

N° 162

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2019-2020

---

---

Enregistré à la Présidence du Sénat le 28 novembre 2019

## RAPPORT D'INFORMATION

FAIT

*au nom de la délégation sénatoriale à la prospective (1)*

**sur robotisation et emplois de service,**

Par Mme Marie MERCIER et M. René-Paul SAVARY,

Sénateurs.

---

(1) Cette délégation est composée de : M. Roger Karoutchi, *président* ; MM. Julien Bargeton, Pierre-Yves Collombat, Ronan Dantec, Alain Fouché, Mme Christine Lavarde, M. Jean-Jacques Lozach, Mme Marie Mercier, MM. René-Paul Savary, Yannick Vaugrenard, Mme Michèle Vullien, *vice-présidents* ; MM. Olivier Henno, Jean-François Mayet, Jean-Yves Roux, *secrétaires* ; MM. Philippe Adnot, Serge Babary, Jérôme Bascher Arnaud Bazin, Mmes Maryse Carrère, Françoise Cartron, Marie-Christine Chauvin, M. Édouard Courtial, Mme Cécile Cukierman, MM. Rémi Féraud, Jean-Luc Fichet, Mme Colette Giudicelli, MM. Alain Houpert, Jean-Raymond Hugonet, Olivier Jacquin, Jean-Pierre Moga, Philippe Pemezec, Didier Rambaud, Hugues Saury, Mme Nadia Sollogoub, M. Jean-Pierre Sueur, Mme Sylvie Vermeillet.



## SOMMAIRE

Pages

<b>I. LES MACHINES INTELLIGENTES : UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE QUI IRRIGUE L'ENSEMBLE DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES.....</b>	<b>7</b>
<b>A. UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE QUI N'EN EST QU'À SES DÉBUTS.....</b>	<b>7</b>
1. Robotisation et intelligence artificielle : un mouvement entamé depuis plus d'une décennie .....	7
2. Des technologies déjà présentes dans notre quotidien.....	9
3. La combinaison de plusieurs briques technologiques.....	13
<b>B. UNE DIFFUSION DES MACHINES INTELLIGENTES DANS TOUTES LES SPHÈRES D'ACTIVITÉ.....</b>	<b>18</b>
1. Les robots industriels : une réalité ancienne en plein renouvellement.....	18
2. Le large spectre de diffusion des robots intelligents.....	21
3. Les formes diverses des robots intelligents.....	27
<b>C. LES LIMITES DES MACHINES INTELLIGENTES .....</b>	<b>29</b>
1. Des limites technologiques .....	29
2. Des limites économiques .....	31
<b>II. L'IMPACT DE LA ROBOTISATION SUR LES EMPLOIS DE SERVICE EST INCERTAIN MAIS POTENTIELLEMENT MASSIF .....</b>	<b>35</b>
<b>A. UN IMPACT QUANTITATIF SUR L'EMPLOI INDÉNIABLE MAIS INCALCULABLE.....</b>	<b>35</b>
1. Des estimations très variables des pertes d'emploi liées à l'automatisation.....	35
2. L'impossibilité de calculer un solde net d'emplois gagnés et perdus .....	38
3. Des effets attendus sur la structure et la localisation des emplois.....	42
<b>B. DES IMPACTS MASSIFS SUR LE CADRE D'EXERCICE PROFESSIONNEL .....</b>	<b>43</b>
1. Un besoin d'élévation général des compétences attendues ? .....	43
2. L'automatisation : progrès ou danger pour les travailleurs ? .....	46
3. Une modification profonde des cadres sociaux du travail .....	48
<b>C. DES PERSPECTIVES DE TRANSFORMATION DES EMPLOIS DE SERVICE .....</b>	<b>50</b>
1. Nombreux emplois, nombreux changements.....	50
2. Quelques exemples des transformations attendues.....	53
<b>III. ACCOMPAGNER LE CHANGEMENT VERS UNE « ROBOTISATION HEUREUSE » .....</b>	<b>59</b>
<b>A. ENCOURAGER L'INNOVATION DANS LES SERVICES .....</b>	<b>59</b>
1. L'expérimentation, socle du progrès .....	59
2. Maîtriser la donnée et les technologies .....	62
<b>B. REPENSER LA FORMATION.....</b>	<b>64</b>
1. Adapter la formation initiale.....	64
2. Transformer la formation continue.....	67

C. INVENTER DE NOUVELLES RÉGULATIONS.....	69
1. <i>La régulation fiscale : faut-il taxer les robots ?</i> .....	69
2. <i>La régulation sociale : quelles protections dans un monde robotisé ?</i> .....	72
3. <i>Quel encadrement éthique de la robotisation au travail ?</i> .....	75
CONCLUSION.....	79
LISTE DES PROPOSITIONS.....	81
TRAVAUX EN DÉLÉGATION .....	83
I. AUDITION DE LAURENT ALEXANDRE, CHIRURGIEN, ESSAYISTE ET ENTREPRENEUR.....	83
II. AUDITION DE MM. OLIVIER DARRASON, PRÉSIDENT-FONDATEUR, ET AXEL DYÈVRE, DIRECTEUR ASSOCIÉ, DE CEIS .....	91
III. EXAMEN DU RAPPORT .....	97
LISTE DES PERSONNES ENTENDUES .....	107

*« Ne vous plaignez pas que le progrès technique fasse disparaître de l'emploi, il est fait pour cela » Alfred Sauvy*

Les **progrès techniques récents dans le numérique et la mécanique** permettent de créer des objets de plus en plus sophistiqués, capables de répondre à des besoins étendus et effectuant des tâches de plus en plus complexes de manière autonome. Une nouvelle génération de robots fait irruption dans notre vie quotidienne : robots ménagers, robots humanoïdes. Dotés de multiples capteurs, connectés, intégrant de l'intelligence artificielle, ces robots fournissent de plus en plus de services de qualité aux utilisateurs humains.

Les **robots ne sont plus aujourd'hui l'apanage du seul secteur industriel**, destinés à effectuer des tâches répétitives pénibles nécessitant force et précision. Nous sommes entrés dans un nouvel âge des objets intelligents, qui ouvre de nouvelles perspectives mais qui, dans le même temps, ne manque pas d'interroger et d'inquiéter.

Comme à chaque étape du progrès technique, la question de **l'impact de ces technologies sur l'emploi** est posée. Tout laisse à penser que les effets pourraient être massifs. De la même manière que l'emploi industriel a pu être drastiquement réduit avec la mise en place de robots industriels dans les usines, ne risque-t-on pas de voir des machines prendre la place de personnes physiques dans les activités de service, à commencer par celles nécessitant le moins de qualifications ? La  **Crainte d'une perte massive d'emplois** faisant suite à l'installation de ces nouveaux robots dans de multiples secteurs d'activités s'exprime dans le débat public, avec l'idée que ces pertes pourraient toucher les emplois les moins qualifiés, condamnant au chômage technologique de très nombreuses personnes.

Au-delà des aspects quantitatifs, l'arrivée des robots intelligents risque de transformer en profondeur les relations entre l'homme et la machine et de transformer les collectifs de travail. Les besoins en matière de qualifications risquent ainsi de changer très rapidement, ce qui pose un défi sans précédent à notre appareil de formation initiale et continue.

La délégation à la prospective du Sénat a souhaité qu'une réflexion soit menée sur **la dynamique de développement des robots dans les services** et ses effets sur l'emploi et plus largement le travail, ses conditions et son organisation. Depuis mars 2019, cette réflexion a été alimentée par une série d'auditions mettant en évidence la grande incertitude des experts quant au rythme du progrès technique et la difficulté à quantifier et qualifier les effets du déploiement de solutions d'automatisation de tâches préalablement effectuées par des êtres humains. Si le fantasme d'un travail totalement

délégué à des machines ne semble pas pouvoir se réaliser à court et même à moyen terme, l'arrivée de robots et d'outils d'intelligence artificielle dans le monde des services n'en constitue pas moins une réalité qui porte les germes d'une révolution du travail.

S'appuyant sur les travaux récents publiés par des instituts de recherche, des cabinets spécialisés et des organismes publics, comme le Conseil d'orientation pour l'emploi (COE), la présente étude s'attache d'abord à caractériser le phénomène actuellement à l'œuvre avant d'analyser les impacts possibles sur les emplois de service, qui sont moins quantitatifs que qualitatifs.

**Les emplois de service représentant plus des trois quarts des emplois occupés en France aujourd'hui par les actifs**, l'impact de l'IA et des objets intelligents sera massif, ce qui nécessite de mener un travail d'anticipation des besoins attendus en termes de compétences et de qualifications.

**La grande crainte de laisser sur le côté une part importante de la main d'œuvre**, remplacée par les machines et devenue obsolète, ne peut pas être totalement écartée si des efforts de formation et d'adaptation ne sont pas faits durant les prochaines années et si des incitations fortes ne sont pas mises en place pour la reconversion des personnels des secteurs touchés par cette nouvelle étape du progrès technique. Le spectre d'un chômage technologique de masse ne doit pas être écarté d'un revers de main, même si ce scénario du pire n'est pas le plus probable.

Au-delà des initiatives individuelles de formation et de reconversion et des stratégies d'entreprise, les pouvoirs publics ont un rôle majeur à jouer pour encourager le mouvement, anticiper les besoins et organiser cette adaptation de la main d'œuvre à la révolution de l'IA et des robots de nouvelle génération. Plutôt que de chercher à freiner le mouvement et résister au progrès technique dans l'optique illusoire de sauvegarder les emplois existants et potentiellement menacés, la puissance publique doit fixer un cadre ambitieux destiné à ne laisser personne sur le bord du chemin et à **maintenir l'employabilité du plus grand nombre dans un monde puissamment robotisé**.

## I. LES MACHINES INTELLIGENTES : UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE QUI IRRIGUE L'ENSEMBLE DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

### A. UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE QUI N'EN EST QU'À SES DÉBUTS

#### 1. Robotisation et intelligence artificielle : un mouvement entamé depuis plus d'une décennie

##### a) Robots, intelligence artificielle, de quoi parle-t-on ?

###### (1) Définition de l'intelligence artificielle

Le concept d'intelligence artificielle (IA) a été inventé par un groupe de scientifiques américains réunis autour de John McCarthy et Marvin Minsky lors de la **Conférence de Dartmouth** (New Hampshire) durant l'été 1956. Il désigne l'ensemble des sciences et technologies permettant d'imiter, d'étendre ou d'augmenter l'intelligence humaine à l'aide de machines. Prometteuse à ses débuts, la recherche sur l'IA a paru stagner à partir des années 1970 jusqu'à sa renaissance à partir du milieu des années 2000 : les victoires des machines contre des champions au jeu d'échec<sup>1</sup> ou plus récemment au jeu de go<sup>2</sup> semblent consacrer le succès de l'IA, qui se déploie dans une multitude de domaines.

Sous le terme « d'intelligence artificielle », on a tendance à regrouper **l'ensemble des techniques permettant à des machines d'accomplir des actions ou de résoudre des problèmes normalement réservés à des humains**, qui peuvent paraître très simples, comme par exemple reconnaître des objets dans une image, mais dont la résolution peut être très complexe à modéliser. Il ne s'agit pas avec l'IA 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, calculer un temps de parcours, repérer une anomalie sur une radiographie.

Dans un rapport réalisé par un cabinet de consultants pour le pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME) et remis en février 2019<sup>3</sup>, trois grandes catégories de tâches cognitives sont repérées comme permettant des progrès considérables de l'IA :

---

<sup>1</sup> Victoire de l'ordinateur Deep Blue contre Garry Kasparov en 1997.

<sup>2</sup> Supériorité du programme AlphaGo établie à partir des années 2016-2017 sur les meilleurs joueurs de go mondiaux.

<sup>3</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)

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

Toutefois, le rapport pointe que les tâches de compréhension et de décision prises par les humains restent encore aujourd'hui hors de portée des outils d'IA dont nous disposons, l'IA n'étant notamment pas capable de réagir devant des situations non apprises.

Il n'en reste pas moins que l'IA envahit progressivement un vaste univers, permettant d'automatiser de nombreuses tâches, de plus en plus complexes, à l'aide d'algorithmes de plus en plus puissants.

(2) Un robot : une intelligence artificielle intégrée dans un objet ?

Alors que l'IA n'est pas forcément « incarnée » physiquement au-delà d'un terminal informatique au sein duquel elle pourra démontrer ses capacités, **les robots mettent en œuvre leurs aptitudes dans le monde physique**. Ce sont d'abord des objets. De manière basique, on peut définir un robot comme un dispositif mécatronique, qui allie mécanique, électronique et informatique. Il est constitué de nombreux composants :

- **des capteurs**, qui servent à connaître l'environnement du robot (par exemple des caméras) ;
- **des actionneurs**, qui donnent au robot la possibilité d'agir (par exemple de bouger) ;
- une **source propre d'énergie** (pile, batterie) pour lui permettre de se déplacer ou du moins d'activer ses actionneurs ;
- un **système de traitement de l'information**, donnant au robot la faculté d'utiliser ses actionneurs en fonction de l'environnement perçu.

**Si une tentative de définition juridique du robot a été entreprise en 2017 à l'échelle européenne**, la tâche s'est révélée difficile et 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 alors 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 (interconnectivité) 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).

Une étude préalable commandée 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>1</sup>. Plus largement, 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.

## 2. Des technologies déjà présentes dans notre quotidien

### a) De nouveaux outils rapidement adoptés

Les technologies robotiques et l'intelligence artificielle (IA) ne sont pas des technologies du futur mais **existent déjà et sont mises en application**. Dans l'introduction de son étude sur l'IA remise au président de la Commission européenne en mai 2019<sup>2</sup>, l'expert Michel Servoz souligne qu'elles ont « *déjà commencé à transformer nos vies quotidiennes* », parfois même sans que nous nous en rendions compte.

En réalité, notre environnement professionnel mais aussi notre habitat ou encore nos activités de loisirs nous conduisent à **entrer en interaction de plus en plus fréquemment avec des systèmes d'intelligence artificielle** : pour demander notre chemin, pour calculer une distance, pour rechercher un objet à acheter. Ces nouveaux outils nous sont très vite devenus extrêmement familiers grâce à des interfaces simples et intuitives. Nous nous habituons rapidement à leur présence et à leur utilisation, au point parfois de ne plus pouvoir nous en passer.

Ces nouveaux outils agissent pour notre compte. Ils permettent **d'effectuer des actions qui étaient précédemment de la responsabilité de personnes physiques** : ainsi, des assistants digitaux personnels effectuent les tâches précédemment accomplies par des secrétaires, des algorithmes de e-commerce remplacent les conseillers de vente, ou encore des logiciels de reconnaissance faciale remplacent les agents de sécurité chargés des contrôles d'identité. L'adoption de ces nouvelles technologies produit un déplacement de tâches, certaines d'entre elles venant à être automatisées pour une multitude de raisons : meilleure efficacité que le travail humain, réduction du coût des opérations, meilleure disponibilité du service, réduction des risques liés au travail humain, reprise en main de la décision par l'utilisateur final.

---

<sup>1</sup> [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/571379/IPOL\\_STU%282016%29571379\\_FR.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/571379/IPOL_STU%282016%29571379_FR.pdf)

<sup>2</sup> AI, *The future of work, work of the future* : <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-work-work-future>

Ces outils rendent aussi possible le **développement de nouvelles activités** : l'essor des véhicules en libre-service par exemple résulte du développement d'applications informatiques permettant de gérer l'ensemble du processus de location sans avoir recours à une personne physique.

Le monde des robots connaît des progrès technologiques spectaculaires qui rendent techniquement possibles des solutions qui relevaient il y a encore quelques décennies de la science-fiction.

En pratique, les robots sont de plus en plus présents dans notre quotidien, y compris le plus banal : les assistants vocaux connectés se sont ainsi récemment développés et permettent de passer des commandes par la voix à toute une série d'objets du quotidien : diffuser une chanson, fermer des volets, verrouiller une porte, faire une recherche sur Internet, etc...

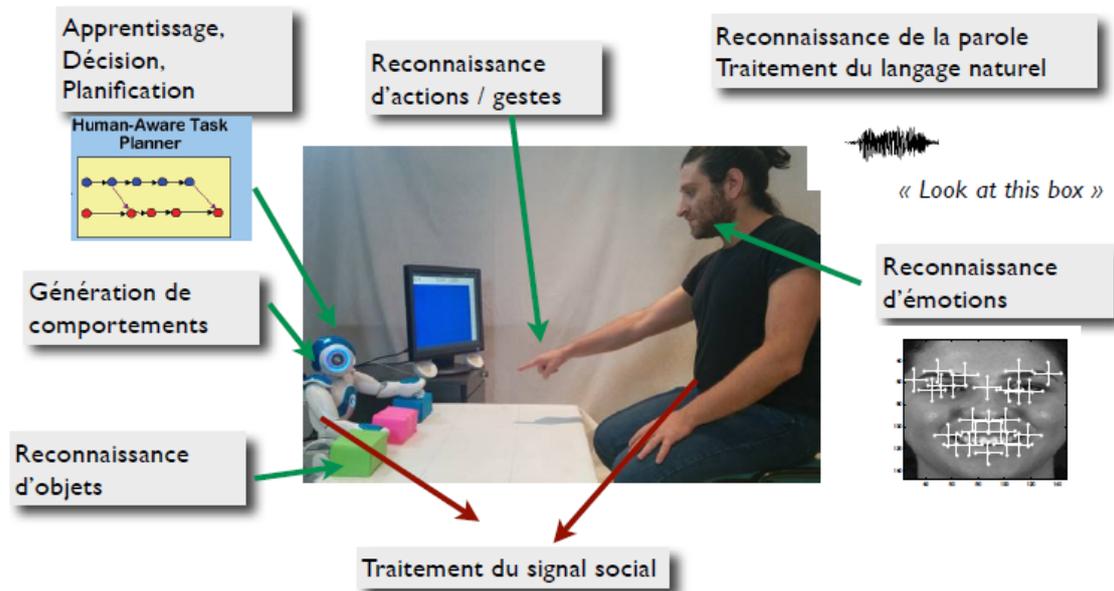
*b) La multiplication des interactions hommes-machines*

Les robots modernes ne ressemblent plus aux automates industriels des précédentes décennies. L'objectif de ces robots en univers industriel est bien d'accroître la productivité ou de fiabiliser les processus de production, voire les deux, même s'ils sont désormais paramétrables, adaptables, polyvalents. **La robotique industrielle a évolué mais son socle reste la répétition des gestes et la standardisation de tâches.** Elle peut se déployer sans interactions directes avec des humains. Certaines usines fonctionnent d'ailleurs désormais sans personnes physiques sur les chaînes de production (ou alors uniquement dédiées à des activités de surveillance) : ainsi la première unité totalement robotisée fabricant des écrans de téléphones mobiles pour l'entreprise RBD, a ouvert en 2015 en Chine à Dongguan.

Les robots industriels sont capables de s'adapter à des tâches définies de manière approximative (par exemple, saisir des objets de taille et de poids différents sur un tapis roulant, ou alors composer des lots de paquets dans des entrepôts comme pour les robots de la société Amazon) mais leur **logique profonde est une logique de productivité et de répétition**, et les interactions avec des personnes physiques sont limitées dans les usines ou entrepôts dits « du futur ».

À l'inverse, la robotique de service est centrée sur l'interaction avec les humains et sur un environnement très variable et un déploiement en milieu ouvert, ce qui implique une forte adaptabilité et un degré de complexité technique supérieur. L'interaction hommes-machines est ainsi véritablement au cœur du développement des robots de service.

## Interaction Humain-Robot



**Robot: un pont entre le monde numérique et le monde physique**

*Schéma fourni lors de son audition par Mohamed Chetouani*

Il est désormais possible de mettre en œuvre ces interactions hommes-machines dans des domaines très variés, comme par exemple celui de l'apprentissage ou du soin. Dans le cadre du projet FP7 Michelangelo, des robots ont ainsi été utilisés pour évaluer les techniques pertinentes à mettre en place dans le traitement de l'autisme à partir d'interactions entre enfants autistes et robots, en comparant les résultats obtenus avec ceux des enfants non atteints par cette maladie. Le robot est utilisé ici comme outil d'observation avancé afin d'ajuster les thérapies. Dans le domaine de l'apprentissage, un autre projet européen dénommé H2020 Animatas, vise à analyser les comportements d'apprentissage des enfants en inversant les positions et en faisant des enfants les « enseignants » du robot.

### *c) La question de la frontière homme-robot*

En entrant massivement dans notre quotidien, les robots prennent un caractère familier et on s'habitue vite aux services qu'ils nous rendent.

Leur capacité d'apprentissage les conduit à améliorer leurs performances : ils enregistrent ainsi peu à peu les préférences des utilisateurs, sont capables d'anticiper leurs attentes en fonction des observations du passé, ou d'observations sur le comportement d'autres utilisateurs.

Les robots affectifs font aussi se rapprocher la frontière entre homme et machine, imbriquant les deux mondes de manière de plus en plus forte.

Robots apprenants, robots affectifs : ces progrès technologiques contribuent d'ailleurs à une certaine confusion sur la nature des robots modernes, qui restent pourtant des machines, qui ne font que ce pour quoi elles ont été programmées.

### Bienfaits et méfaits des robots affectifs

Les robots sont des objets et en tant que tels dépourvus d'affect à l'inverse des êtres humains et des animaux. Mais les robots ont développé des capacités affectives qui leur permettent de simuler des émotions. Dans un article déjà ancien publié par le *think tank* Telos<sup>1</sup>, la chercheuse Laurence Devillers identifiait trois aspects technologiques des robots affectifs :

- leur capacité de reconnaître des expressions émotionnelles de l'humain ;
- leur capacité à simuler ce qui chez les humains correspondrait à des émotions ;
- leur capacité de raisonner avec des informations relatives aux émotions.

La chercheuse notait que l'aptitude des humains à développer une relation affective avec un objet n'était pas nouvelle : une thèse de 2013 de la chercheuse américaine Julie Carpenter de l'Université du Washington avait montré que les soldats américains pouvaient s'attacher à leurs robots démineurs, leur donner un nom, et refuser leur remplacement ou souffrir lors de leur destruction, alors même qu'ils n'avaient ni un aspect humain, ni même celui d'un animal de compagnie.

Mais les robots modernes peuvent aussi être dotés d'enveloppes physiques attractives, les faisant ressembler à des animaux voire à des humains et aggravant la tendance naturelle à l'anthropomorphisme<sup>2</sup>.

Par ailleurs les progrès en matière de reconnaissance des émotions par les machines et de simulation du comportement humain permettent désormais des interactions sociales avec les robots, chose qui paraissait impossible il y a encore quelques années. Les robots conversationnels<sup>3</sup> sont ainsi capables de soutenir une discussion en fonction de paramètres préétablis et s'avèrent de plus en plus performants.

Ces robots présentent des avantages considérables : ils sont doués d'une patience sans limite, et ils intègrent des réponses précises à une multitude de questions. Les applications des robots affectifs sont potentiellement très larges et peuvent se développer dans l'univers domestique : les robots compagnons pourraient ainsi compléter les animaux de compagnie dans les foyers, mais en rendant bien plus de services aux membres de la famille.

Mais les robots affectifs ont aussi leur face inquiétante. On pourrait ainsi mettre à contribution les capacités des robots affectifs pour manipuler les humains en jouant sur leurs émotions et en suscitant des états émotionnels bien précis : les publics plus fragiles comme les enfants ou les personnes âgées, oubliant ou ne se rendant pas compte que leur interlocuteur est un objet, sont plus sensibles à des incitations indirectes<sup>4</sup> voulues par les propriétaires ou gestionnaires des robots. Les humains, en devenant dépendant affectivement des robots, pourraient ainsi perdre une partie de leur liberté. Ces craintes conduisent à exiger que des règles éthiques soient édictées pour prévenir les dérives.

### 3. La combinaison de plusieurs briques technologiques

Les robots intelligents reposent sur les progrès parallèles de technologies-clefs, qui les ont rendu possible : l'intelligence artificielle, qui

<sup>1</sup> <https://www.telos-eu.com/fr/societe/peut-on-aimer-un-robot.html>

<sup>2</sup> Tendance à attribuer aux animaux et aux choses des réactions humaines.

<sup>3</sup> Appelés « chatbots ».

<sup>4</sup> Appelés "nudges" en sciences du comportement.

s'appuie sur la progression des capacités de stockage et de calcul des ordinateurs, sur la mise en réseau des informations et sur les progrès de l'algorithmique, notamment à travers l'apprentissage automatique (*machine learning*) et les réseaux de neurones mais aussi la mécanique, l'électronique, le stockage de l'énergie.

a) *L'impact des progrès de l'informatique : capacités de stockage et capacités de calcul*

À l'évidence, les progrès de l'informatique ont contribué au développement de l'IA. Ces progrès se sont déployés dans plusieurs directions :

- Les **capacités de stockage** des données ne cessent de progresser : d'après l'étude *Data Age 2025* du cabinet américain IDC, le volume de données numériques stockées dans le monde devrait passer de 33 Zo en 2018 à 175 Zo en 2025<sup>1</sup>. Or disposer de masses considérables de données est une condition nécessaire au développement de l'intelligence artificielle. Le rapport Villani rappelle que « *les données sont généralement le point de départ de toute stratégie en IA, car de leur disponibilité dépendent de nombreux usages et applications* ».

La production et le stockage de masses de données de plus en plus considérables ne sont pas sans poser problème, notamment en matière de consommation énergétique des serveurs de données : les *data center* consomment déjà 3 % de l'énergie électrique mondiale et leur consommation double tous les 4 ans. Selon l'ADEME, l'ensemble du secteur numérique consomme déjà 10 % de l'énergie mondiale. La progression du stockage de données risque donc un jour de rencontrer des limites écologiques et peut-être économiques, mais pour l'heure, le stockage est chaque jour moins cher : d'après le rapport du PIPAME précité, l'espace de stockage offert pour 1 € double tous les 14 mois.

- Les **capacités de calcul** des ordinateurs ont aussi progressé rapidement : la loi de Moore s'est vérifiée pendant plus de 40 ans, des années 1970 au milieu des années 2010. Elle suggère que la puissance de calcul des ordinateurs double environ tous les 18 mois, mais les gains de puissance s'essouffent et une limite technologique pourrait être atteinte d'ici 2022. Des progrès sont aujourd'hui encore enregistrés en matière de puissance de calcul mais à travers de nouvelles technologies : ainsi les classiques CPU et GPU<sup>2</sup> sont complétés par les TPU<sup>3</sup>, processeurs dédiés aux calculs nécessaires pour les applications d'intelligence artificielle. Les fabricants d'équipements informatiques s'orientent aussi vers des processeurs

---

<sup>1</sup> 1 zettaoctet correspond à 1000 milliards de gigaoctets.

<sup>2</sup> CPU : unité centrale de traitement ou processeur, composant électronique de base chargé des calculs nécessaires à l'exécution des programmes, GPU : processeurs graphiques dédiés à l'affichage.

<sup>3</sup> TPU : Tensor processing unit.

neuromorphiques, qui sont capables de stocker et traiter en parallèle plusieurs flux de données.

L'informatique quantique offre de son côté une perspective de gains impressionnants dans les capacités de calcul. Début septembre 2019, les chercheurs de Google ont annoncé avoir réussi à effectuer un calcul avec un ordinateur quantique impossible à réaliser en informatique classique. Dans une Note scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)<sup>1</sup>, le député Cédric Villani, auteur de la note, invite cependant à la prudence et envisage plutôt une période de cohabitation entre processeurs classiques et processeurs quantiques.

*b) Le rôle d'Internet et la mise en réseau des informations*

Si les robots intelligents bénéficient des progrès dans le stockage et le traitement des données, une autre brique technologique est essentielle à leur développement : la mise en réseau des informations et l'existence de connections à fortes capacités.

L'infrastructure physique se déploie à travers le très haut débit par fibre optique. La France a fixé un objectif de couverture de 80 % de la population à l'horizon 2022. L'extension de la couverture numérique dépend ensuite de la décision locale des clients finaux de recourir ou non à la fibre.

La couverture 4G du territoire est encore très incomplète mais progresse également, pour permettre les échanges de données depuis des terminaux mobiles. La prochaine génération de réseau mobile, la 5G, n'est pas encore entrée dans sa phase d'utilisation, mais ouvre elle aussi des perspectives d'accroissement des volumes de données pouvant être échangés. Des interrogations subsistent toutefois sur les effets sanitaires et environnementaux de la 5G et pourraient freiner son déploiement.

Enfin, des réseaux d'objets connectés (ou réseaux IOT) se développent pour leur permettre de communiquer entre eux et interagir, soit en utilisant des plateformes de communications généralistes soit des réseaux dédiés à courte portée : ces systèmes sont utiles notamment pour relier des véhicules connectés, avec des temps de latence très faibles dans la circulation des informations et une disponibilité continue du réseau.

**Tous ces réseaux offrent la possibilité de coordonner l'action de multiples objets connectés** pouvant chacun développer une spécialisation. Les objets communicants servent aussi de repères pour les autres objets communicants, optimisant leur déplacement et leur action.

La mise en réseau autorise aussi à la **délocalisation du stockage de données ou la puissance de calcul sur des serveurs distants**. Le stockage de données dans le nuage (*cloud*), voire la réalisation de calculs informatiques

---

<sup>1</sup> [https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecest/quatre\\_pages/OPECST\\_2019\\_0069\\_note\\_or\\_dinateurs\\_quantiques.pdf](https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecest/quatre_pages/OPECST_2019_0069_note_or_dinateurs_quantiques.pdf)

sur des équipements distants (*cloud computing* et *edge computing*) évitent de devoir intégrer des données trop nombreuses et des puissances de calcul trop exigeantes dans les robots, ce qui les rend moins coûteux et moins gourmands en énergie.

*c) Des algorithmes performants pour produire une intelligence artificielle*

Une autre brique essentielle au développement des robots de service est constituée de l'intelligence embarquée dans les machines, c'est-à-dire des programmes ou logiciels dont ils disposent.

Des progrès considérables ont été enregistrés en peu d'années pour la modélisation des tâches cognitives affectées à l'IA, notamment les tâches de perception et de compréhension. En matière de perception, l'IA est devenue très performante : elle surpasse l'œil humain désormais pour repérer des anomalies sur un cliché radiographique.

Plusieurs technologies contribuent à démultiplier les capacités de l'intelligence artificielle :

- **L'apprentissage automatique** (*machine learning*) permet aux ordinateurs de résoudre des problèmes sans programmation explicite, simplement en s'appuyant sur des modèles mathématiques et des méthodes statistiques. L'apprentissage automatique nécessite de s'appuyer sur une énorme masse de données, et de disposer parallèlement de puissances de calcul importantes. Il convient aussi de correctement qualifier les données, si bien que l'apprentissage automatique peut dépendre aussi de « petites mains » destinées à éliminer les scories dans les jeux de données exploités. Il existe une multitude de 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. L'apprentissage automatique est très utilisé en IA aujourd'hui (par exemple pour le développement du véhicule autonome) car il permet de s'affranchir d'une modélisation trop complexe imposée par la programmation informatique traditionnelle. Il a aussi ses défauts en ne prenant pas en compte les données non disponibles. Les programmes d'IA reposant sur l'apprentissage automatique sont souvent accusés de comporter des biais liés à la sélection des données de base.

