduire des fonctionnalités et de simuler les fonctionnements et performances escomptés du système réel. Cette technologie est une des bases du modèle de l'industrie 4.0<sup>13</sup>.

Concept forgé et introduit en 2002 par le Dr Michael Grieves, enseignant à l'Université du Michigan, il permet, en examinant un grand nombre d'hypothèses lors de la phase de conception, de sélectionner les meilleures solutions plus rapidement et d'assurer un suivi des évolutions des systèmes.

Du fait de la facilité de modélisation du comportement d'un robot et de la souplesse d'utilisation du jumeau numérique, le concept et la démarche trouvent un terrain d'application très favorable dans le cadre de la robotisation, de la conception du ou des produits et du site de production.

---

<sup>13</sup> L'industrie 4.0 a été formalisé dans le cadre du plan quinquennal japonais « industrie 4.0 » de 2015

Pendant la phase de conception d'un produit, la simulation numérique est utilisée pour valider les hypothèses d'architecture de processus définies en amont du projet.

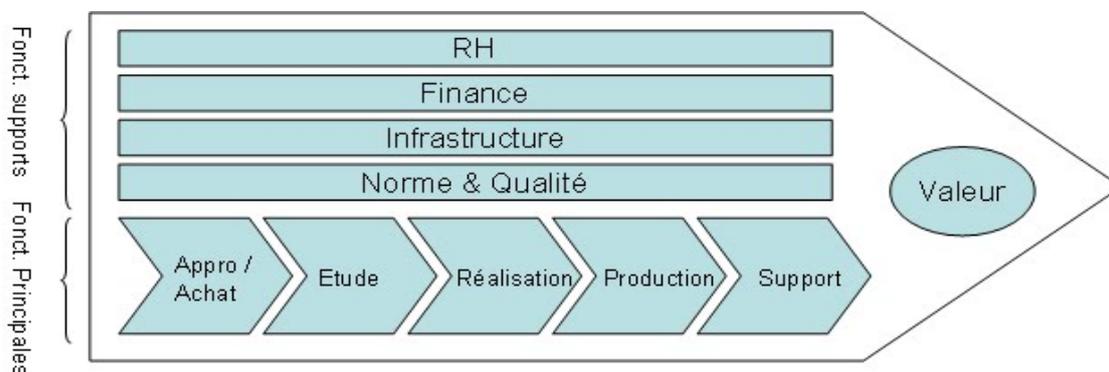
La chaîne de fabrication (parfois l'usine) est conçue en parallèle du produit afin d'optimiser les résultats, technique et économique. Le support de la simulation robotique permet, après avoir intégré toutes les variables du projet (définition numérique du produit, modélisation des outillages et de l'environnement 2D/3D), de simuler les systèmes (robotisés, automatisés ou humains) et de faire évoluer les paramètres d'entrée (produit, outillage ou implantation) jusqu'à obtenir un process viable et optimisé, répondant aux attentes de l'industriel (respect des cadences de productions, qualité du produit fini, ...).

Après la validation du processus intervient la mise en service virtuelle ou « *Virtual Commissioning* ». Il s'agit de répliquer le comportement d'un environnement de fabrication physique avec un système logiciel afin de fournir un environnement virtuel permettant aux ingénieurs automaticien / roboticien de valider leurs logiques d'automatisation (Automate ou Contrôleur robot) et IHM (Interface Homme Machine) avant la mise en service dans l'environnement de production, autrement dit, d'éditer et de tester les programmes robots et autres logiques automates depuis la simulation. Cela permet de réduire le temps d'intervention des roboticiens lors de la phase chantier sur site et d'introduire plus aisément des ajustements et modifications en phase d'exploitation.

Ainsi, le jumeau numérique couple les modèles mathématiques et les modèles 3D, au plus près du système réel à représenter. L'industrie l'utilise pour surveiller, maintenir et optimiser ses machines et ses produits mais également pour avoir une représentation de leur processus de production dans sa globalité. Les robots permettant aux industriels de collecter facilement de nombreuses informations et données et les données du « passé » permettant de connaître l'état d'un système, l'usage du jumeau permet de s'interroger sur les états futurs et ainsi de pouvoir identifier les évolutions à apporter au système.

### 3.2 Chaîne de valeur et Robotisation

La « Chaîne de valeur » est d'abord une démarche stratégique permettant aux entreprises d'identifier les activités génératrices de valeur au sein de leur organisation. Appliquée au périmètre strict de l'entreprise cette démarche permet facilement d'identifier quelles sont les activités (quelles soient de production ou administratives) dont la robotisation totale ou partielle pourrait aboutir à une augmentation de la valeur créée par l'entreprise.



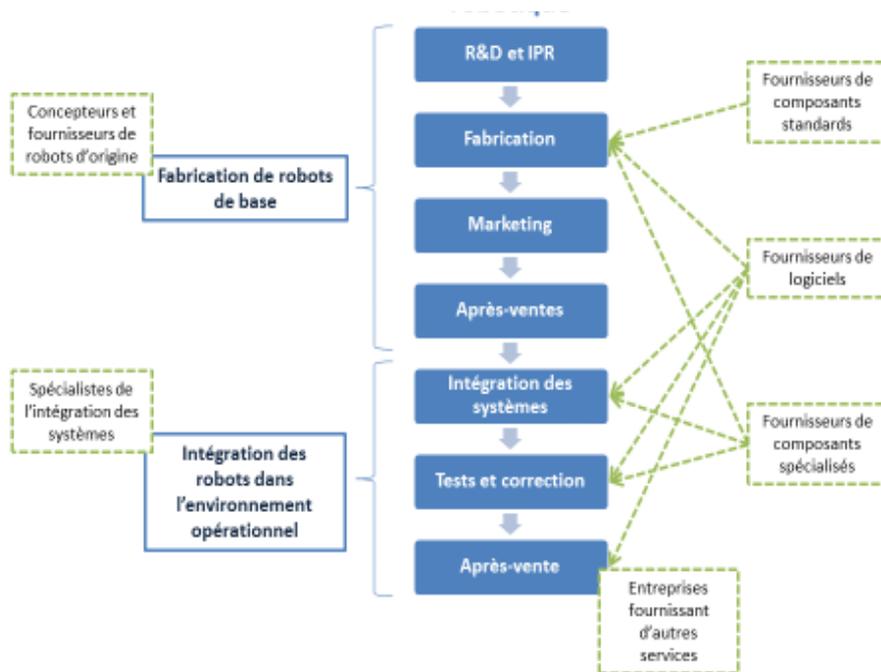
**Représentation classique de la chaîne de valeur**

L'introduction de la robotisation dans toutes les fonctions principales ou les fonctions supports modifiera à terme la structure du coût et permettra de modifier la valeur dégagée. Il faut noter que l'objectif est de redistribuer les coûts en introduisant la robotisation dans

chacune des composantes du cout d'un bien ou d'un service produit pour, à terme augmenter la valeur dégagée.

