

Les transformations du travail et de l'emploi à l'ère de l'Intelligence artificielle

Évaluation, illustrations et interrogations

Salima Benhamou



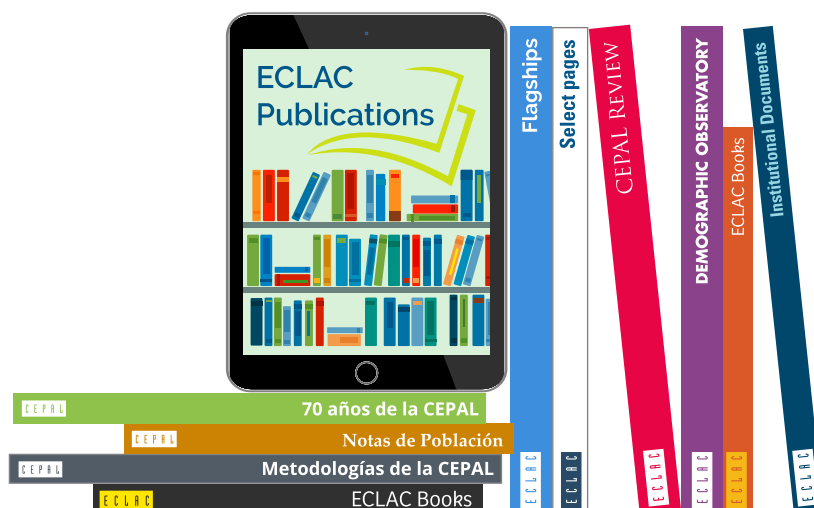
NATIONS UNIES

CEPALC



Ministère norvégien
des affaires étrangères

Thank you for your interest in this ECLAC publication



Please register if you would like to receive information on our editorial products and activities. When you register, you may specify your particular areas of interest and you will gain access to our products in other formats.

[Register](#)



www.cepal.org/en/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Les transformations du travail et de l'emploi à l'ère de l'Intelligence artificielle

Évaluation, illustrations et interrogations

Salima Benhamou



NATIONS UNIES

CEPALC



Ministère norvégien
des affaires étrangères

Ce document a été préparé par Salima Benhamou, économiste, consultante pour l'Unité des études sur l'emploi de la Division du développement économique de la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC), et coordonné par Sonia Gontero, Chargée des affaires économiques de la CEPALC, dans le cadre du projet de la Compte pour le Développement des Nations Unies «Transformations technologiques en Amérique Latine: promouvoir des emplois productifs et relever les défis des nouvelles formes d'informalité» et du projet de coopération entre la CEPALC et le Gouvernement Norvégien «Renforcement des capacités humaines dans l'ensemble du cycle de vie pour l'égalité et la productivité».

Les opinions émises dans ce document, qui n'a pas été formellement édité, relèvent de la seule responsabilité des auteurs et peuvent ne pas coïncider avec celles de l'Organisation ou des pays qu'elle représente.

Publication des Nations Unies
LC/TS.2022/85
Distribution: L
Copyright © Nations Unies, 2022
Tous droits réservés
Imprimé aux Nations Unies, Santiago
S. 22-00856

Cette publication doit être citée comme suit: S. Benhamou, «Les transformations du travail et de l'emploi à l'ère de l'Intelligence artificielle: évaluation, illustrations et interrogations», *Documents de Projets* (LC/TS.2022/85), Santiago, Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC), 2022.

L'autorisation de reproduire totalement ou partiellement cet ouvrage doit être demandée à la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC), Division des documents et des publications, publicaciones.cepal@un.org. Les états membres des Nations Unies et leurs institutions gouvernementales peuvent reproduire cet ouvrage sans autorisation préalable, mais sont priés de mentionner la source et d'en informer la CEPALC.

Indice

Introduction	5
I. Les potentialités et les limites de l'IA	9
A. Ce que peut faire l'IA	9
B. Ce que ne peut pas faire l'IA à la place de l'Humain	10
II. Evaluer l'impact de l'IA: des limites mais aussi des pistes prometteuses	13
A. Que nous disent les estimations actuelles sur l'impact de l'IA?	13
B. Les estimations actuelles se heurtent à des limites importantes	15
1. Les estimations actuelles ne permettent pas de distinguer les impacts qui se substituent à la main-d'œuvre humaine de ceux qui la complètent	15
2. Le risque d'automatisation ne repose pas uniquement sur ce qui est «techniquement» faisable par l'IA	16
C. La prochaine étape de l'évaluation d'impacts de l'IA: l'analyse sur micro-données	17
III. L'apport d'une analyse sectorielle pour appréhender les transformations du travail	21
A. L'impact de l'IA dans le secteur de la Santé	22
1. Pourquoi l'IA et la santé vont bien ensemble?	22
2. Champs d'application de l'IA dans le secteur	23
3. L'hypothèse d'une substitution totale entre les professionnels de santé et l'IA relève plus de la fiction que de la réalité	24
4. L'IA peut être une opportunité pour repenser le système de santé de manière plus intégré et systémique	26
5. Impact de l'IA sur les métiers de la santé	27
B. L'impact de l'IA dans le secteur des transports	30
1. Champs d'application de l'IA dans le secteur	31
2. Les impacts sur l'emploi, les métiers et les compétences	32
C. L'impact de l'IA dans le secteur bancaire	34
1. Champs d'application de l'IA dans le secteur	34
2. Impact sur l'emploi, les métiers et les compétences	35

D.	Quels enseignements peut-on tirer de nos analyses sectorielles?	36
1.	L'impact de l'IA peut aller de la transformation, de la suppression jusqu'à la création de nouvelles tâches au sein même d'un métier	37
2.	De nombreux avantages pour les travailleurs en matière d'apprentissage continu, d'organisation du travail et valorisation des compétences sociales et humaines.....	38
3.	L'IA peut paradoxalement diminuer certaines capacités cognitives humaines et détériorer les conditions de travail	38
4.	Le cas des robots collaboratifs	39
5.	L'IA peut paradoxalement renforcer des tâches hautement répétitives dans certaines situations de travail	40
6.	Risque de contrôle et de surveillance accru dans le travail	41
IV.	Discussion générale et recommandations	43
A.	Promouvoir un cadre moral et éthique pour réguler le déploiement de l'IA.....	44
B.	L'IA souligne l'importance qu'il y a à «apprendre» à apprendre	45
C.	Adapter la formation initiale et continue face à l'impératif d'apprentissage.....	45
D.	La complémentarité humain-machine nécessitera un nouveau paradigme organisationnel.....	46
E.	L'avènement de l'organisation apprenante pour favoriser une complémentarité «intelligente» et «responsable» entre l'humain et la machine	47
F.	L'organisation apprenante favorise aussi une meilleure qualité du travail et une plus grande diffusion des innovations	48
G.	Lancer des programmes nationaux pour accompagner les transformations organisationnelles	48
H.	Renforcer la recherche pour évaluer les impacts réels de l'IA sur le travail.....	49
I.	Engager une concertation multipartite sur notre rapport à la technologie	50
	Références bibliographiques	51

Introduction

L'intelligence artificielle est au cœur des débats actuels au regard des transformations économiques et sociales qu'elle peut générer. Les deux dernières décennies, l'IA a connu des progrès majeurs grâce notamment à la collecte massive de données (le *big data*), à l'augmentation des capacités de calcul et au développement de nouvelles techniques d'apprentissage automatisé (machine learning). Les progrès technologiques constants permettent également de disposer de capteurs plus performants et moins chers, qui recueillent des données plus fiables à l'intention des systèmes d'IA. Ces avancées technologiques ont ainsi permis son intégration dans un grand nombre de processus qui nécessitait auparavant l'intervention humaine. L'automatisation de tâches qui dépendent par exemple de compétences «perceptuelles», telle que la vue et l'audition qui semblent naturelles pour l'humain, étaient jusqu'à un passé récent hors de portée des machines. Même si la technologie n'est pas infaillible et si la vitesse de progression reste incertaine, les potentialités de l'IA pourraient faciliter l'automatisation de tâches encore plus complexes, rivalisant encore davantage avec les capacités cognitives humaines. La victoire de la machine au jeu de go est l'un des exemples les plus emblématiques des progrès accomplis en la matière.

Ce qui change aujourd'hui avec l'IA par rapport aux autres technologies d'automatisation (robotisation, ordinateurs, machines automatisées...), c'est qu'elle repose sur un mécanisme d'apprentissage, où l'accumulation des données permet l'amélioration continue des dispositifs. Cette capacité à s'auto-améliorer lui permet ainsi de prendre en charge un éventail plus large de tâches au point d'engendrer un jour, d'ici 10 ans, 20 ans, ou plus selon les tâches, une véritable rupture dans ce qu'il est technologiquement possible de faire. Emblématique de cet horizon est l'avènement du véhicule autonome. L'horizon paraît, certes, lointain mais il est d'ores et déjà en mouvement.

Les domaines d'application de l'IA sont aussi impressionnants et couvrent un grand nombre de secteurs comme la santé, la banque, le transport ou encore l'industrie pour ne citer qu'eux. Ce vaste champ d'application et la capacité d'auto-amélioration de l'IA en fait une «technologie générique et polyvalente»¹ capable de générer des innovations complémentaires dans d'autres secteurs d'activité.

¹ Voir Bresnahan, T. et M. Trajtenberg (1992), "General Purpose Technologies "Engines of Growth?", *Working Paper 4148*, National Bureau of Economic Research, NBER Series.

L'IA pourrait ainsi bouleverser en profondeur le monde du travail, l'économie mais aussi la société dans son ensemble, comme le fut l'électricité ou la machine à vapeur en leur temps². Pour certains économistes, les progrès continus dans le domaine de l'IA pourraient même conduire à une singularité qui constituerait un point de basculement où l'intelligence artificielle dépasserait l'intelligence humaine³ avec toutes les conséquences que l'on peut imaginer sur la place et le rôle des humains dans le monde du travail. Même si l'hypothèse d'une singularité reste très hypothétique à l'heure actuelle, il n'en reste pas moins que les progrès récents de l'IA suscitent des débats très contrastés.

Certains observateurs voient dans l'IA une véritable opportunité à la fois économique (gains accrus de productivité, optimisation des processus de production, création de nouveaux marchés, diffusion d'innovations...) et sociale (création de nouvelles tâches à forte valeur ajoutée, suppression de tâches répétitives et routinières...). En outre, la capacité de l'IA à produire d'autres innovations pourrait, selon eux, générer des industries entièrement nouvelles avec à la clé la création de nouveaux produits et services de nouveaux emplois et métiers (data-scientists, programmeurs d'IA, ...).

Mais d'autres observateurs affichent un certain pessimisme et appréhendent l'IA comme une véritable menace pour l'emploi et pour les conditions de travail de travail. Intensification du travail, déshumanisation des relations humaines, fragmentation accrue du travail, contrôle managérial renforcé des travailleurs par des algorithmes d'IA: autant de risques que les travailleurs pourraient subir sur le marché du travail avec l'avènement de l'ère du big data et de l'IA. On connaît notamment les débats soulevés par les conditions de travail dans certains entrepôts, où le contrôle automatisé des employés passe par un dispositif à synthèse vocale. Aucun de ces enjeux ne sont totalement nouveaux et l'amélioration des conditions de travail est une hypothèse tout aussi crédible que l'aliénation et l'intensification du travail.

Mais entre ces deux visions extrêmes, aucun consensus ne se dégage clairement aujourd'hui des travaux actuels sur les effets de l'IA, que ce soit sur le niveau de l'emploi comme sur la qualité de l'emploi et du travail. Cette situation engendre des craintes et des peurs légitimes sur l'avenir du travail. Plusieurs enquêtes ont notamment révélé des niveaux élevés d'anxiété à l'égard des effets économiques et sociaux potentiels induit par les progrès récents de l'IA⁴. Ces craintes vont même au-delà du travail et concernent des questions plus fondamentales comme celles liées à l'éthique (protection des données personnelles, responsabilité du concepteur ou de l'utilisateur, contrôle des individus etc.)⁵.

S'il est toujours difficile de savoir avec certitude ce qui adviendra d'ici dix ou vingt ans, on sait en revanche que la technologie et l'ampleur de son déploiement participeront aux mutations du travail mais qu'ils ne seront pas les seuls déterminants de ces mutations: l'environnement juridique et réglementaire, le contexte économique, notamment le jeu concurrentiel, la démographie, l'adéquation des compétences ou l'acceptabilité sociale face à la technologie, tous contribueront à «façonner» le monde du travail⁶.