- Les **réseaux de neurones et les réseaux profonds** visent de leur côté à reproduire par bio-mimétisme le fonctionnement des neurones du cerveau humain afin de traiter des informations en organisant des calculs en couches successives. L'objectif du processus est de permettre une transformation non linéaire des données d'entrées pour obtenir un résultat de sortie vrai (par exemple, reconnaître une image donnée sur une photo). L'utilisation d'un algorithme de rétro-propagation du gradient a permis d'affiner et de fiabiliser les résultats obtenus par les réseaux de neurones en corrigeant les erreurs constatées à chaque étape du traitement de l'information. 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. Les réseaux de neurones reposent eux aussi sur un mécanisme d'apprentissage. On parle d'apprentissage profond (*deep learning*) dans la mesure où le processus repose sur de multiples couches d'analyse. Les outils d'apprentissage profond mis en œuvre dans les réseaux de neurones profonds donnent à l'IA une grande puissance et permettent de s'affranchir aussi d'une programmation préalable.

Certaines critiques sont elles aussi adressées aux réseaux de neurones : il est impossible d'expliquer les décisions prises par la machine et on ne peut pas expliquer sur quoi se base sa décision. Le réseau de neurones est une sorte de « boîte noire ». Par ailleurs, les réseaux de neurones peuvent être piégés par des cas non représentés dans les exemples d'apprentissage : des chercheurs de Google ont ainsi pu piéger un réseau de neurones utilisé en reconnaissance d'image en introduisant un sticker sur une photo de banane, pourtant nette et pour laquelle un œil humain ne se serait pas trompé en distinguant l'essentiel de l'accessoire<sup>1</sup>.

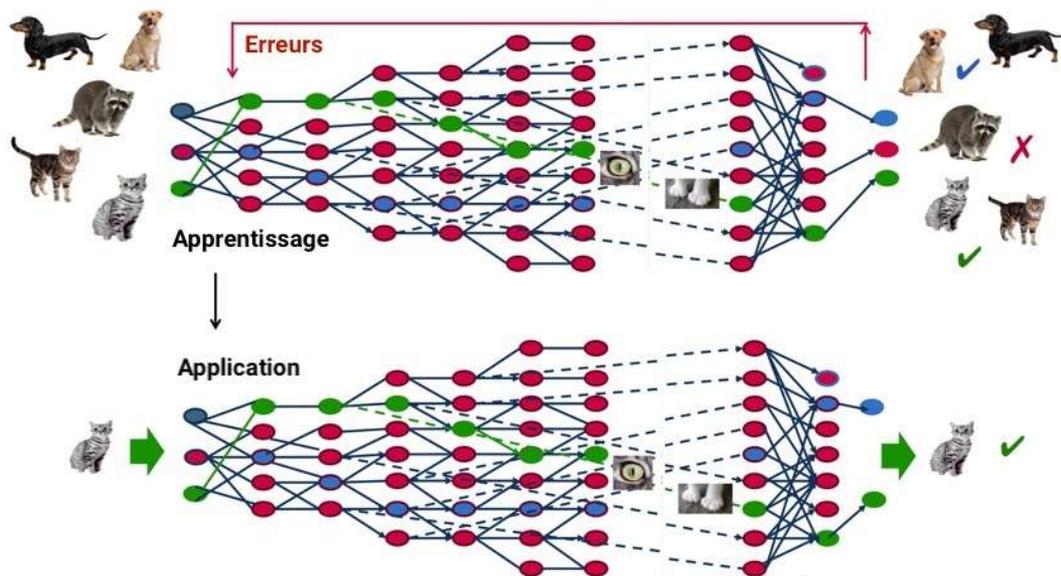


Schéma d'un réseau de neurones – Source : site Futura-Science<sup>2</sup>

#### d) Les progrès de la mécanique et de l'électronique

Le développement des robots de service s'appuie enfin sur les progrès qui touchent à leurs composants : capteurs, actionneurs. Ils n'ont eu de cesse d'être miniaturisés et rendus de plus en plus précis. La robotique bénéficie aussi des **progrès en matière de matériaux**, ce qui permet de les alléger ou de les rendre plus résistants. Doter des robots d'une large **panoplie de gestes** possibles constitue un vrai défi technologique relevé par les fabricants : la société Boston Dynamics a ainsi dévoilé début septembre

<sup>1</sup> <https://arxiv.org/pdf/1712.09665.pdf>

<sup>2</sup> <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/intelligence-artificielle-deep-learning-17262/>

2019 les capacités de son robot humanoïde Atlas, pouvant réaliser des figures de gymnastique grâce à ses articulations hydrauliques. La biomécanique vient en appui de la réalisation de robots capables de reproduire des gestes humains, voire de les accomplir avec plus de rapidité ou plus de précision.

À la frontière de la robotique, ces mêmes progrès techniques ont permis le développement d'**exosquelettes**, structures mécaniques qui renforcent celles du squelette humain et lui confèrent des capacités physiques nouvelles ou allègent ses efforts : les exosquelettes autorisent ainsi le transport de charges lourdes en limitant le risque de troubles musculo-squelettiques. Utilisés dans le domaine de la logistique, ils ont aussi des applications militaires. Dans le champ médical, une expérimentation est même menée à Grenoble pour permettre à des tétraplégiques de commander un exosquelette par la pensée en connectant directement ses commandes au cerveau du patient.

Un autre aspect essentiel dans le développement des robots est leur **approvisionnement en énergie** : l'augmentation de la capacité des batteries constitue un facteur d'amélioration de l'autonomie des robots. Ceux-ci peuvent aussi revenir automatiquement à une base de chargement lorsque leur énergie restante est faible : c'est le cas pour les robots ménagers comme par exemple les aspirateurs-robots. La recherche d'une consommation énergétique sobre des robots constitue d'ailleurs une piste d'amélioration des performances de ces robots.

Une autre voie d'amélioration des robots, dans le but de renforcer leur autonomie porte sur leur capacité à s'auto-réparer en cas de panne, notamment lorsque ces robots sont utilisés dans des lieux difficiles d'accès.

La robotique de service s'appuie donc sur une **kyrielle d'innovations techniques**, dans des domaines très variés. C'est la combinaison de ces solutions techniques nouvelles qui produit les progrès de la robotique moderne.

## **B. UNE DIFFUSION DES MACHINES INTELLIGENTES DANS TOUTES LES SPHÈRES D'ACTIVITÉ**

### **1. Les robots industriels : une réalité ancienne en plein renouvellement**

*a) De l'outil à l'automate et au robot : brève histoire de la robotique industrielle*

L'usine est le monde privilégié de la robotisation car la production de grandes séries standardisées offre un cadre propice à l'automatisation.

Les robots s'inscrivent d'abord dans le **prolongement des automates de production** : conçus pour effectuer des tâches basiques et répétitives, ces

automates deviennent de plus en plus nombreux et complexifient le processus technique de production. Ils doivent être réglés avec une grande précision et n'ont aucune capacité d'adaptation : les ingénieurs, concepteurs des machines, doivent ainsi prévoir tous les cas de figure pour éviter l'arrêt des lignes de production.

Une brique technologique supplémentaire a été apportée par **l'installation de robots dans les usines**, qui constitue une tendance somme toute récente. Le premier robot industriel destiné à manipuler des pièces de fonderie à haute température a été installé dans une usine de General Motors du New Jersey en 1961. Les premières lignes de production robotisées ne sont apparues qu'au début des années 1970, pour des activités comme la soudure ou la peinture.

**Les robots sont utilisés pour intervenir dans des milieux à risque où l'intervention humaine est difficile voire impossible**, comme dans certaines zones des centrales nucléaires, ou pour la réalisation de tâches difficiles à réaliser par l'homme (manipulation d'objets lourds, assemblage d'objets très petits). **Mais, comme les automates, ils sont aussi utilisés pour simplement remplacer l'ouvrier sur des lignes de production** : ainsi, les robots de peinture dans l'industrie automobile effectuent le travail qui était celui des ouvriers de l'atelier peinture de l'usine.

**Les robots présentent un avantage sur les automates : ils sont capables de s'adapter sur les lignes de production** : ainsi, un robot de peinture pourra être programmé pour peindre une porte, puis programmé ensuite pour peindre un capot, et sera capable de prendre en compte des variations dans la manière dont lui sera présentée la porte en question pour ne pas peindre à côté.

Selon la fédération internationale de robotique (IFR)<sup>1</sup>, les deux secteurs industriels les plus utilisateurs de robots aujourd'hui sont l'automobile et les industries électriques et électroniques qui totalisent chacune environ 30 % des nouvelles installations de robots chaque année. La métallurgie et la plasturgie sont aussi des secteurs consommateurs de robots mais dans des proportions moindres. Sans surprise, l'Asie est le plus gros consommateur de robots industriels avec 260 000 des 384 000 nouvelles unités installées en 2018, dont 133 000 en Chine. Le marché des robots industriels est estimé à 16,5 milliards d'euros par an et le stock de robots installés est évalué à 2,4 millions d'unités dans le monde et ce chiffre est appelé à croître. Il n'était que de 1,5 million en 2015.

*b) Diffusion et perfectionnement des robots industriels : la France en retard ?*

Les possibilités de développement de la robotique industrielle ont été renforcées par l'incorporation des technologies d'intelligence artificielle.

---

<sup>1</sup> Source : <https://ifr.org/>

Les robots sont ainsi capables d'analyser leur environnement et de comprendre par eux-mêmes les tâches à accomplir. De plus en plus flexibles, adaptables, les robots offrent la possibilité de personnaliser les travaux industriels, parfois même de **faire du travail à façon**, là où l'industrie reposait sur la standardisation à outrance. Ainsi, l'entreprise Adidas a ouvert en 2017 en Allemagne à Ansbach une usine baptisée « *speed factory* » totalement robotisée, équipée de robots très facilement reconfigurables, visant à adapter la production aux besoins spécifiques des clients qui lui passent commande.

Les experts considèrent que la **France est en retard sur ses voisins et concurrents** en matière de robotique industrielle. Le rapport du député Bruno Bonnell et de Catherine Simon « *Robotique et systèmes intelligents* » publié en avril 2019<sup>1</sup> déplore ce retard. La France est classée au 18<sup>ème</sup> rang mondial de la densité robotique avec seulement 132 robots pour 10 000 ouvriers dans l'industrie en 2017, contre 309 en Allemagne et très loin du leader mondial, la Corée du Sud avec 631 unités pour 10 000 ouvriers.

Or, les **robots sont sources de gains de productivité** mais aussi de réduction de la pénibilité de certaines tâches. Les retards pris dans la robotisation des processus industriels sont aussi source de pertes de compétitivité dans des secteurs-clefs. En 2015, un rapport du Boston Consulting Group intitulé « *The robotics revolution* »<sup>2</sup> estimait que la robotisation allait à terme générer des gains de productivité par salarié de l'ordre de 30 % et que les pays qui adopteraient rapidement ces technologies verraient leur compétitivité prix s'améliorer par rapport aux autres pays n'ayant pas choisi la même stratégie. La robotisation constitue donc un enjeu économique majeur.

L'introduction de robots dans l'industrie ne se résume pas au remplacement de tâches humaines par des machines. **En réalité, la révolution robotique est aussi une révolution qualitative : de plus en plus de robots utilisés dans l'industrie sont des « cobots »**, qui travaillent avec des humains. Une nouvelle division du travail s'instaure entre l'homme et la machine dans le but d'améliorer la performance globale du processus de production, sans pour autant conduire à une totale suppression de l'intervention humaine sur les lignes de production ou encore dans les activités de contrôle.

La robotique industrielle permet d'optimiser les processus, mais aussi de les renforcer, par exemple en améliorant les contrôles, des robots de contrôle pouvant effectuer une multitude de tests très rapidement, ce qui décharge les agents chargés de la supervision de tâches répétitives et usantes.

---

<sup>1</sup> <https://www.brunobonnell-villeurbanne.fr/robotique/>

<sup>2</sup> <https://www.bcg.com/fr-fr/publications/2015/lean-manufacturing-innovation-robotics-revolution-next-great-leap-manufacturing.aspx>

### Qu'est-ce-qu'un cobot ?

Le terme de « cobot » est apparu en 1996. Il combine les mots « coopération » et « robotique ».

Il désigne une catégorie particulière de robots, non autonomes, qui sont destinés à accomplir des tâches en collaboration avec un opérateur humain. Ces robots sont dits passifs, appelés aussi parfois « robots assistants », car ils sont conçus pour aider des humains dans la réalisation de leurs missions dans le cadre d'un processus de production.

Un robot chirurgical, par exemple, constitue un cobot, dans la mesure où le geste chirurgical reste effectué par un chirurgien, mais il est rendu plus précis ou plus facile par le robot.

Les cobots constituent ainsi une forme d'outillage plus perfectionné, capable d'augmenter les capacités des travailleurs.

Le cobot peut être chargé de tâches pénibles ou répétitives, à faible valeur ajoutée. Il peut aussi intervenir là où un opérateur humain ne le pourrait pas tout seul, par exemple pour porter des charges.

Ils présentent l'avantage d'être en général moins coûteux, moins lourds et moins volumineux que les robots d'usine classiques.

## 2. Le large spectre de diffusion des robots intelligents

### a) L'exemple de l'agriculture

Fortement mécanisée depuis les années 1950, l'agriculture semblait ne pas devoir être concernée par la robotisation et par l'intelligence artificielle. En réalité il n'en est rien.

**Les métiers agricoles ont un fort potentiel d'automatisation pour la bonne et simple raison qu'ils sont très physiques et souvent répétitifs.** La robotisation de certaines activités s'est largement diffusée ces dernières années, par exemple à travers les robots de traite des vaches, qui représentent 90 % des robots commercialisés en agriculture.

Mais les robots et l'intelligence artificielle peuvent être mis à contribution pour aller vers une agriculture de précision : mieux surveiller les cultures ou les troupeaux, analyser l'état des sols, conduire automatiquement les véhicules lors des phases de labour, de semis, d'épandage ou de moissons. Cela passe par l'observation satellite ou encore par des drones permettant d'estimer la biomasse sur une parcelle, le stress hydrique des plantes, ou encore la surveillance des animaux.

La transition vers l'agro-écologie peut aussi nécessiter la mise en place de robots intelligents, par exemple pour effectuer un désherbage mécanique destiné à remplacer le désherbage chimique.

Dans le rapport Villani sur l'intelligence artificielle précité, l'agriculture est identifiée comme l'un des terrains privilégiés d'application de l'IA, avec l'ambition de faire de la France un leader de « l'agriculture

augmentée ». Concrètement, l'une des pistes proposées consiste à multiplier les capteurs connectés, postes avancés de l'observation des données utiles à l'activité agricole : météorologie, état des sols, etc...

Publié en 2015, le rapport Agriculture Innovation 2025<sup>1</sup> qui avait été commandé par le ministre de l'agriculture à quatre experts avait souligné le fait que l'agriculture n'était pas à l'écart des innovations technologiques. Simplement, celles-ci se mettent en œuvre de manière très décentralisée et parfois peu visible, car les exploitations agricoles sont marquées par une grande hétérogénéité et restent avant tout des petites entreprises, voire des très petites entreprises. **Le processus d'innovation est donc plus saccadé et peu spectaculaire.**

#### *b) La logistique et les transports*

Le secteur des transports et de la logistique est également un terrain de déploiement des robots intelligents. Se déplacer de manière autonome est en effet désormais une perspective proche, voire en univers fermé une réalité déjà palpable.

Les entrepôts automatisés se sont rapidement développés en utilisant les dernières technologies disponibles : marquage des objets par des puces RFID, robots de transport et logiciels de gestion d'entrepôt (WMS). L'intelligence artificielle est mise à contribution pour optimiser le stockage, le déplacement ou encore la composition des chargements. Cette automatisation présente un certain nombre d'avantages : possibilité de stocker en hauteur et donc d'économiser de la surface au sol et réduction de la taille des couloirs de circulation, possibilité de fonctionner 24 heures sur 24, diminution des erreurs et meilleur contrôle des opérations, réduction de la pénibilité des tâches transférées de l'homme à la machine : la robotisation des entrepôts évite aussi d'employer des opérateurs dans des environnements peu accueillants, par exemple dans un entrepôt frigorifique. L'automatisation de la collecte d'objets stockés en masse pour en faire des lots individuels est aussi mise en œuvre à des échelles plus petites que les grands entrepôts industriels : ainsi, des robots assurent désormais la composition des piluliers dans les pharmacies hospitalières.

**Le déplacement autonome à l'aide de robots intelligents fournit un nouvel horizon en matière de transports en milieu ouvert** : c'est le défi du véhicule autonome. Lancée en mai 2018 par le Gouvernement, la stratégie nationale de développement des véhicules autonomes prévoit d'encourager l'expérimentation et de soutenir des projets-pilote. Des bus autonomes ont été testés (Navya, Easy Mile) mais ne sont pas encore déployés. Des géants de la nouvelle économie numérique comme Google depuis 2005 (avec Waymo) et Tesla (fonction autopilot) testent un pilotage totalement autonome des véhicules automobiles. Les constructeurs automobiles

---

<sup>1</sup> <https://inra-dam-front-resources-cdn.wedia-group.com/ressources/afile/308989-6b234-resource-rapport-agriculture-innovation-2025.html>

traditionnels se sont aussi lancés sur cette voie, qui transformerait la voiture en robot et modifierait totalement les habitudes et l'économie du secteur. En 2014, le cabinet américain IHS Automotive avait affirmé que l'immense majorité du parc automobile en 2050 serait constitué de voitures 100 % autonomes. La mise au point de ces véhicules paraît cependant plus difficile techniquement qu'envisagé et le rythme de leur diffusion est encore très incertain.

*c) La sécurité et la défense*

D'importantes innovations sont apportées dans le secteur de la sécurité avec les robots intelligents et avec les progrès de l'intelligence artificielle.

En septembre 2019, un rapport de la « *task force IA* » du ministère de la défense<sup>1</sup> identifiait l'IA comme un outil devant jouer un rôle majeur dans la **recherche d'une « supériorité opérationnelle » des armées**. L'IA permet de comprendre plus vite des situations, d'anticiper pour décider plus rapidement, mais aussi de mieux protéger le soldat ou le matériel, de libérer le soldat de tâches routinières, ce qui limite aussi le risque d'erreurs (le rapport pointe que 80 % des erreurs humaines surviennent lors de tâches routinières) ou encore d'optimiser les flux et les ressources. L'IA est aussi très utile en matière de cyberdéfense, par exemple dans la détection des cyberattaques. Les États-Unis ne s'y sont pas trompés : la DARPA<sup>2</sup> finance depuis plusieurs années des projets consacrés à des applications militaires de l'IA (2 milliards de dollars en 5 ans annoncés en septembre 2018).

Mais l'IA et les robots intelligents sont aussi en plein développement dans le domaine de la **sécurité hors du champ militaire**. Une application particulièrement spectaculaire est celle de la reconnaissance faciale. Une note courte de l'OPECST publiée en juillet 2019<sup>3</sup> et signée par le député Didier Baichère souligne que la **reconnaissance faciale** s'est diffusée rapidement et est désormais massivement utilisée (sécurisation des smartphones, paiement automatique, contrôle d'identité aux frontières). La note rappelle le principe de base de la reconnaissance faciale automatisée : « *l'algorithme extrait d'une photo un gabarit, sorte de signature propre à chaque visage, puis il compare les gabarits issus d'autres images afin de déterminer si elles correspondent à une même personne* ». Ces technologies se perfectionnent, en allant aujourd'hui vers une analyse en temps réel d'images de vidéoprotection, permettant aux forces de l'ordre une surveillance plus efficace de la voie publique. La reconnaissance faciale rencontre cependant certaines limites : il demeure certaines erreurs d'identification (même si le taux de succès est supérieur à 99,5 %) et il existe des écarts de performance des algorithmes de reconnaissance faciale entre

---

<sup>1</sup> <https://www.defense.gouv.fr/content/download/566257/9754780/Strate%CC%81gie%20de%20l%27Intelligence%20artificielle%20au%20service%20de%20la%20D%C3%A9fense.pdf>

<sup>2</sup> Defense Advanced Research Projects Agency

<sup>3</sup> [http://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecst/quatre\\_pages/OPECST\\_2019\\_0068\\_note\\_reconnaissance\\_faciale.pdf](http://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecst/quatre_pages/OPECST_2019_0068_note_reconnaissance_faciale.pdf)

différentes catégories de population. Par ailleurs, la reconnaissance faciale pose des questions éthiques. Il n'en reste pas moins que cette technologie est appelée à être massivement utilisée et remplacer les autres méthodes d'identification, ouvrant la voie à l'automatisation de processus, comme par exemple les contrôles physiques aux frontières dans les aéroports.

*d) Les services financiers*

L'IA s'est développée aussi massivement dans le domaine des services financiers, de la banque ou de l'assurance. Le rapport du PIPAME précité estime que « *les services financiers sont aujourd'hui l'un des secteurs les plus matures dans l'usage des technologies de Machine Learning* ». Les banques investissent massivement dans l'automatisation des processus, ce qui n'est pas surprenant car les activités de banque et d'assurance étaient déjà très normées. L'IA est mise à contribution pour faire l'évaluation des clients (*scoring*) lors d'une demande de crédit. Elle l'est aussi dans le domaine des placements financiers de manière tout à fait spectaculaire : en quelques années, les traders, personnes physiques chargées de gérer les portefeuilles, sont remplacés par des machines qui effectuent automatiquement des analyses et donnent des ordres sur les marchés au moyen d'algorithmes sans cesse plus perfectionnés. Ainsi, la banque d'affaires Goldman Sachs est passée entre 2000 et 2017 de 600 à 2 « *equity traders* » (traders sur le marché actions). Les transactions à haute fréquence (THF) représentent aujourd'hui une très large majorité des ordres passés sur les marchés boursiers mondiaux.

Cette **automatisation extrêmement forte des activités dans le secteur des services financiers** a permis l'émergence de banques à distance, sans guichet, élargissant les services et réduisant les coûts pour les clients. L'automatisation de processus de contrôle a aussi conduit à réduire les fraudes et à détecter mieux les erreurs.

*e) La santé et le soin*

La santé et le soin paraissent, à l'inverse des services financiers, bien peu automatisables, puisqu'il s'agit à chaque fois de cas particuliers et que la personnalisation doit être forte en la matière.

**Or, le secteur de la santé connaît une digitalisation rapide à travers un foisonnement d'initiatives** : bio-informatique, applications de e-santé, télémédecine. Un ouvrage collectif intitulé « *Santé et intelligence artificielle* » publié en octobre 2018 et dirigé par Bernard Nordlinger et Cédric Villani met en évidence des avancées essentielles permises par l'IA et le traitement en masse de données dans des domaines divers : dans l'interprétation des images en radiologie, anatomo-pathologie, oncologie, dermatologie ; dans la modélisation de la croissance des tumeurs en oncologie ; dans la génomique ou encore dans la recherche pharmaceutique ou la conduite d'essais cliniques. Des algorithmes sont mis à contribution pour aider aux

diagnostics et aux choix thérapeutiques. L'ouvrage fournit un exemple précis : le risque de fracture d'origine ostéoporotique peut désormais être prédit en calculant de façon automatique la densité osseuse à partir de scanners abdominaux. L'IA permet aussi de repérer les associations médicamenteuses à risque.

La perspective d'une médecine totalement robotisée et de soins effectués par des machines est cependant aussi effrayante qu'illusoire. L'IA intervient surtout comme un outil d'aide à la décision. Par ailleurs, le déploiement d'outils d'IA en santé se heurte aux difficultés d'accès aux données de santé aujourd'hui très éclatées.

En outre, dans le domaine de la santé et du soin, il existe une préférence sociale forte pour une prise en charge par des humains : le rapport du PIPAME précité rappelait une étude récente d'OpinionWay qui indiquait que 51 % des personnes interrogées n'envisageaient pas de se fier à un diagnostic médical établi sans intervention humaine.

#### *f) L'énergie et l'environnement*

Les services liés à l'énergie ou l'environnement peuvent eux aussi être **optimisés par l'utilisation de robots intelligents** automatisant certaines tâches.

Une première tâche compliquée à gérer car elle nécessite des calculs incessants est celle de l'optimisation de l'approvisionnement en énergie. Les « *smartgrids* » sont littéralement des réseaux intelligents destinés à ajuster les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs. Ils constituent une réponse possible au difficile stockage de l'électricité en optimisant le rendement des installations afin de répondre aux variations inévitables de la demande. Les *smartgrids* constituent aussi un outil utile pour intégrer aux réseaux des énergies propres très décentralisées comme le solaire ou l'éolien. L'automatisation de la gestion des réseaux d'approvisionnement électrique évite la surproduction électrique et parfois même la surconsommation, et contribue à une gestion plus efficace des réseaux de distribution.

Il en va de même en matière de distribution d'eau : la mise en place de compteurs intelligents qui renvoient régulièrement des données offre la possibilité de mieux surveiller le réseau et de repérer les éventuelles fuites.

Dans le domaine des risques environnementaux, l'IA permet d'élaborer des modèles précis qui s'appuient sur des masses de données. Dans la gestion de déchets, l'IA est aussi désormais utilisée pour le pilotage des unités de traitement.

#### *g) Le commerce, les loisirs, le tourisme*

Si ces secteurs sont marqués par l'importance des relations humaines et la recherche de personnalisation, le commerce, les loisirs et le tourisme n'échappent pas non plus à la tendance générale à la robotisation et à

l'automatisation des tâches. Dans le commerce, les caissières sont remplacées par des automates qui déplacent les tâches de passage des articles et de paiement vers le client final. Toujours dans le commerce, des écrans interactifs sont capables de renseigner les clients sur la disponibilité d'articles, leur emplacement dans un magasin ou encore sur la disponibilité de tel ou tel service dans un centre commercial.

Le secteur des loisirs est aussi fortement impacté par l'irruption des technologies d'intelligence artificielle. En matière de jeux vidéo, il est possible de se mesurer à des adversaires physiquement présents ou connectés mais aussi directement à des machines programmées pour simuler un adversaire. Des robots permettent aussi d'entraîner des sportifs, comme le fait Forpheus, machine de tennis de table.

Ce sont aussi des algorithmes qui nous font des suggestions sur les plateformes de vidéo à la demande, en fonction de notre profil et de nos choix passés. La télévision et les médias connaissent un bouleversement d'ampleur avec les contenus à la demande : la consommation de contenus devient très personnalisée et rend obsolètes le « film du dimanche soir » ou le « JT de 20 heures », puisque l'on peut désormais visionner un film à toute heure et regarder le journal télévisé à la demande.

En matière de tourisme, Internet a déjà révolutionné les réservations d'hôtels, de billets d'avions ou de trains. L'IA est utilisée pour ajuster les prix en fonction des variations de l'offre et de la demande. Comme dans le commerce ou les autres formes de loisir, l'IA peut aussi faire de la publicité ciblée en fonction de notre profil et de nos destinations passées.

Des robots, enfin, peuvent remplacer des tâches d'accueil dans des hôtels ou des restaurants.

#### *h) D'autres exemples encore*

Comme toutes les technologies transversales, l'IA **irrigue tous les secteurs d'activité**, à des rythmes plus ou moins soutenus et avec une intensité plus ou moins forte, mais sans qu'aucun doute ne soit possible sur les tendances en cours et de manière inexorable, sans retour en arrière possible.

Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut noter encore de nombreux domaines qui connaissent une automatisation des tâches à travers des algorithmes qui sont capables de réaliser des actions complexes, y compris d'analyse, dans des temps très courts.

On peut citer ici l'analyse juridique. La numérisation des décisions de justice et des dossiers de procédure combinée aux progrès des algorithmes de reconnaissance de textes permet d'effectuer des analyses de jurisprudence sans avoir à lire des milliers de page, simplement en interrogeant des assistants juridiques virtuels qui effectuent ensuite automatiquement des recherches. Se basant sur les données des contentieux

passés, des sociétés comme LEGALIST aux États-Unis permettent aussi de prévoir les chances de réussite des procès et d'en évaluer les coûts probables. Les *Legal techs* proposent aussi d'automatiser la rédaction de contrats et de dématérialiser leur gestion, ce qui améliore la performance des cabinets chargés de ces tâches fastidieuses.

### 3. Les formes diverses des robots intelligents

La forme que prennent les robots intelligents est très variable : robot physique, mais aussi robot virtuel peuvent se côtoyer. Multitâches, les robots peuvent aussi être très spécialisés et ne répondre qu'à des besoins très limités. Finalement, le paysage des robots est aujourd'hui marqué par une fragmentation et s'avère très mouvant, du fait d'innovations technologiques permanentes et de l'imagination foisonnante d'une myriade de start-up.

Les compétitions de robots et les défis scientifiques contribuent à faire émerger de nombreuses initiatives dont certaines peuvent être reprises ensuite à l'échelle industrielle.

#### *a) Le robot-humanoïde multitâches*

Le robot-humanoïde autonome et capable de réaliser de nombreuses actions est le nec plus ultra des robots intelligents. Les propriétés mécaniques de ces robots sont particulièrement poussées, pour leur permettre de se déplacer et d'agir de manière autonome, en reproduisant autant que possible des gestes effectués par les humains.

Le robot humanoïde n'est plus un objet de science-fiction, symbolisé par C-3PO, le droïde de protocole imaginé en 1977 dans le premier film de la saga Star Wars. Plusieurs acteurs du monde de la robotique ont d'ores et déjà réalisé des robots humanoïdes : le robot Atlas de l'entreprise Boston Dynamics est capable de se déplacer avec aisance, de courir, de grimper ; le robot Fiodor, de conception russe, a été envoyé en août 2019 dans la station spatiale internationale pour aider les cosmonautes à réaliser des réparations ; les robots Nao, lancé en 2006 par la société Aldebaran (rachetée ensuite par SoftBank Robotics), puis Pepper, lancé en 2014 par la société SoftBank Robotics ont été conçus respectivement pour interagir en fonction des émotions perçues (Pepper). Ils sont déployés pour assurer des fonctions d'accueil commercial, ou encore pour des applications éducatives (interactions avec des enfants).

**Ces robots ont cependant des capacités limitées.** S'ils sont programmables, ils ne sont pas capables d'une infinité de tâches mais n'effectuent que celles qui leur sont affectées : un robot d'accueil saura reconnaître les émotions des clients et engager la conversation pour leur donner des informations, mais sera incapable de crier « au feu » si un incendie se déclenche à proximité, sauf à avoir été programmé spécialement pour cela. Les robots sont dépourvus de capacité d'initiative et d'innovation.