Mais dans le tissu industriel d'un pays ou d'une zone géographique, la chaîne de valeur globale est déterminée par la somme des chaînes de valeur de l'ensemble des entreprises impliquées dans l'élaboration du produit. Ainsi il faut intégrer les dimensions micro économique et macroéconomique de l'intégration de machines dans la chaîne de valeur globale vue au niveau national pour porter un jugement sur l'intérêt ou la bonne stratégie à suivre dans l'utilisation de la robotisation dans le processus de réindustrialisation actuellement envisagé.

En l'absence d'étude crédible relative à la part contributive à la création de valeur de la présence d'une industrie de conception et fabrication de robots dans la chaîne globale, il est difficile d'évaluer l'importance qu'il y aurait à intégrer un plan de régénération d'une industrie des robots dans une réindustrialisation s'appuyant sur la robotisation.



Toutefois les constats suivants peuvent être faits, ou rappelés pour certains (cf § 2.1, 2.2) :

- le classement des principaux pays producteurs robots dans le monde établit l'ordre suivant : le Japon est le leader incontesté suivi de l'Allemagne, de la Suisse et des USA,
- l'alliance historique Nippo-Coréenne est importante et est au cœur de la robotisation de la Corée du Sud,
- ces pays sont fortement industrialisés,
- les pays de l'OCDE ayant les meilleurs résultats économiques et un des plus forts taux d'activité de la population active sont les suivants : Le Japon, l'Allemagne et les USA,
- ce sont également les pays qui ont développé une industrie nationale du robot.

Ces constats nous amènent à déduire qu'il est très probable que la maîtrise de la filière industrielle « robots » constitue un atout, indispensable aux plans technique, économique et sociétal, pour réussir et profiter pleinement d'une robotisation massive et faire que cette stratégie industrielle dégage des marges tant à l'échelle de l'entreprise qu'au niveau national, en particulier par la part de valeur créée par cette partie amont ainsi que par les emplois qualifiés ou très qualifiés qui y sont attachés.

Pour fournir une image de cette partie de la chaîne de valeur complète, il convient de préciser qu'en amont de la partie industrielle utilisatrice, cette chaîne a une structure qui peut être fragmentée. En effet, entre le fournisseur de robots et l'utilisateur final s'insèrent de nombreux acteurs, fournisseurs de produits (logiciels de pilotage, accessoires ...) ou de services (conception système productif, intégration, formation, maintenance...). Dans une démarche volontariste de prise de contrôle de la partie amont de cette chaîne, sa fragmentation peut se révéler favorable car certaines des activités impliquées sont bien adaptées à des ressources déjà disponibles en France comme les parties logiciels ou intégration, par opposition aux fournitures de type « machine-outil », et ne nécessiterait donc qu'un investissement limité.

L'introduction de robots dans les chaînes de production peut compenser le vieillissement de la population et réaliser le travail pénible et répétitif. Dans ces cas, il sera accueilli positivement par les personnes intervenant dans la chaîne de production.

En revanche, si le taux de chômage est élevé, ou que le salarié remplacé par le robot ne retrouve pas un emploi au moins aussi bien rémunéré, les travailleurs verront d'un mauvais œil l'arrivée de ces « concurrents ». Ce rejet peut être compensé soit par la montée en gamme du travail (et donc de la rémunération du travailleur) soit par l'intégration dans le pays des chaînes de création et de production du robot.

Mais, préalablement à la robotisation de certaines activités, deux points nécessiteront une attention particulière :

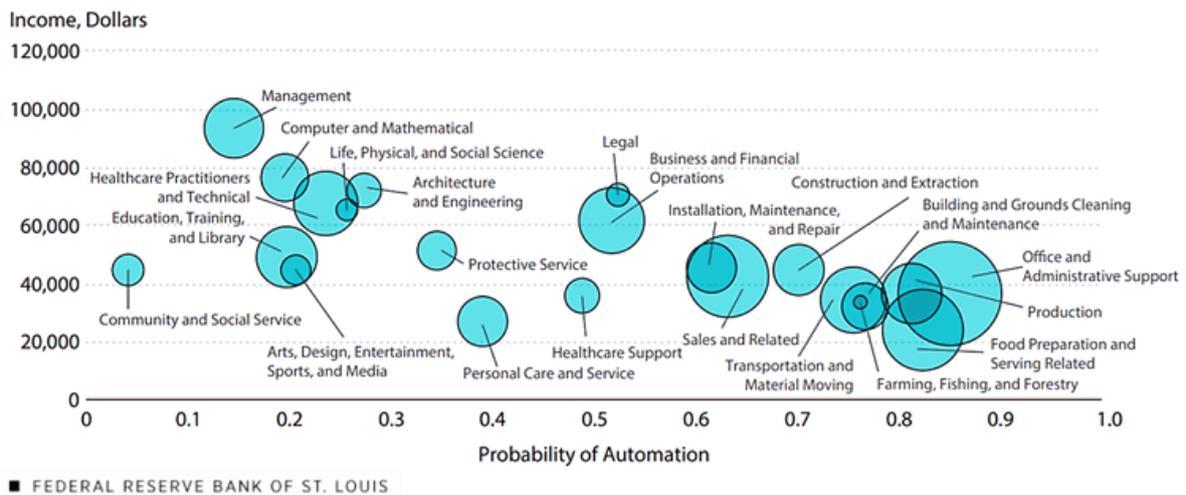
- la représentation sociale du robot,
- la formation nécessaire au pilotage d'un robot.

Par surcroît, l'évolution actuelle poussant à la « cobotique » le robot devra intégrer une dimension culturelle propre au pays. Il est donc important de pouvoir créer ses propres robots pour y intégrer ses propres aspects socio-culturels.