On sait aussi qu'il n'existe pas de déterminisme en matière de technologie. Ses effets dépendront avant tout de l'usage que nous en ferons, de notre rapport à la technologie et des objectifs que nous nous fixerons collectivement. C'est la «rencontre» entre les usages et la technologie qui détermineront en grande partie les scénarios futurs, disruptifs ou progressifs, positifs ou négatifs. Ce qui adviendra dépendra notamment des pouvoirs publics et de la manière dont ils choisiront d'orienter les usages de l'IA dans le monde du travail pour permettre aux individus de se l'approprier, de la comprendre et d'en tirer parti dans leur pratique quotidienne au travail, en termes de développement professionnel et personnel.

² Brynjolfsson, E. et McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.

³ Nordhaus, W. (2015), "Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth", *Cowles Foundation Discussion Papers*, No. 2021.

⁴ Aaron Smith et Monica Anderson (2017) "Automation in Everyday Life", Pew Research Center: <https://www.pewresearch.org/internet/2017/10/04/automation-in-everyday-life/>.

⁵ Lee Rainie, Janna Anderson et Emily A. Vogels (2021): Worries about developments in AI", Pew Research Center: <https://www.pewresearch.org/internet/2021/06/16/1-worries-about-developments-in-ai/>.

⁶ Benhamou, S. et Janin L. (2018). "Artificial Intelligence and Work", Report France Stratégie to the Minister of Labour and the Minister of State for the Digital Sector.

Il n'y a donc pas de voie unique dans les mutations futures du travail et c'est là que doit porter l'effort des pouvoirs publics: définir une voie correspondant aux attentes sociales des citoyens, en définissant les contrôles appropriés sur les sujets critiques —responsabilité, sécurité, etc.— en accompagnant les évolutions pour que le tissu social et économique s'ajuste naturellement.

Enfin, l'effet de ces usages découleront aussi des choix opérés en matière de réorganisation du travail, qui eux-mêmes découleront des stratégies de développement des entreprises, de la manière dont les gains de productivité seront partagés et des choix opérés dans l'organisation des tâches et des activités.

Il faut donc se préparer à l'intelligence artificielle, non pas parce que l'avènement de l'IA et l'ère du big data est inéducable mais parce que les possibilités technologiques peuvent ouvrir des perspectives nouvelles pour les individus et les organisations publiques et privées. Rien ne serait pire que de considérer ces transformations comme inéluctables, alors qu'elles relèvent de choix collectifs. Tout l'enjeu sera de se préparer aux changements, progressifs ou brutaux, afin de garantir un marché du travail le plus inclusif possible et le plus protecteur possible. Dans cette perspective, il s'agit de ne pas subir l'IA mais de la choisir. En somme, le principal défi n'est pas tant d'anticiper les conditions de la substitution entre l'humain et la machine que de trouver les leviers les plus efficaces pour que la «machine» reste au service de l'humain et que les gains économiques et sociaux liés à l'IA profitent au plus grand nombre.

Ainsi, l'objectif de cette étude est d'appréhender l'IA de manière la plus réaliste possible pour permettre aux organisations d'identifier les avantages et les risques pour les travailleurs et les conditions organisationnelles les plus favorables garantissant un haut niveau de qualité du travail et un haut niveau de diffusion des innovations. Ce travail commence par l'identification des limites inhérentes à cette technologie, sans sous-estimer ses potentialités. Partir de la réalité de l'IA est une étape essentielle pour comprendre «ce que peut faire l'IA à la place de l'humain» et «ce qu'elle ne peut pas faire à la place de l'humain», à tout le moins, pas avant plusieurs décennies. Dans un second temps, l'étude analysera comment les travaux économiques ont cherché à mesurer les impacts de l'IA sur l'emploi, les salaires et les métiers et quels sont les principaux enseignements que l'on peut en tirer. Il s'agira notamment de proposer des pistes et de nouvelles approches, complémentaires à l'existant pour approfondir les effets de l'IA sur l'emploi et le travail. L'étude s'appuiera sur des illustrations sectorielles pour analyser plus finement et de manière multidimensionnelle les transformations du travail: Comment l'IA peut transformer le travail, que ce soit dans son contenu, dans la manière de travailler avec les autres ou d'interagir avec la machine? Comment l'IA peut influencer la dynamique d'apprentissage à l'intérieur de son métier? Comment les métiers et les compétences peuvent-ils évoluer? Ou encore dans quel cas, l'IA peut remplacer certaines tâches et en compléter d'autres?

Enfin, au regard de ces analyses, cette étude exposera les principaux enjeux et défis que pose l'IA tout en esquisant des recommandations pour les décideurs publiques et privés (Gouvernements, organisations internationales, les syndicats et la société civile).

I. Les potentialités et les limites de l'IA

A. Ce que peut faire l'IA

L'intelligence artificielle est une discipline scientifique qui n'est en rien nouvelle, ses fondements remontent aux débuts de l'informatique dans les années 1940 et 1950, avec de nombreuses méthodes différentes dont le but est de reproduire des fonctions cognitives par l'informatique. Le terme «intelligence artificielle» lui-même a été inventé en 1956 par John McCarthy, l'un des pères fondateurs du domaine avec Allen Newell et Herbert Simon.

Si les principes de l'intelligence artificielle remontent loin, un palier significatif a été franchi il y a quelques années. Une branche de l'IA, appelée apprentissage automatique (machine learning), a fait des progrès spectaculaires ces dix dernières années, en particulier dans le domaine du deep learning impliquant l'utilisation de réseaux neuronaux artificiels⁷. L'efficacité remarquable des réseaux neuronaux profonds multicouches ont permis par exemple d'effectuer des tâches de classification, d'images en particulier, après une phase d'apprentissage basée sur un grand nombre d'exemples. Cette technique d'apprentissage basée sur une modélisation statistique sophistiquée a été rendue possible grâce à l'accès de grandes masses de données (le big data) et grâce à une plus grande performance des capacités de calculs et de stockage des données.

De manière générale, le machine learning (ML) regroupe un ensemble de techniques permettant aux machines d'apprendre de manière automatisée par des modèles de déductions à partir de données plutôt que par les instructions explicites humaines. En alimentant la machine à partir de données associées à un ensemble de règles, étiquetées sous forme de paires d'entrées-sorties, la machine apprend à atteindre un résultat. Les règles peuvent ensuite être appliquées à de nouvelles données pour produire des réponses originales. Dans le cas des modèles d'apprentissage supervisé, qui sont la principale forme de ML utilisée dans les applications industrielles, cela implique la formation d'un réseau neuronal multicouche avec de grandes quantités de données qui ont été étiquetées manuellement.

La reconnaissance des formes par exemple semblait nécessiter l'intelligence humaine, étant donné les dimensions quasi infinies du problème à résoudre (le nombre de paramètres caractérisant une image).

⁷ Chollet, F. (2018) Deep Learning with Python, Manning Publications, Sister Island.

Les progrès réalisés dans ces nouvelles techniques d'apprentissage montrent cependant que ce n'est pas le cas. C'est là où se situe la récente révolution de l'IA qui soulève aujourd'hui autant d'inquiétudes que de nouvelles questions sur les transformations du travail: une nouvelle catégorie de tâches «cognitives» peut désormais être effectuée par des machines. C'était autrefois le cas des travaux physiquement exigeants, effectués par des machines à vapeur, des moteurs électriques ou des moteurs à combustion; c'était le cas hier encore, lorsque l'informatique a développé des aptitudes au calcul et à la classification basée sur des règles programmables; c'est maintenant le cas des classifications basées sur des modèles, qu'il s'agisse d'images, de sons, de vidéos ou de textes.

L'IA couvre aujourd'hui un ensemble de domaines d'application tels que le raisonnement logique, la représentation des connaissances, la reconnaissance d'images, la perception et le traitement du langage naturel. Ces progrès permettent de simplifier radicalement l'interaction homme/machine, d'engager des conversations simples entre personnes et machines, de traduire rapidement et efficacement des textes, de faire de la reconnaissance faciale, d'élaborer des modèles prédictifs ou encore de faire de la maintenance prédictif en détectant rapidement des pannes. Ces domaines d'application sont étroitement liés au degré de numérisation des activités concernées et sont d'ores et déjà possibles⁸.

Sans entrer dans les détails de ces technologies, il suffit de dire qu'elles reproduisent des classifications existantes ou qu'elles permettent d'atteindre des objectifs bien définis comme gagner un jeu ou de répondre à une question précise. Même si les mécanismes exacts qui aboutissent à une telle efficacité ne sont pas encore totalement compris d'un point de vue théorique, la technologie est néanmoins déterministe et contrôlée. C'est le programmeur d'IA qui choisit l'architecture logicielle qu'il souhaite utiliser (type de réseau de neurones, nombre de couches, etc.), la méthode d'apprentissage (algorithme d'initialisation et de mise à jour des poids de chaque neurone) et les données d'entraînement à utiliser. Nous sommes donc loin d'un système fonctionnant indépendamment de son concepteur, capable de penser par lui-même et d'agir en toute autonomie.

Ces technologies avancées peuvent posséder une réelle capacité d'apprentissage, au sens de l'exploration automatique d'un espace de solutions beaucoup plus vaste que ce que le concepteur de l'algorithme aurait pu imaginer. C'est ainsi que le logiciel AlphaGo, initialement entraîné à jouer au Go sur la base de millions de matchs enregistrés, a pu ensuite améliorer ses stratégies en jouant contre lui-même. Cet exemple ne sert pas à démontrer une quelconque intelligence ou conscience de la part de la machine, mais plutôt une capacité à résoudre des problèmes compliqués caractérisés par un espace de configuration élevé.

B. Ce que ne peut pas faire l'IA à la place de l'Humain

Bien que l'IA ait fait des progrès considérables ces dernières années, cette technologie présente plusieurs limites qui l'empêchent de concurrencer les humains sur des tâches ou des activités complexes mais aussi des tâches manuelles qui peuvent paraître très simples. Ces limites sont principalement liées à l'accès et à la qualité des big data et à l'incapacité de comprendre et d'expliquer des mécanismes complexes qui ne reposent pas sur des lois déterministes.

Tout d'abord, en ce qui concerne son utilisation des big data, l'IA a besoin de capacités de calcul colossales pour entraîner les algorithmes d'exploitation de l'apprentissage profond. Par exemple, selon Jangqing Jia, directeur de l'ingénierie de la plateforme d'IA de Facebook, «l'entraînement d'un modèle ImageNet typique nécessite environ un exaflop de calcul». Pour atteindre la capacité du cerveau humain, il faudrait une augmentation de plusieurs ordres de grandeur de la puissance de calcul, qui est hors de portée aujourd'hui, ce qui constitue une limite importante de l'IA.

⁸ Pour avoir un aperçu des applications en matière de machine learning, se reporter à Alpaydayn, E. (2016). Machine learning: the new AI. MIT Press.

Deuxièmement, l'entraînement des algorithmes nécessite des données parfaitement propres et bien annotées par des humains, comme celles par exemple utilisées pour reconnaître certaines maladies, ce qui peut demander un effort considérable, en particulier pour l'entraînement de grands réseaux neuronaux. Le travail consiste à mettre les données sous une forme appropriée pour l'entraînement des algorithmes en les nettoyant, en les annotant et en les convertissant dans un format utilisable par les utilisateurs. Par exemple, ImageNet, une base de données d'images, a nécessité neuf ans de travail et ses contributeurs ont annoté manuellement plus de 14 millions d'images. Les données doivent également être suffisamment représentatives du problème à résoudre. Si les données n'ont pas été recueillies dans l'objectif que se fixe le concepteur de logiciel, cela pose naturellement de nombreux problèmes pour leur exploitation et leur explicabilité.

En outre, la qualité des systèmes d'IA dépend également de la base d'entraînement sur laquelle l'algorithme a été construit. Si les données d'apprentissage contiennent des biais en termes de facteurs tels que le sexe ou la localisation géographique, l'algorithme reproduira naturellement ces biais dans ses recommandations. Ces biais peuvent alors conduire à des inégalités de traitement entre les individus et poser la question de la valeur à accorder aux choix effectués par les algorithmes. Par exemple, une étude récente a montré qu'un algorithme de prédiction des risques utilisé pour définir le montant des aides financières pour les soins de santé donnait un score plus faible aux Noirs qu'aux Blancs⁹. Après avoir éliminé la caractéristique discriminatoire des algorithmes, le pourcentage de patients noirs considérés comme malades est passé de 17,7% à 46,5%. Ce biais était dû au fait que l'algorithme prédit les coûts des soins de santé plutôt que la maladie. L'inégalité d'accès aux soins signifie que les patients noirs dépensent en moyenne moins d'argent en traitement médical que les patients blancs. Ainsi, si les coûts des soins de santé peuvent être un indicateur efficace de la santé de la population, d'importants biais raciaux peuvent apparaître. Ce risque peut également survenir lorsque l'IA est utilisée pour filtrer et sélectionner rapidement les candidats à un emploi en fonction de leurs caractéristiques ou de leur parcours professionnel, comme ce fut le cas avec le système utilisé par Amazon. Ainsi, s'assurer de l'absence de biais dans les données peut nécessiter des efforts humains et financiers considérables, tant au niveau de la collecte des données que des tests de vérification «sur le terrain» ultérieurs, nécessaires tant pour l'apprentissage que pour la vérification finale des performances.