Certains robots humanoïdes sont encore plus simples et, n'embarquant pas d'intelligence artificielle, constituent en réalité de simples automates. Le robot Zora, doté aussi d'un aspect humanoïde, est ainsi utilisé dans quelques maisons de retraite pour donner des cours d'exercice physique, lire des documents. Mais il est dépourvu de capacités d'adaptation à son environnement.

*b) Les assistants vocaux*

Les assistants vocaux constituent une autre forme de robot, peut-être **plus simple que le robot humanoïde**. Ces assistants vocaux ont pu se développer grâce aux progrès des technologies de reconnaissance vocale numérique. Ils ont d'abord été intégrés aux smartphones pour permettre de commander des actions par la voix (assistant Siri installé en 2011 sur les produits Apple). Le marché des assistants virtuels s'est peu à peu diversifié avec aujourd'hui plusieurs produits et plusieurs plateformes techniques disponibles : Siri (Apple), Google Assistant (Google), Alexa (Amazon), Cortana (Microsoft), Djingo (Orange), Bixby (Samsung). Ces assistants vocaux se retrouvent aussi dans les voitures. Récemment, des assistants vocaux domestiques (Amazon Echo, Google Home, etc...) ont été commercialisés : ils permettent de faire des recherches sur Internet, commander des appareils domestiques (lumières, volets électriques), lancer des musiques, indiquer la météo, etc...

Ces assistants vocaux se perfectionnent en cours d'utilisation : dotés d'IA, ils repèrent les préférences des utilisateurs et s'adaptent à celles-ci. Ils introduisent une interactivité homme/objet jusque dans la vie quotidienne, et ont été adoptés très rapidement.

*c) Les chatbots ou robots conversationnels*

Les « *chatbots* » sont des machines destinées à dialoguer avec des personnes réelles en leur donnant l'impression qu'elles discutent avec des personnes physiques. Ils ne comprennent pas la conversation mais visent à imiter un interlocuteur humain dans un dialogue. C'est en cela qu'on classe les *chatbots* dans la catégorie des applications « d'IA faible ». La programmation des *chatbots* nécessite d'entrer un très grand nombre de données pour répondre à la diversité des conversations possibles.

Ils peuvent être utilisés dans différentes applications, notamment le télémarketing, ou encore pour guider un voyageur dans son choix de trajet, ou pour finaliser des transactions de e-commerce. En général, les *chatbots* sont spécialisés dans un domaine particulier, et ne sont pas capables de soutenir tout type de conversation.

Les *chatbots* présentent l'avantage d'être rapides, disponibles tout le temps (y compris en dehors des horaires d'ouverture habituels d'un service) et assez faciles d'utilisation. Ils peuvent cependant aussi être piégés et ne pas

être capables de répondre à toutes les questions. C'est pourquoi un transfert sur des interlocuteurs humains peut être nécessaire en second niveau.

*d) L'intelligence artificielle embarquée sur ordinateur*

Dépourvu d'enveloppe physique, ne se manifestant qu'à travers un terminal informatique quelconque (ordinateur, tablette, smartphone), un robot virtuel n'en reste pas moins un puissant outil pour automatiser certaines tâches et les réaliser de manière plus rapide et plus fiable qu'un humain.

Les programmes d'IA sont ainsi capables d'optimiser un trajet en fonction de la connaissance des flux habituels de circulation et des flux constatés par d'autres utilisateurs connectés : l'application Waze, par exemple, est dépourvue d'enveloppe physique autre qu'un affichage cartographique sur un terminal (smartphone ou tablette). Pour autant, cette application effectue des calculs d'itinéraire plus performants que ceux qui peuvent être effectués par des humains.

### **C. LES LIMITES DES MACHINES INTELLIGENTES**

#### **1. Des limites technologiques**

*a) La dépendance aux données*

Les performances des machines intelligentes dépendent désormais fortement de la masse des données disponibles. Le rapport Villani précité indique ainsi que « *l'apprentissage par données n'est pas la seule méthode menant à l'intelligence artificielle (loin s'en faut) mais c'est aujourd'hui la méthode la plus utilisée, celle qui se développe le plus vite et celle qui fait l'objet de la compétition internationale la plus vive. Le point de départ de toute stratégie en intelligence artificielle tient ainsi en la constitution de larges corpus de données* ». On ne peut être plus clair : sans données massives, il n'est pas envisageable de robotiser, d'automatiser massivement.

Le rapport ajoute que « *si la donnée brute est nécessaire, elle décuple sa valeur lorsqu'elle est structurée et annotée de sorte qu'elle véhicule des informations valorisables par les techniques d'IA* ». Or, l'annotation de données, leur qualification est coûteuse en temps et donc en ressources humaines et financières. La prise en charge de ce travail peut être transférée aux utilisateurs (par exemple lorsqu'un usager d'une application de déplacement renvoie ses données de géolocalisation). La qualification des données peut aussi être externalisée sur des plateformes de micro-tâches (comme l'*Amazon Mechanical Turk*).

Plusieurs types de problèmes peuvent intervenir en matière de collecte et traitement de données, ce qui limite le développement de l'IA :

- Un problème de **disponibilité des données** : certaines bases sont publiques, mais les géants du numérique, GAFAM américains ou BATX chinois ont accumulé des masses d'informations dont ils sont propriétaires et qui ne sont pas partagées avec les autres acteurs de l'économie. Le rapport Villani citait une étude de l'Union européenne menée en 2017 qui établissait que 90 % des entreprises ne partageaient pas leurs données avec d'autres. L'écosystème de la donnée est encore très éclaté, même s'il existe une prise de conscience de la nécessité d'une plus grande ouverture pour permettre les progrès de l'IA.

- Un problème de **qualité des données** : des données erronées peuvent induire les systèmes en erreur et l'IA n'est pas outillée pour repérer des absurdités qui sauteraient aux yeux d'un humain. Les secteurs comme la santé ou la chimie sont ainsi particulièrement sensibles à une bonne qualité des données et des nettoyeurs de données peuvent être nécessaires pour améliorer l'efficacité des systèmes d'information et permettre un déploiement réussi de l'IA.

- Enfin, l'IA se heurte aussi à des **biais dans la collecte et l'utilisation des données**. La question des biais cognitifs de l'IA est montée récemment dans le débat public. Aude Bernheim et Flora Vincent, dans un ouvrage récent intitulé « *L'intelligence artificielle, pas sans elles* », montrent que l'IA peut reproduire des stéréotypes de genre : par exemple, un logiciel de traduction automatique va systématiquement transcrire « *a nurse* » par « *une infirmière* » alors que l'expression « *a doctor* » était traduite par « *un médecin* », alors que dans le contexte autour de la phrase à traduire, il pouvait s'agir à l'inverse d'une femme médecin et d'un homme infirmier. L'IA est accusée également de reproduire des stéréotypes raciaux. L'IA basant son fonctionnement sur ce qui est observé, elle tend à reproduire les inégalités et constitue ainsi un outil de leur perpétuation.

#### *b) Les limites inhérentes à l'intelligence artificielle*

Au-delà des problèmes concernant la collecte des données, l'IA rencontre des limites technologiques qui lui sont inhérentes et empêchent d'envisager, même à une échéance lointaine, d'élaborer des robots multitâches très polyvalents.

**D'abord, une machine intelligente n'intervient que dans le domaine pour lequel elle a été programmée.** Ainsi, un robot d'accueil est capable de tenir une conversation avec un client, mais, comme le faisait remarquer Rodolphe Gelin lors de son audition par vos rapporteurs, il ne retiendra pas si celui-ci tombe par terre car il n'a pas été conçu pour cela, alors qu'un humain chargé de la même fonction d'accueil le ferait spontanément. L'IA n'est pas une intelligence générale mais plutôt une intelligence orientée vers quelques objets définis à l'avance.

Par ailleurs, l'IA peut aussi, comme tout programme informatique, connaître des **défaillances ou « bugs »** : ainsi, les tests de conduite autonome

ont montré une grande fiabilité de la conduite par des machines, mais n'a pas totalement empêché les accidents : ainsi en mars 2018, une voiture autonome d'Uber n'avait pas classé comme piétonne une femme marchant de nuit sur une route de l'Arizona à côté de son vélo et l'a percutée mortellement. L'existence de « bugs », même rares, peut aussi conduire des opérateurs humains appelés à utiliser des outils à base d'IA à faire trop confiance à leur machine et à ne jamais remettre en cause les informations fournies par la machine.

Si l'IA est très performante pour multiplier les calculs et appliquer des règles, même complexes, l'IA est en revanche plus en difficulté en matière d'intelligence sociale, c'est-à-dire dans sa capacité à interagir avec autrui. Très vite, les robots peuvent être dépassés par des situations imprévues ou simplement inhabituelles. De l'avis de tous les spécialistes auditionnés par vos rapporteurs, l'intelligence émotionnelle est également aujourd'hui hors de portée de l'IA : certes, des robots sont programmés pour reconnaître des émotions lorsque celles-ci sont détectées par des manifestations extérieures (expressions du visage) mais rencontrent aussi rapidement des difficultés de compréhension de celles-ci (un sourire ironique peut être confondu avec un sourire bienveillant). Leur capacité à déclencher des émotions, à motiver ou à interagir de manière avancée dans le cadre d'un travail collaboratif relève encore de la science-fiction.

Enfin, les chercheurs soulignent que l'IA ne dispose d'aucune conscience d'elle-même, d'aucune volonté propre et reste en tout état de cause dans la sphère des objets. Le fantasme des machines prenant le contrôle du monde est donc encore loin de la réalité, même si les progrès des technologies ces dernières années ont été spectaculaires.

## 2. Des limites économiques

### *a) L'intégration, maillon essentiel de l'adoption des machines intelligentes*

Les technologies robotiques et l'IA ne sont pas toujours simples à mettre en œuvre et ne se présentent pas comme des solutions « clefs en mains ». Parmi les six enjeux identifiés dans le récent rapport Bonnel-Simon précité sur la robotique et les systèmes intelligents, celui de l'intégration était qualifié de « maillon essentiel ». Lors de son audition devant vos rapporteurs, Mme Simon avait insisté sur l'importance de la phase d'intégration, soulignant que **les technologies sont souvent disponibles mais que pour être adoptées, il convient de passer par une phase d'intégration** dans les processus métiers des entreprises qui ne se fait pas toute seule.

L'intégration est fortement perturbatrice des habitudes de travail et oblige parfois à remettre à plat le fonctionnement d'une entreprise ou d'une administration, pour automatiser les tâches routinières. Cette phase de remise à plat peut mettre en évidence des dysfonctionnements importants et

constituer un moment de mise en accusation de certains acteurs de l'entreprise. L'intégration se fait rarement « à l'identique », en déplaçant seulement certaines tâches humaines vers des machines. Elle peut aussi procéder à une redistribution très forte des charges de travail, des pouvoirs au sein des organisations, et déplacer la chaîne de valeur. **Bref, l'intégration de solutions robotiques ou d'IA est loin d'être neutre** : par exemple l'automatisation des contrôles des fausses déclarations de douane au sein de la direction générale des douanes et des droits indirects a pour but de diminuer la fraude, mais aussi de libérer les agents de contrôles assez routiniers sur pièces pour aller vers des contrôles plus qualitatifs concernant des cas complexes. L'utilisation de l'IA dans la gestion des stocks permet aussi de déclencher des commandes automatiques voire d'anticiper les situations de rupture de stocks ou de surstockage.

Ces transformations n'ont pas qu'une dimension technique mais ont souvent pour conséquence une réorganisation totale du management des organisations. Elles conduisent à repenser en profondeur les processus mis en œuvre dans les entreprises ou les administrations. Car outre la redistribution des rôles, l'intégration de solutions robotiques ou d'IA peut constituer un choc psychologique pour les utilisateurs : salariés et parfois clients et fournisseurs. La résistance à l'adoption de solutions techniques pourtant pertinentes est fréquemment une cause d'échec des stratégies de digitalisation d'entreprises ou d'administrations.

*b) Le coût de la mise au point des robots intelligents*

La dimension économique joue aussi dans le choix ou non d'adopter des solutions robotisées ou des applications intégrant l'IA. Si les robots présentent des atouts indéniables de productivité, sont robustes, résistants à la fatigue, et font plutôt moins d'erreurs que les opérateurs humains, **automatiser une tâche ou une série de tâches n'est pas systématiquement une bonne option**. Les robots manquent en effet de polyvalence et l'amortissement de lourds investissements ne se justifie que si le marché est large ou les tâches à automatiser nombreuses et très répétitives.

Concernant les solutions d'IA, une étude du cabinet McKinsey publiée début 2019 estimait que leur adoption pourrait générer en Europe 2 700 milliards d'euros de PIB supplémentaire d'ici à 2030, avec un coût de transition estimé à 1 000 milliards, soit un impact net très positif. Dans certains domaines comme les achats, l'IA offre des avantages très nets : elle permet de réduire de 25 à 60 % la durée d'un processus d'achat, permet 5 à 40 % d'économies en comparant automatiquement les offres, et réduit de 30 à 40 % les coûts de traitement des dossiers d'achat, selon le directeur des services à valeur ajoutée de la société Manutan<sup>1</sup>. Mais la balance n'est pas

---

<sup>1</sup> <https://www.manutan.com/blog/fr/strategie-achats/intelligence-artificielle-quels-benefices-pour-les-achats>

systématiquement positive. Encore faut-il que les processus soient suffisamment standardisés pour que l'utilisation de machines soit pertinente.

Ce qui n'est pas répétitif et peu modélisable est ainsi peu automatisable. De même, dans les activités où il existe des évolutions rapides de tâches, la robotisation n'est pas un bon calcul car les solutions techniques sont vite obsolètes. Les capacités d'adaptation et d'apprentissage de l'homme lui donnent une réelle supériorité sur la machine, qui a besoin d'un nombre très important d'exemples pour créer une catégorie : ainsi, un enfant de 3 ans comprendra ce qu'est un chien en n'étant mis en présence d'un tel animal que quelques fois, et en étant capable de conceptualiser le chien, alors qu'il faudra à une machine des dizaines voire des centaines de milliers d'exemple pour ne pas se tromper.

Le rapport Villani précité précise « *qu'il n'est pas forcément plus avantageux d'automatiser une tâche, même d'un point de vue purement économique* ». L'automatisation doit donc être analysée au cas par cas, et sa mise en œuvre résulte d'un calcul économique qui peut aussi être mouvant. De ce point de vue, la diffusion progressive des technologies d'IA et des robots pourrait en abaisser le coût et en démocratiser l'usage, comme cela s'observe pour toutes les technologies qui entrent dans leur phase de maturité.



## II. L'IMPACT DE LA ROBOTISATION SUR LES EMPLOIS DE SERVICE EST INCERTAIN MAIS POTENTIELLEMENT MASSIF

### A. UN IMPACT QUANTITATIF SUR L'EMPLOI INDÉNIABLE MAIS INCALCULABLE

#### 1. Des estimations très variables des pertes d'emploi liées à l'automatisation

##### a) Des incertitudes sur le volume des emplois détruits par l'automatisation

La perspective de la fin du travail est agitée régulièrement, tantôt comme une perspective salvatrice permettant de s'émanciper des contraintes de la vie professionnelle, tantôt sous la forme du spectre du chômage technologique de masse.

L'ouvrage « *La fin du travail* » de l'économiste Jeremy Rifkin, paru en 1995, prophétisait déjà la fin du travail tel que nous le connaissons alors, appelé selon lui à être de plus en plus automatisé. En 2013, les chercheurs à l'Université d'Oxford Carl Frey et Michael Osborne ont publié une étude très commentée portant sur 700 types d'emplois et 70 métiers et cherchant à évaluer pour chacun d'entre eux la probabilité d'automatisation. Cette étude concluait que **47 % des emplois américains étaient menacés par l'automatisation à une échéance de 20 années**. Cette étude distinguait tâches manuelles et tâches cognitives d'une part et tâches routinières et non routinières d'autre part. Appliquant la même méthode, une étude de 1994 du cabinet Roland Berger avait estimé que 42 % des métiers présentaient en France un risque d'automatisation forte du fait de la digitalisation de l'économie, laissant craindre la destruction de 3 millions d'emplois en 20 ans. Les principaux métiers considérés comme automatisables relevaient du secteur des services et représentent un très grand nombre d'emplois : ainsi Frey et Osborne estimaient probable la suppression aux Etats-Unis, du fait de l'automatisation, de plus de 4 millions d'emplois de vendeurs, 3,3 millions d'emplois de caissiers et billettistes, 2,8 millions d'employés de bureau, 2,2 millions d'emplois de serveurs, 2 millions d'emplois de manutentionnaires, 1,5 million de conducteurs de poids lourds, 1 million de cadres comptables et 1,5 million d'assistants comptables.

Des travaux plus récents conduits par les chercheurs Melanie Arntz, Terry Gregory et Ulrich Zierahn estiment que l'approche par métiers de Frey et Osborne ne prend pas en compte l'hétérogénéité des tâches accomplies par les salariés, certaines étant en réalité peu automatisables. **Cette étude revoit considérablement à la baisse le chiffre de presque 50 % des emplois risquant de disparaître avec l'automatisation. Elle estime qu'environ 9 % des emplois pourraient disparaître dans l'OCDE du fait de la robotisation et l'adoption d'outils d'IA remplaçant le travail humain.** Une autre étude

de France Stratégie publiée en juillet 2016<sup>1</sup> estime pour la France que le **nombre d'emplois facilement automatisables à l'horizon 2025 serait d'environ 3,5 millions soit 15 % de l'emploi total**, tandis que ceux qui ne sont pas du tout automatisables s'élèvent à plus de 9 millions. Cette étude considère comme non automatisables les emplois pour lesquels les salariés doivent répondre immédiatement à une demande extérieure et pour lesquels ils ne doivent pas appliquer strictement des consignes pour réaliser leur travail correctement. Ces deux critères permettent de repérer ce qui est automatisable et ce qui ne l'est pas. Dans son dernier rapport sur les perspectives de l'emploi publié en avril 2019<sup>2</sup> et intitulé « *L'avenir du travail* »<sup>3</sup>, l'OCDE tend à retenir cet ordre de grandeur. Dans le deuxième chapitre de cet ouvrage, l'OCDE affirme que, selon ses estimations « *seulement 14 % des emplois existants présentent un risque de complète automatisation, et non pas près de 50 % comme le suggèrent d'autres recherches* ». En France, 16 % des emplois seraient exposés à un risque élevé d'automatisation (avec une probabilité d'automatisation de l'emploi supérieure à 70 %). L'OCDE évalue aussi à environ un tiers des emplois la proportion qui pourrait être concernée par des changements profonds du fait de l'automatisation de nombreuses tâches, mais ces changements ne mèneraient pas mécaniquement à des destructions d'emplois.

*b) Une quantification difficile à établir*

Comme le notait Cédric Villani dans son rapport précité sur l'intelligence artificielle, il est **difficile d'établir des critères précis pour qualifier une tâche d'automatisable**. La diversité des résultats des études de chercheurs sur les pertes d'emploi générées par cette nouvelle étape du progrès technique s'explique par des choix de modélisation très différents. Le Conseil d'orientation pour l'emploi (COE) a réalisé un travail très approfondi pour clarifier les impacts de l'automatisation sur l'emploi en France. Le tome 1 de ce rapport, publié en janvier 2017, propose de définir un indice d'automatisation associé à chaque emploi pour comparer le degré d'exposition des emplois à l'automatisation.

Pour le COE, quatre critères principaux sont utilisés pour déterminer le caractère automatisable d'une tâche, qu'elle soit exercée dans le cadre d'une manufacture (industrie, agriculture) ou dans les services :

- **l'absence de flexibilité** : elle est caractérisée lorsque le rythme de travail est imposé par des normes de production, des contraintes techniques, la cadence automatique d'une machine ou encore lorsque le travail consiste à répéter continuellement une série de gestes ou d'opérations.

---

<sup>1</sup> <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/na-49-automatisation-emploi.pdf>

<sup>2</sup> <https://www.oecd.org/employment/future-of-work/>

<sup>3</sup> [https://www.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-employment-outlook-2019\\_9ee00155-en](https://www.oecd-ilibrary.org/employment/oecd-employment-outlook-2019_9ee00155-en)

- **l'absence de capacité d'adaptation du salarié** : elle est repérable lorsque la tâche du salarié est d'appliquer strictement des consignes ou lorsque le salarié ne peut pas interrompre une tâche sans se faire remplacer.

- **l'absence de capacité à résoudre des problèmes** : elle consiste lorsqu'un imprévu survient à devoir en référer systématiquement à un supérieur.

- enfin, **l'absence d'interactions sociales** se manifeste par l'absence de contact ou uniquement un contact routinier avec le public et par un rythme de travail qui n'est pas imposé par un client ou le public, obligeant à une réponse immédiate.

Lorsque ces quatre critères sont réunis, le COE considère que l'indice d'automatisation est élevé. Les agents d'entretien, aides à domicile et aides ménagères, les ouvriers manutentionnaires, certains ouvriers qualifiés ou non qualifiés, mais aussi des conducteurs de véhicules, des caissiers et employés de services divers peuvent être concernés. Le COE conclut lui aussi que moins de 10 % des emplois ont un indice d'automatisation élevé mais estime qu'environ la moitié des salariés devra voir le contenu de son travail évoluer pour ne pas que leur travail soit considéré comme automatisable.

**En situation réelle, la substitution des machines à l'homme n'est pas non plus systématique : en d'autres termes, ce n'est pas parce qu'une tâche est automatisable qu'elle sera automatisée.** D'autres critères que la technologie entrent en ligne de compte, comme **l'acceptabilité sociale**. Ceci peut expliquer d'ailleurs pourquoi certains pays ont conservé le métier de pompiste dans les stations-service alors qu'il existe depuis longtemps des automates de distribution de carburants capables de gérer les opérations de distribution du carburant du début à la fin.

Dans son rapport précité sur l'avenir de l'emploi, l'OCDE souligne qu'il n'existe pas de « déterminisme technologique ». L'OCDE indique que *« le fait qu'une technologie existe n'implique pas nécessairement qu'elle se diffuse et change la manière dont les gens vivent et plus spécifiquement travaillent. En fait, on observe des preuves révélant que la diffusion des technologies est très hétérogène selon les pays, secteurs et entreprises »*. Les facteurs économiques jouent aussi : les pays à faible coût de main d'œuvre ont une pression économique à l'automatisation des tâches plus faibles que les pays qui manquent de main d'œuvre.

### *c) L'exemple de l'industrie*

L'industrie française ne cesse de voir son poids dans le PIB et dans l'emploi global se réduire : alors que l'industrie manufacturière représentait encore en 1990 17 % du PIB, cette part est tombée à 10 % au début des années 2010 (12 % lorsque l'on prend en compte l'ensemble de l'industrie)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> [https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/etudes-et-statistiques/Chiffres\\_cles/Industrie/2018-Chiffres-cles-industrie-manufacturiere.pdf](https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/Chiffres_cles/Industrie/2018-Chiffres-cles-industrie-manufacturiere.pdf)

L'emploi industriel ne représente plus que 2,8 millions de salariés, soit une baisse de plus de 500 000 entre le milieu de la décennie 2000 et le milieu de la décennie 2010. La part de l'industrie en Europe a globalement baissé mais pas de manière aussi spectaculaire, et représente encore plus de 20 % du PIB européen et à peu près la même proportion d'emplois.

**Il y a plusieurs explications à la destruction d'emplois industriels : la délocalisation a joué en France un rôle majeur.** L'externalisation de certaines opérations par les entreprises industrielles (nettoyage, maintenance) porte également une part de responsabilité. Mais la mécanisation, la robotisation, et le transfert de tâches d'ouvriers vers des machines sont aussi des réalités fortes dans le monde industriel.

L'industrie se prête bien à l'automatisation, avec la perspective d'usines totalement robotisées, n'employant que quelques personnes dans des activités de maintenance ou de supervision. Or, les emplois industriels existent encore, en France, comme dans les pays ayant su conserver ou développer une activité industrielle plus forte. La Corée du Sud, pays le plus robotisé du monde, qui a fait des investissements massifs dans des robots depuis 10 ans, voit la part de l'emploi industriel rester stable depuis 20 ans aux alentours de 25 % de l'emploi total du pays.

L'observation « micro-économique » du remplacement d'hommes par des machines dans des usines ne peut donc pas être extrapolée à l'échelle globale et conduire à condamner l'avenir des emplois industriels. Plutôt que de disparaître, ceux-ci sont probablement appelés à se transformer, à se réinventer.

**Il faut cependant être conscient que le secteur industriel est celui le plus susceptible de voir des emplois détruits par l'automatisation,** du fait de la nature très normée et répétitive de l'activité industrielle. Une étude de mars 2017 de deux chercheurs du National Bureau of Economic Research des États-Unis, Daron Acemoglu et Pascual Restrepo<sup>1</sup> estimait ainsi que l'installation de robots dans l'industrie américaine entre 1990 et 2007 avait conduit à des diminutions du taux d'emploi de la population sur les marchés du travail locaux de 0,18 à 0,34 point de pourcentage chaque fois qu'on augmentait le nombre de robots de 1 pour 1 000 travailleurs et à une diminution des salaires de 0,25 à 0,50 point de pourcentage.

## **2. L'impossibilité de calculer un solde net d'emplois gagnés et perdus**

### *a) L'automatisation, un destructeur mais aussi un créateur d'emplois*

Si l'automatisation transfère indéniablement des tâches des hommes aux machines, et supprime en conséquence des emplois, l'évaluation de ces

---

<sup>1</sup> <https://www.nber.org/papers/w23285>

suppressions brutes est aujourd'hui imprécise et les économistes estiment aussi que **l'adoption de nouvelles technologies crée de l'emploi, selon des mécanismes multiples.**

L'histoire économique l'a montré : le progrès technique n'a pas supprimé l'emploi. Il n'y a jamais eu autant de personnes au travail qu'aujourd'hui. **Le taux d'emploi des 15-64 ans, selon les chiffres de l'OCDE, n'a cessé de croître sur les trois dernières décennies** dans les principaux pays du monde, dans une période qui n'a pas été marquée par une stagnation des technologies. La digitalisation, la numérisation de l'économie ne sont donc pas au plan macro-économique la cause d'un sous-emploi massif.

La nature des innovations techniques mises en œuvre peut avoir un impact très variable sur l'emploi. Ainsi, le rapport du COE précité, s'appuyant sur les travaux du chercheur Marco Vivarelli publiés en 2015, distingue deux types d'innovations : **l'innovation de procédé**, qui correspond à l'introduction de nouvelles techniques de production et de distribution, avec notamment l'objectif d'accroître la productivité, et **l'innovation de produit**, qui porte davantage sur l'objet final fabriqué ou le service fourni par l'entreprise. Les innovations de procédé sont les plus susceptibles de détruire directement des emplois, puisqu'elles répondent à l'impératif d'améliorer l'efficacité et de baisser les coûts de production alors que les innovations de produits peuvent au contraire en créer car elles font émerger de nouveaux besoins et de nouveaux débouchés.

Le rapport 2019 sur l'emploi de l'OCDE précité identifie **trois mécanismes** par lesquels le progrès technologique peut s'accompagner de créations nettes d'emplois :

- D'abord, le progrès technologique peut créer plus d'emploi qu'il n'en détruit au sein d'une même activité, en permettant un **élargissement du marché** : cela a été le cas pour l'automobile pendant des décennies, et le rapport de l'OCDE illustre ce phénomène en citant les services de mise en relation directe entre clients et chauffeurs VTC : si l'automatisation de la mise en relation à travers des applications comme UBER a pu détruire des emplois, la balance globale est considérée comme positive car l'arrivée de ce nouveau service a dopé la consommation de courses.

- Ensuite, les économistes indiquent que l'automatisation réussie, entraînant baisse des coûts et hausses de productivité dans une industrie, conduit à des **baisses de prix qui libèrent des ressources de leurs clients pour d'autres achats**, menant à une hausse de l'emploi dans les secteurs bénéficiant de cette hausse de pouvoir d'achat par élargissement de leurs propres marchés.

- Enfin, l'OCDE note que l'automatisation d'une entreprise est susceptible de faire **baisser les coûts de production de ses entreprises clientes** et donc d'améliorer leur capacité à embaucher, bénéficiant en partie

de cette meilleure performance globale permise par la technologie utilisée par d'autres qu'eux.

Notons aussi que la technologie crée elle-même des emplois nouveaux. C'est ce qu'exprimait le secrétaire d'État Cédric O lors du débat du 2 octobre 2019 au Sénat sur l'IA, précisant que le secteur du numérique, qui regroupe 80 000 emplois aujourd'hui en France, devrait représenter 220 000 emplois en 2022 et qu'il y aurait 900 000 emplois d'ingénieurs à pourvoir dans l'Union européenne à cette échéance.

Cependant, comme le rapport de l'OCDE le note lui-même, il n'y a **pas de phénomène automatique de vases communicants entre emplois perdus par l'automatisation et emplois dans le secteur numérique**, car les compétences exigées dans les emplois qui vont connaître une automatisation et celles requises dans les emplois liés à l'utilisation de robots (techniciens, ingénieurs) sont très différentes. Une reconversion des personnels pénalisés par la révolution robotique dans les nouveaux emplois de l'économie numérique n'est donc pas aisée. Par ailleurs, les difficultés de reconversion ne sont pas réparties équitablement entre territoires à l'intérieur d'un pays et plus encore entre pays, ou entre groupes socio-démographiques. Une **analyse fine est donc indispensable** pour caractériser les effets réels de l'automatisation sur l'emploi.

*b) Des effets à long terme plutôt positifs des robots et de l'IA sur le volume global des emplois ?*

A l'issue de l'analyse des derniers travaux disponibles, vos rapporteurs estiment qu'il est hasardeux voire impossible de quantifier globalement les effets nets sur l'emploi du processus de robotisation et d'appropriation de l'IA par les différentes branches de l'économie.

**Cette quantification est d'autant plus inaccessible que le pas de temps de l'adoption de nouvelles technologies est lui aussi incertain** : bien que disponibles, les technologies ne sont pas toujours adoptées rapidement.