Le robot « Nextage » au milieu de ses "collègues". Source NIKKEI ASIAN Revi

### 3.3 Autres facteurs influençant la robotisation des processus de production



Probabilité d'automatisation de différents postes et niveaux de rémunération (qualification) correspondants<sup>14</sup>

Des études ont cherché à définir le rapport entre la probabilité d'automatisation et de robotisation des catégories de métiers avec le coût (et donc l'économie attendue) relatif de ce métier. La surface de chaque bulle représente le volume financier de l'activité que la substitution des personnes par des robots pourrait engendrer.

Cette substitution va générer une modification de la valeur globale de la production. Les premiers qui sauront intégrer ces changements bénéficieront à plein du gain dans la chaîne de valeur. On constate sur ce graphique que les métiers les plus susceptibles d'être impactés sont des métiers avec des tâches simples et répétitives et/ou pénibles, ainsi que ceux demandant peu de prises de décisions aléatoires et sans fondements apparents et/ ou sans appréhension de dimension humaine sous-jacente.

### 3.4 Pourquoi robotiser aujourd'hui, hors situation de plein emploi ?

Trois réponses principales à cette question :

**Productivité,**

**Conditions de travail,**

**Opportunité.**

#### 3.4.1 La productivité, la compétitivité et la rentabilité

- **Réduction des coûts de main-d'œuvre**

Le premier facteur de rentabilité du robot est la diminution de la part de la main-d'œuvre dans le prix de revient du produit fabriqué. Capable de travailler en 3x8 de façon constante, le robot peut réaliser les tâches de plusieurs opérateurs. Son coût et sa présence constants permettent de garantir une capacité de production de qualité et en volumes souhaités dans des délais définis.

- **Diminution des stocks et encours**

La configuration du robot en cellule de production permet de regrouper plusieurs opérations sur un seul poste. Ainsi au lieu de produire des lots de pièces ou de produits qui circulent de poste en poste avec des stocks de pièces entre chaque, la cellule robotisée permet

<sup>14</sup> <https://www.stlouisfed.org/open-vault/2019/october/workplace-automation-should-we-fear-robots>

d'enchaîner plusieurs étapes et ainsi de réduire la durée des cycles de production et les stocks intermédiaires.

- **Amélioration de la qualité**

Le robot a l'avantage de réaliser des opérations d'une qualité supérieure à celle obtenue par un opérateur, et surtout constante. Les premiers bénéfices constatés à la suite de l'implantation d'un robot sont souvent la diminution du taux de rebuts et l'amélioration globale de la qualité. L'automatisation facilite également la traçabilité de la production et donc le suivi de la qualité. À terme, l'entreprise réduit les opérations de reprise sur pièces et le taux de retours, ce qui induit en plus des gains significatifs une revalorisation de l'image.

- **Flexibilité de la gestion de production**

Le robot industriel confère une flexibilité à la gestion de production :

- il peut fonctionner seul, un temps donné, sans assistance humaine. L'opérateur programme le robot selon le type de pièce à manipuler ou des opérations à effectuer et ce dernier est ensuite capable de travailler de nuit ou le week-end, mais aussi, selon la longueur du cycle, 24 h/24 pendant plusieurs jours.
- la flexibilité d'un robot s'illustre aussi par sa capacité à s'adapter à des tâches différentes tout au long de sa vie : en changeant les équipements périphériques et en le reprogrammant pour de nouvelles tâches, il peut être affecté à des opérations différentes selon les impératifs de production.
- Contrairement à une machine spéciale, le robot est un produit standard, facile d'entretien et réutilisable. Les constructeurs garantissent au robot une durée de vie pouvant atteindre vingt ans. Les pièces d'un robot sont généralement standard, ce qui garantit leur remplacement éventuel en cas de panne.

### 3.4.2 L'amélioration des conditions de travail et de sécurité

La sécurité au travail est une préoccupation importante, dont l'employeur et les CCST (ex CHSCT) sont garants. La robotique est un facteur clé de la transformation des conditions de travail, par la diminution voire la suppression de tâches dangereuses.

La robotisation est un moyen de transférer sur une machine la charge de contraintes qui pesaient précédemment sur le salarié. Par exemple, les contraintes de rendement engagent nécessairement l'adaptation des moyens de production : les opérateurs humains à eux seuls ne peuvent pas assumer ces nouvelles exigences, à moins qu'ils ne soient très nombreux et moins bien payés.

Les robots peuvent soulager les opérateurs sur les postes de travail contraignants, fatigants, dangereux qui peuvent impacter leur santé, par exemple : les TMS.

Les robots ont ainsi la vertu de prendre en charge les tâches les plus pénibles et de laisser les employés se concentrer sur d'autres tâches, plus valorisantes. À ce stade, il est important de noter le décalage existant entre l'appréhension existante à l'arrivée du robot et la satisfaction, voire la fierté, des opérateurs établis dans de nouvelles fonctions, lorsqu'ils constatent qu'il y a toujours des hommes et surtout qu'ils « domptent la bête » ! Ainsi, l'arrivée

du robot contribue à valoriser les opérateurs, qui se voient déchargés des tâches rébarbatives et pénibles, au profit de missions plus intéressantes à leurs yeux.

### 3.4.3 Un levier de relocalisation ou de non-délocalisation

#### Encart n° 5 : Focus Macro-économique

Les **robots et la robotisation** permettent l'amélioration de la productivité, de la compétitivité des entreprises et peuvent augmenter la sécurité des postes de travail. Flexibilité accrue, régularité et qualité améliorées conduisent à une meilleure gestion de production et à la compression des délais de fabrication et de livraison : deux paramètres majeurs qui déterminent le degré de compétitivité et d'attrait d'une entreprise.

En **économie « fermée »** cet atout peut permettre à un acteur une différenciation forte de la concurrence et un développement au détriment des autres acteurs. Il faut noter que dans un tel environnement la rentabilité de l'investissement initial sera rapide (et même très rapide).

En **économie « ouverte »** la vision est différente. La robotisation permettant de réduire un déficit de compétitivité éventuel doit faire partie intégrante (avec d'autres paramètres comme l'amélioration de la formation ou la montée en gamme...) des démarches de relocalisation et d'industrie 4.0. Le calcul du retour sur investissement sera plus complexe, impliquant la prise en compte de nombreux paramètres, comme ceux cités précédemment en y ajoutant par exemple l'analyse de la capacité de réaction de la concurrence et du déplacement de l'avantage dans la chaîne de valeurs de la production. Cette démarche doit intégrer les hommes dans ce nouveau processus de production et tenir compte de la capacité locale à fournir des équipements adaptés.