Enfin, si l'IA est capable d'exécuter non seulement des tâches simples, mais aussi des tâches compliquées, pour autant ces tâches se fondent la plupart du temps sur des règles ou des normes prédéterminées et hautement standardisées basées sur une masse de données codifiables. Il est donc difficile pour les systèmes basés sur l'IA de s'écarter de ces règles. La dynamique d'apprentissage reste basée sur un processus déterministe et limitée à un contexte simple ou compliqué mais très spécifique et prévisible. Cette limitation, la plus importante, fait qu'il est difficile pour l'IA de résoudre des problèmes complexes tels que la gestion de comportements humains imprévisibles, la compréhension des personnes dans toute leur complexité, de faire preuve d'empathie ou d'exécuter plusieurs tâches complexes en même temps. Ce n'est pas un hasard si les plus grands succès de l'IA opèrent principalement sur des images très standardisées en termes de contenu numérique.

En fait, il serait plus approprié de parler d'apprentissage artificiel que d'intelligence artificielle. L'expression même «intelligence artificielle» possède un pouvoir d'évocation qui explique sans doute en partie les fantasmes qui y sont associés à savoir, une machine capable de penser par elle-même et d'agir en toute autonomie sans l'intervention des humains.

Même si les résultats actuels de l'IA reposent sur la disponibilité d'un grand nombre d'événements (souvent plusieurs milliers) et sur une puissance de calcul importante pour l'apprentissage, les résultats sont peu généralisables à d'autres situations.

⁹ Obermeyer, Z., B., Powers, C., Vogeli et S., Mullainathan (2019). "Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations", *Science*. Vol. 366, Issue 6464, pp. 447-453.

Enfin, il existe en outre de nombreuses tâches que les personnes comprennent intuitivement comment les réaliser mais qui ne peuvent pas s'explicitier par des règles ou des procédures à suivre formalisées. Ces tâches reposent notamment sur des connaissances tacites, qui elles-mêmes peuvent découler de valeurs implicites, d'un savoir ou savoir-faire hérité d'une tradition, difficilement explicitables et codifiables. Selon le scientifique Michael Polanyi, «la connaissance humaine doit partir du fait que nous pouvons savoir plus que nous pouvons dire» et qu'elle joue un rôle fondamental dans les processus d'apprentissage¹⁰. Il est donc difficile pour l'IA d'apporter des réponses dans des cas où les règles procédurales formelles sont inconnues, même si des informaticiens en IA continue à chercher à résoudre ce qu'il appelle le «paradoxe de Polanyi» en appliquant des statistiques et un raisonnement inductif. Mais même dans ce cas, si cela était possible, les solutions apportées ne seront pas généralisables à toutes les situations.

Pour résumer, si l'IA a fait des progrès spectaculaires pour autant, les logiciels actuels ne réalisent que des tâches très spécifiques qui nécessitent le plus souvent d'immenses volumes de données d'apprentissage pour aboutir à un résultat satisfaisant. Les dispositifs à base d'IA ne sont pas conçus pour poser des questions mais pour fournir des réponses, des recommandations et des solutions prédictives. Ces progrès sont encore loin de laisser présager l'avènement d'une IA dite «forte», qui serait réellement comparable à l'intelligence humaine, notamment par sa capacité à comprendre le contexte et à disposer du sens commun, passant par une capacité d'apprentissage. Une telle réalisation semble hors de portée à l'heure actuelle, comme le souligne le chercheur Yann Le Cun¹¹, l'un des plus reconnus mondialement, pour ses travaux sur l'IA. Selon ce spécialiste, l'IA reste une technologie très étroite qui n'apprend pas de la même manière qu'un humain, même si elle est capable de faire aussi bien qu'un humain sur certaines tâches bien spécifiques. Même si le caractère générique des technologies développées laisse entrevoir un impact sur l'ensemble des secteurs de l'économie.

Au regard des potentialités et les limites de l'IA, nous allons maintenant analyser comment les travaux actuels ont cherché à mesurer les impacts de l'IA sur le marché du travail et quels en sont les enseignements.

¹⁰ Polanyi, M. (2009), *The Tacit Dimension*, University of Chicago Press, Chicago.

¹¹ «Tant que le problème de l'apprentissage non supervisé ne sera pas résolu, nous n'aurons pas de machine vraiment intelligente. C'est une question fondamentale scientifique et mathématique, pas une question de technologie. Résoudre ce problème pourra prendre de nombreuses années ou plusieurs décennies. En vérité, nous n'en savons rien.», Yann LeCun, Chaire Informatique et sciences numériques, 2017, cours au Collège de France.

II. Evaluer l'impact de l'IA: des limites mais aussi des pistes prometteuses

A. Que nous disent les estimations actuelles sur l'impact de l'IA?

La plupart des travaux économiques qui concerne l'IA ont principalement cherché à analyser comment son adoption affectera le niveau de l'emploi, les salaires et les compétences entre différents groupes de travailleurs. Pour apporter des éléments de réponses les plus quantifiables possibles, la quasi-totalité des études ont adopté l'approche dites par les tâches (task-based approach), développée initialement par Autor et al en 2003¹², pour estimer le risque d'automatisation des tâches induit par les technologies antérieures à l'IA. Cette approche repose sur l'hypothèse selon laquelle l'IA automatisera probablement une partie des tâches et non la totalité des tâches qui composent un métier.

L'une des premières études sur le sujet et la plus controversée est sans aucun doute celle de Frey et Osborne publiée en 2013¹³. Ces deux chercheurs en apprentissage automatique de l'Université d'Oxford, ont évalué si les professions étaient susceptibles d'être automatisées par les avancées technologiques récentes incluant celles liées à l'IA (machine learning). Leurs évaluations ont pris en compte les divers obstacles techniques à l'automatisation complète des tâches professionnelles, compte tenu de l'état actuel de la technologie de l'intelligence artificielle. Ils se sont alors appuyés sur la base de données fournies par le système d'informations O*NET¹⁴ développé par les services du *US Department of Labor*.

¹² Cette approche visait à évaluer l'impact de l'automatisation liée notamment à l'informatisation en identifiant les tâches routinières et les tâches non routinières. Se reporter à Autor, D., F. Levy et R. Murnane (2003), "The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 118(4), pp. 1279-1333.

¹³ Se reporter à la dernière version publiée en 2017. Frey, C. et M. Osborne (2017), "The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation", *Technological forecasting and social change*, Vol. 114, pp. 254-280.

¹⁴ La base O*NET est un système d'informations relatifs aux caractéristiques des professions aux Etats-Unis à partir d'un ensemble de «descripteurs» décrivant les compétences /aptitudes et connaissances requises pour exercer un métier donné. Les descripteurs O*NET s'appuie sur des informations au niveau de l'employé, puisqu'ils sont basés sur un programme de mesure qui consiste à interroger les employés à l'aide de questionnaires standardisés provenant d'un échantillon aléatoire d'entreprises américaines. Cependant, l'objectif de l'O*NET n'est pas d'identifier les différences qui peuvent exister entre les employés d'une même catégorie professionnelle, mais de fournir des informations utiles et générales aux demandeurs d'emploi et aux employeurs sur les types de compétences et de formations requises pour différentes options de carrière.

La base O*NET leur a ainsi permis de définir les caractéristiques clés de 702 professions répertoriées via une description des tâches rattachées à chacune d'elles. Ils ont ensuite classé les différentes professions en fonction des connaissances, des compétences et d'aptitudes requises et en fonction de la variété des tâches (routinières, non routinières, ...) qu'elles impliquent.

Les résultats de leurs estimations les amènent à formuler la prédiction selon laquelle 47% des travailleurs américains seraient menacés de perdre leur emploi dans une ou deux décennies. D'autres études ont prédit des impacts tout aussi alarmants dans d'autres pays industrialisés¹⁵.

Cette prédiction alarmiste a provoqué une véritable onde de choc parmi les analystes, les syndicats et les décideurs publics aux Etats-Unis mais aussi dans d'autres pays, suscitant ainsi beaucoup d'inquiétudes, voire de peurs face aux avancées récentes de l'IA.

Toutefois, d'autres études ont relativisé l'ampleur de cette menace technologique sur l'emploi en adoptant une approche un peu différente de celle utilisée par Frey et Osborn. En prenant pour niveau d'observation la tâche et les différences spécifiques à chaque pays dans le contenu des emplois des mêmes professions, les chercheurs Arntz et al¹⁶ ont notamment montré qu'il existait une forte variabilité des tâches entre les emplois appartenant à une même profession. Autrement dit, une même catégorie professionnelle peut ne pas être affectée de la même manière compte tenu de l'existence de cette variabilité. Or, cette dimension n'est pas prise en compte dans les estimations de Frey et Osborn, ce qui les conduit alors à supposer que la même catégorie professionnelle sera impactée de la même manière, indépendamment de la taille de l'entreprise et du pays d'implantation. En prenant en compte l'existence de cette variabilité au niveau des tâches, Arntz et al, parviennent à une estimation beaucoup plus basse. Ils évaluent le risque d'automatisation aux Etats-Unis à seulement 9%¹⁷. Cette menace serait même encore plus faible pour certains pays, à hauteur par exemple de 6% pour la Corée et l'Estonie et ne dépasserait pas les 13% dans d'autres pays comme l'Allemagne et l'Autriche.

En adoptant la même approche que celle d'Arntz et al, mais sur un plus grand nombre de pays, d'autres études relativisent également les prédictions de Frey et Osborn. C'est le cas par exemple de l'étude de Quintini et al¹⁸ qui montre que la proportion des emplois exposés à un risque élevé d'automatisation (supérieur à 70%) s'élèverait en moyenne (pour 32 pays composant leur échantillon) à seulement 14%. Cette étude révèle également que 32% des emplois seraient exposés à un risque d'automatisation compris entre 50 et 70%, suggérant ainsi que la manière dont les tâches sont réalisées pourrait se transformer sensiblement sous l'effet de l'automatisation.

Quand est-il maintenant des effets de l'IA sur les catégories socioprofessionnelles, sur les salaires et le niveau d'éducation? Sur cette question, les résultats des travaux existants divergent également. Si la plupart des travaux estiment que l'IA impactera toutes les catégories professionnelles, que ce soit les emplois faiblement, moyennement ou qualifiés, certaines catégories seront plus menacées que d'autres. Les études, précédemment citées, considèrent notamment que les emplois pas ou peu qualifiés, à faible salaire et sans diplôme ou formation professionnelle particulière, seront les plus exposés au risque d'automatisation¹⁹. Ces emplois reposent essentiellement sur des tâches répétitives et manuelles, mais ne nécessitant pas une dextérité particulière dans les gestes et/ou qui ne font pas appel à des compétences sociales nécessitant de fortes interactions sociales dans l'exercice de la profession. Les tâches les moins

¹⁵ Bowles, J. (2014), *the computerization of European Jobs*, Bruegel, Brussels.

¹⁶ Arntz, M., Gregory, T. et Zierahn, U. (2016): *The risk of automation for jobs in OECD countries: a comparative analysis*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. OECD Publishing, Paris. Voir aussi Arntz, M., Gregory, T. et Zierahn, U. (2017): «Revisiting the Risk of Automation», *Economics Letters* 159: 157-160.

¹⁷ Pour réaliser leurs estimations, ces chercheurs s'appuient sur la base O*NET pour estimer le risque d'automatisation pour les mêmes tâches professionnelles retenues par Frey et Osborn. Toutefois, ils adoptent une autre méthodologie en utilisant les données de l'enquête PIACC pour mesurer les exigences en matière de compétences (travail en équipe, autonomie,..) tout en les liant au risque d'automatisation.

¹⁸ Nadelkoska, L. et G. Quintini (2018), "Automation, skills use and training", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers* No. 202.

¹⁹ Frey, C. et M. Osborne (2017): op-cit et Quintini et Nadelkoska (2018): op.cit.

exposées, quant à elles, sont surtout celles qui reposent sur des compétences telles que la capacité à résoudre des problèmes complexes, à négocier, à influencer, à être créatif ou encore à s'occuper d'autrui... Ainsi, tous les métiers liés à la santé, à l'éducation, à la recherche, à la communication ou encore les métiers d'arts seraient les moins menacés.