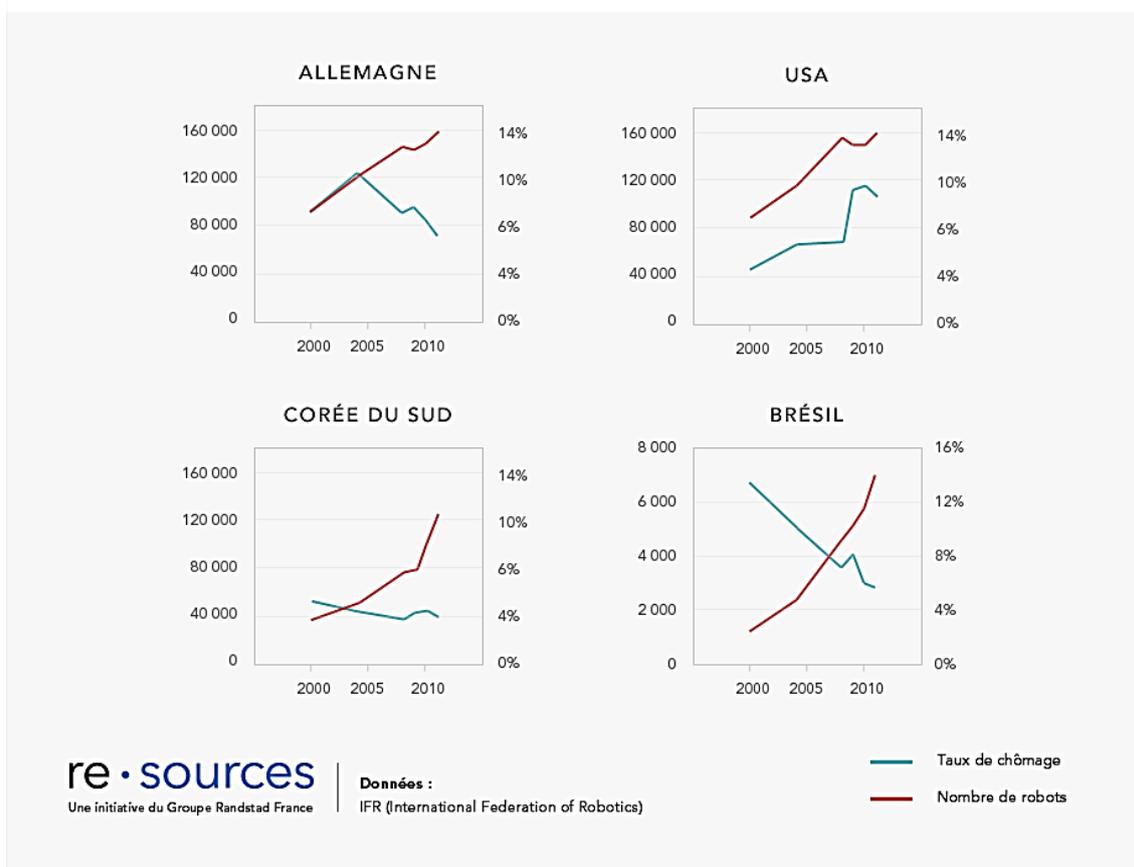
Le temps doit aussi être pris en compte dans les effets de compensation des pertes d'emploi entre secteurs : l'automatisation génère des pertes d'emploi immédiates dans les domaines où l'homme est remplacé par la machine, tandis que les créations d'emplois dans les nouveaux secteurs se font plus progressivement

La plupart des experts ne sont toutefois pas pessimistes. Le rapport du COE précité conclut que « *l'impact de l'automatisation des tâches routinières sur la demande de travail à long terme est positif* » mais demande que des études empiriques viennent à l'appui des analyses théoriques, qui manquent de robustesse.

Le rapport Servoz précité est tout aussi explicite en indiquant que « la révolution numérique a non seulement créé beaucoup plus d'emplois qu'elle en a détruit mais a aussi amélioré la qualité des emplois et des services »<sup>1</sup>.

**L'observation croisée des statistiques de robotisation et de chômage par pays suggère clairement que la technologie n'est pas un facteur d'explication du sous-emploi :** le groupe Randstad France a mis en ligne une étude montrant que la courbe d'installation de robots pouvait progresser et que la courbe du chômage pouvait baisser, augmenter ou rester relativement stable<sup>2</sup>. Aucun pays n'a aujourd'hui apporté la preuve que la robotisation conduisait à un chômage de masse. Ce serait même plutôt le contraire qui se vérifie : le taux d'emploi des pays qui se robotisent a plutôt tendance à progresser<sup>3</sup>.

#### Comparaison du nombre de robots et du taux de chômage



<sup>1</sup> Rapport page 13.

<sup>2</sup> <https://resources.grouperandstad.fr/anticipations/5-graphiques-pour-comprendre-limpact-de-la-robotique-sur-lemploi/>

<sup>3</sup> <https://www.contrepoints.org/2018/09/15/325158-plus-de-robots-cest-plus-demplois>

### 3. Des effets attendus sur la structure et la localisation des emplois

a) *L'automatisation déforme la structure des emplois au détriment des emplois intermédiaires*

**La polarisation croissante des emplois est un mouvement profond à l'œuvre depuis deux décennies dans les pays de l'OCDE.** Cette polarisation consiste en une réduction de la part des emplois intermédiaires, correspondant à des qualifications moyennes, tandis qu'augmentent les parts respectives des emplois non qualifiés et à l'autre bout de l'échelle des emplois très qualifiés.

Le rapport de l'OCDE indique que l'automatisation dans l'industrie en est l'un des facteurs puisque les emplois de qualification intermédiaire, concentrés sur des tâches routinières, ont tendance à être remplacés par des machines ou externalisés. Les travaux de l'OCDE mettent aussi en évidence qu'un taux élevé de pénétration des technologies digitales dans un secteur donné est corrélé positivement à une polarisation plus marquée des emplois. Le rapport du COE abonde dans le même sens, même si ses auteurs considèrent que cette polarisation est moins nette en France. Une étude publiée début 2019 par le Centre pour la recherche économique et ses applications (CEPREMAP)<sup>1</sup> alimentée essentiellement par les déclarations annuelles des données sociales (DADS) des entreprises laisse penser que la crise de 2008 a accéléré la polarisation de l'emploi en France, essentiellement hors secteur manufacturier, en réduisant la part des emplois intermédiaires : employés de bureau, ouvriers qualifiés. Cette polarisation a un impact tant sur les volumes d'emploi que sur les inégalités de revenus qui tendent ainsi à s'accroître.

Les auteurs du rapport du COE expliquent que « *plusieurs travaux valident pour le cas français l'idée que les nouvelles technologies sont plutôt défavorables à l'emploi des travailleurs qui réalisent des tâches manuelles et cognitives routinières, tandis qu'elles sont plutôt favorables à l'emploi des travailleurs qui réalisent des tâches non routinières* ». Le rapport souligne cependant que d'autres facteurs peuvent aussi contribuer au phénomène et que la technologie n'est pas seule responsable : la mondialisation ou encore des changements organisationnels internes des entreprises peuvent en expliquer une part non négligeable.

b) *L'automatisation bouleverse la localisation des emplois.*

La mise en œuvre des nouvelles technologies d'automatisation n'est pas non plus neutre quant à la localisation des activités économiques sur les territoires et tend à renforcer l'effet de **concentration des activités à forte valeur ajoutée autour des grandes métropoles**. La destruction d'emplois

---

<sup>1</sup> <https://www.cepremap.fr/depot/opus/OPUS50.pdf>

industriels automatisés intervient en effet d'abord dans les secteurs industriels peu intensifs en technologie. En outre, les personnels qualifiés nécessaires pour développer des activités nouvelles à forte intensité technologique se trouvent plutôt dans les métropoles, à proximité des universités et organismes de formation. Les travaux du Commissariat général à l'égalité du territoire ont bien documenté cet avantage des grandes métropoles sur les pôles économiques de plus petite taille.

La localisation des emplois peut aussi connaître un bouleversement à plus large échelle à travers la délocalisation d'activités. Si les premières délocalisations répondaient à des logiques essentiellement d'optimisation des coûts de main d'œuvre ou de la recherche d'un rapprochement géographique entre usines et débouchés, **la dynamique actuelle qui préside aux choix internationaux d'implantation prend davantage en compte l'environnement technologique.**

Le rapport du COE souligne que le numérique a permis de transformer les modes de production et de réduire les coûts de coordination entre acteurs éloignés, ce qui ouvre l'éventail des localisations possibles. La réduction du « coût de la distance » a déjà conduit des sociétés à délocaliser des activités routinières industrielles ou de service vers des pays plus compétitifs (services comptables ou informatiques en Inde notamment). Mais l'inverse, avec des relocalisations est aussi possible, même si le rapport ne décèle pas encore de « *mouvement de relocalisation de grande ampleur* ». En tout état de cause, l'automatisation accroît la dématérialisation de l'économie et facilite la recomposition de la géographie des activités à l'échelle mondiale.

## **B. DES IMPACTS MASSIFS SUR LE CADRE D'EXERCICE PROFESSIONNEL**

### **1. Un besoin d'élévation général des compétences attendues ?**

#### *a) L'explosion de l'emploi dans les métiers autour du numérique*

L'automatisation, l'adoption de solutions d'IA dans les entreprises et les administrations réclame des compétences « expertes » dans des domaines nouveaux : la programmation, le développement d'applications, la gestion de réseaux, l'analyse de données ou encore la cybersécurité. Des spécialistes doivent aussi intervenir pour assurer la maintenance des robots et pour former leurs utilisateurs.

Publié en 2015, le rapport Empirica indiquait que l'emploi dans le secteur du numérique devait passer en Europe de 7,9 millions de travailleurs en 2014 à 9 millions en 2020. France Stratégie estimait en 2017 que la filière numérique représentait déjà en France 860 000 emplois salariés et 80 000 indépendants. Le secteur des TIC représente déjà entre 4 et 5 % de l'emploi total en Irlande, en Corée du Sud et en Finlande et de l'ordre de 3 % en moyenne dans les pays développés.

Le tome 2 du rapport du COE précité mettait en évidence une pénurie de compétences numériques professionnelles d'environ 80 000 emplois en France, formant un goulot d'étranglement pour le développement des technologies numériques de l'IA. Cette situation n'est pas spécifique à la France puisque l'Union européenne estimait à 900 000 le nombre d'emplois vacants dans ces secteurs à l'horizon 2020.

**L'explosion des besoins en main d'œuvre qualifiée dans les secteurs du numérique, de l'automatisation et de l'IA** ne résulte pas uniquement d'une augmentation des besoins dans des métiers existants, comme celui des programmeurs, mais s'explique aussi par la création de nouveaux métiers en lien avec la diffusion de ces nouvelles technologies. Le rapport du COE indique ainsi que sur les 149 nouveaux métiers intégrés depuis 2010 au sein de la nomenclature ROME utilisée par Pôle Emploi, 105, soit plus des deux tiers, appartiennent au domaine du numérique. Ainsi, les métiers d'*ingénieur cloud*, de *data scientist*, de *yield manager* ou de *content manager* ont fait leur apparition et les personnes capables d'exercer ces métiers sont particulièrement recherchées. On peut s'attendre à une compétition féroce entre entreprises et à l'échelle mondiale pour attirer des talents.

Dans le même sens, l'institut McKinsey avait publié à la mi-2018 une étude consacrée aux évolutions de compétences attendues pour la main d'œuvre à l'horizon 2030<sup>1</sup>, du fait de l'automatisation et de l'IA. S'appuyant sur l'analyse de cinq secteurs (banque et assurance, énergie et mines, santé, industrie et commerce), les auteurs de l'étude concluaient que la demande pour des compétences technologiques allait augmenter de 55 % en 15 ans et que la compétition pour attirer des personnels très qualifiés allait augmenter.

#### **Un nouveau métier : *data scientist***

Apparu il y a moins d'une dizaine d'années, le « *data scientist* » est devenu l'un des experts les plus recherchés aujourd'hui dans les entreprises.

Son métier consiste à construire des outils pour collecter des données et les analyser. Il doit aller puiser dans des entrepôts de données et élaborer des modèles d'analyse à partir de ces données, qui peuvent être multiples et dispersées, et sont en tout cas massives (*big data*).

Spécialiste en statistique et en informatique, il doit aussi avoir des compétences sectorielles précises pour élaborer des modèles pertinents d'analyse de données.

b) *Le besoin d'élever le niveau de compétence générale de la main d'œuvre*

L'automatisation pose un autre défi, plus large, à l'ensemble du monde du travail. Car elle ne requiert pas seulement le recrutement de « nouveaux spécialistes ». Elle a un impact sur l'ensemble de ceux qui, dans

<sup>1</sup> <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce>

les entreprises ou les administrations, doivent s'adapter à des modifications dans la réalisation de leurs tâches, dont les frontières bougent.

Auditionnés dans le cadre de la présente étude, les membres de l'Association nationale des DRH (ANDRH) soulignaient qu'avec l'IA et la robotisation, **parfois, le métier ne disparaît pas mais il change tellement qu'il demande des compétences très différentes**. Ainsi, dans les magasins de bricolage, les vendeurs qui connaissaient bien les produits voient cette compétence qui était exclusive se déplacer vers les clients, qui grâce aux catalogues en ligne ont désormais des informations très complètes. Le métier de vendeur se transforme alors : son rôle n'est pas d'orienter vers le bon article mais de rassurer l'acheteur, de l'interroger sur le contexte de son projet et de lui prodiguer des conseils. Ce ne sont plus les connaissances techniques sur les produits qui priment mais des compétences relationnelles qu'il convient de développer.

**D'une manière générale, l'utilisation d'outils numériques se traduit par une complexification généralisée du travail**, face à laquelle des compétences transverses sont requises : capacité à travailler en équipe, à gérer un projet, à communiquer avec ses collègues, ses clients ou ses fournisseurs. Les compétences numériques générales sont aussi requises comme savoir naviguer dans un menu informatique et comprendre la nécessité de rentrer des données fiables, vérifiées. Dans ce contexte, les difficultés cognitives, l'incapacité à utiliser des outils numériques, l'illectronisme<sup>1</sup>, sont autant de causes d'exclusion de l'emploi ou d'inadaptation au travail.

Le tome 2 du rapport du COE estime que la France est mal placée dans l'OCDE pour le niveau en compétences cognitives : en littératie (capacité à comprendre et réagir de façon appropriée aux textes écrits) et en numératie (capacité à utiliser des concepts numériques en mathématique), la France se classe au-delà de la 20<sup>ème</sup> place sur 24 pays étudiés.

Les compétences sociales et situationnelles sont plus difficiles à caractériser. Elles sont réparties de manière différente selon les individus et pas forcément corrélées aux diplômes, puisqu'elles sont peu apprises dans les cursus d'enseignement secondaire et supérieur. Mais on peut constater que ces compétences ne font pas l'objet d'efforts importants de formation continue. Or, la transformation numérique va les rendre stratégiques, davantage que des compétences techniques métiers qui peuvent vite être rendues obsolètes par l'élaboration de nouvelles machines.

---

<sup>1</sup> L'illectronisme désigne la difficulté, voire l'incapacité, que rencontre une personne à utiliser les appareils numériques et les outils informatiques en raison d'un manque ou d'une absence totale de connaissances à propos de leur fonctionnement. Ce terme a été élaboré par homologie avec l'illettrisme qui concerne l'incapacité à lire et écrire. On estime que plus de 20 % de la population française pourrait être concernée (à des degrés divers).

Dans un univers en évolution technologique rapide, la polyvalence, l'adaptabilité, un socle solide de connaissances numériques paraissent indispensables pour pouvoir travailler dans un environnement fortement numérisé.

## 2. L'automatisation : progrès ou danger pour les travailleurs ?

### a) Le risque de déqualification

**L'automatisation redistribue les tâches et peut même en créer de nouvelles.** Elle modifie les compétences requises pour travailler dans un environnement imprégné de nouvelles technologies.

**Elle peut aussi conduire à une déqualification des personnes dont les tâches sont automatisées.** Les savoirs-métiers accumulés pendant des années par des salariés expérimentés peuvent brutalement ne plus avoir beaucoup d'intérêt, dès lors que la machine prend en charge les tâches routinières.

**Le risque de déqualification s'analyse secteur par secteur et métier par métier.** Par construction, les personnels peu qualifiés de l'industrie et des services n'encourent pas ce risque. Ils sont en revanche exposés aux aléas économiques et aux statuts précaires comme l'intérim subi, notamment dans le bâtiment et la construction. C'est moins la déqualification que la perte d'emploi ou la précarité de leur statut qui menace les personnes peu qualifiées sur le marché du travail. Dans l'industrie, le mouvement de remplacement du travail non qualifié par des machines a été massif. Selon la dernière « photographie du marché du travail de l'INSEE »<sup>1</sup>, les ouvriers non qualifiés ne représentent plus que 1,9 million de salariés en 2018. Dans une analyse datant de début 2017, la DARES indiquait que depuis le début des années 1980, plus de 850 000 emplois d'ouvriers non qualifiés de l'industrie ont disparu<sup>2</sup>. Dans les services, les employés non qualifiés représentaient 3,5 millions d'emplois en 2018, contre à peine 2 millions d'emplois il y a 30 ans.

**Le risque de déqualification, en revanche, peut frapper durement les ouvriers qualifiés** (3,6 millions d'emplois en France), les employés qualifiés (3,7 millions d'emplois) et les professions intermédiaires (7 millions d'emplois), soit plus de la moitié de la population active aujourd'hui ! Cette déqualification peut être brutale : l'installation d'un nouveau logiciel ou d'une machine intégrant des routines de travail de plus en plus sophistiquées, peut rendre inutiles des compétences qu'un salarié a apprises grâce à des années d'expérience. La déqualification pose problème lorsque la transformation ou la réorientation du salarié sur un autre emploi est rendue difficile par un manque de compétences transverses. Les compétences

---

<sup>1</sup> <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3741241?sommaire=3900836>

<sup>2</sup> <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/2017-003.pdf>

fondées sur des savoirs-métiers très étroits constituent un facteur de fragilité des salariés face au mouvement de grande ampleur d'automatisation et d'installation d'outils d'IA dans les entreprises. Les assistants comptables ou les agents des banques, par exemple, pourraient voir leurs tâches remplacées par des algorithmes, et toutes leurs connaissances devenir inutiles aux entreprises qui les emploient.

**Le risque de déqualification concerne aussi les emplois très qualifiés** : par exemple, les radiologues sont supplantés par les machines dans la lecture de clichés radiographiques. Les pilotes d'avions sont déqualifiés par l'automatisation de la plupart des opérations de vol, y compris décollage et atterrissage. Si elle est brutale, non anticipée, la déqualification peut réduire l'employabilité des personnes concernées. Mais lorsque ces dernières disposent de compétences transverses, leur requalification peut être assurée plus facilement, d'autant que les machines et systèmes intelligents ont besoin de superviseurs, de personnes ayant conservé leurs anciennes compétences métier et capables de continuer à transmettre celles-ci aux machines.

*b) Les nouvelles « cadences infernales »*

Un autre risque lié à l'automatisation réside dans **l'augmentation de la pression au travail** permise par l'accélération des processus. Les technologies peuvent réduire la pénibilité du travail en prenant en charge des tâches physiques (par exemple, dans un entrepôt, trouver un objet et le déplacer) ou des tâches intellectuelles (par exemple, contrôler des factures). On présente aussi souvent la robotisation comme une opportunité d'enrichir le travail, de le rendre plus intéressant en le « désautomatisant » : **si un robot prend le travail d'une personne, c'est parce qu'elle avait un travail de robot, donc ce remplacement constitue un progrès.**

Mais l'automatisation peut aussi avoir des effets pervers en **rendant le travail plus difficile, plus exigeant, en augmenter la charge mentale au travail**. Dans le tome 3 du rapport précité du COE, l'impact des nouvelles technologies sur les conditions de travail fait l'objet d'une analyse approfondie. Elle prend appui sur une étude menée par le COE lui-même mesurant trois variables : l'intérêt, la complexité et l'intensité du travail. Ces trois variables augmentent à mesure de la numérisation des entreprises.

Le rapport indique notamment que « *les innovations technologiques et organisationnelles peuvent être sources d'une hausse des efforts physiques, des contraintes posturales mais aussi des exigences attentionnelles* ». L'utilisation intensive de technologies numériques peut ainsi être la source de nouveaux troubles ergonomiques (fatigue visuelle liée aux écrans par exemple).

Surtout, les machines et l'IA imposent un rythme de travail soutenu et **exigent des réactions immédiates**, dans le cadre d'une collaboration hommes-machines où c'est plutôt la machine qui dicte sinon sa loi, du moins

la cadence de travail. Le temps improductif est réduit à son minimum, ce qui accroît l'intensité du travail et augmente la fatigue.

L'IA permet aussi un **contrôle accru sur le travail** et la production de statistiques très précises, de tableaux de bord, ce qui augmente la pression qui pèse sur le personnel et peut conduire à une réduction de l'autonomie au travail, de peur de ne pas être « dans les clous » ou tout simplement parce que la machine dicte les comportements admis et laisse peu de marges de liberté dans le travail. Cette perte de liberté dans la conduite de son propre travail est un risque repéré dans le rapport du COE. L'automatisation est ainsi susceptible de n'être pas un progrès mais d'appauvrir le travail, en réduisant les employés à se « robotiser », à renoncer à toute inventivité, à toute créativité.

**Un autre risque lié à l'introduction de machines intelligentes réside dans la perte de sens du travail**, l'essentiel des processus étant géré par une IA opaque, complexe, dont les rouages ne sont pas compréhensibles pour ceux qui interviennent autour d'elle. La technique devient une sorte de « boîte noire », qui oblige à agir sans que l'on comprenne bien le sens de ce que l'on fait. Dans une telle situation, l'intérêt du travail peut s'effondrer très rapidement.

### 3. Une modification profonde des cadres sociaux du travail

#### *a) L'automatisation transforme la division du travail*

Historiquement, **l'automatisation a plutôt eu tendance à renforcer l'organisation taylorienne du travail**, en favorisant la concentration de la production dans de grosses unités et en spécialisant chaque maillon d'une chaîne de production sur un petit nombre de tâches. L'IA et les robots ainsi que les nouvelles technologies numériques s'inscrivent à rebours de ce mécanisme en encourageant des décloisonnements et une décentralisation des processus, remettant en cause les formes d'organisation du travail traditionnelles dans des structures massives.

L'utilisation de robots ou d'outils d'IA est loin d'être la seule en cause dans les transformations des formes d'organisation du travail. La recherche d'une meilleure performance, d'une meilleure qualité des biens ou des services produits a aussi fait évoluer l'organisation des entreprises et ce depuis de nombreuses années : le toyotisme n'a pas attendu les progrès de l'IA pour valoriser l'autonomie des équipes, la réduction des gaspillages ou encore la démarche d'amélioration continue qui suppose de remettre en cause la logique de massification rigide de l'usine taylorienne. Mais l'IA offre un outillage moderne permettant d'assouplir les organisations.

Pour autant, le rapport du COE précité note que **le taylorisme n'a jamais véritablement disparu** dans la nouvelle économie marquée par l'utilisation massive de robots et d'outils d'IA : une grande entreprise

comme Amazon est considérée par le COE comme appliquant les principes tayloriens les plus stricts pour le cœur de son activité : la logistique.

L'externalisation des tâches, autre grande tendance actuelle, a aussi été permise par la codification des procédures : elle ne s'analyse pas forcément comme un progrès vers une plus grande autonomie mais comme une nouvelle subordination, qui simplement ne se déploie pas dans le cadre d'un contrat de travail mais dans le cadre d'un contrat commercial.

L'automatisation bouleverse également les relations entre clients et fournisseurs. Le numérique permet notamment de se passer d'intermédiaires : les tâches d'intermédiation sont effectuées par des algorithmes. On le voit par exemple dans le tourisme : les agences de voyage subsistent mais de manière résiduelle, alors que l'essentiel de la mise en relation entre clients et fournisseurs passe par des plateformes numériques. Le même phénomène est à l'œuvre dans la banque, l'assurance, dans le transport urbain, etc...

Enfin, notons que dans leur fonctionnement interne, les entreprises et les administrations tendent à raccourcir les chaînes hiérarchiques, à accélérer les circuits de prise de décision. Le partage de l'information empêche que le pouvoir soit lié à la rétention d'information. En réalité, c'est plus la capacité à traiter une information que la disponibilité de celle-ci qui apporte la valeur ajoutée dans le processus décisionnel.

*b) Une remise en cause des statuts sociaux et du financement de la protection sociale ?*

Les transformations de l'économie et du travail provoquées par le déploiement de robots intelligents sont-elles susceptibles de mettre à bas toute l'organisation sociale qui repose sur le travail depuis près de 150 ans ?

Il s'agit là d'une profonde inquiétude. **En faisant le travail des hommes, les robots modifient la chaîne de valeur** : le travail humain n'est pas forcément celui qui crée de la valeur. C'est l'outillage numérique qui fait la différence dans la compétition entre firmes.

Les firmes du numérique sont d'ailleurs dans des stratégies de recherche de position hégémonique sur les technologies, leur permettant de capter tout un marché. Ainsi, le moteur de recherche Google, grâce à des algorithmes toujours plus puissants et une combinaison d'instruments, capte une majorité d'internautes et constitue un point d'entrée quasi obligatoire pour les commerçants souhaitant faire connaître leur activité sur Internet.

Un domaine suscite une inquiétude particulière : celui du **financement de la protection sociale**. Dans une publication de l'institut Bruegel de juillet 2019<sup>1</sup>, trois chercheurs ont examiné la manière dont la digitalisation de l'économie pouvait remettre en cause le travail et le

---

<sup>1</sup> <https://bruegel.org/2019/07/digitalisation-and-european-welfare-states/>

financement de la protection sociale, essentiellement basé en Europe sur le travail. Ils notent tout d'abord que le niveau de protection sociale offert aux salariés est bien supérieur un peu partout à celui offert aux autres catégories de travailleurs, en particulier les travailleurs des plateformes digitales, souvent sous statut d'indépendants. Cette situation n'est pas considérée comme très juste, car le travail réalisé par les uns et les autres peut n'être pas si différent. Le grignotage progressif du salariat par d'autres formes d'emploi, risque cependant de poser un problème de ressources aux systèmes de protection sociale fondés sur des prélèvements sur le travail (modèle bismarckien). Dès lors, les systèmes de protection sociale devront inmanquablement évoluer avec plusieurs directions possibles : le transfert du financement de la protection sociale de cotisations vers l'impôt (système beveridgien), la taxation des robots comme s'ils étaient des salariés (voir ci-après) ou encore l'instauration d'un système de revenu universel.

### **C. DES PERSPECTIVES DE TRANSFORMATION DES EMPLOIS DE SERVICE**

#### **1. Nombreux emplois, nombreux changements**

##### *a) Le périmètre large des emplois de service*

**Les emplois de service représentent 75,8 % du total des emplois en France.** La tertiarisation de l'économie a réduit la part des emplois industriels ou agricoles et l'économie française est essentiellement une économie de services, marchands et non marchands.

Les 20 millions d'emplois du secteur tertiaire sont très divers, en termes de secteur d'activité ou de qualification. Les tâches sont très diverses, tantôt très techniques, tantôt généralistes. Le salariat est dominant mais les formes d'emploi ont tendance elles aussi à se diversifier, notamment vers le travail indépendant.

<b>Activité</b>	<b>Emplois (en milliers)</b>
Commerce	3 428
Transports	1 463
Hébergement et restauration	1 022
Information et communication	740
Finance, assurance, immobilier	1 224
Activités scientifiques, techniques, services administratifs	2 568
Administration publique	2 431
Enseignement	1 995
Activités pour la santé humaine	1 892
Hébergement médico-social et social et action sociale sans hébergement	1 976
Autres services	1 422

Lorsque l'on observe l'emploi, les services non marchands représentent la majorité des emplois de service, puisque les services marchands ne totalisent que 8,7 millions d'emplois salariés<sup>1</sup>. La santé, le médico-social, l'enseignement, une part importante de la recherche et des activités scientifiques ou encore des transports sont des services publics qui échappent à la sphère marchande. On pourrait penser qu'une pression économique moindre que dans le secteur marchand ou qu'un degré d'exposition à la concurrence internationale inexistant générerait pour ces secteurs d'activité non marchands une certaine inertie technologique, avec une pénétration lente de l'IA et des robots. C'est méconnaître que l'enjeu de performance, la recherche d'économies de fonctionnement pour alléger la charge de ces services pour les finances publiques peuvent constituer aussi un puissant encouragement à la robotisation et à l'adoption de nouvelles technologies.

Si la distinction entre secteur marchand et non marchand doit être prise en compte, une autre distinction peut être faite sur les niveaux de qualification requis : le secteur des services est là encore caractérisé par une vraie diversité avec un **panel large allant des emplois très qualifiés aux emplois qui le sont très peu**.

Enfin, une autre distinction peut séparer les services aux entreprises des services aux particuliers : dans la première activité, le client est un professionnel (BtoB) tandis que dans la deuxième, le client (ou l'utilisateur du service public) est une personne physique.

Parler des emplois de service comme un tout homogène n'est pas possible. Il s'agit d'une nébuleuse très large avec une énorme variété dans les profils ou les activités exercées.

*b) L'anticipation d'une transformation massive des métiers et des tâches*

Si la perspective de destruction massive d'emplois du fait de la robotisation et de l'IA, dessinée par l'étude Frey-Osborne de 2013 n'est plus l'hypothèse privilégiée par les experts aujourd'hui, la plupart des études publiées chiffrent à plus de la moitié des emplois le nombre de ceux qui devraient être affectés par les progrès technologiques liés à l'automatisation et la numérisation : le rapport du COE précité indique ainsi que « *moins de 10 % des emplois existants présentent un cumul de vulnérabilités susceptibles de menacer leur existence dans un contexte d'automatisation et de numérisation* » mais « *la moitié des emplois existants est susceptible d'évoluer de façon significative à très importante* ».

**Le secteur marchand n'échappera pas à cette transformation.** Une étude prospective de la direction interministérielle de la transformation

---

<sup>1</sup> <https://www.entreprises.gouv.fr/etudes-et-statistiques/chiffres-cles-des-services-marchands>

publique (DITP) de novembre 2018<sup>1</sup> sur la transformation des métiers des agents publics a analysé dans le détail cinq métiers (infirmier, enseignant, force de sécurité, métiers de l'accueil et de l'orientation et métiers administratifs). Pour chacun d'entre eux, les activités et tâches actuelles ont été analysées, puis les leviers de la transformation numérique identifiés et enfin les nouvelles activités ont été imaginées. Il ressort de cette étude que « 70 % des effectifs parmi les plus de 3,5 millions d'agents du périmètre de l'étude pourraient voir l'exercice de leur métier sensiblement voire radicalement transformé grâce au numérique ». L'automatisation n'est pas le seul levier de transformation mais y joue un rôle important. Par exemple, pour les greffiers (environ 10 000 agents en France), l'étude a repéré que les possibilités d'automatisation des comptes rendus, d'automatisation des réponses aux justiciables ou encore d'accélération des recherches juridiques dans des bases de données, libéreraient du temps pour leur permettre de se recentrer sur leurs tâches de contrôle et d'authentification des procédures et celles d'assistance aux magistrats et d'accompagnement du public.