Au vu des avantages exposés, la robotisation apporte un gain de productivité qui peut contrebalancer, au moins partiellement, la concurrence des sources à bas coûts ou d'une démarche de délocalisation. Une machine installée en Chine ou en France coûte le même prix et consomme la même énergie...

La robotisation est donc à considérer comme levier d'une relocalisation « efficace » pour des activités redevenant effectivement compétitives grâce à cet atout et ne nécessitant pas un soutien étatique récurrent. Le résultat en serait la création sur le territoire national d'une plus grande part des richesses qui y sont consommées, la possibilité d'améliorer la capacité à exporter, et des emplois nouveaux à la clef.

## 4 Robots et industrie : des enjeux pour saisir l'opportunité

Leurrés par la conviction - ou l'illusion - que l'avenir de l'économie et de la croissance résidait dans les services et la consommation, le monde politique français et l'opinion publique ont laissé, pendant plusieurs décennies, l'industrie française s'affaiblir. Quelques filières ont tiré leur épingle du jeu (le luxe, l'aéronautique, l'agroalimentaire). D'autres secteurs ont beaucoup perdu (la chimie, la métallurgie ou la mécanique, les biens de consommation courante) et ainsi beaucoup affaibli les bases d'une industrie performante.

Aujourd'hui apparaît un consensus pour vouloir inverser cette tendance, et réindustrialiser et relocaliser. Dans ce nouveau contexte, plutôt favorable, il convient de tout faire pour ne pas

négliger l'atout que représente la robotisation pour réussir cette grande ambition à l'instar de ce qui se pratique déjà dans les grands pays industrialisés.

Une telle ambition nécessitera un fort soutien de l'état pour aider aux investissements, au développement d'acteurs nationaux en robotique, à la formation aux spécialités nouvelles nécessaires, au soutien à la recherche dans le domaine et aussi pour faire face au défi qu'est celui de donner une image positive des robots et de la robotisation.

Enfin trois sujets, particulièrement d'actualité, nécessiteront une attention particulière pour la préparation et le déploiement d'une robotique performante et acceptée.

## 4.1 Trois enjeux pour une robotisation réussie

### 4.1.1 La cyber sécurité – un enjeu majeur

#### Encart n° 6 : **Des cyberattaques en nombre**

Une enquête récente réalisée par l'IRT « System X » auprès de PME et TPE françaises permet d'estimer à plus de 700 M€ le coût additionné des attaques par cryptovirus. La probabilité annuelle d'être concerné se mesure désormais en pour cent, se situant entre 2 et 5% (soit entre 100 000 et 250 000 occurrences par an).

Aujourd'hui les entreprises sont, pour la plupart, sensibilisées à la cybersécurité de leurs systèmes d'information. Malgré ce degré de sensibilisation les cas d'intrusions, d'attaques, de prises de contrôle, de recueils d'informations ou de rançonnages sont encore fréquents et coûteux.

Cette situation n'est malheureusement pas celle que l'on rencontre lorsque l'on parle de robots ou de robotique, où la sensibilisation est notablement insuffisante compte tenu des conséquences beaucoup plus lourdes que pourraient avoir des cyberattaques dans ce domaine. Mis à part les quelques sociétés pratiquantes ou utilisant de façon significative la robotique et les robots, beaucoup des utilisateurs actifs ou potentiels pensent que les sujets de la cybersécurité et de la protection de ces systèmes peuvent être traités in-situ grâce à une bonne ségrégation entre les activités robotiques et celles du reste de l'entreprise et du monde.

#### **C'est rassurant, mais tellement illusoire.**

Les robots accumulent les caractéristiques à risques, dont en particulier les vulnérabilités cyber, de plusieurs types de produits :

- Comme tous les systèmes d'informations modernes, ils fonctionnent grâce à des ensembles informatiques juxtaposant des produits, de natures (puce circuits élémentaires, calculateurs, capteurs, liaisons ...) et d'origines diversifiées, pouvant cacher de sérieuses faiblesses ou failles de sécurité intentionnelles ou non.
- Les différents logiciels utilisés, intégrés dans le produit approvisionné, ou ajoutés pour l'usage local, organisés en couches successives, juxtaposés ou disséminés, intègrent en général des briques plus ou moins standards, d'origine souvent mal établie donc sans garantie du niveau de sérieux nécessaire à une bonne élaboration. De plus les éléments ajoutés localement ne bénéficient pas toujours des compétences en programmation nécessaires pour éviter les nombreux pièges « cyber » qui peuvent être générés à cette occasion.

- Ce sont des objets connectés qui reçoivent, utilisent, génèrent, recueillent et envoient des informations ou des ordres en relation avec d'autres systèmes d'information, Ces échanges, et les canaux qui les véhiculent constituent souvent des points faibles permettant de contourner les défenses du système central.

L'abondance de ces vulnérabilités potentielles, associée à l'importance que représente souvent l'activité des robots pour les entreprises, font des robots une cible de grand intérêt pour les malveillants quel qu'en soit l'objectif, simple perturbation, endommagement, rançonnage ... Ces attaques peuvent cibler le système Hardware (actions sur les composants électroniques pendant la fabrication du robot ou pendant son utilisation ou sa maintenance), le système d'exploitation (prise de contrôle du robot à distance), ou les programmes utilisés pour faire réaliser des tâches au robot (accès via les applications avec communications internet ou les bibliothèques partagées).

Dans le cas des robots de production, une cyberattaque peut être motivée par des raisons économiques ou politiques par un acteur souhaitant bouleverser la chaîne d'approvisionnement et créer un désordre. Dans tous les cas les conséquences économiques d'une attaque dans le secteur automobile ou agroalimentaire pourraient être sévères. Un des scénarios envisagés est celui d'une prise de contrôle des automates programmables régissant les mouvements de robots, les amenant à s'autodétruire en se cassant les bras. Le site de production est alors arrêté et si ce genre d'attaque est conduit simultanément sur de nombreux sites, les approvisionnements sont interrompus jusqu'à ce que les usines puissent être redémarrées.