D'autres d'études estiment à l'inverse que l'IA menacera davantage les professions qualifiées possédant le plus souvent des diplômes supérieurs et des salaires élevés²⁰. Ce serait le cas par exemple des métiers d'ingénieurs, les statisticiens, les analystes bancaires, les chimistes ou encore les épidémiologistes. Certains travaux vont même jusqu'à affirmer que le risque d'automatisation concernerait la quasi-totalité des « cols blancs » en raison de la capacité de l'IA à s'auto-améliorer continuellement lui permettant ainsi de prendre en charge des tâches complexes et non-routinières²¹. Toutefois ces études se rejoignent sur le fait que les catégories professionnelles qualifiées les moins exposées resteront celles qui occupent des métiers reposant essentiellement sur des compétences sociales (comme les enseignants, les managers...) et/ou sur des compétences cognitives capables de gérer des problèmes complexes. Les métiers de la recherche, par exemple, qui possèdent les diplômes les plus élevés (comme le doctorat) seront épargnés car ce sont des métiers qui reposent souvent sur la capacité à analyser des phénomènes complexes et à les appréhender de manière systémique, et ce, même si certaines de leurs tâches (comme l'exploitation et le traitement des données) peuvent être adaptées à l'apprentissage machine²². Ils font également le même constat concernant le faible risque d'automatisation des métiers pas ou moins qualifiés qui font appel intensivement aux interactions sociales ou à une certaine dextérité dans les gestes (tel que les femmes de chambre, cuisiniers, les professeurs de fitness et les coachs sportifs, les masseurs ect...).

Comment expliquer de telles divergences de résultats? Ces différences s'expliquent notamment par la nature des technologies prises en compte. Certaines études évaluent le risque d'automatisation en prenant en compte un large ensemble de technologies dont certaines applications plus anciennes n'incluent pas de l'IA (par exemple chez Frey et Osborn (2013, 2017) et Quintini et Nadelkoska (2018)). Alors que les autres études citées, sont basées sur des données plus récentes et se concentrent spécifiquement sur les capacités techniques de l'IA. Selon le périmètre des technologies pris en compte dans les évaluations, le degré de risque sur les catégories professionnelles potentiellement exposées varie nécessairement. Par ailleurs, l'ensemble des métiers et les critères retenus pour caractériser les compétences requises varient aussi selon les données d'enquêtes mobilisées. Cela peut conduire à une surestimation ou à une sous-estimation du risque d'automatisation de certaines catégories professionnelles.

B. Les estimations actuelles se heurtent à des limites importantes

1. Les estimations actuelles ne permettent pas de distinguer les impacts qui se substituent à la main-d'œuvre humaine de ceux qui la complètent

Au final, ces études ne permettent pas d'aboutir à un consensus très clair concernant les impacts de l'IA, que ce soit sur le niveau de l'emploi, les salaires comme sur les catégories socioprofessionnelles. Ce manque de clarté ne provient pas seulement de ces différences méthodologiques. Ces études portent en elles des limites importantes qui doivent nous conduire à interpréter leurs estimations avec précaution. Tout d'abord, ces études se concentrent exclusivement sur le potentiel technique de suppression d'emplois

²⁰ Se reporter par exemple aux travaux de: "The Occupational Impact of Artificial Intelligence on Labor: The Role of Complementary Skills and Technologies", *NYU Stern School of Business*. Brynjolfsson, E., T. Mitchell and D. Rock (2018), "What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy?", *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 108, pp. 43-47, Et Webb, M. (2020), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market", *Stanford University Series Papers*: Latest version: https://web.stanford.edu/~mww/webb_jmp.pdf.

²¹ Felten, E., M. Raj and R. Seamans (2019): op-cit.

²² Brynjolfsson, E., T. Mitchell et D. Rock (2018): op-cit.

sans tenir compte du fait que de nouveaux emplois pourraient aussi être créés par l'IA²³. Pourtant, tout progrès technologique emporte non seulement une part de destruction mais aussi une part de création et de transformation des emplois. L'impact de l'automatisation induit par exemple par la robotisation avancée a certes conduit à des destructions de l'emploi, notamment dans le secteur manufacturier, mais des nouveaux emplois dans d'autres secteurs d'activités connexes ont aussi été créés, compensant ainsi l'impact global sur le niveau de l'emploi²⁴. Or les estimations actuelles ne prennent pas en compte le potentiel de création de nouveaux emplois que la diffusion de l'IA peut générer.

Par ailleurs, mesurer un risque d'automatisation des tâches ne signifie pas pour autant que ce métier sera mécaniquement réduit. Il peut également être enrichi. L'IA peut aussi transformer les emplois «exposés» en faisant évoluer le contenu de ses tâches et l'enrichir. Si l'IA facilite l'automatisation d'un plus grand nombre de tâches, elle peut aussi améliorer les capacités humaines à accomplir de nouvelles tâches à plus forte valeur ajoutée ou à leur permettre de réaliser d'anciennes tâches plus efficacement.

Dans ce cas, l'IA devient un outil d'assistance et non comme un outil de substitution. La relation entre la machine et l'humain doit aussi s'appréhender dans les deux sens dans la mesure où les capacités de l'IA pourraient aussi être améliorées par l'humain via l'apprentissage²⁵.

Les compétences doivent certes s'adapter à l'utilisation de l'IA dans leur travail mais la complémentarité humain-machine peut générer des gains de productivité et exercer des effets positifs sur la demande de travail, sur les salaires ainsi que sur le niveau global de l'emploi²⁶. Or, ces études ne prennent pas en compte dans leurs estimations la dimension «transformation» des tâches existantes, ce qui ne permet de comprendre comment les tâches et les activités des travailleurs se transformeront sous l'effet de l'automatisation. Ce qui laisse en suspens une grande partie de l'histoire...

2. Le risque d'automatisation ne repose pas uniquement sur ce qui est «techniquement» faisable par l'IA

Enfin, ces études, se heurtent à d'autres limites importantes qui expliquent en grande partie par l'approche générale qu'elles ont adoptée, comme la quasi-totalité des autres études sur le sujet, à savoir l'approche par les tâches²⁷: Tout d'abord, le risque d'automatisation des tâches a été estimé par un petit panel d'experts en machine learning (data scientists, ingénieurs, chercheurs en machine learning) qui ont donc retenu comme principale «métrique» les capacités techniques et scientifiques de l'IA. Leurs estimations ne tiennent donc pas compte des coûts et des difficultés que les entreprises peuvent rencontrer pour générer les données nécessaires sous une forme lisible par un ordinateur afin d'entraîner des machines. Pour surmonter ces difficultés, cela nécessite souvent (comme nous l'avons souligné en section 1) de la part des entreprises des investissements très coûteux dans des capteurs pour la collecte de données non structurées et dans des systèmes de logiciels intégrés qui peuvent collecter et stocker des données provenant des principaux domaines fonctionnels de l'entreprise.

D'autres coûts ne sont pas pris en compte, comme ceux liés aux investissements nécessaires pour acquérir des compétences de salariés en matière d'analyse de données, et les coûts liés à la redéfinition des tâches afin de dissocier les tâches qui peuvent potentiellement être automatisées par le machine learning. L'adoption de l'IA peut aussi être limitée par les coûts liés aussi à la réorganisation du travail

²³ Muro, M., R., Maxime et J., Whiton (2019), Metropolitan Policy Program, Brookings Institute. Se reporter aussi à Nicolas Leru (2016): «L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait et ce qu'on ignore», Note d'Analyse, France stratégie.

²⁴ Dauth, W.; Findeisen, S.; Sudekum, J.; Woessner, N. (2017). "German Robots - The Impact of Industrial Robots on Workers", in *CEPR Discussion Paper No. DP12306*.

²⁵ Daugherty, P. R., et Wilson, J. (2018). *Humans + Machine: Reimagining work in the age of AI*. Boston: Harvard Business Review Press.

²⁶ Daron., Acemoglu et P. Restrepo, (2019): "Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor," *Journal of Economic Perspectives*, vol 33(2), pages 3-30. Ces économistes montrent que si l'automatisation peut avoir des effets négatifs à court terme sur l'emploi et les salaires, d'autres effets «compensatoires» peuvent contrecarrer cette baisse grâce notamment à la création de nouvelles tâches induit par l'automatisation.

²⁷ Lorenz., E et J. Holm (2020). *The Impact of Artificial Intelligence on Skills at Work in Denmark*. New Technology, Work and Employment, Wiley, 2021.

nécessaire afin de dissocier les tâches d'un emploi ou d'une profession qui peuvent être automatisées de celles qui ne le peuvent pas. Ce redesign organisationnel est pourtant essentiel à prendre en compte pour estimer l'impact de l'IA sur l'emploi car il peut influencer aussi la vitesse de déploiement de l'IA dans les organisations.

Ne pas prendre en compte les coûts liés à l'adoption de l'IA ne permet donc pas de savoir d'une part si les entreprises seront intéressées à déployer l'IA et d'autre part si elles ont la capacité de le faire. Tout ne repose pas sur ce qui est «techniquement» ou «scientifiquement» faisable par l'IA, cela dépend aussi de ce qui est «financièrement, organisationnellement et managérialement, voire socialement» possible dans une entreprise. Ces effets internes aux entreprises sont totalement absents dans les estimations actuelles.

Par ailleurs, mesurer ce qui se passe au niveau de l'entreprise et au niveau de leur organisation du travail est rendu d'autant plus impossible que l'approche par les tâches repose, comme nous l'avons souligné précédemment, principalement sur des données agrégées au niveau du secteur et de la profession. Ce qui ne permet pas non plus de prendre en compte les effets internes liés à l'adoption de nouvelles pratiques organisationnelles et managériales nécessaires à la réorganisation des tâches, à l'évolution des compétences. Par conséquent, la contribution des effets internes à l'entreprise aux modèles observés de changement au niveau de l'emploi et des compétences reste largement inexpliqués dans la quasi-totalité des études existantes.

En ne contrôlant pas ces différents facteurs, cette approche aboutit à des résultats qui sous-estiment les effets potentiels provenant de la complémentarité humain-machine au profit de la dimension substitution humain-machine.

Une caractéristique frappante de la littérature existante en économie sur l'impact de l'intelligence artificielle sur l'emploi et les compétences, en plus de celles que nous venons de citer, est qu'elles n'ont pas cherché à mesurer ce qui se passe à l'intérieur de l'entreprise. Les 24 contributions à un récent volume du NBER²⁸ se concentrent sur les implications de l'IA pour l'emploi, les salaires et la croissance économique, mais aucune ne traite explicitement des effets au niveau des entreprises, des employés ou des emplois.

En ce qui concerne la redéfinition des tâches, Brynjolfsson et al.²⁹ ont notamment affirmé, dans une étude récente utilisant des données collectées par une plateforme de crowdsourcing d'intelligence humaine, CrowdFlower, que si la plupart des emplois impliquent des tâches qui peuvent être automatisées par le machine learning, très peu d'emplois, selon eux, peuvent être entièrement automatisés. Les auteurs concluent qu'une refonte importante des emplois sera nécessaire «pour libérer le potentiel du Machine learning» et que «les chercheurs, ainsi que les gestionnaires et les entrepreneurs, ne devraient pas se concentrer (uniquement) sur l'automatisation mais aussi sur la refonte (redesign) des emplois»³⁰.

C. La prochaine étape de l'évaluation d'impacts de l'IA: l'analyse sur micro-données

Une manière de dépasser ses limites et de mieux mesurer les effets de l'IA passerait par l'exploitation de données microéconomiques qui apporteraient des informations plus fines pour mieux rendre compte les effets internes aux entreprises. La mobilisation de données micro permettrait aussi d'évaluer les effets de l'IA à partir de cas d'usages réellement déployés dans l'entreprise et non pas à partir des capacités de l'IA estimées par un groupe de panel d'experts en machine learning. Ce type d'enquête avec des micro-données n'existe pas encore à l'échelle internationale. La seule étude qui existe à date qui prend en compte ces effets internes est celle de Lorenz et al.³¹ menée sur données danoises à partir d'une enquête dédiée aux

²⁸ Agrawal, A., Gans, J. et Goldfarb, A. (Eds.) (2019) *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Chicago, IL: University of Chicago Press. Cette remarque a notamment été citée par Edward Lorenz et Jacob Holm (2020): op-cit.

²⁹ Brynjolfsson, E., T. Mitchell et D. Rock (2018): op-cit.

³⁰ Brynjolfsson et al., 2018, p. 44.

³¹ Edward Lorenz, Jacob Holm (2020): op-cit.

technologies et aux compétences, l'enquête TASK³². Bien que la conception de l'enquête ne leur ont pas permis pour le moment d'étudier les impacts de l'IA sur le niveau de l'emploi et sur la polarisation des emplois³³, elle permet de mesurer statistiquement l'impact de deux types d'usage de l'IA sur les métiers et les compétences tout en prenant en compte les dimensions organisationnelles et les conditions de travail³⁴. Par ailleurs, cette enquête permet de raisonner à partir de cas d'usages concrets d'IA réellement déployés dans les entreprises dont les impacts sont observés au niveau des conditions de travail des salariés «utilisateurs» de l'IA. Les dispositifs sont utilisés de deux manières: un premier type d'usage est celui où l'employé utilise les informations fournies par l'IA pour prendre une décision, qui peut potentiellement être complexe. Un deuxième type d'usage est celui où l'IA donne des ordres ou des directives aux salariés via de informations générées automatiquement par un ordinateur ou par une machine informatisée. A partir de ces deux type d'utilisation de l'IA, ces chercheurs cherchent à évaluer leurs effets sur les conditions de travail, sur la dynamique d'apprentissage et sur l'évolution des compétences.