**Dans le secteur marchand aussi, le contenu des métiers est appelé à être lourdement transformé :** ainsi, dans le domaine des services financiers, une étude publiée en décembre 2018 de l'observatoire des métiers de la banque a tenté d'imaginer ce que seraient ces métiers en 2025<sup>2</sup>. Cette étude prévoit une forte automatisation de la relation client grâce à l'IA et une forte diffusion des *Fintech* à l'horizon 2025. Elle a analysé l'impact attendu des technologies sur le contenu des 26 métiers-repères de la banque. L'étude anticipe la disparition quasi-totale des tâches de gestion administrative et comptable des banques, assurées aujourd'hui par les gestionnaires administratifs et les chargés de clientèle. L'étude chiffre aussi à 85 % les opérations de back-office qui peuvent être automatisées. La banque est un secteur des services où l'évolution des métiers pourrait être des plus spectaculaires. L'étude envisage l'émergence d'un nouveau métier repère : le spécialiste de la relation client « omnicanale », avec beaucoup plus d'autonomie dans son travail et davantage dans un rôle de conseiller et de facilitateur vis-à-vis de ses clients que dans un rôle purement commercial. L'étude envisage aussi que les tâches routinières de contrôle, qui occupent les salariés en back-office soient remplacées par des tâches de conception de nouveaux outils d'analyse, prenant appui sur les mégadonnées disponibles : le métier de responsable d'unité de traitement de données serait donc appelé à remplacer les anciens métiers du contrôle.

D'une manière générale, les métiers de service caractérisés par l'accomplissement de tâches très répétitives et normées, avec peu de marges de liberté laissées aux salariés, ont vocation à évoluer en laissant l'exécution de ces dernières à des machines et en prenant en charge des nouvelles tâches

---

<sup>1</sup> [https://www.modernisation.gouv.fr/sites/default/files/dossier/etude\\_prospective\\_ditp\\_numerique\\_et\\_metiers\\_publics.pdf](https://www.modernisation.gouv.fr/sites/default/files/dossier/etude_prospective_ditp_numerique_et_metiers_publics.pdf)

<sup>2</sup> [https://www.modernisation.gouv.fr/sites/default/files/dossier/etude\\_prospective\\_ditp\\_numerique\\_et\\_metiers\\_publics.pdf](https://www.modernisation.gouv.fr/sites/default/files/dossier/etude_prospective_ditp_numerique_et_metiers_publics.pdf)

plus variées, laissant beaucoup plus d'initiative. Cette évolution pourrait nécessiter une élévation générale du niveau de qualification requise, y compris pour des métiers aujourd'hui peu valorisés. Or, si ce mouvement touche 50 % des métiers d'aujourd'hui, comme cela est anticipé par les experts, la marche risque d'être haute pour une part importante des travailleurs, qui ne disposent pas d'une adaptabilité dans les mêmes proportions.

### **Les perspectives de poursuite de la dynamique des emplois de service**

Les travaux de prospective menés en France et en Europe ne prédisent pas la disparition des emplois de service. Au contraire, ceux-ci devraient continuer à progresser en valeur absolue et en pourcentage de l'emploi total.

En 2015, France Stratégie et la DARES ont publié une étude prospective sur les métiers et les qualifications à l'horizon 2022<sup>1</sup> qui chiffre à près de 800 000 le nombre de postes à pourvoir chaque année, dont 20 % correspondent à des créations et 80 % à des remplacements de départs en fin de carrière.

Ce rapport ne donne pas corps à l'hypothèse d'un chômage technologique de masse lié à l'automatisation des emplois de service. Au contraire, ceux-ci semblaient devoir connaître une dynamique de progression rapide. Ainsi, le rapport prévoyait que soient créés 350 000 emplois supplémentaires dans les métiers du soin et de l'aide aux personnes fragiles, notamment les personnes âgées. Les métiers du commerce, de l'hôtellerie et de la restauration devraient aussi connaître une progression significative. Seuls les emplois administratifs connaîtraient une baisse des effectifs.

L'automatisation et plus largement le progrès technique ont donc des effets contrastés sur les différentes catégories d'emplois de service. Ce sont les emplois au contact direct du public qui sont le moins susceptibles d'être automatisés. Le besoin d'une présence physique dans certaines activités comme les activités récréatives ou les activités de soin paraissent empêcher le scénario d'une robotisation destructrice de l'ensemble des emplois de service.

## **2. Quelques exemples des transformations attendues**

### *a) La robotisation dans les maisons de retraite*

L'hébergement et l'accompagnement des personnes âgées dépendantes est une activité massivement consommatrice de main d'œuvre. Aujourd'hui, plus de 700 000 personnes vivent en institution, 85 % d'entre elles en établissement d'hébergement pour personnes âgées (EHPAD). Près de 90 % des dépenses des EHPAD sont des dépenses de personnel<sup>2</sup>. On compte en moyenne 0,63 personne par résident pour assurer l'encadrement dans ces structures, un taux significativement inférieur à d'autres pays, notamment l'Allemagne qui est au-dessus de 1.

<sup>1</sup> <https://www.strategie.gouv.fr/publications/metiers-2022-prospective-metiers-qualifications>

<sup>2</sup> EHPAD : quels remèdes ?, rapport d'information n° 341 (2017-2018) de M. Bernard BONNE, fait au nom de la commission des affaires sociales du Sénat, déposé le 7 mars 2018.

L'installation de robots dans les maisons de retraite et plus largement dans les établissements de santé peut répondre à plusieurs types de préoccupations :

- alléger les tâches logistiques réalisées par les personnels pour dégager davantage de temps relationnel auprès des résidents et des patients, par exemple à travers l'automatisation des livraisons de repas : certains hôpitaux (CHU de Toulouse, CHR d'Orléans) ont mis en place des chariots autonomes pour assurer toutes les livraisons de matériel au sein de l'établissement : médicaments, repas, linge, fournitures ;

- prendre en charge une activité à destination du résident : ainsi, on commence à voir apparaître des robots-animateurs, qui pilotent des activités mises en œuvre dans l'établissement : atelier d'exercice physique, atelier-mémoire, etc...

L'installation des robots conduit à revoir les tâches des personnels : du temps peut être libéré pour mieux assurer les activités relationnelles auprès des résidents, mais le bilan peut être aussi négatif s'il conduit à recentrer les activités des personnels sur des tâches pénibles, répétitives, ou augmenter les cadences.

L'IA peut aussi contribuer à améliorer la surveillance de l'état de santé des résidents, voire anticiper leurs besoins, en enregistrant de nombreux paramètres dont la collecte serait automatisée et le traitement réalisé par des algorithmes médicaux. Le suivi médical des résidents pourrait ainsi être amélioré et s'affranchir de la contrainte de la présence physique de personnels médicaux.

**Une telle évolution doit toutefois être contrôlée et encadrée, afin que le progrès technique ne mène pas à une déshumanisation complète des EHPAD.** Les robots-compagnons, les robots de surveillance, et toutes les avancées technologiques permises aujourd'hui par l'IA peuvent efficacement contribuer à une montée en gamme de la prise en charge, mais uniquement si ces outils ne se substituent pas à une présence humaine indispensable pour assurer le lien social. Pour l'heure, nous n'en sommes qu'au stade des expérimentations, qui montrent toutefois la nécessité de former les personnels à l'utilisation de ces nouveaux outils, dont le bon usage passe par l'apprentissage d'une collaboration homme-machine. Un robot-animateur ne doit pas se substituer à une équipe d'animation d'un Ehpad mais plutôt compléter l'équipe d'animateurs, assurer une partie des ateliers et rester toujours sous le contrôle des animateurs.

*b) La robotisation dans les métiers de l'accueil et du commerce*

**L'automatisation de la relation client des entreprises a été poussée au maximum dans le cadre du e-commerce**, qui représente aujourd'hui 9 % du commerce de détail<sup>1</sup>. Le commerce physique reste cependant

---

<sup>1</sup> [https://www.fevad.com/wp-content/uploads/2019/06/Chiffres-Cles-2019\\_BasDef-1.pdf](https://www.fevad.com/wp-content/uploads/2019/06/Chiffres-Cles-2019_BasDef-1.pdf)

prépondérant en France et repose sur une grande variété de lieux : centres commerciaux, boutiques de centres-villes. La gestion des activités au sein de ces espaces (approvisionnement, mise en rayon, accueil des clients, conseil, paiement en caisse) a connu des évolutions techniques avec l'informatique (informatisation des stocks, caisses automatiques, marquage informatique des articles) mais le travail humain demeure prépondérant dans les commerces.

La perspective d'une robotisation accrue existe cependant : comme l'usine sans ouvriers, la boutique sans vendeurs n'est pas une hypothèse farfelue. Forme plus sophistiquée que le distributeur automatique, la boutique automatisée permet de rendre un commerce disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 et de s'affranchir de certaines réglementations, comme celles sur l'interdiction du travail le dimanche.

Les premiers robots Pepper avaient été déployés au Japon à partir de 2014 dans les boutiques Softbank pour accueillir et renseigner les clients. Ils présentent d'indéniables avantages : connaissance exhaustive du catalogue, des inventaires, de la configuration du point de vente, capacité à traiter les requêtes des clients avec plus de rapidité qu'un vendeur, capacité à détecter les préférences des clients.

**Dans le secteur hôtelier**, certains établissements au Japon ou en Californie se sont dotés de robots d'accueil ou de robots majordomes pour effectuer des tâches répétitives rapidement, ou pour assurer un accueil à toute heure du jour et de la nuit.

Mais ces robots rencontrent aussi leurs limites. Ils ont besoin d'un environnement très structuré pour pouvoir fonctionner correctement et seront en échec devant des situations « non standard » ou « imprévues » : un robot vendeur peut ainsi conclure à une rupture de stock alors qu'un article est disponible en magasin, mais a été mal répertorié. Un client qui voit l'article souhaite l'acheter mais le robot refusera la vente puisqu'il sera incapable de reconnaître l'article en question.

**Manquant de polyvalence, les robots ne peuvent qu'assurer certaines fonctions spécialisées.** Ainsi, ils peuvent être considérés comme des compléments des personnes qui travaillent déjà dans les métiers de l'accueil et du commerce, et non des remplaçants. Il n'en reste pas moins que le réceptionniste ou le vendeur verront leurs tâches profondément transformées en devant collaborer avec des machines intelligentes dans leur espace de travail quotidien.

### *c) La robotisation et les métiers de la sécurité*

Les services de sécurité occupent une place importante dans l'économie et dans la société, qu'il s'agisse de sécurité publique ou de sécurité privée. **Les exigences en matière de sécurité ne cessent de se renforcer**, comme en attestent le développement de la vidéoprotection, la

mise en place de multiples systèmes de contrôle d'accès à des bâtiments ou lors d'événements comme des concerts ou des rencontres sportives, ou encore la surveillance des lieux privés comme les entreprises ou même le domicile des particuliers.

A côté de la sécurité publique assurée par l'État, une nébuleuse de services privés de sécurité s'est rapidement constituée et représente aujourd'hui 6,6 milliards d'euros de chiffre d'affaires annuel en France, et emploie près de 170 000 personnes.

**La sécurité informatique ou cybersécurité constitue aussi une préoccupation majeure**, tant les systèmes d'information sont devenus vitaux pour notre vie quotidienne. Le marché de la cybersécurité représente déjà près de 3 milliards d'euros de chiffre d'affaires annuel et connaît une croissance de l'ordre de 10 % par an.

Les tâches des personnes chargées d'assurer la sécurité des personnes, des bâtiments, ou de systèmes informatiques sont très répétitives et se prêtent bien à la robotisation. En cybersécurité, des robots sont utilisés pour des attaques mais aussi pour repérer ces attaques et lancer des défenses. En matière de contrôle des personnes, le travail très répétitif de passage sous des portiques de sécurité ou de contrôle visuel de bagages passés au rayon X est encore effectué par des personnes physiques, mais une large partie des tâches de contrôle est désormais automatisée. C'est le cas pour les bagages embarqués en soute dans les aéroports : ceux-ci font l'objet d'analyses automatiques par des systèmes intelligents dans de grandes chaînes de tri comme celles des aéroports parisiens d'Orly et de Roissy. L'intervention humaine est réduite au minimum.

**L'automatisation ne supprime toutefois pas partout la présence humaine**, qui reste nécessaire pour assurer une supervision des systèmes techniques. **La présence humaine assure aussi un filet de sécurité en cas de défaillance des machines et contribue à ne pas totalement déshumaniser le service rendu.** Enfin, la présence humaine peut avoir une **dimension dissuasive** et offrir une capacité d'intervention rapide en cas de problèmes : voici pourquoi les gardes de bâtiments n'ont pas encore été totalement remplacés par des caméras et des systèmes automatisés de surveillance.

La sécurité est donc marquée par un perfectionnement de l'outillage technique mis à disposition et le renforcement des nécessités de collaboration entre l'homme et la machine : les capacités de cette dernière améliorent l'efficacité des personnels. Le secteur de la sécurité illustre bien le fait que la robotisation ne se traduit pas nécessairement par des réductions d'emploi : au contraire, les effectifs n'ont cessé de croître depuis une décennie.

Les métiers de la sécurité s'en trouvent bouleversés : les tâches basiques et routinières relèvent de plus en plus de robots ou d'outils informatiques tandis que les humains doivent se repositionner sur de

l'observation fine voire de l'ingénierie pour améliorer les systèmes au quotidien.

*d) La robotisation et les métiers de l'enseignement : vraiment impossible ?*

L'essor du e-learning, le développement de plateformes numériques pour s'exercer, les Mooc<sup>1</sup> offrent de nouvelles possibilités pour apprendre à tous les niveaux. Pour les apprentissages fondamentaux dans les jeunes âges comme pour les formations avancées des étudiants, de nouvelles ressources pédagogiques sont désormais disponibles. Leur perfectionnement permet même une certaine interactivité. La formation professionnelle utilise aussi ces outils : les pilotes d'avion s'entraînent ainsi sur des simulateurs de vol et la conduite sur simulateur est une porte d'entrée intéressante dans la conduite de véhicules automobiles, alternative à la conduite sur route dans une auto-école.

Thierry Karsenti, universitaire canadien titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur les technologies de l'information et de la communication (TIC) avait dressé en 2018 une liste de 26 impacts potentiels positifs de l'arrivée de l'IA en éducation, en particulier la possibilité de personnaliser les apprentissages, de corriger de façon automatique les exercices, de faciliter l'évaluation continue des élèves ou encore de donner un contenu plus ludique aux enseignements.

**L'utilisation de l'IA dans l'enseignement est encore balbutiante et les robots enseignants relèvent encore en Europe de la science-fiction.** Au Japon cependant, depuis le début 2019, un projet-pilote de robots-enseignants d'anglais est déployé dans des écoles pour faire progresser le niveau des élèves.

**Les spécialistes nourrissent de sérieux doutes sur la capacité de l'IA à se substituer totalement à un enseignant.** Une telle solution se heurterait d'abord à un problème d'acceptabilité sociale. Ensuite, les robots-enseignants peuvent être très limités dans certaines tâches : évaluer un étudiant qui ne réfléchit ou ne s'exprime pas de manière conventionnelle, chercher des méthodes alternatives d'explication lorsqu'une notion n'est pas comprise par un élève.

**En réalité, l'IA et les robots pourraient plutôt aider les enseignants dans l'exercice de leur mission éducative et constituer des ressources pédagogiques supplémentaires.** C'est d'ailleurs cette optique que visait le rapport Villani précité, qui encourage l'expérimentation de nouvelles méthodes et recommande d'évaluer systématiquement ces expérimentations. Le rapport souligne aussi que l'irruption de robots dans l'enseignement pourrait constituer une profonde révolution culturelle, nécessitant un accompagnement fort de la puissance publique.

---

<sup>1</sup> Massive open online course : cours disponibles à distance via Internet.



### III. ACCOMPAGNER LE CHANGEMENT VERS UNE « ROBOTISATION HEUREUSE »

La diffusion dans toutes les sphères d'activité, publiques comme privées, des technologies d'IA et des robots intelligents paraît aujourd'hui inévitable.

**Elle ouvre des perspectives d'amélioration de notre vie quotidienne** : les robots ménagers par exemple peuvent nous dispenser de passer l'aspirateur et peut-être même demain laveront notre linge automatiquement. **Mais cette automatisation massive inquiète aussi**. La disparition de l'emploi et la fin du travail ne constituent pas l'hypothèse privilégiée des experts. En revanche ceux-ci vont être profondément transformés et cette transformation nourrit aussi des craintes de dépossession, de perte de qualification ou encore de complexification du travail ou de hausse de la pression sur les épaules des humains, appelés à collaborer avec des robots qui les surpasseront dans à peu près tous les domaines. Notre économie étant devenue principalement une économie de services, ce sont les emplois de service qui seront en première ligne de cette transformation.

**Mais nous avons beaucoup d'incertitudes** : quel sera le rythme de la robotisation dans les services ? Quels seront les freins ou à l'inverse les accélérateurs qui joueront en France et en Europe ? Il n'y a aucun déterminisme technologique et le champ des possibles est très ouvert. Dans la dernière partie du présent rapport, vos rapporteurs formulent une série de proposition pour maîtriser cette nouvelle étape du progrès technique, domestiquer ces technologies d'IA et assurer la cohésion de notre société, qui repose aujourd'hui encore sur le travail, en ne créant pas une nouvelle fracture entre ceux qui profiteraient de l'utilisation de l'IA et ceux qui subiraient son développement.

#### A. ENCOURAGER L'INNOVATION DANS LES SERVICES

##### 1. L'expérimentation, socle du progrès

###### a) *L'automatisation à petits pas dans les services*

Le secteur des services est marqué par une grande diversité avec un tissu économique moins concentré que l'industrie. Il existe toutefois de grandes entreprises capables de réaliser des investissements massifs et de transformer une activité en s'appuyant sur ses avantages technologiques. Pour les services de distribution de colis, Amazon s'est imposée en peu d'années (elle n'a été créée qu'en 1994) comme un leader mondial grâce à l'automatisation tant de sa plateforme de commercialisation en ligne que de sa gestion logistique dans ses entrepôts. Pour les services de transport, Uber

a aussi fondé sa réussite très rapide (l'entreprise n'a été créée qu'en 2009) sur l'utilisation de l'IA pour organiser ses relations avec ses clients et ses fournisseurs.

**La technologie coûte cher** et la mise au point de nouvelles solutions se heurte aux limites des capacités d'investissement des entreprises ou des administrations. Les retours sur investissement sont aussi très incertains, ce qui ne facilite pas la multiplication des expérimentations.

Les petites et moyennes entreprises (PME) forment le socle de l'économie des services en Europe et sont particulièrement touchées par ces freins à l'adoption de technologies innovantes. Elles sont ainsi davantage utilisatrices de solutions « clés en main » proposées par des grands acteurs de l'informatique que génératrices de nouvelles solutions. La chaîne de valeur se déplace de ces PME vers les leaders de l'économie numérique, capables d'imposer leurs technologies et de dicter leurs conditions de marché.

Toutes ces faiblesses sont connues, repérées. Le rapport du groupe d'experts de haut niveau sur l'intelligence artificielle remis à la Commission européenne le 26 juin 2019<sup>1</sup> souligne la **nécessité de cibler une part significative des ressources du plan d'investissement InvestEU** (plan Juncker) sur l'appui à la transformation des entreprises européennes par l'IA. Il recommande la mise en place de guichets d'information pour les PME et le développement de hubs d'innovation digitale.

Le rapport Villani insiste pour sa part sur la création de « bacs à sable d'innovation, constatant que pour accélérer le développement de l'IA, *« il est nécessaire d'offrir aux acteurs des terrains d'innovation en situation réelle »*.

**Ces travaux montrent surtout que l'automatisation des processus n'est pas un mouvement continu et linéaire.** La modernisation des services dépend de décisions locales et se fait à des rythmes très variables selon les secteurs, selon les pays ou les régions. L'automatisation répondant à des enjeux de productivité, de fiabilisation des processus ou encore de réactivité se déploie dans toute une série de services marchands ou non marchands, mais ce rythme de déploiement est encore lent. Selon le rapport du groupe de haut niveau sur l'IA, l'Europe investit 2 à 5 fois moins que les autres régions dans l'IA. Elle n'attire que 11 % des investissements en capital-risque contre 50 % aux États-Unis et la quasi-totalité du reste en Chine. Le rapport estime que ce manque d'investissements pourrait conduire à une réduction du PIB européen de 400 milliards d'ici 2030 alors qu'une trajectoire plus offensive améliorerait le PIB européen de 19 % en 2030, soit 2,7 trillions d'euros.

---

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/policy-and-investment-recommendations-trustworthy-artificial-intelligence>

L'Europe ne dispose pas de géants des technologies d'IA. Le rapport du groupe de haut niveau préconise d'encourager la croissance d'entreprises européennes spécialisées dans l'IA grâce au plan InvestEU. Il préconise aussi de s'appuyer sur les services publics pour mettre en œuvre des solutions innovantes. Le secteur public rend un nombre important de services à la population et la mise en œuvre d'outils d'IA et l'automatisation de procédures massives (traitement des factures, des marchés, des impôts) est susceptible d'avoir un effet d'entraînement sur d'autres services (par exemple, le traitement de la paye).

**Si de lourds investissements permettent de lancer rapidement des projets de robotisation massifs, l'expérimentation locale reste indispensable pour adapter les technologies aux spécificités de chaque secteur**, de chaque public, de chaque territoire. Le secteur de la santé illustre bien cette logique d'amélioration progressive des services grâce à l'automatisation : ainsi en ophtalmologie, les dépistages d'anomalies rétinienne peuvent être réalisés automatiquement, libérant du temps pour les ophtalmologues, qui sont en nombre insuffisant. Dans les cliniques et hôpitaux, la maintenance préventive des équipements biomédicaux est modernisée par l'adoption de logiciels de gestion de parc qui peuvent même communiquer avec les équipements concernés. C'est en partant du terrain, dans une logique dite « *bottom-up* », que les innovations techniques se propagent.

L'expérimentation réussie de nouvelles techniques suppose la disponibilité d'une infrastructure permettant de les déployer, notamment d'une couverture en connexions à haut débit, mais aussi de connexions mobiles. Le déploiement d'un service de transport à la demande par un établissement public de coopération intercommunale, par exemple, suppose une couverture numérique complète sur la zone considérée pour ne pas avoir de zones de non-prise en charge. Cela conduit à formuler la recommandation suivante :

**Recommandation n° 1 : assurer une couverture numérique du territoire, afin d'éviter une robotisation à plusieurs vitesses.**

*b) Connaître pour anticiper : l'importance du retour d'expérience*

L'automatisation dans les services résultant d'une démarche très décentralisée et en perpétuel mouvement, la question de la diffusion des bonnes pratiques est essentielle. Elle se heurte cependant à plusieurs obstacles.

Le premier obstacle est celui du secret des affaires et de la propriété intellectuelle. L'utilisation d'outils d'automatisation donne un avantage concurrentiel que les entreprises ne souhaitent pas forcément voir disparaître en étant imitées par des concurrents.

Un autre obstacle réside dans la difficulté à comparer les situations : la mise en œuvre de solutions automatisées dans les services répond parfois à des problématiques spécifiques (manque de personnel qualifié, remplacé par des robots par exemple) ou à des stratégies de différenciation (offrir un service supplémentaire à l'aide de robots d'accueil dans une banque).

Un dernier obstacle tient au caractère mouvant et instable des expérimentations d'automatisation : l'utilisation de l'IA est en perpétuel perfectionnement. Un équipement médical destiné à automatiser un diagnostic va peut-être se révéler peu performant pendant quelques mois, avant de donner des résultats spectaculaires après une phase d'apprentissage.

**La première étape pour la diffusion de bonnes pratiques est celle de l'évaluation des expériences d'automatisation.** Mais l'évaluation ne peut être que sectorielle et il est difficile d'en tirer des conclusions générales en termes d'emploi, de compétence, de bien-être au travail, de compétitivité et de performance. La deuxième étape consiste à communiquer et diffuser les résultats des évaluations menées sur une expérience d'automatisation. Cette pratique est encore très incomplète.

Elle pourrait être très utile pour lever certains freins à l'adoption de techniques d'automatisation. Ces freins sont parfois techniques, mais aussi psychologiques. L'automatisation des processus constitue souvent une révolution culturelle qu'il faut accompagner pour qu'elle ne soit pas un traumatisme. En cela, le partage d'expériences est utile et contribue à accompagner le changement. Il en résulte deux autres recommandations :

**Recommandation n° 2 : développer les démonstrateurs d'innovations pour lever les obstacles psychologiques à l'utilisation de robots de service.**

**Recommandation n° 3 : effectuer une évaluation systématique de l'impact de l'introduction de robots dans les organisations publiques ou privées.**

## **2. Maîtriser la donnée et les technologies**

### *a) L'importance d'une politique de la donnée*

Tous les experts de l'IA s'accordent sur un point : **la collecte massive de données constitue une condition indispensable à la réussite et même tout simplement à la mise en œuvre de ce type de technologie**, qui repose sur l'apprentissage automatique par les machines plutôt que sur la construction d'algorithmes.

Des données sont créées massivement et à tout instant par une multitude d'acteurs : les entreprises collectent des données internes leur permettant de surveiller leur fonctionnement, les clients des entreprises ou usagers des services publics créent aussi des données dès qu'ils interagissent

avec les systèmes mis à leur disposition (par exemple pour une commande d'un produit). D'après le rapport du groupe de haut niveau précité, le volume de données augmente de 61 % chaque année.

**La disponibilité de la donnée** conditionne donc la possibilité de proposer des systèmes d'IA performants. Or, le rapport Villani reprenant les chiffres publiés par l'Union européenne en 2017 estimait que 90 % des données des entreprises n'étaient partagées avec personne. Le rapport Villani préconise d'ouvrir largement l'accès aux données publiques mais aussi d'obliger si nécessaire à l'ouverture de certaines données détenues par des entités privées.

Le rapport du groupe de haut niveau européen préconise plusieurs pistes : mettre en place des plateformes nationales et européennes de données, donner un statut de service public aux infrastructures européennes de partage de données, standardiser au niveau européen le marquage de données, créer des espaces sécurisés de données pour des secteurs sensibles comme la santé ou l'agriculture, développer des mécanismes de protection des données personnelles, ce qui a déjà avancé avec l'entrée en vigueur du RGPD<sup>1</sup>, garantir l'interopérabilité des données.

L'objectif d'une politique européenne des données consiste à éviter de dépendre de données devenues propriété des firmes dominantes de l'économie numérique, en particulier des GAFAs américaines. L'économie de la donnée est d'ores et déjà évaluée en Europe à 300 milliards d'euros soit 2 % du PIB européen<sup>2</sup> et pourrait doubler en 4 ans. La nouvelle directive européenne sur la réutilisation de données issues du secteur public vise à renforcer l'accès aux données publiques. La mise à disposition de données n'est pas un accélérateur d'innovation mais bien la condition pour développer des services nouveaux, par exemple en matière de mobilité dans les espaces publics. Ces analyses conduisent à formuler la recommandation suivante :

**Recommandation n° 4 : encourager l'accès à des jeux de données publiques et privées destinés à favoriser l'innovation.**

*b) Mieux connecter la recherche avec les entreprises et administrations*

Le rythme de développement de robots intelligents dans les services dépend de l'existence d'une offre de solutions qui doivent être à chaque fois personnalisées. Au départ, les projets en ce domaine sont des expérimentations, qui ne peuvent être mises en œuvre que sur la base de travaux de recherche publique ou privée.

---

<sup>1</sup> Règlement général sur la protection des données, entré en application en mai 2018. Il renforce les obligations de recueil de consentement pour les entités qui collectent des données personnelles et organisent un droit à l'effacement des données.

<sup>2</sup> Rapport Servoz.

Le rapport Villani le rappelle : « *la France se situe dans les tout premiers rangs internationaux en ce qui concerne la recherche en mathématique et en intelligence artificielle* ». Le rapport Bonnell-Simon constate aussi que la France « *foisonne d'innovations robotiques à tous les niveaux de la chaîne de valeur* » et « *s'étale sur un large spectre d'acteurs* ». Bref, on ne manque pas de matière grise.

Mais nos maux sont aussi connus : le rapport Bonnell-Simon rappelle que les transferts de la recherche vers l'industrie sont insuffisants, notamment vers les PME-PMI. Ils soulignent que la phase de développement de nouvelles solutions techniques, appelée « *vallée de la mort* »<sup>1</sup> est souvent un moment où des capitaux extérieurs viennent prendre le contrôle des entreprises prometteuses.

**Cette difficulté à passer de la phase de recherche à la mise en application sur le terrain et à faire des avancées technologiques permises par les chercheurs des réussites économiques est une faiblesse structurelle en Europe et plus particulièrement en France.**

Pour à la fois stimuler la recherche et mieux la faire connaître, une des pistes préconisées par le rapport Villani consiste à stimuler l'inventivité à travers des grands défis sectoriels, sur le modèle du DARPA Grand Challenge, doté d'un prix permettant aux équipes multidisciplinaires gagnantes de poursuivre et diffuser leurs innovations. Le rapport du groupe de haut niveau européen sur l'intelligence artificielle abonde dans le même sens en proposant (point 7.4) de financer des hackatons (compétitions de hackers pour tester la sécurité informatique) ou des défis de recherche.

De telles initiatives seront utiles pour faire vivre un foisonnement d'initiatives et rechercher en permanence des améliorations techniques susceptibles d'applications concrètes dans de nombreux domaines : santé, transport, environnement, etc.

## **B. REPENSER LA FORMATION**

### **1. Adapter la formation initiale**

*a) Développer les compétences techniques dans le numérique et l'automatisation*

La mise en place de solutions d'automatisation nécessite de **disposer de personnel de haut niveau**, capable de concevoir les nouveaux systèmes techniques et ensuite d'en assurer la maintenance. Or, les métiers sont en tension dans le secteur des nouvelles technologies. Le baromètre économique

---

<sup>1</sup> Dans le processus de développement d'une start-up, la « *vallée de la mort* » correspond à la période pendant laquelle l'entreprise, après avoir levé des capitaux, dépense ceux-ci dans le développement d'une technologie avant de pouvoir commercialiser son innovation. Lorsque ce temps est trop long, la start-up consomme son capital avant d'avoir pu dégager des revenus suffisants.

de l'ingénierie publié en janvier 2019 par Syntec-Ingénierie constatait un sous-effectif structurel de 2 à 4 % pour les techniciens et ingénieurs, avec une insuffisance de diplômés disponibles.

En matière d'IA, le rapport Villani préconisait même de multiplier par 3 en 3 ans le nombre des personnes formées à l'IA, afin de répondre aux besoins des entreprises.

Publié en juin 2018, le rapport de notre collègue Catherine Morin-Desailly consacré à l'urgence de la formation numérique<sup>1</sup> préconisait d'augmenter le nombre de jeunes se destinant aux carrières du numérique « *afin de résorber l'écart entre l'offre et la demande de compétences expertes* ». Mieux informer les jeunes sur ces futurs métiers au moment de l'orientation et diversifier les recrutements dans les cycles de formation supérieure sont des outils proposés par ce rapport.