Il est possible de faire le parallèle entre les impacts économiques d'une cyberattaque de ce type à ceux d'une catastrophe naturelle ou d'une pandémie telle que celle du Covid 19. Un des principaux défis durant la pandémie est de faire face à l'absence des employés du fait de la maladie ou de la mise en quarantaine. Or aujourd'hui dans le secteur de la production une grande partie des opérations sont effectuées par des robots seuls ou par des robots assistés par des opérateurs. En extrapolant et en considérant les robots comme une part de la force de travail, une cyberattaque sur le système robotisé d'une industrie aurait donc un effet similaire à celui d'une pandémie. En 2011, le Japon a connu un tremblement de terre et un tsunami qui ont causé l'arrêt de la chaîne d'approvisionnement des fabricants de voitures. Toyota a été obligé de fermer ses usines pendant presque un mois, ce qui a engendré une chute de 77% de ses revenus sur le trimestre. Une attaque coordonnée sur les sites industriels d'une grande entreprise et de ses principaux sous-traitants pourrait avoir le même effet. On connaît des hôpitaux qui ont subi des attaques les privant de leur système d'information. Un grand fabricant automobile français a eu à souffrir, dans l'une de ses unités de production, d'une attaque du même type sur ses moyens de production qui a entraîné l'arrêt de l'unité.

En général, et contrairement aux coûts de développement, à la sûreté de fonctionnement ou aux fonctionnalités proposées aux clients, la cybersécurité n'est pas, aujourd'hui, une priorité forte pendant les phases de conception et de fabrication des robots et ne devient souvent un sujet d'intérêt que dans la phase d'implantation opérationnelle. Cela devrait changer rapidement du fait, d'une part de l'utilisation croissante de la robotique dans les secteurs sensibles que sont le militaire, le médical, la production ou les voitures autonomes, d'autre part de l'interaction directe des robots avec l'homme et enfin de l'augmentation des activités d'attaques en tous genres dans ce domaine. [3].

La motivation apparaissant, encore faut-il que le travail de sécurisation et la recherche des solutions s'étendent à l'ensemble de la chaîne d'élaboration des robots et de leurs systèmes de commande, aussi bien lorsqu'un industriel prépare une opération de robotisation que quand l'état s'intéresse à cette filière d'investissement.

Dans ce contexte :

- **L'industriel utilisateur** devrait, en particulier lors de la phase amont d'étude avant approvisionnement, obtenir informations et assurances sur l'origine et la sécurité de tous les constituants « gestion de l'information » du produit envisagé jusqu'au niveau de la « puce », en exigeant, quand cela est possible, de s'appuyer sur des normes, des processus et des qualifications visant à garantir la qualité « cyber » du hardware comme des logiciels intégrés dans les robots. Cette action amont devra être complétée tout au long de la vie de l'équipement par une surveillance du type de celle désormais habituellement déployée pour les ordinateurs de bureau des entreprises (protection contre les attaques, correction des failles identifiées ...)
- La **filière « robotique »** ne coupera pas à un effort important d'analyse et de normalisation de l'ensemble de sa chaîne de valeur et d'approvisionnement afin de répondre aux soucis et attentes des utilisateurs comme cela est fait pour d'autres domaines où la qualité du produit final dépend de la surveillance de l'ensemble du processus d'élaboration et à un suivi dans la durée des logiciels fournis pour en identifier les failles et fournir les mises à jour nécessaires.
- Un processus de certification des acteurs et des produits, tout au long de leur conception et réalisation, doit être étudié afin de compléter et de garantir une application sans faille des principes précédents.
- Si elle souhaite bénéficier des atouts de la robotisation pour aider à la « relocalisation » des productions, la **puissance publique** (France ou Europe) devra ajouter aux nombreux sujets de souveraineté celui de la mise en place, ou de sa complétude, d'une chaîne européenne de fourniture de robots incluant l'ensemble des équipements de conduite associés, afin de pouvoir obtenir la cybersécurité « by design », démarche indispensable, mais non suffisante, pour être raisonnablement protégé des cybermenaces.

#### 4.1.2 Le respect des contraintes environnementales

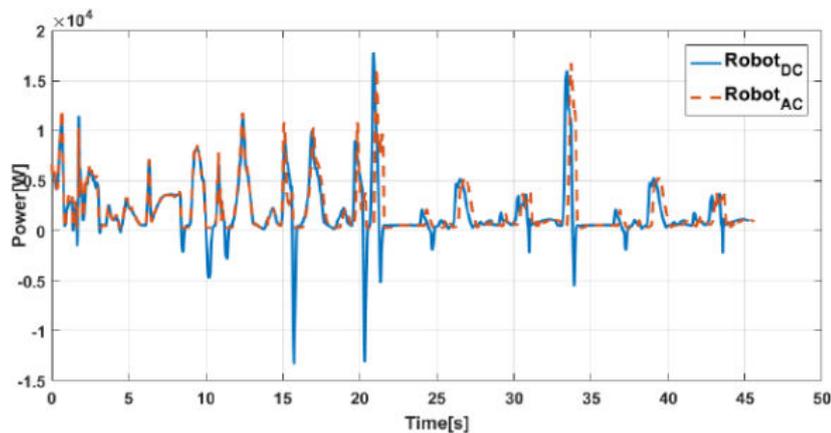
Dans le contexte actuel de la transition énergétique et du réchauffement climatique, une robotisation massive ne peut pas être envisagée en faisant l'impasse sur les contraintes environnementales, d'autant plus qu'à priori les robots industriels ne présentent pas d'avantage sur ce point :

- comme indiqué précédemment ces robots réalisent surtout des opérations effectuées aujourd'hui manuellement.
- afin de profiter des capacités de rapidité et de précision des robots, ceux-ci sont faits de structures rigides avec de grandes inerties statique et dynamique avec la conséquence que leurs mouvements nécessitent beaucoup de puissance, la plus grande partie de cette puissance servant à mouvoir le robot alors que le geste « utile » n'en consomme qu'une très faible partie.