Les résultats de l'étude révèlent tout d'abord, pour la plupart des groupes professionnels, qu'il est plus courant d'utiliser quotidiennement l'IA comme une aide à la décision que d'utiliser quotidiennement l'IA comme un outil qui donne des ordres ou des directives commandes d'IA. Par ailleurs, ce sont surtout les catégories professionnelles très qualifiées et moyennement qualifiées qui utilisent l'IA comme complément à leur prise de décision alors que les catégories les moins qualifiées utilisent plus souvent l'IA pour leur donner des directives. De manière générale, ce sont surtout les travailleurs moyennement qualifiés (intermédiaires) qui constituent le groupe qui utilise le plus souvent l'IA. Leurs résultats montrent aussi des effets différenciés des usages de l'IA sur les conditions d'exercices du travail et les pratiques organisationnelles selon les catégories socio-professionnelles. Par exemple, dans le cas des emplois hautement qualifiés, les estimations économétriques montrent (toutes choses par ailleurs) que l'utilisation de l'IA peut améliorer la prise de décision des travailleurs, permet d'accroître l'apprentissage et le contenu cognitif du travail, favorise le travail en équipe et permet de diminuer des tâches répétitives routinières. En revanche, si l'IA est utilisée comme un outil visant à donner des directives ou des ordres aux travailleurs occupant des emplois hautement qualifiés, elle favorise chez eux surtout une augmentation des contraintes liées au rythme de travail et une forte diminution de leur autonomie. Ces effets sont également constatés pour les emplois moyennement qualifiés, mais à un degré moindre dans le cas des emplois hautement qualifiés. Pour les emplois peu qualifiés, les effets de l'utilisation de l'IA comme outil de prise de décision seraient neutres, tandis que l'utilisation de l'IA pour donner des ordres tend surtout à accroître les contraintes de rythme de travail et à dégrader leurs conditions de travail.

Ainsi, les effets de l'IA sur les métiers, les compétences et sur les conditions de travail s'avèrent, d'une part, étroitement liés aux usages qui en est fait et d'autre part impactent différemment les catégories professionnelles. Ces résultats soulèvent ainsi la question de la responsabilité des employeurs (ou de leurs marges de manœuvre comme le soulignent les auteurs) dans les choix d'utilisation de l'IA: Des IA qui favorisent l'autonomie et l'apprentissage en vue d'améliorer les compétences ou des IA utilisées pour donner des directives avec les risques que cela peut engendrer en matière de détérioration de conditions de travail, de pertes d'opportunités d'apprentissage en augmentant la monotonie et la répétitivité des tâches à réaliser.

³² L'enquête TASK a été réalisée par l'institut *Statistics Denmark* en 2019. TASK s'est appuyée sur un échantillon stratifié de salariés dans des lieux de travail comptant un emploi d'au moins cinq équivalents temps plein et en dehors de l'administration du secteur public.

³³ L'étude se concentre aussi sur les changements au niveau des emplois associés à l'utilisation de l'IA et non sur la relation entre l'utilisation de l'IA et la polarisation des emplois (c'est-à-dire sur les changements entre catégories professionnelles).

³⁴ Les auteurs mesurent les compétences (cognitives, d'adaptation, sociales et organisationnelles) et les compétences techniques utilisées par les salariés dans leur travail en les interrogeant sur les tâches qu'ils effectuent en fonction des pratiques organisationnelles et managériales (autonomie, travail en équipe, polyvalence, interactions sociales, contrôle de la qualité et le respect de normes de qualité précises ...) et du contenu cognitif des tâches (résolution de problèmes complexes, répétitivité et monotonie des tâches, opportunités d'apprentissage, ...). Ils adoptent l'approche des exigences professionnelles (JRA) utilisée dans l'enquête PIAAC de l'OCDE pour mesurer les compétences des salariés. L'enquête TASK inclut également des indicateurs permettant de savoir si l'emploi exige que l'employé adapte son rythme de travail à diverses contraintes, notamment celles imposées par le mouvement automatique des équipements ou des machines, par les normes de production ou les objectifs fixés par la direction, par les exigences de son patron et par le rythme de travail de ses collègues.

Si cette étude ne permet pas de répondre à toutes les questions et ne permet pas encore de savoir de manière approfondie comment le travail peut se transformer selon les types de métiers, elle montre l'importance d'évaluer les impacts de l'IA à partir de cas d'usage réellement déployés dans les entreprises et utilisés par les salariés tout en prenant en compte les effets internes liées aux pratiques organisationnelles et managériales. Il apparaît donc indispensable pour approfondir nos connaissances sur la transformation du travail de mobiliser des micro-données pour mieux prendre en compte aussi les effets liés à la complémentarité humain-machine.

La partie suivante va s'intéresser particulièrement aux transformations du travail en s'appuyant sur des illustrations sectorielles afin d'apporter un éclairage complémentaire aux approches statistiques. Le but de cette partie n'est pas d'apporter des réponses précises sur ce que sera le travail dans le futur. Il s'agit avant tout d'illustrer de manière réaliste des anticipations plausibles dans plusieurs domaines d'application et dans certains secteurs d'activité. Cette approche sectorielle vise à se pencher de manière très fine sur les opportunités et les risques potentiels: évolution des tâches, dynamique d'apprentissage, montée des compétences techniques ou sociales, changements dans les conditions de travail ou les pratiques managériales, gain ou perte d'autonomie, etc.

III. L'apport d'une analyse sectorielle pour appréhender les transformations du travail

Pour illustrer de manière réaliste les impacts actuels et potentiels de la diffusion de l'IA, cette partie se concentre sur la diffusion des technologies d'IA existantes ou sur leur potentiel de diffusion dans un avenir proche avec un degré élevé de certitude. Elle laisse en revanche en suspens la question de l'impact possible des avancées radicales de la technologie, y compris la capacité de réaliser une «IA forte». Cette partie vise également à illustrer les impacts de l'IA au niveau sectoriel car les effets potentiels peuvent être différents selon les caractéristiques spécifiques du secteur.

Afin de fournir des exemples concrets des possibilités ouvertes par l'intelligence artificielle dans le monde du travail, l'analyse s'appuie sur trois secteurs d'activité —le transport, la banque et la santé— qui fournissent tous des exemples utiles des tendances en cours³⁵. Ils couvrent aussi un éventail de réalités en termes de types de production, tant dans l'industrie que dans les services, ainsi que de types d'acteurs issus des secteurs privé et public et de divers contextes institutionnels et réglementaires.

Ces trois secteurs analysés sont aussi considérés comme étant ceux qui sont fortement exposés à l'IA. Le secteur des transports a attiré l'attention en raison du développement du véhicule autonome, qui a fait couler beaucoup d'encre depuis que Google, puis Waymo, Uber, Tesla, General Motors, Navya et d'autres sociétés ont annoncé leur intention ou commencé à tester des véhicules. Le degré de numérisation déjà avancé du secteur bancaire, ainsi que la nature intangible de la «matière» qu'il traite impliquant l'échange d'informations sur les transactions, se prêtent parfaitement à une exploitation par l'IA. Le secteur de la santé est celui qui intéresse tout le monde et les possibilités d'utilisation de l'IA comme support au traitement des données liées à des mécanismes très complexes basés sur les sciences de la vie suscitent un grand intérêt. Ces trois secteurs figurent également dans l'agenda de la plupart des pays avancés concernant leur stratégie nationale d'IA³⁶ (OCDE, 2019). Ils figurent également en tête du classement des secteurs en termes d'opérations d'investissement dans les start-ups.

Pour chaque secteur, l'analyse identifie d'abord les principaux domaines d'application de l'IA, puis se concentre sur la manière dont des dispositifs à base d'IA se substituent et complètent les compétences de différents métiers. Dans ce contexte, elle évalue comment la transformation du travail affecte les

³⁵ Voir aussi Benhamou, S. et Janin, L. (2018): op-cit.

³⁶ OECD Report (2019): "Artificial Intelligence in Society", Juin 2019.

compétences et les conditions de travail et l'environnement de travail incluant les relations professionnelles, les interactions entre les travailleurs et leurs clients ou patient. Il s'agira surtout d'identifier les avantages et les risques potentiels sur les travailleurs. Ces secteurs peuvent nous permettre à la fois d'apporter une description précise des tendances et de couvrir largement notre problématique mais aussi avec la possibilité d'étendre certaines conclusions au-delà de leurs frontières.

A. L'impact de l'IA dans le secteur de la Santé

Plusieurs raisons nous conduisent à s'intéresser particulièrement aux effets de l'IA sur le travail des professionnels du secteur de la santé.

1. Pourquoi l'IA et la santé vont bien ensemble?

a) Un secteur «Knowledge intensive»

Fondamentalement, le secteur de la santé repose sur le savoir, qui lui-même génère le progrès, et donc l'amélioration des résultats médicaux. Progrès dans les connaissances médicales et les traitements, progrès dans les techniques de diagnostic, progrès dans les modes de prise en charge. La capacité à apprendre tout en se tenant à jour des avancées scientifiques est donc centrale dans ce secteur, tout comme la capacité à gérer les apprentissages. Le système de santé lui-même, médecins et hôpitaux, les dossiers patients, voire des techniques de recueil d'informations automatisées (par exemple nombre de pas marchés recueillis via une montre connectée), génèrent des masses importantes de données —ce qu'on appelle le big data, dont l'exploitation est sans doute à son balbutiement mais dont on a l'espoir que l'exploitation intelligente pourra améliorer significativement l'efficacité et l'efficience des systèmes de santé. Le principal frein, à ce stade, est la capacité humaine à traiter ces données, en plus du défi de leur disponibilité.

b) Un secteur qui concentre beaucoup de moyens

Le poids économique du secteur de la santé est aussi considérable. Les dépenses de santé représentent près de 10 % du PIB mondial, 17 % environ du PIB américain, soit 3 200 Md \$ en 2020, 11% du PIB au Brésil, 10% du PIB au Chili, 12, 5% du PIB en France et en Allemagne et près de 13% aux Royaume-Unis pour ne citer que ces pays³⁷. Et compte-tenu des évolutions démographiques et épidémiologiques, il n'y a aucune raison pour que le rythme de croissance de ces dépenses se ralentisse. Il s'agit donc d'un marché extrêmement dynamique et porteur à l'échelle mondiale, d'autant plus que de nombreux pays importants, comme par exemple la Chine et l'Inde, n'ont pas encore rattrapé les pays développés en la matière. Ce poids économique important et son dynamisme prévisible expliquent pourquoi le secteur suscite tellement «d'appétit». Il existe aussi dans l'ensemble des pays développés des contraintes extrêmement fortes sur les financements publics, et ces contraintes vont perdurer. De très nombreux acteurs et systèmes de santé sont donc à la recherche de solutions pour améliorer l'efficience du système, d'autant plus que selon les estimations récente de l'OCDE, au moins 20% des dépenses de santé n'auraient aucun impact, voire dégraderaient l'état de santé³⁸. Le secteur de la santé est donc extrêmement attractif, notamment pour les GAFAM et les BatiX chinois à la recherche d'opportunité de croissance, mais aussi pour des entreprises «traditionnelles», dont certaines peuvent être à bout de souffle, à la recherche de nouveau *business models*.

c) Un secteur multiple possédant des compétences très variées

Enfin, le secteur de la santé, en termes de métiers et de compétence est incroyablement varié. De la très haute technicité représentée par exemple par les chirurgiens très spécialisés (ex. neurochirurgie), à des tâches a priori simples mais très exigeantes, comme les aides-soignantes auprès de patients souffrant

³⁷ OCDE (2021): Panorama de la santé 2021. Les indicateurs de l'OCDE, Edition OCDE, Paris. https://www.oecd-ilibrary.org/fr/social-issues-migration-health/depenses-de-sante-en-pourcentage-du-pib-2019-ou-annee-la-plus-proche-et-2020_c3941dda-fr.

³⁸ OCDE (2017), Tackling Wasteful Spending on Health, Éditions OCDE, Paris <https://doi.org/10.1787/9789264266414-en>.

de dégénérescence cognitive, en passant par les spécialistes d'intervention en santé publique ou encore par toute une série de nouveaux métiers liés à la coordination, à la collecte et la mise en forme de données (gestionnaire de cas notamment). Ainsi, il existe une multitude de points d'entrée pour des applications de l'IA, soit pour des métiers ultra pointus, soit pour des métiers «de masse».