Ces travaux soulignent aussi la nécessité d'attirer des femmes dans ces métiers techniques. Le rapport Villani préconise ainsi de fixer un objectif de 40 % de femmes dans les filières du numérique.

La situation de pénurie de compétences techniques pose problème car elle freine la diffusion du progrès technique et peut, à terme, affaiblir la capacité d'innovation et la compétitivité des entreprises françaises. La mise en place de nouveaux outils ou simplement leur gestion au quotidien peuvent être rendus impossibles par l'absence de ces compétences. Le risque est alors de voir des concurrents de la France prendre une avance technique dans toute une série de domaines stratégiques : mobilités connectées, robotique de santé, etc.

Ce triste constat conduit à la recommandation suivante :

**Recommandation n° 5 : former massivement les personnes appelées à intervenir dans la mise en œuvre des nouveaux outils numériques : informaticiens, gestionnaires de données, techniciens chargés de la maintenance robotique.**

*b) Une transformation profonde des besoins éducatifs généraux*

Au-delà du besoin en compétences techniques spécifiques, l'automatisation et le développement de l'IA transforment largement les besoins en compétences acquises durant les jeunes années par tous les publics. Cibler avec précision ces besoins est difficile. Comme le rappelle le rapport Servoz précité « *il est pratiquement impossible de prédire quels nouveaux emplois vont apparaître* ».

Mais il ajoute que « *cela n'est pas un problème, puisque l'enjeu principal est d'avoir les compétences pour s'adapter à différents types d'activité* ». Or, les systèmes de formation initiale répondent mal à cet impératif d'adaptabilité : le rapport Servoz précise ainsi que « *la manière dont les apprentissages sont*

---

<sup>1</sup> Rapport d'information n° 607 (2017-2018) de Mme Catherine MORIN-DESAILLY.

*organisés aujourd'hui (préparer les personnes à des emplois spécifiques, comme devenir charpentier, plutôt que de se focaliser sur des compétences transversales) ne répond pas aux changements sociétaux apportés par les nouvelles technologies ».*

**Les experts pointent comme première faiblesse des systèmes de formation initiale l'insuffisance dans les compétences de base en littératie numérique**, c'est-à-dire dans la capacité à comprendre et utiliser les technologies de communication numérique dans tous les domaines d'activité. Les mécanismes de l'IA sont mal connus et l'enseignement de l'informatique est trop faible. D'une manière plus générale, le niveau requis dans l'enseignement scolaire en sciences et technologies est considéré comme insuffisant en France et en Europe, et par ailleurs en baisse alors que les besoins en connaissances augmentent.

**Une deuxième faiblesse vient des manières de former et des contenus des formations.** Le rapport Villani précise en effet que *« pour assurer la complémentarité de l'humain avec l'IA, ce sont les compétences cognitives transversales, mais également les compétences sociales et relationnelles et les compétences créatives qui devront être développées »*. Le système éducatif français est centré sur l'acquisition de compétences cognitives transversales, donc il pourrait sembler bien placé pour former nos jeunes à des emplois où l'automatisation sera forte. Mais le rapport Villani souligne qu'il devra néanmoins se transformer pour mettre en avant davantage *« l'exigence de l'apprentissage et de la créativité »*. Apprendre à apprendre, apprendre à innover ne sont pas au cœur du système éducatif français. Or, ces facultés sont stratégiques dans l'optique de former des jeunes à des carrières professionnelles plus variées et se déployant dans un environnement technologique en évolution de plus en plus rapide. Le rapport Servoz insiste lui aussi sur l'importance des « compétences douces » (*soft skills* en anglais) : communication, capacité au travail en équipe, créativité, résolution de problème, intelligence comportementale, capacité critique, négociation, etc... Pour développer ces compétences, le rapport Villani souhaite que l'on encourage les *« pédagogies innovantes »*.

**Une autre faiblesse de la formation initiale est la forte étanchéité entre les formations générales et les formations techniques ou technologiques**, que l'on retrouve partout en Europe (sauf en Allemagne et en Suisse). Le rapport Servoz souligne que l'enseignement général fournit aux élèves des compétences générales et l'enseignement technique fournit aux élèves des compétences techniques, orientées vers des besoins très spécifiques, alors que des synergies sont nécessaires. Concernant l'enseignement technique, le rapport Villani critique aussi la conception « adéquationniste » consistant à *« construire des cursus éducatifs strictement indexés aux besoins d'un bassin d'emploi »* qui formeraient aujourd'hui des personnes dont l'emploi pourra être automatisé dans quelques années.

Le rapport Servoz conclut que **le système éducatif actuel en Europe doit être revu en profondeur**, car il n'est pas adapté à l'enjeu du

déploiement massif de l'IA, qui est d'abord et avant tout un enjeu d'adaptation continue à des changements rapides dans les manières de travailler. La demande sur le marché du travail est en constante évolution, tirée par les progrès technologiques. Le système éducatif pourrait tout simplement ne plus garantir que soient enseignées les compétences essentielles dans les nouveaux emplois, ouvrant la voie à une remise en cause profonde.

À cet égard, deux recommandations pourraient être utilement formulées :

**Recommandation n° 6°: réformer l'enseignement scolaire afin d'encourager l'adaptabilité ultérieure des jeunes.**

**Recommandation n° 7 : développer les compétences transversales dans l'enseignement supérieur afin « d'apprendre à apprendre ».**

## **2. Transformer la formation continue**

### *a) Une accélération des exigences d'adaptation en cours de carrière*

L'adaptation en cours de carrière est une réponse à des besoins de reconversion qui résulteront de l'automatisation : un rapport de l'institut McKinsey estime que d'ici 2030, entre 75 et 375 millions de personnes soit entre 3 et 14 % de la population devra changer de catégorie d'activité professionnelle<sup>1</sup>. **Le passage d'une activité à une autre passera par de la reconversion professionnelle** et pas seulement par l'entrée dans la vie active de nouvelles personnes formées spécifiquement aux nouveaux métiers.

Par ailleurs, même dans des métiers qui existeront encore, des glissements de tâches sont attendus. Le contenu des métiers a toujours évolué en fonction des conditions techniques de leur exercice, sans forcément disparaître. Ces changements font évoluer les compétences attendues, rendant certaines stratégiques et d'autres, autrefois majeures, relativement secondaires. Dans un rapport de 2018, les experts de l'institut McKinsey comparent les descriptions officielles des tâches dans les métiers par le département du travail américain entre 1957 et aujourd'hui. Ils constatent que les mineurs existent encore aujourd'hui. Par le passé, on leur demandait une habileté motrice élevée et la capacité à supporter des tâches très physiques comme porter de lourdes charges. Aujourd'hui, on leur demande d'être capables de faire fonctionner des machines qui portent et qui déplacent le minerai. Concernant les infirmières, leur rôle en 1957 était de dispenser les soins aux patients, les surveiller à travers des prises de température ou un contrôle visuel de leur comportement. Aujourd'hui, elles ont les mêmes missions, mais le font très différemment, ce qui conduit à des évolutions des besoins en savoirs et en compétences.

---

<sup>1</sup> <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>

Le rapport Servoz illustre ce besoin en requalification à travers un chiffre spectaculaire : 50 % des connaissances apprises durant la première année d'une formation technique d'une durée de 4 ans seraient obsolètes au moment de la fin du cursus. Il souligne que les formes traditionnelles de formation des adultes ne sont pas suffisantes pour faire face à la rupture technologique que nous sommes en train de connaître. Elles sont trop basées sur une logique de transmission de connaissances et pas assez sur l'expérience vécue. La mise en place de cursus de formation fractionnés constitue une piste proposée pour combiner formation initiale et continue. Par ailleurs, les formations continues sont centrées sur des besoins immédiats plutôt que sur des besoins plus généraux d'adaptation à de nouveaux métiers ou à des tâches radicalement transformées.

Le chapitre 6 du rapport de l'OCDE de début 2019 sur l'avenir du travail souligne aussi cette nécessité de renforcer la formation des adultes. Le rapport rappelle que les compétences pour exécuter des tâches cognitives de haut niveau et les compétences en matière d'interactions sociales complexes sont particulièrement recherchées. Ces tâches ne sont pas susceptibles d'automatisation. Le rapport pointe aussi ce besoin d'adaptabilité en cours de carrière, à laquelle la formation continue doit répondre.

*b) Des efforts particuliers de formation continue en direction de certains publics*

Si la formation professionnelle continue doit être renforcée, des efforts particuliers doivent être faits en direction de certains publics plus fragiles face à la transformation technologique et qui n'utilisent que très peu les dispositifs existants aujourd'hui.

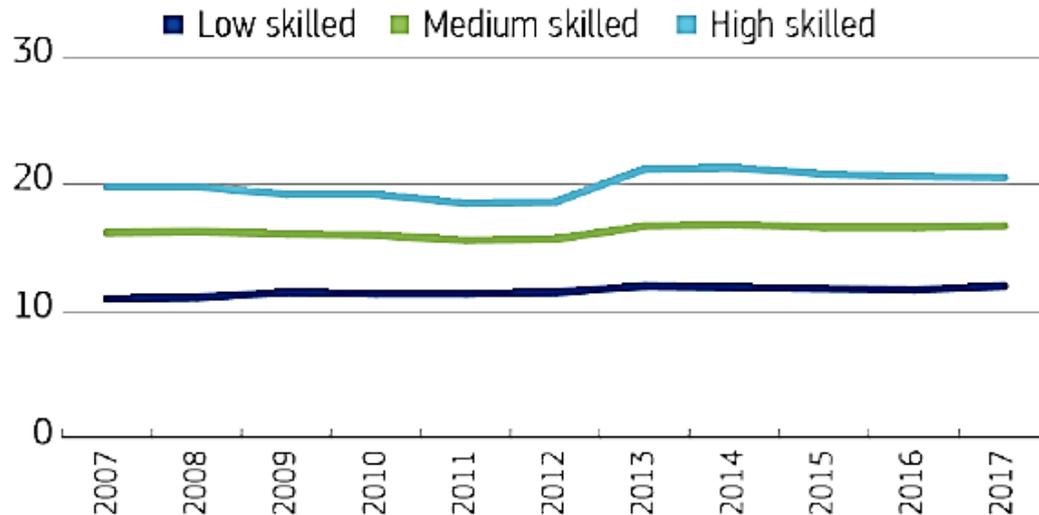
Le rapport de l'OCDE souligne que les **personnes peu qualifiées** sont aussi celles qui se forment le moins en cours de carrière et que la tendance au renforcement de la formation continue n'a profité récemment qu'aux plus qualifiés.

Des efforts doivent aussi être faits vis-à-vis des **travailleurs dont les emplois disparaissent avec l'automatisation** : des reconversions doivent être envisagées. Sont particulièrement ciblées les personnes ayant des qualifications intermédiaires qui deviennent obsolètes avec l'automatisation. Cette exigence pourrait concerner nombre de travailleurs des services : employés de banque, comptables.

Le rapport de l'OCDE alerte aussi sur plusieurs catégories de travailleurs qui ont peu accès aux dispositifs de formation professionnelle et qui sont de plus en plus nombreux avec la diversification des formes de travail : **travailleurs temporaires, travailleurs indépendants, travailleurs à temps partiel** ou encore **vieux travailleurs**. Le secteur des services est particulièrement concerné par cette diversification des statuts au travail. L'OCDE plaide en faveur d'une individualisation forte de la formation

professionnelle, en particulier à travers la mise en place de dispositifs de **comptes individuels de formation** destinés à répondre à cet enjeu majeur.

*Participation rate in education and training (last 4 weeks), % of population 18-64 by educational attainment level, EU*



Source: ESDE 2018

*Source : rapport Servoz*

Le rapport Villani propose aussi d'engager une réflexion approfondie sur les modes de financement de cette formation professionnelle visant à de la reconversion ou au moins, à une acquisition de qualifications en lien avec les évolutions technologiques : des prélèvements assis sur la masse salariale sont certainement moins pertinents que ceux fondés sur la valeur ajoutée dégagée, dès lors qu'une part importante de cette valeur ajoutée est produite grâce aux systèmes intelligents et aux robots.

Sans rentrer dans le détail du financement de la formation professionnelle, on peut se contenter à ce stade de souligner la nécessité de cibler davantage les efforts de formation professionnelle sur les personnes les plus fragilisées par l'automatisation des tâches professionnelles :

**Recommandation n° 8 : renforcer l'appareil de formation professionnelle continue en accordant une priorité aux travailleurs dont l'emploi est automatisé ou susceptible de l'être rapidement.**

### **C. INVENTER DE NOUVELLES RÉGULATIONS**

#### **1. La régulation fiscale : faut-il taxer les robots ?**

##### *a) Les arguments en faveur de la taxation des robots*

Taxer les robots est une question qui revient depuis plusieurs années dans le débat public. Elle a été mise en avant comme un axe majeur de

campagne par le candidat aux élections présidentielles de 2017 Benoît Hamon mais est aussi défendue par des personnalités et des économistes qui y voient un outil d'avenir. Plusieurs arguments sont avancés par les défenseurs de cette mesure.

- La taxation des robots permettrait de **freiner le remplacement du travail humain** et donc de limiter le rythme des destructions d'emplois, afin de gagner du temps pour adapter les personnels exposés à ce mouvement de substitution, à travers des programmes de formation et de reconversion précisément financés par le produit de cette taxe. C'est l'idée avancée par Bill Gates dans une interview de février 2017 au magazine Quartz<sup>1</sup>.

- La taxation des robots est aussi envisagée comme un moyen de **financer des dépenses de protection sociale**, assises en France encore aux trois quarts sur les revenus d'activité<sup>2</sup> et pesant donc sur le travail humain. Il convient de rééquilibrer les contributions entre capital et travail, dès lors que les robots accomplissent une part des tâches préalablement effectuées par des salariés.

- La taxation des robots est aussi envisagée comme une **mesure de correction des inégalités générées** par cette nouvelle étape du progrès technique. Des économistes tels Jeffrey Sachs estiment que la richesse supplémentaire produite par la robotisation du travail humain ne bénéficie quasiment exclusivement qu'aux actionnaires, les salariés connaissant pour leur part une baisse de leurs revenus du fait d'une nouvelle concurrence face à laquelle ils ne sont pas armés. Dans ce contexte, la taxation des robots est vue, en particulier par une étude de 2018 d'économistes du Fonds monétaire international (FMI), comme un outil de redistribution des revenus et de correction des inégalités<sup>3</sup>.

- Enfin, une autre approche de la taxation des robots, portée notamment par l'eurodéputée Mady Delvaux en 2017 s'inscrit dans une perspective plus globale de **sortie de la société du travail**. Craignant que le progrès technique porté par les robots soit d'une nature très différente des précédents épisodes, on peut imaginer que les robots et l'IA vont raréfier les besoins en emploi et donc qu'une partie de la population ne pourra pas trouver de travail. Dans un tel monde, la taxation des robots permettrait de financer un revenu universel offrant la possibilité à chacun de se consacrer à d'autres activités que les activités marchandes.

---

<sup>1</sup> <https://qz.com/911968/bill-gates-the-robot-that-takes-your-job-should-pay-taxes/>

<sup>2</sup> Voir le rapport du Haut conseil du financement de la protection sociale : [https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/hcfips-2019-05-10\\_etat\\_des\\_lieux\\_actualise.pdf](https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/hcfips-2019-05-10_etat_des_lieux_actualise.pdf)

<sup>3</sup> <https://www.imf.org/en/Publications/WNP/Issues/2018/05/21/Should-We-Fear-the-Robot-Revolution-The-Correct-Answer-is-Yes-44923>

*b) Les arguments hostiles à la taxation des robots*

Il existe cependant aussi de nombreux arguments en défaveur de la taxation des robots, qu'aucun grand pays industrialisé n'a encore mise en œuvre. Seule la Corée du Sud a envisagé en 2017 une telle taxe dans le cadre d'une révision générale de la fiscalité mais n'a pas encore adopté un dispositif global d'imposition sur les robots.

- Le **premier argument est économique** : une taxe sur les robots risque de freiner l'investissement des entreprises en France et conduire à aggraver leurs problèmes de compétitivité, alors que les concurrents étrangers n'auront pas à supporter une taxation identique de leurs machines et que la France n'est pas, et de loin, le pays développé le plus robotisé du monde<sup>1</sup>.

- En outre, les économistes soulignent que la **robotisation n'est pas forcément la cause directe de destruction d'emplois**. Parfois même, le transfert de tâches humaines vers des automates est le résultat d'une pénurie de main d'œuvre. Ce phénomène est observé dans certains pays, Corée-du-Sud ou encore Japon, qui combinent un fort taux de pénétration des robots avec une situation de plein-emploi : dans une telle situation, la robotisation vise simplement à faire sauter un goulot d'étranglement de la production et toute taxation reviendrait à handicaper la croissance du pays, sans aucun effet sur l'emploi.

- Par ailleurs, **taxer les robots n'assure pas mécaniquement une plus grande équité des prélèvements avec le travail**, dans la mesure où cette taxe peut être supportée *in fine* par les salariés sous forme de modération salariale supplémentaire destinée à maintenir la compétitivité globale des entreprises taxées pour leurs robots installés.

- Enfin, les **modalités pratiques d'instauration d'une taxation des robots interrogent**. Plusieurs techniques sont envisageables : calculer un « salaire fictif » du robot et imputer une taxation sur cette rémunération potentielle ; taxer le robot lors de son installation ou encore taxer la détention de robots comme un actif productif spécifique. La taxation des robots constituerait dans ces deux derniers cas une nouvelle forme d'imposition du capital productif.

Quelle que soit la technique choisie, elle se heurte à la difficulté à définir précisément un robot et donc à identifier le champ d'application de la taxation : les logiciels devraient-ils être inclus dans la taxation des robots ? Les bases de données doivent-elles être concernées également ? Comment traiter les bornes tactiles des restaurants qui sont des robots très simples mais qui ont effectivement remplacé des emplois en transférant des tâches de

---

<sup>1</sup> D'après la fédération internationale de robotique (IFR), le nombre de robots industriels pour 10 000 emplois dans l'industrie manufacturière était en 2018 seulement de 154 en France, moins qu'en Italie (200), qu'aux États-Unis (217), beaucoup moins qu'en Allemagne (338) et très loin de la Corée du Sud (774).

l'entreprise vers le consommateur ? Faut-il taxer les véhicules autonomes puisqu'ils ont vocation à nous dispenser d'un chauffeur ? Des questions de frontière risquent de n'être pas facilement tranchées et de retarder la mise en œuvre d'une taxation des robots. La faisabilité technique d'un tel projet est donc peu évidente et constitue un véritable obstacle à la mise en œuvre effective d'une taxation des robots.

## **2. La régulation sociale : quelles protections dans un monde robotisé ?**

### *a) Prendre en compte les nouvelles formes d'emploi dans les services*

L'utilisation de robots et de l'IA supprime des emplois, en transforme beaucoup, et a aussi un effet sur la forme que prend la relation de travail. **Le salariat est aujourd'hui le mode dominant de la relation de travail : en France, 90 % des travailleurs sont des salariés.**

L'automatisation n'a pas d'effet systématique sur la nature de la relation de travail : Amazon emploie beaucoup de robots mais dispose aussi de personnels dans ses entrepôts, qui travaillent avec les robots, et qui sont des salariés d'Amazon. À l'inverse, Uber emploie peu de salariés et crée du travail à travers la mise en relation directe entre utilisateurs de sa plateforme. S'il n'y a pas d'automatisme, on doit toutefois constater que **l'économie de plateforme** est facilitée par le déploiement de l'IA et que son développement favorise le basculement du travail salarié vers une nouvelle forme de travail indépendant, en particulier dans le domaine des services comme le transport de personnes.

**Cette transformation des formes d'emploi n'est pas forcément positive pour les conditions de travail et les statuts sociaux** : dans son ouvrage « *En attendant les robots* » publié en 2015, le sociologue Antonio Casilli mettait en évidence le travail gratuit ou quasi-gratuit exploité par les plateformes pour contribuer à leur réussite économique : utilisateurs des réseaux sociaux dont les données personnelles sont collectées et commercialisées, micro-travailleurs du digital, qui sont des nouveaux fournisseurs de services numériques bon marché et très peu protégés.

Deux remarques peuvent être faites à ce stade :

- **Il n'y a pas de basculement massif vers un travail réalisé à travers des plateformes.** Dans un article récent de la revue *Futuribles*<sup>1</sup>, Louis-Charles Viossat constate qu'il s'agit pour l'instant d'un « *travail de niche, principalement urbain* ». Il indique que le nombre de travailleurs de plateformes dans les pays développés se situe entre 0,5 et 3 % de l'emploi total. Il souligne que beaucoup de travailleurs de plateformes sont des

---

<sup>1</sup> *Futuribles* n° 433 ; novembre-décembre 2019.

pluriactifs : il ne s'agit donc pas de salariés dont le statut a changé pour des activités similaires à celles exercées précédemment.

• **Par ailleurs, la technologie et ses effets peuvent faire l'objet de régulations publiques.** C'est ce que rappelle le chercheur Christophe Degryse dans une étude récente de l'institut syndical européen<sup>1</sup> : les technologies ne conduisent pas mécaniquement à un évitement du droit du travail et de la sécurité sociale et les plateformes peuvent être gérées de manière respectueuse du modèle social. Par ailleurs, les collectivités publiques peuvent intervenir et orienter l'innovation dans les services : la ville de Seattle par exemple a organisé une représentation collective des chauffeurs référencés sur les plateformes de type Uber.

*b) Surveiller les nouvelles conditions de travail*

Le transfert de tâches pénibles à des machines constitue la face positive de la transformation à laquelle nous assistons. Mais la robotisation et le développement de l'IA sont susceptibles aussi de détériorer les conditions de travail. Là aussi, la technologie n'est pas déterministe.

L'étude de l'ETUI précitée met en garde contre les effets négatifs des nouvelles technologies et conclut qu'il existe une tendance à l'intensification du travail et à une forme de désappropriation du travail humain. Christophe Degryse estime que « *les technologies incorporées dans le processus de production sont mises au service de la productivité et de la profitabilité et créent, par l'utilisation managériale qui en est faite, des effets constants de mise en périphérie du travail humain* ».

Une attention particulière doit donc être portée non seulement aux **nouvelles conditions de travail** dans un environnement marqué par l'utilisation massive de technologies intelligentes (robots, algorithmes), mais aussi au **risque de déqualification** des personnes qui deviennent les exécutants des ordres de la machine. Le rapport Villani pointe le risque de voir le travail en collaboration avec une machine augmenter le caractère routinier des tâches et de diminuer la capacité d'initiative et de réflexion au travail.

Dans ces conditions, l'IA et les robots constitueraient une véritable régression sociale, à rebours des promesses de désautomatisation du travail et d'enrichissement des tâches confiées à des humains. Bref, il ne faudrait pas que le travail humain devienne le « travail non qualifié » des machines.

Pour éviter cet écueil, le rapport Villani préconisait que l'utilisation des technologies numériques soient explicitement intégrées dans les deux négociations obligatoires en entreprise : la négociation annuelle sur l'égalité professionnelle et la qualité de vie au travail et la négociation qui doit avoir lieu tous les trois ans dans les entreprises d'au moins 300 salariés sur la

---

<sup>1</sup> <https://www.etui.org/fr/Publications2/Working-Papers/Economie-de-plateforme-et-droit-social-enjeux-prospectifs-et-approche-juridique-comparative>

gestion des emplois et des parcours professionnels. La prise en compte par les partenaires sociaux de ce nouvel enjeu est absolument indispensable pour éviter que la mise en place d'outils d'IA et de robots ne soit traitée que comme une question technique, d'où la recommandation suivante :

**Recommandation n° 9 : intégrer dans les négociations sociales en entreprise la question de l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle et de robots et de leur impact sur les conditions de travail.**

*c) Corriger le « biais technologique »*

Malgré les efforts de formation à la fois initiale et continue, une part de la population active restera peu diplômée et peu qualifiée. Le niveau de diplôme progresse certes au fil des générations : la part des bacheliers d'une génération avoisine les 80 %, dont plus de la moitié ont passé le bac général.

**Mais les diplômes peuvent connaître aussi une obsolescence rapide du fait de la rapidité des progrès technologiques.**

La crainte de laisser sur le bord du chemin du travail une part importante de la population active est loin d'être infondée, même si cette hypothèse ne s'est jamais vérifiée historiquement.

L'adaptation des compétences aux besoins d'une économie fortement automatisée peut être difficile compte tenu de l'importance du nombre de personnes concernées. Le rapport du comité des sciences et techniques de la Chambre des communes britannique publié en juin 2016 et intitulé : « *Digital skills crisis* » estimait que 23 % de la population britannique soit 12,6 millions de personnes manquait des compétences numériques de base, dont la moitié à cause d'un handicap.

Les non diplômés ainsi que les diplômés manquant de compétences numériques peuvent se retrouver en marge d'un marché du travail très exigeant sur ces critères et contraints de n'exercer que des emplois non qualifiés. Les projections sur l'emploi du futur ne prévoient pas une totale disparition de l'emploi non qualifié mais celui-ci pourrait devenir plus résiduel.

**En outre, l'emploi non qualifié s'accompagnant de faibles rémunérations, il condamne ceux qui l'exercent à des parcours professionnels très peu ascensionnels.**

Aux non-qualifiés peuvent s'ajouter ceux qui, disposant d'une qualification antérieure, voient celle-ci se dévaloriser du fait d'avancées des technologies. Une **trappe de déqualification** peut alors s'ouvrir sous leurs pieds et les condamner, en milieu de carrière, voire en tout début de carrière comme cela est redouté pour des métiers comme les comptables ou les assistants de recherche juridique dans les cabinets d'avocats. Ce scénario est évitable, d'où la proposition suivante :

## **Recommandation n° 10 : garantir un droit à la reconversion pour les salariés dont les emplois sont supprimés par la robotisation.**

### **3. Quel encadrement éthique de la robotisation au travail ?**

#### *a) Les robots, des travailleurs pas comme les autres*

Le travail au milieu de robots est susceptible d'améliorer la qualité des services rendus à tous : clients, mais aussi collaborateurs, qui peuvent consacrer leur temps à d'autres tâches ou améliorer leur performance propre.

Mais il existe aussi certains aspects négatifs mis en évidence par les experts, qui appellent un encadrement éthique.

- L'IA et les robots constituent des instruments très puissants de **collecte de données, notamment de données personnelles**. Et les machines ont un avantage sur les humains : elles n'oublient rien. Il est donc important de donner un cadre précis à la collecte de données, qui ne doit jamais se faire à l'insu des intéressés. Les robots-compagnons, par exemple, peuvent se muer en redoutables espions du quotidien.

- Une autre question éthique porte sur la **manipulation que l'IA peut introduire dans les interactions entre homme et machine**. Mise en évidence il y a une dizaine d'années, la théorie du *nudge* (coup de coude) montre qu'il est possible d'inciter des personnes ou une population ciblée à changer leurs comportements ou à faire certains choix sans être sous contrainte, en utilisant leurs biais cognitifs. Des *nudges* incorporés à des machines pourraient ainsi guider des comportements d'achat ou influencer la formation d'une opinion syndicale ou politique. Dans un article récent publié dans la revue *Futuribles*<sup>1</sup>, la chercheuse Laurence Devillers concluait notamment à la nécessité de nouveaux tests pour surveiller la manipulation des machines.

- Proche de la question des *nudges*, la **question des discriminations** se pose avec l'utilisation de l'IA. Sans qu'il y ait une quelconque volonté de discriminer, des systèmes dotés d'IA peuvent reproduire des discriminations déjà présentes dans la vie réelle, lorsqu'elles utilisent des techniques d'apprentissage automatique. Ainsi, un système de sélection automatique de CV en vue d'effectuer des recrutements pourrait utiliser des critères raciaux ou de genre pour effectuer des tris, alors que de telles discriminations sont interdites.

- L'utilisation de robots et d'IA dans les services peut aussi **rendre floue la frontière entre ce qui relève de l'humain et ce qui relève de la machine**. Les progrès des *chatbots* conduisent à les utiliser dans des applications diverses : assistants vocaux, serveurs vocaux interactifs. Or, un humain peut imaginer qu'il s'agit en réalité d'un autre interlocuteur humain.

---

<sup>1</sup> *Futuribles* n° 433 ; novembre-décembre 2019.

Pour l'instant, aucune machine n'est parvenue à passer le fameux « test de Turing » dont la réussite sanctionne le fait qu'une machine puisse être capable de soutenir une conversation comme un être humain. Mais les *chatbots* progressent vite et certaines situations peuvent être confuses pour les utilisateurs. Par ailleurs, les humains ont tendance à prêter des intentions aux machines. Il convient de rappeler leur nature et ne pas encourager un anthropomorphisme potentiellement dangereux.

Toutes ces questions appellent donc à un encadrement éthique de l'utilisation des robots dans le cadre professionnel mais aussi vis-à-vis de tous les acteurs économiques : fournisseurs, clients, intervenants extérieurs à l'entreprise.

*b) Les réponses envisageables*

**Mettre en place une éthique des robots et une éthique de l'IA constitue un réel défi qui fait l'objet de vastes réflexions.** Cette éthique repose sur les **trois lois d'Asimov** formulées dès 1942. Mais ces lois, très générales, ne suffisent pas à donner un cadre éthique à l'utilisation de machines intelligentes.

Les machines ne peuvent pas prendre par elles-mêmes des décisions éthiques, donc c'est au moment de la conception des programmes destinés à les faire fonctionner que cette préoccupation doit être intégrée. C'est aussi dans la mise en œuvre pratique de leurs actions qu'une surveillance doit être exercée.

Le rapport Villani préconise plusieurs mesures : d'une part développer un audit des algorithmes, et d'autre part développer l'évaluation citoyenne des IA. Il s'agit aussi de faire de l'IA et des robots un domaine moins opaque, en développant la recherche sur l'apprentissage automatique pour mieux cerner les biais possibles.

En 2017, un panel de scientifiques a défini une liste de 23 principes à l'issue d'une Conférence qui s'est tenue en Californie à Asilomar. Ces **23 principes d'Asilomar** visent à dessiner un guide éthique pour l'IA. Parmi ceux-ci figurent l'exigence de coopération entre chercheurs (l'IA ne doit pas être opaque et indéchiffrable), de sécurité et de transparence en cas de problème, de respect des valeurs humaines, notamment la dignité de la personne humaine, de protection de la vie privée, de connaissance des risques et de recherche du bien commun.

Dans le domaine du travail l'exigence d'une IA éthique n'interdit pas que la machine exécute les tâches qui étaient précédemment celles d'une personne, mais doit conduire à une IA maîtrisable par ses utilisateurs, qui ne leur échappe pas et ne constitue pas une force écrasante rendant impossible toute réflexion et toute évolution dans la conduite des activités professionnelles.