C'est ainsi que dans le secteur de la production, les robots industriels consomment une quantité d'énergie (s'exprimant en kW, à comparer à une capacité humaine individuelle comprise entre 100 et 200 W) souvent considérable, pouvant aller jusqu'à 15 kW, se partageant en 2/3 pour la motorisation et en 1/3 pour les composants électroniques de la baie de contrôle commande<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Mercier M., Savary R-P. - Demain les robots : vers une transformation des emplois de service. Rapport d'information N°162 Sénat (2019)



Puissance consommée à vitesse maximum de robots 6-axes, KUKA Quantec KR210 R2700 prime<sup>16</sup>

Cette image très « énergivore » doit toutefois être corrigée car :

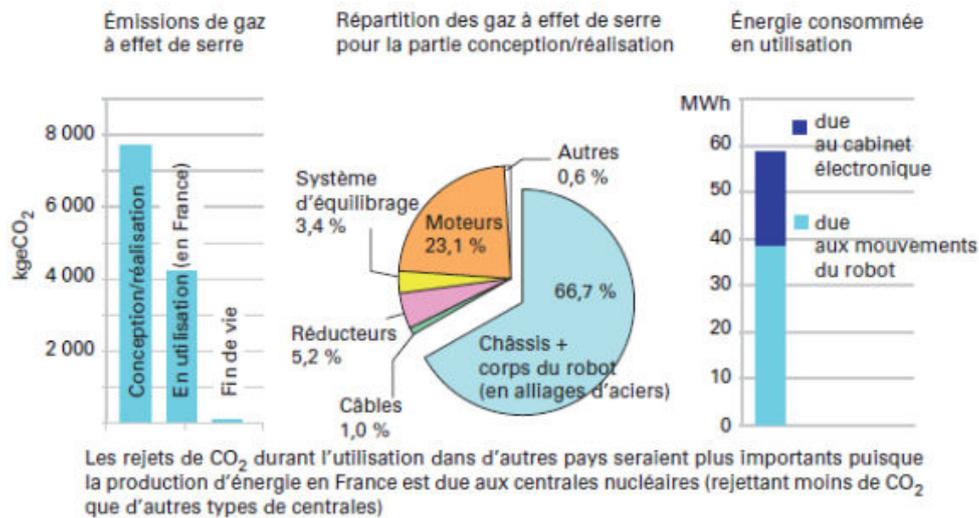
- Rapportée à la consommation annuelle d'électricité d'un pays, cette consommation d'énergie doit être relativisée. Ainsi, la consommation électrique annuelle française liée à l'utilisation de robots, qui est de l'ordre de 2,73 GWh<sup>17</sup>, représente moins de 0,001 % de la consommation annuelle globale (qui était en 2019 de 474 TWh).
- De nombreuses et réelles économies peuvent être générées par la robotisation :
  - La robotique permet une économie substantielle en matières premières et en rejets nocifs pour l'environnement. Par exemple, l'utilisation des robots pour la peinture de pièces, outre une meilleure qualité de dépose – maîtrise des épaisseurs –, apporte une meilleure maîtrise de l'application de pulvérisation ainsi qu'un gain en consommation de produit. Le coefficient de transfert (peinture déposée sur la pièce/peinture pulvérisée) est bien meilleur avec un robot. On constate moins de perte produit (les économies de produit peuvent aller jusqu'à 30 %) et donc une réduction de l'impact sur l'environnement.
  - Les réductions des rebuts et des non-qualités, dues à une meilleure reproductibilité de la production par les robots, se traduisent par des réductions de consommation de matières et d'énergie.
  - Les robots induisent une utilisation moindre en ressources et donc un rejet de déchets industriels moindre. En effet, une fois programmé, un robot peut produire dans un environnement sans lumière, chauffage, air conditionné, sans eau.
  - Les relocalisations qui pourraient être menées grâce à la robotisation réduiront l'empreinte carbone de produits qui auraient dû provenir de pays lointains. Et ce d'autant plus que le bilan carbone d'un robot est moindre que celui d'un opérateur (12000 kgCO<sub>2</sub> / an en moyenne pour un français et 335 kgCO<sub>2</sub> / an environ pour un robot<sup>18</sup>, soit presque 36 fois moins).

<sup>16</sup> Grebersa R. et al. - Analysis of the energy consumption of a novel DC power supplied industrial robot. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, Modena, Italy (2017)

<sup>17</sup> Briot S., Analyse d'Eco-conception de deux robots : KUKA 270 et IRSbot-2 (2015)

<sup>18</sup> Briot S., Analyse d'Eco-conception de deux robots : KUKA 270 et IRSbot-2 (2015)

- Robotiser nécessitera toutefois d'intégrer, tant du point de vue de la conception des robots que de leur réalisation ou leur utilisation, des préoccupations environnementales et notamment énergétiques. Mais la communauté des roboticiens est pour le moment assez peu imprégnée par la culture de l'écoconception. Les travaux en robotique utilisent peu l'ACV<sup>19</sup>, et donc n'intègrent pas les objectifs de limitation des impacts environnementaux dans les étapes de conception ou le génie logiciel durable pour la réalisation de l'architecture logicielle nécessaire au contrôle des robots.



#### Impact environnemental d'un robot KUKA KR270 lors de son cycle de vie <sup>20</sup>

Pour continuer à développer les activités robotiques de manière soutenable, il est donc important de réfléchir à leur écoconception plus en amont. Différentes pistes sont aujourd'hui explorées permettant de réduire certains de leurs impacts environnementaux. Elles s'articulent principalement autour de deux grandes classes de techniques<sup>21</sup>:

- **La définition de techniques** permettant de réduire la consommation énergétique des robots :

Dans l'industrie automobile, les robots qui sont très largement employés représentent en moyenne sur les lignes d'assemblage 30% de la consommation énergétique totale. Pour réduire cet impact, différentes solutions sont envisagées : l'équilibrage des effets gravitationnels (par contrepoids, par ressorts), la minimisation des effets inertiels (allègement des structures en mouvement, planification des trajectoires optimales, planification de la production, design des actionneurs), la mise en place de système d'économie d'énergie au niveau hardware, les solutions d'auto-génération d'énergie.