Mais plus fondamentalement, le secteur de la santé est aussi un employeur majeur, pour lequel les coûts de main d'œuvre représentent une part importante des dépenses de santé. Cela peut conduire, dans un contexte de contrainte budgétaire associé à une augmentation des besoins, à se demander s'il ne serait pas possible de remplacer au moins une partie de ces travailleurs par des machines «intelligentes», à l'instar de ce qui a été fait dans l'industrie automobile avec l'introduction de la robotisation et des machines assistées par ordinateur.

Il existe donc actuellement un véritable «buzz» autour de l'IA en santé, «buzz» qui a même atteint le grand public, avec les expériences très médiatisées de Watson healthcare, voire d'un programme d'épidémiologie développé par Google, qui serait capable de repérer les épidémies à partir de mots tapés dans le moteur de recherche. Les «exploits» des robots chirurgicaux sont régulièrement rapportés dans les médias.

S'agissant de l'évolution de la médecine elle-même, la «part humaine» dans la décision médicale n'a cessé de se réduire depuis plusieurs décennies avec un développement exponentiel de la robotisation médico-technique (singulièrement en biologie et en pharmacie) et, plus récemment, des logiciels d'aide à la prescription voire à la décision médicale. L'utilisation de ces logiciels fait même l'objet d'un encadrement juridique spécifique. La chirurgie elle-même connaît depuis une dizaine d'année environ un mouvement accéléré de robotisation. Certains spécialistes du monde médical vont jusqu'à tracer la perspective d'une «*média-médecine*»³⁹ qui renouvelle fondamentalement les modes d'exercice médicaux et l'organisation de notre système de soins. Cette mutation probable est notamment le produit d'un long continuum historique d'évolution de l'exercice médical et dont processus a aussi été permis par des ruptures technologiques tangibles.

2. Champs d'application de l'IA dans le secteur

Presque tous les domaines de l'intelligence artificielle qui ont été développés, notamment la reconnaissance d'images et de vidéos, le traitement du langage naturel, l'apprentissage automatique et la robotique, trouvent des applications dans le domaine de la santé. Cela couvre le diagnostic et les recommandations thérapeutiques, la chirurgie, le suivi personnalisé, la prévention en santé publique, la recherche clinique ou encore dans le domaine du «care».

Par exemple, dans le domaine du diagnostic médical, les outils d'IA sont nombreux sur le marché de la santé et le champ de leurs applications est impressionnant. On les retrouve dans des spécialités médicales telles que l'oncologie - qui regroupent toutes les spécialités médicales, les études, le diagnostic et le traitement du cancer -, la cardiologie, l'ophtalmologie, la radiologie et la détection de maladies spécifiques (par exemple diabète, la maladie d'Alzheimer...) jusqu'à envahir le champ de la santé mentale (détection de cas de dépression ou autres troubles psychologiques). Quel que soit le domaine médical, le principe est toujours le même: les algorithmes IA alimentés et entraînés par des données massives (big data) principalement par reconnaissance d'images et par des résultats issus de la recherche médicale. La «machine» intelligente (logiciel informatique à base d'IA) est programmée pour détecter des cas de maladies connues même rares à partir de règles et de protocoles prédéfinies par le monde médical. Ce type de logiciel, présenté comme un outil «intelligent» d'aide à la décision médicale, synthétise une masse d'informations provenant de millions de rapports médicaux, de dossiers de patients, de tests cliniques et de connaissances (mises à jour) issues de la recherche médicale.

³⁹ Vallancien Guy (2015): *La médecine sans médecin? Le numérique au service du malade*, Collection Le Débat, Gallimard.

Certains logiciels pourraient bientôt être capables de diagnostiquer le cancer aussi bien, voire mieux, que les spécialistes. Selon une étude récente⁴⁰ l'intelligence artificielle a pu détecter automatiquement le cancer du sein avec un taux de réussite de 92%, presque équivalent à celui des spécialistes (96%). Lorsque les analyses du médecin et les méthodes de diagnostic du logiciel automatisé sont combinées, le taux de réussite atteint 99,5%, avec un risque d'erreur fortement réduit. D'autres spécialités médicales utilisent la reconnaissance d'images pour diagnostiquer, par exemple, les patients atteints de maladies oculaires. C'est le cas du robot développé par la division DeepMind Health (AI) de Google, qui, en regardant des milliers de photos de rétines, a pu établir un diagnostic plus fiable que celui d'un ophtalmologiste humain⁴¹. Dans le domaine de la chirurgie, on assiste à l'émergence de nouvelles générations de robots chirurgicaux qui tendent vers une plus grande autonomie du chirurgien⁴². C'est notamment le cas de Star (pour Smart Tissue Autonomous Robot), un outil capable d'une plus grande précision dans l'exécution de certains gestes ou encore les robots «sociaux» dans le domaine du «care» pour aider le travail des aides-soignants pour améliorer la prise en charge quotidienne des personnes âgées et dépendantes.

Toutefois, malgré ces nombreux domaines d'applications, les promesses restent à ce stade imprécises⁴³. Aujourd'hui l'IA dans le secteur de la santé n'est pas une réalité mais encore une potentialité. Aucun système de santé ou organisation de santé dans le monde qui s'est vu totalement transformée et les applications réelles de la santé sont limitées. Il existe également très peu d'évaluations médico-économiques des applications de l'IA qui mesurent leur rendement économique et social. Les informations dont nous disposons aujourd'hui sur l'impact de l'IA sur le diagnostic sont pour la plupart limitées à des sous-domaines d'une discipline très spécifique, comme l'oncologie par exemple ou la radiologie.

3. L'hypothèse d'une substitution totale entre les professionnels de santé et l'IA relève plus de la fiction que de la réalité

Enfin, la qualité de la prise en charge d'un patient (détection de la maladie, proposition thérapeutique, suivi des patients...) relève aussi d'un processus d'une très grande complexité que l'IA ne peut intégrer qu'imparfaitement. Cette complexité est liée directement à la discipline elle-même et à l'existence d'une relation fortement «médiée» entre l'équipe médicale et le patient et parfois avec son environnement familial. Dans ce domaine, l'existence d'un «modèle type» de patient n'est généralement pas suffisante pour élaborer et mettre en place une stratégie de prise en charge totalement adaptée à ce patient, le patient individuel.

On peut également rappeler que l'IA se nourrit d'une grande masse de données, via des algorithmes qui visent à établir des corrélations pour expliciter des phénomènes et les expliquer (déterminer leurs causes) pour, par exemple, en tirer des recommandations cliniques. La robustesse des corrélations entre plusieurs phénomènes dépend dans l'IA de la masse de données récoltées. Plus elle est importante et plus les corrélations sont robustes. C'est donc le big data qui permet à l'IA de fonctionner et de concurrencer l'humain à travers sa capacité à traiter des données à partir d'une masse d'informations actualisées en continu. La force de l'IA repose donc fondamentalement sur le big data et l'accès aux données. Or, la corrélation ne signifie pas forcément causalité. Les mécanismes de cause à effet qui «expliquent» la survenance d'une pathologie et son évolution sont souvent plus complexes que des corrélations «mécaniques». Les causes peuvent être multiples, dont certaines sont difficiles à codifier, comme celles liées à l'environnement sociodémographique du patient ou au ressenti des symptômes, voire à leur

⁴⁰ Wang D., Khosla A., Gargeya R., Irshad H. et Beck A. H. (2016), Deep Learning for Identifying Metastatic Breast Cancer, Beth Israel Deaconess Medical Center (BIDMC) and Harvard Medical School.

⁴¹ Knight, W. (2016) "An AI Ophthalmologist Shows How Machine Learning May Transform Medicine", *MIT Technology Review*.

⁴² Shademan A, Decker RS, Opfermann JD, Leonard S, Krieger A, Kim PC (2016). Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. *Sci Transl Med*. 2016 May 4;8(337):337ra64. doi: 10.1126/scitranslmed.aad9398. PMID: 27147588.

⁴³ Xiaoxuan Liu, Livia Faes, Aditya U Kale, Siegfried K Wagner, Dun Jack Fu, Alice Bruynseels, Thushika Mahendiran, Gabriella Moraes, Mohith Shamdas, Christoph Kern, Joseph R Ledsam, Martin K Schmid, Konstantinos Balaskas, Eric J Topol, Lucas M Bachmann, Pearse A Keane et Alastair K Denniston, (2019): "A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis", *Lancet Digital Health* Volume 1, Issue 6, October 2019.

absence totale comme cela a été le cas pour le Covid-19. Par ailleurs il peut y avoir une très forte variance entre patients. Toute la complexité du travail du professionnel de santé est justement de prendre en compte toutes ces spécificités de la détection de ou des pathologies à la proposition thérapeutique à délivrer aux patients. Dans le domaine clinique, les corrélations ne sont pas suffisantes. Même l'évidence based-medicine, qui s'appuie sur les résultats d'évaluation les plus actualisées ne peuvent qu'apporter une connaissance et des recommandations cliniques sur la base d'un patient modélisé «moyen». Or le patient «réel» qui est diagnostiqué lors d'une consultation avec un médecin ne correspond pas forcément au patient «moyen» qui a été modélisé par la machine. Cela ne permet donc pas à l'IA d'élaborer de manière autonome une stratégie de prise en charge totalement adaptée à ce patient.

a) Plusieurs tâches qui composent les métiers des professionnels de santé ne sont pas automatisables

Ceci est valable aussi pour les propositions thérapeutiques. Le médecin doit prendre en compte les spécificités du patient pour définir le meilleur traitement. Il doit aussi parfois sur des pathologies simples ou complexes «négocier» avec le patient pour adapter la meilleure prise en charge adaptée à ce patient en fonction de son environnement (professionnel, familiale, histologie...) pour s'assurer notamment une adhésion totale. L'adhésion des patients est un levier important qui influence le processus de guérison tout comme la prévention des pathologies. Des recherches ont montré, par exemple, que l'engagement du patient dans l'observance du traitement prescrit pour une maladie influence notamment le processus de guérison des patients⁴⁴. Or, seuls le dialogue et la confiance entre un médecin et un patient permettent de négocier les meilleurs compromis «coût-bénéfice» et d'assurer l'implication des aidants familiaux quand c'est nécessaire⁴⁵. Ces activités de prise en charge du patient relèvent de compétences fondamentalement sociales et intrinsèquement humaines dont le risque d'autonomisation par la machine est nettement plus faible que pour des tâches «routinières» ou même complexe mais qui ne font pas appel à ce type de compétences.

Enfin, les développements de l'IA fonctionnent bien sur des phénomènes simples et mécaniques comme la détection de fractures et sont aussi souvent concentrés sur une seule pathologie comme la détection d'une tumeur tout comme les directives cliniques qui constituent le fondement de l'évidence-based medicine. Mais qu'arrive-t-il quand un patient présente plusieurs pathologies? Pour le moment, cette question pourtant centrale dans les débats actuels sur l'avenir des systèmes de santé, ne trouve pas de réponse dans tous les pays, notamment parmi les plus développés. Alors que la performance des systèmes de santé dans le futur proviendra en grande partie de leur capacité à «gérer» des patients polypathologiques dans la durée et il est probable qu'il s'orientera de plus en plus vers un système dédié à la gestion de la prévention de polypathologies au long court avec un très fort volet psychologique et comportemental. Les tendances démographiques et épidémiologiques vont notamment dans ce sens: demain nous vivrons plus longtemps et avec plusieurs pathologies. Le défi de nos systèmes de santé de demain sera d'assurer une prise en charge de plus en plus complexe axée sur la prévention dans lequel la coordination entre les métiers des professionnels de santé mais aussi du médico-social sera forte.

b) La détection de pathologies ne se mesure pas uniquement par la volumétrie des données

En somme, la qualité d'un diagnostic ne dépend pas seulement du volume d'informations disponibles mais de la qualité de l'interprétation de mécanismes complexes qui ne reposent pas sur des lois naturelles fixes et ne sont donc pas déterministes. Le big data fonctionne bien sur des phénomènes explicatifs simples et mécaniques. Mais l'homme évolue constamment avec son environnement et ce processus dynamique signifie que dans le domaine de la médecine et des soins aux patients, l'intelligence artificielle ne pourra pas remplacer les professionnels de la santé. Le moteur d'une voiture ou d'un avion

⁴⁴ Institute of Medicine (2013): *Best Care at Lower Cost: The Path to Continuously Learning Health Care in America*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13444>.

⁴⁵ Institut de Médecine, 2013: op-cit.

est aussi compliqué que sa conception, et l'on peut savoir de manière prévisible comment un moteur réagit dans un contexte donné. Ce n'est pas le cas d'un être humain qui a la capacité de s'adapter à des environnements changeants et qui peut réagir de diverses manières à des événements imprévisibles. La simple disponibilité d'informations ne suffit pas à influencer le comportement. L'obésité, par exemple, est devenue un problème majeur de santé publique dans de nombreux pays occidentaux malgré l'accès à des applications de santé préventive via un smartphone. Une autre différence concerne l'acceptabilité et la responsabilité sociale. Contrairement à l'utilisation de l'IA pour des modèles prédictifs dans le marketing et la publicité, s'il y a une erreur dans le diagnostic et le traitement médical, il peut y avoir des blessures ou des décès humains, ce qui soulève des questions majeures de responsabilité individuelle et collective.