Le cadre éthique applicable à l'IA et aux robots est encore largement en construction et cette construction reste très dépendante de la manière dont sont mises en œuvre ces technologies encore jeunes et en évolution perpétuelle. Sans que l'on sache encore vraiment quel est le contenu précis de ce cadre éthique, cette préoccupation doit toutefois être prise en compte pour **rendre acceptable l'utilisation de machines dans toute une série d'activités désormais automatisées.**

#### **Les trois lois d'Asimov**

Scientifique et auteur de science-fiction d'origine russe, Isaac Asimov (1920-1992) formule trois principes qui forment le socle de l'éthique des robots :

**1ère loi** : un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, en restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger ;

**2ème loi** : un robot doit obéir aux ordres qui lui sont donnés par un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi ;

**3ème loi** : un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi.



## CONCLUSION

La collecte et l'utilisation massive de données, leur organisation à travers des outils d'intelligence artificielle, la diffusion très large dans un grand nombre de secteurs d'activité de robots intelligents qui automatisent des tâches parfois complexes – du moins en apparence – et qui relevaient jusqu'à présent du travail humain, caractérisent une « quatrième révolution industrielle » qui ne fait que commencer.

C'est une révolution rapide mais sans brutalité, presque insidieuse, dont on commence à redouter les effets massifs. Le spectre de lourdes pertes d'emploi n'est pas totalement évanoui, mais les estimations récentes du Conseil d'orientation pour l'emploi en France ou encore de l'OCDE, laissent penser que le volume des emplois détruits par l'automatisation à un horizon d'une vingtaine d'années serait de l'ordre de 10 à 15 %. Par ailleurs, d'autres emplois sont appelés à se développer et compenser les pertes subies. Le cœur de la bataille réside plutôt dans la formation initiale et continue, car l'enjeu de l'adaptation des compétences, déjà majeur aujourd'hui, le sera plus encore dans un monde peuplé de machines performantes et peu chères, capables de prendre en charge à peu près toutes les tâches répétitives.

Les capacités relationnelles, les compétences sociales, la faculté à collaborer au travail avec des machines devront être développées pour préserver l'employabilité. Les tâches nécessitant de nombreuses interactions sociales ainsi que les tâches variées peu standardisées sont moins susceptibles d'automatisation dans la mesure où le robot polyvalent ne constitue pas une perspective immédiate. La robotisation entraînera donc d'importantes transformations dans le monde du travail. Au-delà de la substitution de tâches, elle permet aussi l'émergence de nouveaux modèles économiques, facilite le développement du travail indépendant et de l'économie de plateforme.

Freiner la mise en œuvre du progrès technique dans les services pour préserver l'emploi existant n'est pas un chemin pertinent. La France est déjà un peu en retard en matière de déploiement des robots. Ceux-ci peuvent être source d'innovations intéressantes qui améliorent la qualité des services rendus aux utilisateurs, par exemple dans le cadre de l'accompagnement des personnes âgées dans les établissements qui les hébergent. Une robotisation réussie passe toutefois par la mise en place d'un accompagnement des personnels touchés par les transformations des emplois et par l'instauration de régulations sociales et éthiques, de manière à éviter le cauchemar d'une robotisation destructrice qui réduirait l'autonomie au travail, serait source d'une nouvelle pénibilité, et au final constituerait une régression pour tous.



## LISTE DES PROPOSITIONS

- ✓ **Recommandation n° 1 : assurer une couverture numérique du territoire, afin d'éviter une robotisation à plusieurs vitesses.**
- ✓ **Recommandation n° 2 : développer les démonstrateurs d'innovations pour lever les obstacles psychologiques à l'utilisation de robots de service.**
- ✓ **Recommandation n° 3 : effectuer une évaluation systématique de l'impact de l'introduction de robots dans les organisations publiques ou privées.**
- ✓ **Recommandation n° 4 : encourager l'accès à des jeux de données publiques et privées destinées à favoriser l'innovation.**
- ✓ **Recommandation n° 5 : former massivement les personnes appelées à intervenir dans la mise en œuvre des nouveaux outils numériques : informaticiens, gestionnaires de données, techniciens chargés de la maintenance robotique.**
- ✓ **Recommandation n° 6 : réformer l'enseignement scolaire afin d'encourager l'adaptabilité ultérieure des jeunes.**
- ✓ **Recommandation n° 7 : développer les compétences transversales dans l'enseignement supérieur afin « d'apprendre à apprendre ».**
- ✓ **Recommandation n° 8 : renforcer l'appareil de formation professionnelle continue en accordant une priorité aux travailleurs dont l'emploi est automatisé ou susceptible de l'être rapidement.**
- ✓ **Recommandation n° 9 : intégrer dans les négociations sociales en entreprise la question de l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle et de robots et de leur impact sur les conditions de travail.**
- ✓ **Recommandation n° 10 : garantir un droit à la reconversion pour les salariés dont les emplois sont supprimés par la robotisation.**



## TRAVAUX EN DÉLÉGATION

### I. AUDITION DE LAURENT ALEXANDRE, CHIRURGIEN, ESSAYISTE ET ENTREPRENEUR

Judi 21 mars 2019

**M. Roger Karoutchi, président.** – Dans le cadre du travail que commencent Marie Mercier et René-Paul Savary sur la question de la robotisation et des emplois de services, nous procédons ce matin à l’audition de M. Laurent Alexandre, dont le parcours est aussi exceptionnel qu’atypique : docteur en médecine, diplômé de Sciences Po, diplômé d’HEC et ancien élève de l’ENA, M. Alexandre est également entrepreneur, fondateur du site Internet Doctissimo, et aujourd’hui président de DNA Vision, société belge de séquençage d’ADN. M. Alexandre intervient également dans le débat public à travers articles et ouvrages, dont les plus récents ont un lien étroit avec notre thématique de travail de ce matin : « Les robots font-ils l’amour ? : le transhumanisme en 12 questions », publié en 2016, « La guerre des intelligences – Intelligence artificielle versus intelligence humaine », publié en 2017, et votre tout dernier ouvrage, publié avec Jean-François Copé, qui s’intitule « L’intelligence artificielle va-t-elle aussi tuer la démocratie ? ». Dans ce livre, vous êtes assez pessimiste sur le devenir de nos sociétés, en considérant que l’intelligence artificielle, notamment celle contrôlée par les GAFAs aux États-Unis et celle de leurs équivalents en Chine, vont bientôt dominer le monde.

La question de l’impact de la robotisation sur l’emploi nous préoccupe tout particulièrement. Quelles sont les évolutions que vous voyez à l’œuvre aujourd’hui ? Que faut-il anticiper ? Comment s’y préparer ? Est-il possible de faire évoluer la situation, de réguler ces grandes tendances, de prendre des initiatives et de peser sur ces transformations ?

**M. Laurent Alexandre.** – Les robots envahissent de nombreuses activités, même les plus inattendues : ainsi on voit apparaître des robots sexuels, qui enregistrent des progrès technologiques considérables.

Revenons sur l’histoire de l’intelligence artificielle (IA), pour mieux en cerner les contours. Ce terme est un néologisme inventé au Dartmouth College en 1956 par cinq chercheurs qui recherchaient une expression séduisante afin de mobiliser des financements. Or, l’IA n’a pas d’intelligence au sens humain du terme. L’IA n’a qu’une caractéristique commune avec l’intelligence humaine : elle est capable de relier des éléments, mais elle n’a pas de polyvalence, pas de sentiment et pas de conscience. Les recherches en IA n’ont rien donné de majeur entre 1956 et 2011. En 2011, grâce à l’augmentation de la puissance de calcul informatique et l’existence de nombreuses données dans des bases, on parvient à obtenir des résultats dans

le domaine de l'IA connexioniste. On développe le *deep learning*. On a eu des premiers résultats dans la reconnaissance d'images.

La tendance au développement de l'IA va-t-elle continuer ? Les experts mondiaux du sujet ne pensent pas tous la même chose. Un rapport produit par les 26 plus grands spécialistes de l'IA vient d'être publié en Angleterre et aucune réponse claire ne se dégage sur les perspectives de développement et le scénario à long terme. L'IA aura-t-elle une conscience demain ? Personne ne le sait ?

Une question nous taraude : quels métiers seront remplacés par l'IA ? Contrairement à ce que l'on croyait, les emplois manuels ne sont pas très touchés par l'IA car la robotique se développe lentement. Ce sont finalement les emplois tertiaires occupés par les classes moyennes qui sont les plus menacés : les robots peuvent faire du travail de comptable mais pas servir le café ou faire le ménage dans les hôtels. La robotique pose aussi un autre problème : les programmes informatiques peuvent être modifiés en permanence, mais pour les robots, le processus de mise en place est plus long : on ne remplace par les robots tous les soirs et les coûts d'investissement sont élevés.

À l'instar de la promesse d'Erik le Rouge, qui baptisa le Groenland en faisant croire qu'il y avait de vertes pâtures, l'IA est un terme fallacieux, qui fait croire qu'elle est une forme d'intelligence. Pour autant, on enregistre des progrès réels depuis 2011 : pour lire un scanner, faire de l'anatomopathologie, pour conduire une voiture, l'IA est meilleure que l'homme. Il y a 2 ans, on a été étonné de constater que Google détectait mieux qu'un dermatologue un cancer de la peau. Ceci est possible grâce aux énormes bases de données. Mais jusqu'où peut aller le *deep learning* ? Une conscience artificielle peut-elle émerger ? Et à quelle vitesse y aurait-il une diffusion dans la société ? Ce n'est pas parce qu'une technologie existe qu'elle est adoptée. Il peut aussi y avoir des réticences.

Comment les humains peuvent-ils être complémentaires de l'IA ? C'est un défi difficile car il subsiste des écarts importants dans la capacité d'apprentissage des humains. Et l'éducation est incapable de réduire les écarts de capacités d'apprentissage. De ce point de vue, on peut être dubitatif sur l'impact des dédoublements de classes de CP. Les anglo-saxons sont pessimistes sur la capacité d'emmener tout le monde dans la nouvelle économie qui exige une collaboration entre humains et IA.

Le développement de l'IA pose aussi un problème stratégique : il y a en Europe des utilisateurs de l'IA mais les grands acteurs économiques et technologiques sont en Californie (les GAFA) et en Chine (BATX). Le développement de l'IA conduit donc à concentrer le pouvoir dans quelques pays privilégiés.

Nous assistons aujourd'hui à une redistribution massive des richesses. Il y a 39 ans, le Maroc était 5 fois plus riche que la Chine. Les

hiérarchies bougent rapidement. Avec le développement de l'IA, l'Europe pourrait s'effondrer en peu de temps, comme nous l'avons fait sur les téléphones, alors que Nokia était leader il y a 12 ans.

L'IA produit donc un choc politique et culturel. L'IA entraîne aussi un changement civilisationnel : avec l'IA on peut faire des bébés génétiquement modifiés.

Pour revenir sur l'emploi, quand on regarde le passé, on n'a jamais eu de destruction de l'emploi lors des sauts technologiques. Nous avons suivi le processus Schumpétérien de destruction créatrice. Et ces sauts technologiques ne laissent pas de côté les moins qualifiés. Dans les années 1990, encore deux tiers des emplois étaient non ou peu qualifiés. L'IA pourrait cependant changer ce paradigme, si bien que récemment, l'économiste Joseph Stiglitz préconisait l'interdiction de l'IA, pour éviter une explosion des inégalités.

**Mme Marie Mercier, rapporteur.** – Qu'est-ce que l'intelligence ? Nous la définissons comme étant une capacité de raisonnement. Or, l'IA est capable de faire très vite des calculs mais ne raisonne pas sur son propre raisonnement. L'IA ne fera pas zéro faute et ne peut pas voir ses limites mais elle nous réserve des surprises. On pensait il y a 30 ans que les robots remplaceraient les chirurgiens. Or, il n'en est rien aujourd'hui. Paradoxalement, les médecins spécialistes sont plus menacés que les généralistes par l'irruption de l'IA dans la santé. Les travaux que nous avons entrepris au sein de la délégation à la prospective visent à examiner l'impact de l'IA sur le travail dans les services. Des robots d'accueil vont-ils remplacer les agents d'accueil ? Ou va-t-on aller vers un travail collaboratif entre hommes et machines ?

**M. Laurent Alexandre.** – Les « *chatbots* » (ou agents conversationnels) ne marchent pas : ils ne réussissent pas le test de Turing. On préfère donc encore recourir à un téléopérateur au Maroc plutôt qu'à un robot pour nombre de processus. Les emplois de backoffice, de services de base comme le nettoyage ou le service de restauration ou d'hôtellerie ne sont probablement pas robotisables avant 2035. Par ailleurs, les *chatbots* restent insupportables pour l'utilisateur et, comme Bill Gates, on peut penser que ça ne se perfectionnera pas avant les années 2030. Mais d'autres applications de l'IA sont redoutables : il n'y a ainsi aucune chance que le radiologue soit meilleur que l'IA pour repérer une tumeur précoce.

Je vous fais part d'une inquiétude : l'Europe est en train de s'effondrer en matière d'IA. Elle n'a aucune entreprise majeure d'IA, lorsqu'Amazon consacre 24 milliards de dollars en recherche et développement (R&D). Si on n'investit pas, on va perdre notre souveraineté. On est proche du point de non-retour. La classe politique doit aussi se former pour comprendre l'IA. Il est urgent de mettre un coup d'arrêt à notre déclin technologique.

Il existe des biais dans le déploiement de l'IA car celui-ci a des implications désagréables, pas très « politiquement correct » : l'IA ne fait que reproduire les réalités, et de ce fait, peut parfois être accusée de racisme dans les processus de recrutement.

Une autre remarque : on ne doit pas penser qu'on pourra auditer l'IA. Ce n'est pas possible.

Certains spécialistes disent qu'avec l'IA, il faudra changer de métier tous les cinq ans : cela crée beaucoup d'angoisse chez nos concitoyens qui ont déjà du mal à se former, et cette angoisse génère au final un souci d'acceptabilité de l'IA, que l'on ne règlera pas forcément par la formation continue : une étude américaine récente n'est pas très optimiste sur les capacités d'apprentissage de l'ensemble des travailleurs tout au long de leur cycle de vie professionnelle.

**Mme Christine Lavarde.** – On constate aujourd'hui que la croissance française atteint son maximum car on est au maximum de capacité de mobilisation de notre appareil productif : il semblerait que les personnes non-employées aujourd'hui ne peuvent tout simplement pas l'être. Or, il va falloir de grandes compétences pour exploiter le *deep learning* car il faut comprendre une IA plus forte que nous. Est-ce possible ?

**M. Laurent Alexandre.** – Il est à craindre que non. Les écarts vont exploser car les potentiels des uns et des autres sont très différents. Une étude évaluant le programme américain « *No child left behind* » montrait une réduction des écarts dans l'éducation lorsque des investissements spécifiques étaient faits pour les plus défavorisés, mais elle s'est révélée fautive et les responsables de cette étude ont été poursuivis par la justice. Le dédoublement des CP ne donne pas en réalité de bons résultats car trop marginaux.

L'IA peut remplacer les gens qualifiés mais elle consomme de plus en plus de cerveaux. Or, les cerveaux sont rares. On va avoir dans 20 ans une pénurie de travailleurs intelligents. L'IA ne se substitue pas aux cerveaux mais complète l'intelligence humaine. Le chercheur Serge Abiteboul nous dit bien qu'« être *data scientist* nécessite beaucoup de cerveau disponible ».

Si l'IA attaque des emplois qualifiés, les gens pourront se reconverter car ils en ont les capacités. Ce sera plus difficile pour les chauffeurs routiers quand la conduite sera automatisée. Ils sont 4 millions aux USA et 5 millions en Europe.

La Chine a lancé un programme très ambitieux sur l'IA : elle recrute les chercheurs en multipliant par cinq les salaires. La fuite des cerveaux est un problème sérieux, car on ne pourra pas payer des scientifiques de haut niveau 3 000 € par mois quand Google ou les Chinois offrent 1 million d'euros par an.

**Mme Nadia Sollogoub.** – Quelle cohabitation envisager entre voiture autonome et véhicule conduit par un humain ? Les nids de poule mettent aussi le véhicule autonome en échec en zone rurale. Finalement, dans le domaine des mobilités, l'IA ne risque-t-elle pas de se trouver en échec ?

**M. Laurent Alexandre.** – Le véhicule autonome marche déjà bien. La Californie encourage l'expérimentation des véhicules autonomes à condition de rendre les données publiques. Google ne demande au conducteur de reprendre le volant qu'après 18 000 km ! C'est impressionnant.

Une des préoccupations n'est pas de savoir si l'IA peut marcher mais si l'IA est acceptable. Or, on a déjà une crise sociale aujourd'hui en France. Le choc de la robotique et de l'IA ne sera pas immédiat. Mais le gérer sur 30 ans sera un gros challenge.

**M. Jean-Marc Boyer.** – Si l'intelligence est artificielle, la connerie restera-t-elle naturelle ?

**M. Laurent Alexandre.** – Cette question sous forme de boutade est intéressante. Va-t-on aller vers une déshumanisation ? C'est ce qu'on avait dit avec Internet et les smartphones mais cela s'est révélé faux : les réseaux sociaux créent de l'interaction.

Dans les esprits, le clivage droite/gauche risque d'être remplacé par le clivage entre bio-conservateurs et transhumanistes. Elon Musk a créé une société pour mettre des microprocesseurs dans les cerveaux des bébés afin de développer leurs capacités cérébrales. C'est effrayant mais possible.

Pour bien comprendre les sauts technologiques auxquels nous assistons aujourd'hui, il faut aller au musée archéologique de Saint-Germain-en-Laye. En 100 000 ans, les silex sont restés pratiquement les mêmes. Or, Google s'est développé en 20 ans. La technologie va plus vite. Et les régimes dictatoriaux ont un avantage décisif sur les démocraties : ils peuvent décider très vite de s'adapter.

**M. Jean-Raymond Hugonet.** – Plutôt que de parler d'intelligence artificielle, je préfère parler d'intelligence augmentée. Sur le plan de la santé, les professionnels sont confrontés à une pléthore informationnelle et une carence temporelle. L'IA pourrait-elle aider à régler ce problème. Quelle relation envisager entre notre cerveau et l'IA ? Et l'IA permettra-t-elle de lutter contre la maladie d'Alzheimer ?

**M. Laurent Alexandre.** – L'IA concurrence les cerveaux, en particulier les moins malins. Certains suggèrent de fusionner IA et cerveau. La civilisation d'Internet modifie notre cerveau, nous rend plus inattentif, et l'IA pourrait aider.

Une remarque sur la maladie d'Alzheimer : la recherche est plutôt en échec. Nous attendons des progrès techniques qui ne viennent pas vite.

Dans une économie de l'intelligence, plus on est intelligent plus on gagne. Il convient d'avoir une gestion sociale des inégalités des intelligences.

**M. Pierre-Yves Collombat.** - Intelligence et compétitivité semblent aller ensemble dans votre raisonnement. Par ailleurs, quand on regarde le futur, on a coutume de poursuivre les tendances. Est-ce la bonne approche ?

En suivant votre discours, on va supprimer les métiers exercés par des gens à l'intelligence limitée, or ceux-ci vont se révolter ! La société se fait avec des hommes et des femmes qui ne se laisseront peut-être pas faire par la technologie. Prend-on en compte dans l'analyse la dimension politique et sociale, l'acceptabilité du progrès technique. Les gens réagissent, peut-être stupidement mais ils réagissent ! La capitalisation boursière des GAFA est fondée sur du vent. On va peut-être s'en apercevoir un jour.

**M. Laurent Alexandre.** - Je n'ai jamais défendu la progression des inégalités intellectuelles. Je pense à l'inverse qu'on est en situation pré-révolutionnaire si on ne prend pas en compte les inégalités de ce type. Les GAFA sont réellement puissants et gagnent de l'argent, ils ne fondent donc pas leur succès sur du vent mais sur du solide. Par ailleurs, les usagers utilisent massivement les services des GAFA : j'observe que les politiques protestent contre AirBnB mais en même temps, ils utilisent les services d'AirBnB quand ils se déplacent. Les GAFA sont des machines de guerre puissantes qui ont grossi très vite et l'Europe, qui n'a pas de politique de puissance dans le domaine technologique comme dans le domaine militaire, est en train de perdre la partie.

Je vous rejoins sur un point : la technologie n'est pas tout. Le politique doit reprendre le leadership, mais on ne peut pas laisser de côté les avancées technologiques et faire comme si elles n'existaient pas. Le choc de la technologie est d'autant plus violent qu'il y a des fractures sociales. L'urgence aujourd'hui est à la réduction des inégalités intellectuelles. On ne peut pas penser que dans une économie de la connaissance les gens qui ont les capacités intellectuelles n'auront pas de plus en plus de pouvoir et d'argent, même en créant une taxe à 100 %. Il faut donc traiter le problème à la base, c'est-à-dire en cherchant à développer les capacités intellectuelles.

**M. Yannick Vaugrenard.** - Qu'est-ce que l'intelligence : le savoir ou le comportement au jour le jour ? Le rôle du politique est de maîtriser les progrès technologiques. C'est plus urgent aujourd'hui qu'il y a 20 ans. Je m'inscris en faux par rapport aux propos sur le dédoublement des classes de CP : ce n'est pas au bout d'un an seulement qu'on peut juger de ses effets, et les retours dont je dispose sont positifs. Il convient de traiter le problème à la base : certains enfants ont 500 à 600 mots à 6 ans quand d'autres en maîtrisent 3 000. Là est le problème. La baisse des efforts de recherche dans la science et la technologie est une catastrophe. Mais n'est-il pas aussi important de développer dans le système éducatif français les connaissances philosophiques et sociologiques ?

**M. Laurent Alexandre.** - Dans mes conférences, on me demande souvent ce qu'il faut apprendre aux enfants. Je réponds : humanités, histoire, philosophie, culture générale. Apprendre à coder est inutile.

Concernant les inégalités, il ne faut pas perdre de vue qu'elle a aussi une dimension génétique, comme le montrent les études sur les jumeaux. Le déterminisme génétique devrait être combattu mais on ne sait pas le faire. On investit insuffisamment sur la recherche en éducation : on devrait le faire pour réduire les inégalités. On a aussi un souci de pensée magique : certaines écoles marchent bien - par exemple les écoles Montessori - mais ce n'est pas parce que les méthodes sont plus efficaces, c'est seulement car il y a un biais de sélection des enfants, qui nous induit en erreur.

**M. Roger Karoutchi, président.** - Merci pour ces échanges passionnants.



## II. AUDITION DE OLIVIER DARRASON, PRÉSIDENT-FONDATEUR, ET AXEL DYÈVRE, DIRECTEUR ASSOCIÉ, DE CEIS

Jeudi 20 juin 2019

**M. Roger Karoutchi, président.** – Nous recevons aujourd’hui Olivier Darrason, ancien élève de l’ENA, membre du corps préfectoral, qui fut député des Bouches-du-Rhône de 1993 à 1997 et a créé ensuite une entreprise spécialisée dans la stratégie, l’intelligence économique et l’analyse des risques. Il va nous éclairer sur le rôle actuel de l’intelligence artificielle (IA) dans le domaine économique.

**M. Olivier Darrason, président-fondateur de CEIS.** – Je suis très heureux d’échanger aujourd’hui avec la délégation à la prospective car la prospective est très liée aux trois domaines d’activité de mon entreprise, qui s’est spécialisée sur les industries de souveraineté, pour lesquelles l’IA est un outil. Notre équipe est actuellement composée d’environ 80 personnes et nous sommes basés à Paris.

Notre premier métier consiste à faire de l’accompagnement de projets français ou européens, dans des secteurs stratégiques comme la défense, les télécommunications ou encore les transports. Nous constatons que la Commission européenne est parfois amenée à refuser des fusions d’entreprises, ce qui limite la force de frappe européenne. Nous accompagnons les entreprises mais nous répondons aussi aux appels d’offres de l’État français pour des missions d’accompagnement de projets. Il nous arrive de travailler pour d’autres États, uniquement si nous disposons de l’accord informel de la France. Un aspect essentiel de notre travail avec les entreprises concerne leur stratégie d’innovation, par exemple dans le domaine de l’aéronautique. Au passage, je note que les applications d’IA sont très présentes cette année au salon aéronautique du Bourget.

À côté du conseil en stratégie, mon entreprise intervient dans un autre champ, celui de la cybersécurité. Nous disposons d’un centre de formation unique en Europe qui nous permet d’entraîner les services du ministère de la défense ou encore de l’Agence nationale de la sécurité des systèmes d’information (ANSSI). Nous analysons le *darkweb* pour repérer les menaces pour nos clients. L’IA est très utilisée pour effectuer des cyberattaques mais aussi pour les contrer.

Nous déployons enfin nos activités dans une troisième branche : l’intelligence économique (*business intelligence*).

Notre activité est donc variée. Nous travaillons aussi au service des collectivités territoriales qui le souhaitent. Nous organisons depuis 18 ans les universités d’été de la défense, nous organisons aussi le Forum international de la cybersécurité à Lille ainsi que le Forum international de Dakar sur la

paix et la sécurité en Afrique. Nous pilotons aussi un groupe de presse qui publie des magazines de référence sur la sécurité et la défense.

Je laisse la parole à Axel Dyèvre pour parler plus précisément des liens entre défense et IA.

**M. Axel Dyèvre, directeur associé de CEIS.** - Je suis un ancien officier de l'armée française. Lorsque j'ai débuté mon parcours, on faisait de l'algorithmique, qui est désormais devenue l'IA. Lorsque nous utilisions des calculateurs pour des tirs de missiles, nous faisons en réalité de l'IA sans le savoir. L'ordinateur se voit déléguer plusieurs fonctions : il prend en charge le calcul, la proposition voire l'action.

L'IA n'est pas une perspective future mais est déjà très présente aujourd'hui : on est réveillé par un appareil, on demande à un appareil la météo ou l'itinéraire à suivre pour se rendre à ses rendez-vous et ces appareils sont capables d'analyser et de communiquer entre eux. Mon téléphone se déverrouille en me reconnaissant grâce à l'IA et en ayant, par exemple, appris à me reconnaître avec ou sans mes lunettes.

On doit distinguer entre IA locale et IA centralisée : c'est l'approche Apple contre l'approche Google. Le logiciel de gestion de photos d'Apple fait une reconnaissance de visages et fonctionne en local, même si l'on coupe l'accès à Internet. Cette approche privilégie l'algorithme sur la masse de données. Avec le gestionnaire de photos de Google, la reconnaissance de visages se fait via le cloud. L'IA locale consomme de l'énergie et a des gros besoins de calcul. Mais elle présente l'avantage de ne pas dépendre d'une connexion. L'IA centralisée dépend fortement des bibliothèques de connaissances et de volumes importants de données de référence. En IA centralisée, on obtient de meilleurs résultats en croisant des masses de données et des calculs.

Il existe une illustration parlante permettant de caractériser l'IA : un ordinateur a besoin de 500 000 images de chiens pour reconnaître sans erreur un chien alors qu'un enfant reconnaît un chien après n'en avoir vu que quelques-uns. L'IA par nature est très focalisée et peu polyvalente. Un ordinateur est capable de compléter une symphonie inachevée en regardant la masse des œuvres disponibles, mais n'aura jamais l'idée de composer une symphonie. Un robot ne sait d'ailleurs qu'appliquer les règles - dans le film Terminator, ce dernier passe son temps à répéter qu'il est programmé pour exécuter une mission. Le mot « intelligence » dans l'expression « intelligence artificielle » est un abus de langage, une expression séduisante pour aller chercher des crédits de recherche dans les années 1950. Luc Julia, l'inventeur de l'assistant vocal Siri a affirmé dans un livre que l'intelligence artificielle n'existait pas. En matière de défense, les axes d'utilisation de l'IA diffèrent selon les pays. Les Américains utilisent l'IA pour augmenter les capacités du soldat avec une doctrine offensive. Les Chinois cherchent à augmenter leur système d'armes dans une logique défensive d'interdiction. Les Russes

utilisent l'IA comme un démultiplicateur de forces. Les Israéliens utilisent l'IA pour accélérer leur temps de réaction.

L'IA est un multiplicateur de capacités de l'intelligence humaine mais pas un substitut à celle-ci. Il ne faut pas se laisser abuser par les progrès logiciels. Ce sont les capacités de calcul, les machines, le *hardware*, qui ont permis aux logiciels d'enregistrer d'importantes performances. L'IA est devenue très performante mais rencontre aussi ses propres limites : l'ordinateur n'arrive pas à anticiper l'imprévisible.

**M. Roger Karoutchi, président.** – Les Américains ou les Chinois utilisent l'IA dans le domaine de la défense. Qu'en est-il de la France ?

**M. Axel Dyèvre.** – La France fait de l'IA depuis des années et n'a pas choisi un axe privilégié. Elle fait un peu comme les Américains, les Chinois, les Russes ou encore les Israéliens. On est créatifs avec des moyens limités. On « fait avec », on « fait au mieux » et du coup on innove. Mais la vraie faiblesse de la France réside dans le matériel, le *hardware*. On est très forts pour former des mathématiciens. Mais on est incapable de fabriquer un Iphone ailleurs qu'en Chine. 90 % des terres rares utilisées dans la fabrication de composants informatiques sont exploitées en Chine pour une raison simple : on trouve des métaux rares partout mais uniquement de manière annexe à l'exploitation minière classique, or la Chine est un gros pays minier.

**Mme Marie Mercier, rapporteure.** – En matière de cybersécurité, êtes-vous en lien avec la plateforme PHAROS de signalement des contenus suspects ?

L'IA repose sur une puissance de calcul mais aussi sur un processus d'apprentissage. On peut définir l'intelligence à travers la faculté d'adaptation. Le Français est intelligent car il est débrouillard. En matière de défense, l'IA remplacera-t-elle le soldat ?

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – Que se passe-t-il lorsque l'IA connaît des ratés ? L'IA va-t-elle supprimer des emplois, notamment non qualifiés ?

**M. Olivier Darrason.** – Notre forum de la cybersécurité est organisé en lien étroit avec la gendarmerie nationale, qui est très pointue sur la cybercriminalité.

**M. Axel Dyèvre.** – Certes l'IA apprend mais à partir de règles prédéfinies. Il n'y a donc pas d'imprévisibilité de l'IA. Par ailleurs, on peut faire une réinitialisation d'une machine, ce qu'on ne peut pas faire d'un cerveau humain, y compris pour les amnésiques. L'IA ne peut pas remplacer le soldat. On délègue simplement des tâches complexes à des machines. Mais c'est un choix politique et humain de faire la guerre.