- **La conception d'architectures** mécaniques de robots à l'aide de matériaux à faibles impacts environnementaux :

Le bois, matériau bio-sourcé largement utilisé dans la construction pour ses propriétés mécaniques, est une solution intéressante pour la fabrication des corps de robots industriels ou de pièces non structurales. Toutefois, cette solution génère de la complexité du fait de la variabilité des propriétés mécaniques du matériau en fonction des conditions

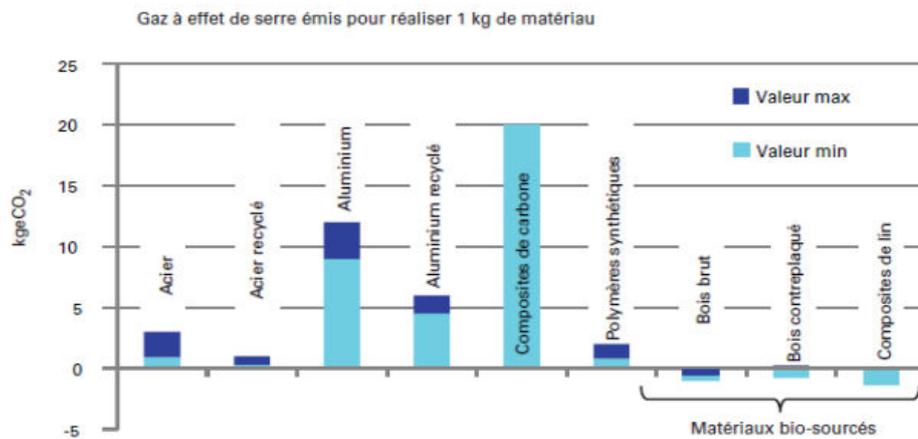
<sup>19</sup> Analyse du Cycle de Vie

<sup>20</sup> P. – Analyse d'écoconception de deux robots : KUKA KR270 et IRSbot-2. Rapport technique Fizians Environnement (2015)

<sup>21</sup> Briot S. – Ecoconception en robotique. Techniques de l'ingénieur (2019)

environnementales imposant la nécessité de modéliser la variabilité des déformations due à la variabilité des propriétés du bois.

Ont également été testés le bambou ou encore les bio-composites. Dans ce cas par exemple, un corps de robot en aluminium dans lequel certaines pièces sont remplacées par des pièces en bio composites (matrice époxy, renforts mixte fibres de carbone et de lin<sup>22</sup>), les propriétés d'amortissement ont été améliorées par rapport à la solution 100% aluminium.



**Impact environnemental de différents matériaux sur l'effet de serre<sup>23</sup>**

#### 4.1.3 Les aspects juridiques liés à l'utilisation de l'IA

Les robots « intelligents » sont-ils responsables ?

Une étude commandée en 2016 par la commission des affaires juridiques du Parlement européen avait mis en garde sur l'absence de consensus au sein de la communauté scientifique mondiale pour définir un robot<sup>4</sup>(\*).

Une tentative de définition juridique du robot a été entreprise en 2017 à l'échelle européenne. L'Union Européenne n'est pas parvenue à donner un statut juridique précis au robot, même en se concentrant sur les robots autonomes et intelligents.

Les quatre critères imaginés pour définir un tel robot étaient alors les suivants :

- l'acquisition d'autonomie grâce à des capteurs et/ou à l'échange de données avec l'environnement (inter-connectivité) permettant échange et analyse de données ;
- une capacité d'auto-apprentissage (critère facultatif) ;
- la présence d'une enveloppe physique ;
- l'adaptation du comportement et des actes à l'environnement (de manière autonome, sans intervention humaine).

L'étude pointait les difficultés à appréhender les questions nouvelles posées par le développement de robots autonomes et intelligents, notamment la question de la responsabilité des robots : s'ils agissent en fonction des consignes qu'ils ont reçues et de leur perception de leur environnement, ils restent des objets, et en tant que tels ils ne sauraient avoir une responsabilité propre.

Mais aujourd'hui, avec le développement des algorithmes d'IA de Machine Learning et de Deep Learning\* utilisés pour la reconnaissance ou la détection d'objets par exemple, les robots

<sup>22</sup> Nguyen A.V. – Matériaux composites à renfort végétal pour l'amélioration des performances de systèmes robotiques. Thèse de doct. Clermont-Ferrand : Institut Pascal (2015)

<sup>23</sup> LAURENT T. et al. – Ecoconception : vers un robot en bois – 2nde partie. In : Technologies 169 (2010)

sont amenés à prendre des décisions issues, non plus de consignes données par l'homme, mais de leur propre apprentissage effectué à partir de l'ensemble des données qu'ils analysent. Ainsi, le robot va lui-même décider de répertorier l'objet X dans la catégorie Y, ce qui derrière induit le traitement Z de l'objet.

Les problématiques qui se posent alors notamment avec le Deep Learning sont celles de la justification des choix faits par l'IA. Actuellement, il est encore difficile d'avoir une compréhension claire et exhaustive des circuits de décisions de ces algorithmes. Le réseau de neurones est une sorte de « boîte noire ». Mais les acteurs de l'IA ont bien compris l'enjeu pour des secteurs comme la défense ou l'industrie pharmaceutique qui doivent pouvoir justifier à chaque instant les choix faits et intégrés à leur stratégie ou à leur process de production.

Cela ne permet pas pour autant de définir quel est le degré de responsabilité d'un robot. La question reste en suspens et la réponse conditionnera certains usages des robots.

## 4.2 Synthèse

La mise en place de systèmes d'automatisation dans les chaînes de production industrielle est la continuité d'un mouvement historique de l'industrie depuis le 18ème siècle. Il y a eu bien sur des opposants à toute forme d'évolution de la production, mais les gains de confort sociaux et économiques ont toujours été aux rendez-vous et ont justifié a posteriori le bien-fondé de cette démarche dans laquelle la « robotisation » s'inscrit naturellement.

La robotisation est présente à l'échelle mondiale. L'usage des robots progresse dans de nombreux domaines et, comme cela a été montré dans les paragraphes précédents, leurs capacités se développent et vont continuer à se développer de façon importante. La France ne s'est pas engagée fortement dans cette démarche et affiche un retard certain dans ce domaine.

Aujourd'hui, cette **démarche de robotisation et la dynamique de son évolution** continuent de représenter, pour l'industrie française et la France, des opportunités qu'il convient de considérer :

- Opportunité pour améliorer la compétitivité de son industrie face à la concurrence mondiale.
- Opportunité pour permettre un mouvement de relocalisation, relocalisation non artificielle car compétitive.
- Opportunité pour développer une filière robotique française en profitant de savoir-faire déjà présents sur notre sol, particulièrement en IA.

L'exploitation conjuguée de ces opportunités aboutirait à une augmentation significative des richesses créées nationalement (en particulier dans le domaine des biens de consommation) ainsi qu'à la création de nombreux emplois qualifiés.

Dans ce contexte l'association des salariés à la robotisation doit être recherchée car elle induit une dynamique et une appropriation naturelle du nouvel outil. Cette démarche est porteuse d'avenir, elle rajeunit l'idée que l'on se fait du travail en usine et pourrait rendre plus attractifs les métiers manuels.