Pour conclure cette partie, le discours selon lequel l'IA entraînera la disparition des praticiens humains dans le domaine de la santé n'est pas crédible si l'on tient compte de toute la complexité que recouvre le domaine de la médecine. Cela ne signifie pas pour autant que l'IA est un «non-sujet» dans le domaine de la santé, ni que certaines professions —dont certaines sont hautement qualifiées (par exemple les radiologues)— ne sont pas menacées. À ce stade, nous pouvons toutefois affirmer qu'au cours des prochaines décennies, l'IA ne remplacera pas le travail des professionnels de santé et qu'il y a peu de risques qu'ils deviennent de simples exécutants d'algorithmes. Ce n'est déjà pas le cas aujourd'hui avec les connaissances auxquelles ils peuvent avoir accès.

4. L'IA peut être une opportunité pour repenser le système de santé de manière plus intégré et systémique

Alors quels impacts l'IA pourrait-elle avoir sur le travail des professionnels de santé, de leur organisation du travail et leurs conditions de travail? Les systèmes de santé des pays avancés ont été conçus pour prendre en charge des pathologies aiguës et bien identifiées —par exemple une fracture, une tumeur cancéreuse. Dans ce modèle, qui s'apparente davantage, sous toute réserve, à une production mécanique, l'IA peut certainement avoir un impact majeur. Mais est-ce l'avenir de notre système de santé? Il est vraisemblable que nous nous dirigerons vers un système dédié à la gestion/prévention des polypathologies avec une très forte composante psychologique et comportementale. Ce que le système visera sera des changements comportementaux à long terme et ce type d'action nécessite une interaction étroite et «humaine» avec les patients⁴⁶. Ce que l'IA pourrait apporter est une meilleure prise en charge des patients et une identification des coûts et des structures adaptées pour une prise en charge globale. Prenons l'exemple de Kaiser Permanent Washington aux USA⁴⁷, reconnu comme un système de santé efficace pour atteindre le triple objectif (assurer la qualité des soins aux patients, l'amélioration de la santé de la population et ceci au coût le plus bas possible)⁴⁸. Ces systèmes investissent massivement dans des outils basés sur l'IA. Mais ils recrutent aussi beaucoup de médecins, d'infirmiers, d'aides-soignants et même de travailleurs sociaux pour améliorer la prise en charge et la prévention de pathologies complexes, comme l'obésité ou le diabète car ces pathologies sont d'origine socio-économique. Ils développent également des structures hospitalières locales au sein des régions pour être plus proches des patients afin d'influencer leur comportement et minimiser les interventions inutiles. Car plus on connaît son patient et son environnement et plus le personnel de santé peut influencer sur son comportement et minimiser les actes inutiles.

Il est donc probable que nous ayons encore des médecins et des aides-soignants à l'avenir, car les tâches qui composent leurs emplois ne seront pas toutes ouvertes à l'automatisation. En effet, il est probable que le besoin de professionnels de la santé soit encore plus important avec le déploiement de l'intelligence artificielle, si, grâce au big data et aux techniques de collecte d'informations qui croisent des

⁴⁶ Alderwick, H., Ham, C. et Buck, D., (2015): *Population Health Systems, Going beyond into integrated Care*, February 2015. The King's Fund.

⁴⁷ Kaiser Permanent (2018): Kaiser Permanente Washington, Population Health, Program Description,, <https://wa.kaiserpermanente.org/static/pdf/public/about/population-health-2019.pdf>.

⁴⁸ Foley, T. et F. Fergus (2015): *The Potential of Learning Healthcare Systems, The Learning Healthcare Systems Projects*: <http://www.learninghealthcareproject.org/>, *The Health Foundation*, New Castle University and Institute of Health and Society.

données cliniques, des dossiers patients, des données socioéconomiques et géographiques, des stratégies de prévention adaptées à chaque population spécifique peuvent être améliorées⁴⁹.

5. Impact de l'IA sur les métiers de la santé

De nombreux métiers tels qu'ils existent aujourd'hui vont évoluer et de nouveaux métiers vont probablement émerger. Les rôles vont aussi changer, du médecin surspécialisé à l'aide-soignant à domicile, le travail pourra être profondément transformé. Pour illustrer ces transformations, cette partie identifie les avantages mais aussi les risques potentiels pour les professionnels de santé.

a) L'IA peut transformer la façon de travailler et d'interagir avec les patients pour les professionnels de santé

Nous savons que l'une des principales limites des systèmes d'aide à la décision qui incluent de l'IA est la détection de plusieurs pathologies chez un patient et l'élaboration d'une stratégie thérapeutique adaptée à cette complexité. En revanche, l'avantage de l'IA réside dans sa capacité à traiter des millions de données actualisées, générant ainsi des gains en termes d'exhaustivité, de rapidité et de développement de plusieurs hypothèses possibles pour la détection de maladies. Le médecin aura alors un meilleur accès aux informations nécessaires à sa prise de décision, notamment une histologie complète du patient ou l'accès aux meilleurs protocoles thérapeutiques basés sur de l'évidence-based médecine.

b) Apprentissage continu, sécurisation dans la prise de décision et hausse des compétences sociales

Si ces systèmes experts «intelligents» gagnent la confiance des médecins et du grand public, l'impact sur les médecins peut être multiple. Ils pourront bénéficier d'une aide dans la gestion des diagnostics et dans l'élaboration des protocoles thérapeutiques, avec une plus grande sécurité dans la prise de décision grâce à l'accès aux connaissances cliniques et des pratiques médicales les plus actualisées. L'IA peut ainsi favoriser un apprentissage continu se traduisant par une évolution en continu des compétences du médecin dans son propre domaine médical. Il passera aussi moins de temps à interpréter les données «de routine» que les systèmes «intelligents» peuvent traiter, laissant au médecin les cas d'expertise les plus complexes. En matière d'imagerie médicale, les gains de productivité en temps d'interprétation permis par certaines solutions technologiques, peuvent aller jusqu'à 70%, ce qui permet aux praticiens de se concentrer sur les cas les plus complexes⁵⁰. Si la plupart des professions médicales et paramédicales vont probablement évoluer vers des tâches à plus haute valeur ajoutée, certaines spécialités médicales seront plus concernées que d'autres, à l'image de celles qui s'appuient par nature sur du code numérique (radiologie, ophtalmologie).

Bien que la dimension sociale soit au cœur de la pratique médicale en médecine, le dialogue entre médecin et patients pourrait se placer à un tout autre niveau. Avec un meilleur accès aux connaissances permis par l'IA, on pourrait s'attendre aussi à ce que le besoin de transparence et d'explication de la part des patients deviennent plus élevé. Le médecin devra alors être capable de justifier son protocole thérapeutique —pourquoi il a décidé de suivre ou pas les recommandations fournies par l'IA?—, et ce, afin d'adhérer le patient au protocole qu'il aura choisi. Être capable de justifier et d'expliquer une décision supposera aussi que les systèmes d'aide à la décision à base d'IA soient suffisamment explicables pour être compris par les utilisateurs.

⁴⁹ Malone, A. (2018). «Vers des systèmes d'information hautement performants, enjeux cliniques, enjeux de gouvernance, enjeux systémiques», in Hervé, C. Stanton-Jean, M., (eds.) *Innovations en santé publique, des données personnelles aux données massives (Big Data)*, Dalloz, p. 157-171 Malone, A., Politi, C. (2020). «Pour un système d'information et d'organisation populationnel», *French Hospitals Federation*.

⁵⁰ Gruson, D. (2019): IA et emploi en santé: quoi de neuf docteur? Rapport de l'Institut Montaigne.

c) Intensification du travail et épuisement cognitif en cas d'une mauvaise gestion du temps «libéré» par la machine

L'IA ne présente pas que des avantages, elle peut aussi engendrer des risques par une intensification du travail. Si les gains réalisés grâce à l'IA (vitesse de traitement des données) se traduisent par une augmentation dans les mêmes proportions du temps consacré à des tâches cognitives complexes, cette situation laissera peu de temps au médecin pour que son cerveau «respire». Si le temps «libéré» est uniquement alloué à ce type de tâches, il peut exister un risque qualifié par les neuroscientifiques d'«épuisement cognitif professionnel» pour les professionnels de santé. Ce risque peut s'avérer d'autant plus important pour les plus jeunes et les moins expérimentés. Au-delà de la fatigue cognitive, d'autres risques, mais spécifiques à certaines professions médicales, peuvent aussi émerger, notamment dans le domaine de l'imagerie médicale en radiologie. L'IA peut notamment accroître, la fatigue visuelle chez les radiologues au fur et à mesure que cette profession devienne plus riche en données et que leurs activités dépendent moins de l'inférence et plus de la détection des pathologies⁵¹.

d) L'IA aura des effets différents selon les spécialités médicales

Les professionnels de l'imagerie médicale sont particulièrement concernés par la généralisation prévisible de la lecture automatisée des images. Si l'IA permet d'automatiser une partie de la radiologie conventionnelle, pour un domaine et des situations cliniques spécifiques, cela réduira l'activité du radiologue, malgré la croissance des besoins due au vieillissement de la population et à l'omniprésence des maladies chroniques. Cette étape automatisée pourrait être réalisée par des manipulateurs radio formés à l'élaboration de diagnostics. Les radiologues, dans un tel scénario, réserveraient leur temps à l'interprétation des cas complexes. En revanche, dans le domaine de l'imagerie interventionnelle, les besoins de leur expertise pourraient augmenter dans presque toutes les spécialités médicales. La profession de radiologue pourrait évoluer vers une spécialisation accrue en radiologie interventionnelle à des fins diagnostiques (ponctions, biopsies, etc.) pour des cas complexes ou à des fins thérapeutiques guidées par l'imagerie médicale.

En cardiologie, on assiste au développement de nouveaux services d'interprétation d'électrocardiogrammes (ECG) qui ne reposent plus seulement sur l'expertise des cardiologues mais sur des logiciels, à l'instar par exemple de *Cardiologs*⁵². Le logiciel, est capable de détecter des anomalies cardiaques rares ou silencieuses comme la fuite mitrale ou les arythmies cardiaques qu'un spécialiste a parfois du mal à détecter. Cela peut apporter au médecin, quelle que soit sa spécialité, un gain dans la qualité du diagnostic. Un tel service peut transformer la pratique de l'ECG en rendant son utilisation plus fréquente pour davantage de spécialités médicales (urgentistes, généralistes, gériatres, etc.) mais peut-être aussi en l'ouvrant à des non-médecins (infirmières, pompiers, etc.). Elle devrait permettre de libérer du temps au cardiologue, ne serait-ce que par sa capacité à gérer des cas simples qui pourraient être traités en amont, sans être adressés au médecin. Cela recentrerait l'activité du médecin sur les cas les plus complexes, sur la formation et lui permettre de bénéficier d'un apprentissage continu grâce à la capacité du logiciel à exploiter les connaissances cliniques et les pratiques médicales les plus récentes. L'IA pourrait là aussi accentuer la tendance à la surspécialisation des professions (coronographies, arithmologie, cardio-pédiatrie, etc.), facilitée par la numérisation croissante de certains dispositifs médicaux.

e) Evolution des pratiques de travail, amélioration de l'efficience organisationnelle, apparition du patient «augmenté»

La médecine personnalisée et le suivi de traitement personnalisé constituent l'un des domaines où l'IA peut aussi transformer les pratiques de travail des professionnels de santé, notamment au niveau de l'organisation du travail entre les différents professionnels qui interviennent dans les différentes étapes du parcours des soins du patient. Avec le virage ambulatoire opéré depuis plusieurs années

⁵¹ Jha S, Topol EJ (2016) Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *JAMA* 2016; 316: 2353-54.

⁵² <https://www.mindhealth.fr/parcours-de-soins/comment-cardiologs-deploie-son-ia-en-cardiologie/>.

dans de nombreux pays et la nécessité d'améliorer la surveillance du patient à distance, l'intelligence artificielle pourrait prendre en charge tout ou partie des tâches dédiées par exemple à la préparation aux interventions opératoires, réduisant ainsi ce temps (monter le dossier administratif et médical, désamorcer les inquiétudes du patient...).