**M. Olivier Darrason.** – Un film récent d'Antonin Baudry intitulé *Le chant du loup* immerge le spectateur dans un sous-marin nucléaire. On

observe l'automatisme ou non de la décision à partir de l'analyse des sons qui se fait via des capteurs situés dans des filins très longs. Il faut une analyse de l'humain, c'est-à-dire une réflexion que ne peut pas avoir la machine, pour prendre une décision de tir. Il existe un contre-exemple dans le domaine de la lutte contre les snipers. Aujourd'hui, il existe des machines effectuant de façon statique ou dynamique une analyse de l'origine des tirs grâce à des capteurs. Si cela avait existé en 1963 on saurait, par exemple, qui a tué Kennedy. L'OTAN combine le repérage des tirs avec une mitrailleuse automatique pour abattre les snipers. On a aussi observé l'automatisation des tirs des drones de combat américains. Mais l'homme peut reprendre la main et décider à la place de la machine.

Au salon aéronautique du Bourget, Thales a présenté des outils de sécurité maritime en Méditerranée qui utilisent massivement l'IA et reposent sur des masses de données satellites. On utilise toutes les ressources disponibles, y compris les bases concernant la construction des navires.

**M. Axel Dyèvre.** - Que se passe-t-il en cas de défaillance de l'IA ? Il faut fonctionner en mode dégradé. Un marin a un ordinateur de bord dans son bateau mais s'il tombe en panne, il convient d'utiliser la carte et le compas. Si nous ne savons pas le faire, nous devenons dépendants de l'IA.

Concernant l'impact de l'IA sur l'emploi : les grandes sociétés qui utilisent massivement l'IA - par exemple Amazon - emploient aussi beaucoup de monde, y compris dans des travaux non qualifiés. Ce qui a changé, c'est la relation entre hommes et robots : chez Amazon, ce n'est pas la machine qui complète le travail humain, c'est l'homme qui vient compléter la machine quand elle rencontre ses limites.

**M. Olivier Darrason.** - Allons-nous suffisamment investir dans l'informatique et dans le logiciel pour ne pas être trop dépendants d'opérateurs américains ou chinois en matière d'IA ? La France et l'Europe ont besoin de moyens pour investir dans de nouvelles solutions technologiques alternatives à celles proposées par des opérateurs étrangers.

**M. Axel Dyèvre.** - De la fin des années 1960 aux années 1980, on a connu la révolution industrielle de la robotisation. Nous n'avons pas voulu investir massivement dans ce domaine et pensions conserver notre savoir-faire, nos techniques traditionnelles et nos emplois. Aujourd'hui Foxconn emploie 1,5 million de personnes et pourtant cette entreprise a aussi le plus grand nombre de robots au monde. La robotisation ne supprime pas forcément les emplois.

**M. Yannick Vaugrenard.** - Je me suis rendu hier au salon du Bourget et je ne pense pas que la France bricole avec l'IA. L'Agence spatiale européenne (ESA) est aussi un opérateur de pointe, pas forcément en retard, en tout cas au niveau spatial. L'IA n'est qu'un outil d'aide à la décision. Un homme apprend, l'IA retient et a la capacité à faire des traitements de masse de données rapidement. Au final c'est l'humain qui doit décider. Qu'en est-il

de la guerre spatiale et des cyberattaques, moyen majeur de guerre ? Investissons-nous suffisamment ?

**M. Olivier Darrason.** - L'Europe est à un haut niveau technologique dans le domaine de l'espace. Nous défendons aussi l'idée que l'espace est « *Res Nullius* » et donc non appropriable. Le problème est celui des moyens. Sur le plan commercial, on était à 8 à 9 lancements par an en Europe il y a deux ans. Mais, avec un moindre besoin de lancements de satellites du fait du remplacement des liaisons satellites par des liaisons fibres et avec des concurrents comme X-Space, le modèle économique de l'espace se transforme. Les petits satellites remplacent les gros : 12 000 mini-satellites sont envisagés dans le cadre des constellations de satellites. Le chiffre d'affaires d'Airbus et de Thales sur le spatial a baissé récemment des deux tiers.

**M. Axel Dyèvre.** - Le terme « bricoler » n'est pas forcément négatif : c'est faire beaucoup avec peu de moyens. Nous avons de petits programmes qui ont de bons résultats. Sur le spatial, la constellation OneWeb est mise en œuvre par Astrium, filiale d'Airbus. Nous ne sommes donc pas à la traîne.

**M. Yannick Vaugrenard.** - Les entreprises spatiales européennes s'orientent vers les petits satellites elles aussi. Je rappelle que nos téléphones portables sont géolocalisés non pas par le GPS mais par Galileo. C'est une technologie européenne qui marche.

**M. Roger Karoutchi, président.** - Je vous remercie pour ces éclairages précis et intéressants.



### III. EXAMEN DU RAPPORT

**Jeudi 28 novembre 2019**

**M. Roger Karoutchi, président.** – Nos collègues Marie Mercier et René-Paul Savary se sont attelés au sujet passionnant de l’impact sur l’emploi de la robotisation qui se développe dans les services. Dans le cadre de la préparation de ce rapport, deux auditions ont été organisées en réunion plénière de la délégation : l’une d’Olivier Darrason, plutôt optimiste, qui estimait que l’intelligence artificielle allait certes supprimer des emplois mais aussi en créer d’autres en nombre, l’autre de Laurent Alexandre, plus pessimiste, nous indiquant qu’on allait vers un monde dont on ignore tout mais qui risque fort de confronter la société à des difficultés massives d’adaptation. Laquelle de ces deux visions doit être retenue ?

**Mme Marie Mercier, rapporteur.** – Nous sommes arrivés au terme de nos travaux consacrés au vaste mouvement de déploiement de machines intelligentes et d’outils d’intelligence artificielle dans le secteur des services et à l’impact sur l’emploi de ce que l’on appelle parfois la « 4<sup>ème</sup> révolution industrielle ». Le socle de cette révolution est technologique : elle se fonde sur la diffusion rapide du numérique sous toutes ses formes et le développement de l’intelligence artificielle. Les possibilités offertes sont vertigineuses, mais le corolaire est que les problèmes pourraient l’être aussi.

Nous avons tenté dans notre rapport de cerner en quoi consistait cette révolution dans les activités de service. Quelle forme prend aujourd’hui la robotisation et l’automatisation ? En quoi les emplois existants sont-ils menacés ou appelés à évoluer ? Il faut d’abord identifier l’objet dont nous parlons. Les robots existent depuis longtemps dans l’industrie. Ils accomplissent des tâches répétitives avec force et précision, sans état d’âme, sans fatigue. Ils ont largement remplacé les ouvriers dans le travail à la chaîne, ce dont on peut se satisfaire car ce travail à la chaîne est peu épanouissant. Un seul exemple : pour fabriquer des composants électroniques, on ne peut pas se passer de machines.

Simplement, les robots d’aujourd’hui ne sont plus les machines d’hier qui étaient finalement assez simples : mono-tâches et difficilement adaptables. De plus en plus, les robots sont dits « intelligents ». Ils sont capables d’interagir avec leur environnement, de collaborer avec les humains : on parle alors de « *cobots* ». La révolution à laquelle nous assistons combine plusieurs « briques technologiques » : mécanique, électronique, informatique, intelligence artificielle, réseaux ....

Un point est fondamental : les progrès spectaculaires de l’intelligence artificielle, fondés notamment sur l’analyse de très nombreuses données et les techniques d’apprentissage automatique et d’apprentissage profond (*deep learning*) par les machines, ont démultiplié les capacités de ces

équipements, permettant de développer des fonctionnalités très innovantes comme les robots conversationnels ou « *chatbots* », que l'on retrouve dans tous les systèmes à commande vocale aujourd'hui.

L'intelligence artificielle permet aussi de considérer comme envisageable de faire circuler des véhicules autonomes : dans les entrepôts d'Amazon, les transpalettes ont été remplacés par des chariots automatisés qui se déplacent tout seuls dans les rayonnages. On voit cela aussi en pharmacie.

Avec l'intelligence artificielle, l'automatisation de tâches complexes est à portée de main, et laisse miroiter l'espoir de gains de productivité incroyables, par exemple pour effectuer une analyse de jurisprudence dans une base de données juridiques.

Ces nouvelles technologies se diffusent dans l'industrie, même si la France accuse un certain retard dans le processus d'installation de robots industriels. Mais le secteur des services est aussi un terrain privilégié de leur déploiement : dans la logistique et les transports, dans la sécurité et la défense, dans les services financiers, dans le soin et la santé, dans l'énergie et l'environnement, mais aussi dans le commerce, le tourisme et les loisirs.

Les robots intelligents prennent de multiples formes : avec une enveloppe physique proche de l'homme, les robots humanoïdes sont particulièrement impressionnants : Nao, Pepper, ou encore Atlas, laissent penser que nous pourrions bientôt les regarder agir pour nous à notre place. Les robots du secteur financier qui achètent et vendent des titres automatiquement dans des salles de marché virtuelles n'ont pas d'enveloppe matérielle mais manipulent des sommes colossales et remplacent les *traders*.

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – Le débat public sur les robots est animé par une grande crainte : ces robots vont-ils rendre l'homme obsolète au travail ? Vont-ils nous dépasser, nous surpasser et au final nous remplacer ?

Les études donnent des indications contradictoires. La fameuse étude Frey-Osborne de 2013, laissait penser que près de la moitié des tâches seraient automatisées et que les emplois correspondants disparaîtraient. Les études plus récentes, notamment les études de l'OCDE de 2019 ou celle, pour la France, du Conseil d'orientation pour l'emploi, retiennent un autre ordre de grandeur : en 15 à 20 ans, seulement 10 % des emplois seraient supprimés du fait de l'automatisation, mais plus de 50 % seraient fortement transformés. Ces projections font naître plusieurs questions : doit-on redouter du chômage technologique ? Ce n'est pas le cas aujourd'hui car le taux d'emploi des 15-64 ans est à un niveau élevé en Europe, aux alentours de 65 %. Dans les pays fortement robotisés, comme la Corée du Sud et le Japon, le taux d'emploi est élevé et le taux de chômage est faible. L'automatisation peut détruire des emplois au plan microéconomique mais avec des compensations au plan macroéconomique résultant de plusieurs

mécanismes mis en évidence par les économistes : élargissement des marchés permis par ces technologies, baisse des coûts de production qui libèrent des ressources pour d'autres activités ou encore effet de compétitivité induit sur les acheteurs des produits et services fortement robotisés.

Une autre question, plus délicate à traiter, porte sur la transformation des emplois. Des glissements de tâches massifs sont à prévoir et ils rebattent les cartes : l'automatisation risque de déformer la structure des emplois au détriment des emplois intermédiaires. Certains emplois peu qualifiés ou des emplois très qualifiés peuvent également être menacés, comme par exemple celui de radiologue. Mais nous constatons surtout que ce sont les emplois de « milieu de gamme », qui demandent des compétences longues à apprendre, qui pourraient être les plus impactés : les comptables, les assistants de direction, les secrétaires médicales, pour ne prendre que quelques exemples. La grande crainte est celle d'une aggravation de la dualité du marché du travail, avec d'un côté des emplois à haute qualification et des personnes en situation de plein emploi avec de hautes rémunérations, et de l'autre des emplois généralistes mal payés pour lesquels l'automatisation n'est pas possible techniquement ou trop coûteuse et avec des risques de chômage plus élevés. L'automatisation peut aussi déformer la localisation des emplois en aggravant sa concentration autour des grandes métropoles, seuls espaces à réunir un maximum de compétences de haut niveau.

Le travail de prospective auquel nous nous sommes livrés nous laisse peu de doutes sur quelques tendances lourdes. Les besoins en compétences numériques de haut niveau vont être gigantesques : les emplois dans ce secteur ne représentent que 3 à 5 % de l'emploi total dans les pays développés, mais les ingénieurs, techniciens, les nouveaux métiers comme « *data scientist* » sont très demandés. On estime qu'il pourrait y avoir une pénurie de 80 000 emplois en France et 900 000 en Europe à l'horizon 2025-2030. L'exigence d'adaptabilité, de mobilité professionnelle va s'accroître pour tous, dans un contexte de complexification du travail. Les compétences cognitives générales vont devoir s'élever. Or, en littératie, numératie et en littératie numérique, les résultats de la France sont plutôt faibles. Ensuite, les compétences sociales et situationnelles vont être davantage valorisées : elles seront indispensables pour accomplir des tâches qui ne peuvent pas être robotisées.

Notre appareil de formation va donc devoir faire face à un gigantesque défi. D'abord celui de faire évoluer la formation initiale, à la fois dans l'enseignement scolaire, en renforçant les compétences de base en littératie, numératie, en littératie numérique, et en développant les compétences sociales et l'intelligence situationnelle, mais aussi dans l'enseignement supérieur en développant l'adaptabilité, en cherchant à « apprendre à apprendre ». Il est probable que les formations techniques très spécialisées ne soient pas une voie d'avenir pour nos jeunes :

l'hyperspécialisation peut être un piège redoutable. Or, notre système d'éducation est très rigide et lourd à faire bouger. Un deuxième défi consiste à renforcer l'appareil de formation continue et le centrer davantage sur les personnes dont les métiers sont supprimés ou transformés du fait de l'automatisation, y compris lorsqu'ils sont en milieu de carrière. J'avais moi-même fait un rapport sur l'emploi des seniors, qui montrait qu'on était considéré comme senior dans certaines entreprises dès 45 ans !

Enfin, la transformation apportée par la robotisation doit nous amener à nous interroger sur les nouvelles conditions de travail et les formes que vont prendre la relation de travail. En France, le graal est le contrat à durée indéterminée (CDI). Or, on assiste à une montée en puissance du travail indépendant et du micro-travail autour du numérique, qui peut conduire à une atomisation du travail et la diversification des statuts. Le salariat reste aujourd'hui dominant mais ce ne sera peut-être plus le cas demain.

**Mme Marie Mercier, rapporteur.** – Si la robotisation dans les services est d'ores et déjà une réalité et ouvre de nouvelles perspectives pour l'emploi, il convient d'éviter d'avoir une vision déformée par un « *déterminisme technologique* » qui conduirait à des conclusions radicales et sans nuance. D'abord, nous montrons dans le rapport qu'il existe des limites à la diffusion des machines intelligentes. Une première limite est technologique : l'intelligence artificielle ne se déploie que dans les domaines où l'on est capable de collecter des masses importantes de données. C'est un système que l'homme construit et qu'il alimente en données. Nous préconisons d'ailleurs d'encourager l'accès aux jeux de données publiques et privées pour ne pas brider l'innovation. Notons au passage que toute innovation est une déviance ! Si l'on ne déviait pas, on n'innoverait pas.

On est également dépendants de la couverture numérique du territoire : nous préconisons qu'elle soit la plus complète possible pour éviter une fracture territoriale, en particulier un Internet des objets qui ne fonctionnerait pas partout. Ensuite, l'intelligence artificielle n'est pas comparable à une intelligence humaine générale. Les robots intelligents n'interviennent que dans un champ limité pour lequel ils ont été programmés : ainsi un robot d'accueil est capable de nous faire la conversation, mais n'aura pas le réflexe de nous rattraper si nous trébuchons et tombons de manière inattendue ; il ne saura pas quoi faire. Les robots rencontrent aussi des « *bugs* ». L'intelligence artificielle n'est pas une intelligence générale. Enfin, elle est très performante pour multiplier les calculs et appliquer des règles, même complexes, elle est en revanche plus en difficulté en matière d'intelligence sociale, c'est-à-dire dans sa capacité à interagir avec autrui.

Une deuxième limite est économique et sociale : la mise au point de robots intelligents est en réalité coûteuse, et passe par une phase d'intégration qui est le maillon essentiel de la chaîne. Le rapport Villani sur

l'intelligence artificielle le rappelle utilement : il n'est pas toujours avantageux d'un point de vue économique d'automatiser une tâche. En outre, des résistances sociales peuvent aussi apparaître lors d'un processus d'automatisation de tâche. La réponse n'est pas forcément celle des seuls ingénieurs mais doit passer par de l'accompagnement du changement.

Dans les services, la dynamique d'automatisation est en réalité très hétérogène et dépend de multiples facteurs. L'acceptabilité sociale ou la disponibilité de la main d'œuvre en sont des paramètres : ainsi, au Japon, la robotisation avance plus vite car la société japonaise est très technophile et car il existe des besoins importants de main d'œuvre, rare donc chère. Ainsi, pour s'occuper des personnes plus âgées, les robots se diffusent beaucoup plus vite que chez nous.

L'observation fine des activités de service touchées par la robotisation montre que ce mouvement déplace des tâches et permet d'enrichir le panel offert aux usagers ou clients. Dans les EHPAD, des robots-compagnons contribuent à animer des ateliers d'activités ou de mémoire. Ils ne font pas disparaître les emplois d'animateurs mais leur donnent un outil supplémentaire pour améliorer le service rendu. Dans le commerce, la robotisation réduit les tâches physiques mais transforme aussi les vendeurs en conseillers apportant un service personnalisé, tandis que la relation commerciale de base, peu complexe, est automatisée. Dans la sécurité, des robots assurent des tâches répétitives de contrôle, y compris désormais de reconnaissance faciale, mais la présence de personnes physiques assure un filet de sécurité et un deuxième niveau de contrôle, plus fin. On s'est même interrogé sur la robotisation de l'enseignement : il existe désormais des exercices pouvant être faits en ligne comme des cours en ligne : les fameux MOOC. Pour autant, l'enseignant n'est pas menacé dans son existence même car il reste irremplaçable pour réaliser l'analyse personnalisée de la situation des élèves, pour apporter un conseil adapté à chacun. Au final, l'avenir n'est pas écrit et la mise en œuvre pratique des innovations passera beaucoup par l'expérimentation, les tâtonnements, avec très probablement des impacts sectoriels sur l'emploi, sur l'organisation du travail et sur les conditions de travail, qui seront très variés. Lorsque l'on pilote des politiques publiques, on ne peut pas se satisfaire de ce grand flou : dans notre rapport, nous avons donc poussé plus loin pour identifier quelles étaient les conditions d'une « robotisation heureuse ».

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – Gardons-nous d'imaginer que l'on pourra bloquer ou interdire le progrès technique. Il convient donc de rechercher une adaptation au nouveau contexte technologique. L'adaptation passe avant tout par la formation : quatre de nos dix propositions ont trait à cette problématique. La réussite sur ce volet est indispensable, afin d'assurer une large employabilité. L'illectronisme touche 20 % de la population et constitue un obstacle à l'employabilité, comme l'illettrisme, qui toucherait 7 % de la population. Les interfaces sont de plus en plus intuitives mais cela

ne suffit pas. En outre, la montée en compétences numériques est indispensable pour qu'une part de la population sous-qualifiée ne soit pas empêchée de travailler avec des machines.

La deuxième direction consiste à réguler l'automatisation. Nous n'avons pas choisi de recommander une régulation par la fiscalité, à travers la taxation des robots, pour laquelle il existe des arguments pour et des contre-arguments puissants.

**Mme Michèle Vullien.** – Il y a beaucoup d'arguments contre la taxation des robots. Le risque est de voir partir les entreprises innovantes à l'étranger.

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – Aucun pays n'a mis en place de véritable taxation des robots aujourd'hui. C'est une piste que nous ne retenons pas. En revanche, nous préconisons une régulation sociale : l'utilisation des robots devrait être incluse dans les négociations sociales obligatoires car l'automatisation impacte fortement les conditions de travail et peut conduire à des transformations d'emploi très importantes. L'automatisation ne doit pas être considérée uniquement comme un choix technique mais doit faire l'objet d'une discussion au sein des entreprises, des organisations, pour bien cerner les conditions de faisabilité des changements. Dans les emplois de soin ou d'aide à la personne, l'introduction d'un robot peut complètement changer la nature du travail, ce qui nécessite un accompagnement fort du changement.

La robotisation appelle aussi une régulation éthique : il ne serait pas acceptable que les robots dégradent les conditions de travail, ou entraînent de véritables régressions, notamment en matière de droits humains ou de respect de la dignité de la personne humaine. L'automatisation ne doit pas servir à reproduire des biais comme les discriminations liées à l'âge, aux origines ou au genre. L'automatisation ne doit pas non plus être un outil de manipulation, ni constituer un nouvel esclavage : les hommes doivent toujours rester maîtres des machines et non l'inverse. Les lois d'Asimov écrites il y a près de 80 ans sont encore valables : un robot ne doit pas être sans maître. Il doit rester contrôlable et ne pas mettre l'homme en danger. Mais on doit affiner ces lois d'Asimov en prenant en compte des paramètres supplémentaires.

Notre rapport n'épuise pas le sujet. Il nous appelle à regarder le mouvement actuel de robotisation comme une opportunité pour améliorer les services rendus dans toute une série de secteurs : sécurité, transports, enseignement, soin et santé, commerce. Mais il faudra traiter en même temps les côtés négatifs : déqualification de nombreuses personnes, lutte contre la dégradation possible des conditions de travail, tentation de déshumanisation des processus de travail ou des services rendus par des automates. Il convient aussi de ne pas laisser des territoires entiers en dehors des infrastructures nécessaires au progrès technique, notamment sans réseau à

haut débit. En robotisation, on est encore loin des multitâches. Au mieux, on est dans le polyautomate. Même la voiture autonome n'est pas encore une réalité. La robotisation peut améliorer les procédés et augmenter la productivité. Elle conduit surtout à transformer l'emploi, davantage que le détruire.

**M. Roger Karoutchi, président.** – Ne craignons pas d'être remplacés par des robots dans l'hémicycle ! Je me réjouis aussi qu'Asimov soit encore d'actualité.

**M. Jean-Luc Fichet.** – La robotisation a beaucoup progressé en Bretagne dans l'agroalimentaire : il y a dix ans, sur une chaîne agroalimentaire, on comptait trente salariés. Désormais, une seule personne contrôle les machines depuis une cabine. L'ensemble de la chaîne est automatisée jusqu'à la mise en caisse et le chargement dans le camion. On ne peut pas empêcher le phénomène. On doit chercher à faire que ces avancées techniques permettent de vivre mieux. Mais n'évacuons pas le débat de la taxation. S'il n'y a plus de cotisations, comment financerons-nous la sécurité sociale ? Les robots détruisent des emplois dans les services, notamment dans les banques. Nous ne pouvons pas empêcher l'utilisation de robots mais il convient qu'ils participent au financement de la protection sociale.

**Mme Sylvie Vermeillet.** – Quel rôle les robots jouent-ils dans la communication et dans le contrôle de l'information ? Les robots trient-ils les informations que nous recevons ?

**Mme Nadia Sollogoub.** – Beaucoup d'emplois aujourd'hui sont non pourvus. Les robots peuvent-ils remédier à ce problème ? Une limite à la robotisation ne réside-t-elle pas dans l'empreinte carbone énorme constatée aujourd'hui au titre des données ? Concernant les véhicules autonomes, n'y a-t-il pas un problème de cohabitation avec un environnement ouvert et des véhicules non autonomes ? Le nid de poule ou les conducteurs « classiques » mettent en échec le véhicule autonome.

**Mme Michèle Vullien.** – Le rappel des romans d'Asimov est bienvenu. De tout temps, des innovations ont transformé l'emploi : à Lyon, le métier à tisser a été remplacé mais l'emploi existe encore. Les véhicules autonomes constituent un progrès, même s'il faut un encadrement. Contrairement à mon collègue Jean-Luc Fichet, j'estime que la taxation des robots serait une erreur fondamentale et nuirait à notre compétitivité. Nous devons faire face à la mutation des techniques et aux conséquences sur l'emploi, sans oublier les enjeux sociétaux.

**M. Jean-Raymond Hugonet.** – Les rapporteurs sont prudents dans leurs conclusions. Nous avons tous déjà remis notre vie dans les mains d'un robot, par exemple en prenant un avion sous pilotage automatique. La robotisation donne de la liberté, par exemple en nous affranchissant de l'obligation de conduire un véhicule, mais l'utilisation de ces technologies repose sur la confiance. Il en est allé de même avec les distributeurs de

billets : on leur fait confiance car ils ne font pas d'erreur. Les robots vont se développer massivement. Sur le plateau de Saclay, on étudie aussi les commandes d'un robot par le cerveau. Il sera nécessaire d'envisager une régulation de la robotisation.

**M. Roger Karoutchi, président.** – Les techniques évoluent incroyablement vite. En Israël, une ville a entièrement automatisé la circulation et ce modèle est appelé à prospérer. Prenons conscience d'un risque fort : que les pays les plus robotisés détruisent nos emplois « non robotisés », grâce à leur avance technologique.

**M. Jean-Pierre Moga.** – L'automatisation vient de loin : la première révolution a été la carte perforée. Puis sont venus Taylor et Ford, dont les méthodes ont été importées en France par Citroën. Dans les années 1980, on a arrêté le travail à la chaîne dans l'industrie et sont arrivées les premières machines assistées qui ont permis de régler la question de la pénibilité sur les chaînes industrielles.

Dans mon département, un centre de l'Association France handicap (APF) qui accueille des handicapés lourds a investi dans des automates et des solutions de domotique. Cela n'a pas supprimé d'emplois, mais cela a amélioré le service rendu, par exemple pour ouvrir les fenêtres automatiquement. La robotisation pourrait au passage faire revenir des activités qui ont quitté le territoire pour des raisons de coût de la main d'œuvre. En automatisant on redevient compétitifs, par exemple dans le textile.

On sait que les reconversions sont difficiles, car un ouvrier spécialisé ne se transforme pas en ingénieur mais l'adaptabilité est indispensable et passe par de la formation. Je me souviens toutefois qu'il y a 40 ans, on disait déjà aux jeunes qu'ils devraient changer deux ou trois fois de métier dans leur parcours professionnel. Donc l'exigence d'adaptabilité n'est pas très nouvelle.

L'opacité des algorithmes est un point d'inquiétude : un homme est capable d'expliquer ses décisions, parfois ses erreurs. Que sait-on de la manière dont raisonne un algorithme ? Peu de choses. Je préfère avoir à discuter avec un homme plutôt que dépendre d'un algorithme que personne n'est capable d'expliquer.

**Mme Marie-Christine Chauvin.** – La robotisation est peut-être un mouvement inéluctable mais ne doit pas nous faire perdre de vue que, dans toutes les activités, il convient de ne jamais gommer la dimension humaine.

**M. Jean-François Mayet.** – Ce ne sont pas les pays les plus robotisés qui ont le plus de chômage. L'intelligence des machines n'est pas une intelligence sociale : elle repose juste sur la capacité à stocker et traiter vite des quantités énormes d'informations. Les robots ont une grande force également : ils ne se trompent pas ...

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – ... sauf lorsque les données sont erronées.

**Mme Marie Mercier, rapporteur.** – La technologie influe sur les habitudes : les enfants appréhendent les objets à travers la préhension par la pince formée par leurs doigts. Aujourd’hui, pour lire un livre, ils font le geste permettant de grossir les images sur des tablettes. Le numérique va-t-il générer de nouvelles pathologies ? Je note aussi qu’aucune technologie n’est neutre car elle porte en elle une vision du monde.

Les robots n’ont pas toutes les capacités : ils peuvent difficilement débarrasser une table car c’est une tâche complexe. Ils ne peuvent donc venir qu’en complémentarité. Les robots ont tout de même l’avantage d’introduire une certaine neutralité, une certaine standardisation : dans les banques, l’évaluation de la solvabilité d’un client par un robot ôte tout jugement de valeur et les clients peuvent préférer une telle approche plutôt qu’un traitement par une personne physique. Un robot ne juge pas une personne, il applique juste une règle. Cependant, j’estime que si le robot peut se voir déléguer des tâches, la machine ne doit pas au final être le maître des décisions.

**M. René-Paul Savary, rapporteur.** – Notre travail s’est focalisé sur les emplois de service qui connaissent une « révolution tranquille », sous forme d’amélioration permanente. Les algorithmes sont très performants car ils trouvent même ce que l’on ne cherche pas, par exemple en matière médicale. C’est là que l’homme doit intervenir pour faire le tri entre ce qui est important et ce qui ne l’est pas. Je mets aussi en garde contre une confiance excessive faite aux machines : ne suivons pas notre GPS lorsque, faute de mise à jour, il fait traverser tout droit un rond-point neuf à un camion. L’intelligence artificielle peut-être un faux ami : la fonction anti-décrochage du Boeing 737 MAX a provoqué des crashes, alors qu’un pilotage manuel aurait évité la catastrophe. Prendre en compte l’environnement de la technique est nécessaire car le robot n’a pas l’intelligence de l’homme pour s’adapter à son environnement.

**M. Roger Karoutchi, président.** – Nous demanderons un débat en séance sur ce rapport, qui ne donne de perspectives ni trop dures ni trop optimistes en matière d’emploi.

*La délégation autorise à l’unanimité la publication du rapport d’information sous le titre « Demain les robots : vers une transformation des emplois de service ».*



## LISTE DES PERSONNES ENTENDUES

### I. AUDITIONS DEVANT LA DÉLÉGATION À LA PROSPECTIVE

**Laurent Alexandre**, chirurgien, essayiste et entrepreneur

**Olivier Darrason**, président du comité d'orientation stratégique et fondateur de CEIS, société de conseil en stratégie et management des risques

**Axel Dyevre**, directeur associé en charge du pôle secteurs stratégiques chez CEIS

### II. AUDITIONS DEVANT LES RAPPORTEURS

**Nicolas Sabouret**, chercheur au Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur (LIMSI) du CNRS

**Catherine Simon**, consultante et experte international strategy and business development

**Jean-François Soupizet**, conseiller scientifique, Futuribles

**Mohamed Chetouani**, chercheur à l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)

**Olivier Ezratty**, consultant, spécialiste des nouvelles technologies, auteur du blog « Opinions libres »

**Bertrand Braunschweig**, directeur de coordination du programme national de recherche en Intelligence Artificielle à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA)

**Serge Tisseron**, docteur en psychologie, centre de recherches psychanalyse, médecine et société (CRPMS)

**Rachid Alami**, directeur de recherche et spécialiste robotique au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS Toulouse)

**Salima Benhamou**, économiste au département Travail-Emploi-Compétences de France Stratégie

**Laurence Breton Kueny**, vice-présidente de l'Association nationale des Directeurs de Ressources humaines (ANDRH)

**Benoit Serre**, vice-président délégué de l'Association nationale des Directeurs de Ressources humaines (ANDRH)

**Philippe Coiffet**, chercheur en robotique, membre de l'Académie des technologies

**Stijn Broecke**, co-rédacteur en chef du rapport « Perspectives de l'emploi de l'OCDE 2019 : L'avenir du travail »

**Jean-Baptiste Mouret**, directeur de recherche à l'Institut national de recherche en sciences du numérique (INRIA)

**Marc-Eric Bobillier Chaumon**, professeur du CNAM, titulaire de la chaire de psychologie du travail

**Rodolphe Gelin**, ancien directeur de recherche de la société Aldebaran Robotics

**Christophe Degryse**, chef de l'unité de prospective de l'Institut syndical européen (ETUI)

**Damien Brochier**, chargé de mission, mission partenariats formation professionnelle, au Céreq

**Anne-Laure Thésard**, philosophe.