Ces espoirs de progrès en productivité, compétitivité, conditions de travail ainsi qu'en création de richesses et d'emplois qualifiés, justifient que **« robots et robotisation » soient un volet incontournable de l'industrie 4.0**. Et, en complément, l'étude de la chaîne de valeur globale de la production « robotisée » montre combien il est important de disposer de l'ensemble des éléments amont de cette chaîne, donc d'une industrie des robots solide.

Notre histoire montre qu'une telle évolution peut générer des oppositions fortes. Un gros effort sera nécessaire pour atteindre une vision partagée entre les 3 composantes de la société impliquées dans ce mouvement : les entreprises, l'état et les citoyens. Nos messages s'adresseront donc à ces 3 acteurs de la pièce que la France devrait écrire et jouer.

### 4.3 Recommandations

Les **Citoyens** ont beaucoup de repères sociaux liés à nos traditions de qualité de l'artisanat, à l'importance de la valeur travail, à l'importance du principe d'égalité inscrit aux frontons de nos mairies. Sur la base de ces principes et d'une certaine incompréhension, ils sont rétifs, et parfois anxieux, lorsqu'un nouvel élément vient perturber la production de la richesse car potentiellement porteur d'une inégalité à combattre. **Pédagogie et explications** sont nécessaires pour partager avec les citoyens, et tout particulièrement les travailleurs de l'industrie, que :

- La robotisation n'est pas l'ennemi de l'emploi.
- La robotisation modifie les emplois et les besoins en compétences. Un important « volet formation » accompagnera la montée en compétence des emplois et des travailleurs. C'est un des enjeux de la robotisation que de générer des activités moins pénibles, plus motivantes.
- La robotisation a un impact sur la répartition du travail et des richesses créées tout au long de la chaîne de valeur. Il appartient aux corps intermédiaires de veiller à ce que la répartition de la richesse ainsi créée soit équitable.
- Les robots ne font pas tout. Trop de robotisation tue la robotisation. Travailleurs et robots doivent travailler côte à côte. Aucune usine ne fonctionne qu'avec des robots. Les robots ont besoin des hommes pour fonctionner. Une nouvelle forme de collaboration et d'efficacité est à trouver.

Relever ce défi nécessitera de gros efforts d'explication, de communication et de concertation aux niveaux sociétal et social jusqu'aux négociations au plus près du terrain, mais aussi un important volet « formation », afin de permettre des reconversions « heureuses » et des formations initiales adaptées aux nouveaux métiers.

Dans le contexte actuel, où le remplacement de la production locale de biens par des sources lointaines au prétexte de coûts de production plus faibles a montré ses inconvénients et généré un discours très partagé prônant la relocalisation, la voie de la robotisation est un élément important à prendre en compte par **l'Etat** sur les points suivants :

- La France peut redévelopper son industrie en la modernisant grâce à la robotisation. Le couplage du robot avec l'IA est une opportunité pour recréer des marges dans la chaîne de valeur industrielle à l'échelle du pays, contribuer à la réindustrialisation. Les ingénieurs et chercheurs français, tant en robotique qu'en IA, sont parmi les meilleurs du monde et sont un atout.
- La robotisation modifie la répartition de la création de valeur au détriment de la partie productive et au profit de l'industrie amont, celle de la conception, la fabrication des robots et de leur suivi tout au long de leur vie.

- La France forme des ingénieurs roboticiens et a une R&D active dans ce domaine, mais est absente dans l'industrie des robots. Elle a les compétences pour permettre l'émergence d'entreprises innovantes dans ce domaine et la création d'emplois qualifiés ou très qualifiés. Pour faciliter le déploiement d'activités et d'entreprises de conception et de fabrication de robots, mais aussi d'autres services associés aux robots, un renforcement et une meilleure structuration de l'effort de recherche sont nécessaires qui devrait s'organiser autour d'une structure pérenne fédératrice du type « **Institut de la Robotique** »
- L'importance de la cybersécurité étant aujourd'hui reconnue, son application au domaine de la robotique doit être soutenue par des recherches orientées, car la sécurisation cybernétique des chaînes de production sera au cœur de la validation de la mise en place de chaînes de production « robustes ».
- Dans le cas de la robotique, la cyber sécurité doit être bâtie grâce à une approche du type « **secure by design** ». Ce résultat ne peut être obtenu que si la **puissance publique** (France ou Europe) ajoute aux nombreux sujets de souveraineté, comme elle vient de le faire avec « **le cloud souverain européen** », celui de la mise en place, ou de sa complétude, d'une chaîne européenne de fourniture de l'ensemble des équipements de conduite associés (de la puce aux logiciels de commande et de surveillance). Sans être totalement suffisante, cette démarche est indispensable pour être raisonnablement protégé des cybermenaces.

**Les Entreprises** devront intégrer que les nouvelles chaînes de production de l'industrie doivent d'abord être développées avec le numérique avant d'être construites physiquement. L'intégration des robots dans des systèmes intelligents, avec le jumeau numérique d'un ensemble de production robotisé couplé à l'Intelligence artificielle, est un élément important de la valeur ajoutée de l'industrie 4.0 et à ce titre :

- Il est important de concevoir un système dans lequel la robotisation doit être adaptative en modularité de production et en quantité. Cela permettra de répondre à l'augmentation de la vitesse d'évolution des besoins des clients.
- L'association des salariés à la robotisation est nécessaire afin de permettre une appropriation naturelle du nouvel outil. Cette démarche rajeunit l'idée que l'on se fait du travail en usine et rends plus attractifs les métiers manuels.
- La cybersécurité est un élément essentiel à prendre en compte lors de la conception (Security by design) et lors de chacune des étapes du développement d'un système de production robotisé.
- La sécurité des informations est un impératif pour la réussite de l'industrie 4.0 et sa maille doit être resserrée dans les domaines robotisés du fait de l'importance accrue des conséquences qu'aurait une faille de sécurité dans ces applications.
- Un processus de certification s'étendant à la chaîne de valeur doit être mis en place et s'appliquer très rigoureusement dans les deux domaines sensibles que sont la fourniture « hard » (robot et gestion de l'information intégrée) et la programmation opérationnelle des robots pour des raisons voisines mais distinctes, cybersécurité d'une part et confiance opérationnelle d'autre part.