Il existe déjà des services connectés à distance qui fonctionnent à partir d'un moteur d'algorithmes qui crée des questionnaires basés sur un protocole standardisé fixé par le médecin (poser telles questions, déclencher des alertes, rester en contact à distance avec le médecin pendant X temps et x fréquence...) —ce dernier peut ainsi savoir si la douleur ressentie par le patient est située à tel ou tel niveau de scoring, permettant aujourd'hui d'éviter les fausses alertes et d'améliorer les flux intra hospitaliers au niveau des urgences. Ce service connecté à distance permet ainsi de dégager du temps aux médecins et aux infirmières pour apporter une meilleure efficacité organisationnelle. Dans le prolongement de ce dispositif digitalisé, l'incorporation de fonctions IA pourra enrichir par lui-même le protocole en actualisant les guidelines les plus performants via le traitement de données massives issues de la communauté scientifique médicale tout en croisant des données patients. Un tel système viendrait assister le médecin dans la mise en place des protocoles pour améliorer la sécurisation des parcours de soins à distance⁵³.

Ainsi, un tel système amélioré de surveillance à distance permettrait à l'équipe médicale —du médecin à l'équipe soignante (infirmiers et aides-soignants)— qui interviennent dans le parcours de soins du patient d'apporter des réponses personnalisées étant donnée l'environnement spécifique de chaque patient. Sur le volet préparation, l'IA pourrait aussi prendre en charge le traitement des données des dossiers patients et proposer aussi des propositions de prise en charge aux équipes médicales (infirmiers, médecins ...) au moment de son entrée à l'hôpital. L'IA pourrait ainsi contribuer à une meilleure intégration entre les différents services et métiers intervenant dans le parcours des soins. Un tel système conduirait à terme à transformer le métier d'infirmiers, non pas dans sa fonction de production de soins concrets mais dans ses modalités d'intervention.

L'organisation du travail entre professionnel de santé s'en trouverait aussi transformer au travers d'une meilleure coordination des actions de chaque praticien intervenant pour un patient donné. L'amélioration des processus organisationnel pourrait aussi permettre le gaspillage en matière de santé. D'après l'OCDE, ce gaspillage est estimé à 20% en moyenne et provient de défauts dans l'exécution des prises en charges, de défauts dans la coordination des soins et de coûts administratifs inutiles notamment⁵⁴.

f) Les métiers liés aux fonctions supports sont directement menacés par l'IA

Enfin, les outils d'IA peuvent faire gagner du temps aux équipes techniques et administratives notamment par l'optimisation du codage de l'activité de l'hôpital (sur la planification des examens, triage et priorisation de prise en charge des patients...) permettant de mieux anticiper les flux de patients et d'améliorer la planification des activités de l'hôpital. La mobilisation des outils d'IA permettrait d'alléger les tâches bureaucratiques qui pèsent aussi sur le personnel soignant pour libérer du temps médical et soignant. En retour, cela peut faire gagner du temps et contribuer à faire baisser la pression et l'intensification du travail du personnel soignant dont les conditions de travail sont souvent très difficiles et éprouvantes en raison de contraintes multiples qui pèsent sur de nombreux hôpitaux (insuffisance d'effectifs, charge de travail intense, gestion difficile des urgences...).

L'utilisation de solutions d'IA visant à optimiser les processus de gestion des tâches administratives ou logistiques peuvent en revanche avoir des effets assez lourds pour le personnel non médical. D'après les estimations du professeur David Gruson, spécialiste des politiques publiques en santé, au moins 15% des emplois liés aux fonctions supports (accueil, gestion des flux de transport sanitaire, de patients, de personnel ou d'équipements...) serait directement menacé⁵⁵. Et ce chiffre a de forte chance de progresser dans le temps au fur et à mesure que l'IA améliorera en continue les processus organisationnels.

⁵³ S. Benhamou et L. Janin (2018): op-cit.

⁵⁴ OCDE (2017): *Tackling Wasteful Spending on Health, Rapport*.

⁵⁵ Gruson, D. (2019): op-cit.

g) Amélioration des conditions de travail dans les métiers du soin

La prise en charge et le suivi de patient âgés souffrant d'une ou plusieurs pathologies chronique, en particulier d'Alzheimer, est une tâche extrêmement lourde pour le personnel soignant et peu valorisée. Les patients atteints de cette maladie présentent souvent des troubles psycho-comportementaux (anxiété, agressivité, insomnie, déambulation, délires, apathie...), parfois accentués lors des hospitalisations. Ils ont également des difficultés pour communiquer et exprimer leurs ressentis, ce qui est source d'isolement social et peut aggraver les angoisses et l'anxiété de ces personnes. La gestion de ces troubles du comportement conduit le personnel soignant à y consacrer beaucoup de temps et rend leurs conditions de travail particulièrement difficiles (stress, sentiment d'inefficacité professionnelle, épuisement professionnel, etc.)⁵⁶. Ces situations difficiles participent aussi au découragement d'une partie des équipes soignantes, même parmi les plus expérimentées.

Un tel contexte est source d'inefficacité organisationnelle au sein des équipes et peuvent générer des coûts inutiles dans la prescription de médicaments (psychotropes, antalgiques à forte doses...), voire engendrer des risques pour la santé du patient. D'après une étude conduite par une équipe de chercheur dans un hôpital, 100% des soignants interrogés du secteur gériatrie ont admis ne pas avoir de méthodes de gestion efficaces des soins difficiles occasionnant chez eux un sentiment d'inefficacité professionnelle⁵⁷. Dans ce contexte, cette équipe a développé une intervention à médiation robotique, avec l'introduction du robot Paro pour faciliter les soins courants pour des personnes hospitalisées souffrant de troubles cognitifs. Ce robot est doté d'une intelligence artificielle via de nombreux capteurs et de micros qui lui permet d'interagir avec ceux qui le manipulent et de répondre aux sollicitations et aux besoins des personnes âgées. Les résultats de cette étude montrent que l'introduction de Paro a permis de réduire l'anxiété, le sentiment d'isolement, les épisodes dépressifs et a permis de baisser les traitements médicamenteux. Plusieurs revues de littérature internationale confirment ces effets positifs sur le bien-être des patients et sur les conditions de travail du personnel soignant en facilitant les soins et montrent également un niveau satisfaisant d'acceptabilité de ces robots⁵⁸.

B. L'impact de l'IA dans le secteur des transports

L'innovation majeure apportée par le développement de l'IA dans le domaine des transports sera sans aucun doute le véhicule autonome, même si le calendrier de son déploiement reste incertain. Tout dépend bien sûr du degré d'autonomie dont on parle, l'automatisation de la conduite étant divisée en six niveaux selon la classification internationale de la SAE (Society of Automotive Engineers). Cette classification définit ce que les conducteurs humains et/ou les systèmes autonomes peuvent et ne peuvent pas faire. Elle va du niveau 0 qui correspond à l'absence d'automatisation (toute la conduite est effectuée par le conducteur) jusqu'au niveau 5 qui correspond à la conduite totalement autonome du véhicule dans n'importe quelle situation (trafic urbain dense, routes de campagne, routes sinueuses, etc....). Il peut donc se passer complètement d'un conducteur humain. Le niveau 5 n'a encore été annoncé par aucun constructeur, même si des expériences de circulation sur route ouverte sans conducteur sont menées depuis 2017 et notamment par deux des principaux constructeurs de véhicules autonomes, Waymo, la filiale de Google, et la société française Navya. Mais selon John Krafcik, patron de Waymo, la division dédiée aux voitures autonomes chez Alphabet (la maison mère de Google), il faudra des décennies avant que le niveau 5 soit atteint. Les véhicules autonomes pourraient encore avoir besoin d'un conducteur⁵⁹.

La maturité technologique des différents niveaux et leur diffusion ultérieure seront donc déterminantes dans la transformation du secteur des transports et donc sur les transformations du travail et le niveau

⁵⁶ Demange M, Pino M, Kerhervé H, Rigaud AS, Cantegreil-Kallen I. Management of acute pain in dementia: a feasibility study of a robot-assisted intervention. *J Pain Res.* 2019 Jun 7;12:1833-1846. doi: 10.2147/JPR.S179640. PMID: 31289446; PMCID: PMC6565935.

⁵⁷ Demange M, Pino M, Kerhervé H, Rigaud AS, Cantegreil-Kallen I: op-cit.

⁵⁸ Se reporter par exemple Shishehgar M., Kerr D. et Blake J. (2017), «The effectiveness of various robotic technologies in assisting older adults», *Health Informatics Journal*.

⁵⁹ <https://www.cnet.com/news/alphabet-google-waymo-ceo-john-krafcik-autonomous-cars-wont-ever-be-able-to-drive-in-all-conditions/>.

d'emploi dans ce secteur. D'ici 5 ou 10 ans, le degré d'autonomie des véhicules pourrait atteindre le niveau 4, qui correspond à une autonomie totale mais dans des contextes très spécifiques et où l'environnement est parfaitement simplifié et balisé (déplacement et stationnement dans un parking, conduite sur autoroute). La discussion ici se limite donc aux impacts de la diffusion du véhicule autonome de niveau 4 à un horizon de 10 ans. Cette section ne considère que les impacts que l'intelligence artificielle peut avoir sur le transport routier et ferroviaire, qui seront les segments les plus touchés par le développement des véhicules autonomes, la principale innovation liée au développement de l'IA dans le secteur.

1. Champs d'application de l'IA dans le secteur

a) L'avènement du camion autonome

Le transport routier se prête tout particulièrement à l'automatisation complète et ce pour plusieurs raisons d'après le forum international des transports (FIT)⁶⁰: Les camions sans conducteur réduiraient grandement les coûts de main-d'œuvre, qui représentent actuellement entre 25% et 45% des coûts supportés par les transporteurs routiers. en Europe et en Amérique du Nord. Par ailleurs, dans les pays développés, les opérations de fret lourd sur longues distances ont généralement lieu sur autoroute, où l'automatisation est plus simple à mettre en œuvre que dans les conditions très complexes de la circulation urbaine. Les camions sans conducteur présentent aussi d'autres avantages comme l'optimisation de l'utilisation des ressources (économie de carburant grâce aux camions en pelotons roulant très près les uns derrière les autres, plus de besoin de respecter les temps de repos obligatoires pour les chauffeurs...). Il y a d'autres avantages comme une meilleure gestion et une plus grande flexibilité du parc de véhicules tout en évitant les heures de pointe. En outre, le secteur est soumis à une forte concurrence internationale, ce qui constitue un facteur supplémentaire de pénétration des innovations. Enfin, les camions sans conducteur permettraient aussi au secteur de remédier à la pénurie de chauffeurs professionnels à laquelle il se trouve actuellement confronté.

L'adoption et l'exploitation généralisées des véhicules autonomes de transport routier de marchandises nécessitera toutefois l'établissement de standards communs au sein du secteur. La réglementation sera ainsi déterminante à cet égard puisque c'est en fonction du cadre réglementaire en place que le secteur tirera plus ou moins parti des avantages de l'automatisation du fret routier.

Enfin, l'incertitude demeure aussi quant au niveau d'automatisation qu'il est possible d'atteindre dans le fret routier. Plus de la moitié des experts qui ont participé à l'enquête du FIT tablent sur une généralisation des convois routiers à l'horizon 2030 et des véhicules autonomes à l'horizon 2050. Plusieurs expérimentations de camions en pelotons connectés par un système numérique ont déjà eu lieu et des véhicules autonomes sont même déjà exploités à l'intérieur de zones bien délimitées et très contrôlées, par exemple des ports et des sites miniers. Des questions restent en suspens s'agissant de savoir quel sera en définitive l'ampleur du déploiement des deux solutions. À ce jour, aucun cas d'exploitation commerciale de camions entièrement autonomes n'a été recensé, même sur autoroute, alors que des essais ont pourtant eu lieu, avec un conducteur à bord⁶¹.

b) La maintenance prédictive à l'optimisation des flux

Outre le véhicule autonome, les applications de l'IA dans le secteur concernent principalement le développement de la maintenance prédictive des équipements, la logistique et l'optimisation des flux. L'utilisation de capteurs industriels est déjà très répandue pour mesurer les points d'usure des machines et équiper les points de contrôle de la chaîne de production. La réduction du coût de ces capteurs permet de collecter de grandes quantités de données. L'intelligence artificielle peut traiter ces données à une échelle supérieure à celle du traitement humain, ce qui permet d'ajouter davantage de points de contrôle et d'affiner les diagnostics résultant de l'analyse de ces données. Cela étant, les entreprises peuvent

⁶⁰ FIT (2019): Perspectives des transports, publication OCDE 2019.

⁶¹ Davies, A. (2017). *Self-Driving Trucks Are Now Delivering Refrigerators*. Wired.

disposer d'outils de diagnostic intelligents qui facilitent les opérations de maintenance et développent des indicateurs avant l'apparition d'anomalies, ce qui ouvre la voie à une maintenance prédictive plutôt que préventive. Les opérations de maintenance et de contrôle ne sont effectuées qu'en cas de besoin, avant l'apparition d'une anomalie susceptible de bloquer une chaîne de production, ou avant l'usure d'un équipement. La maintenance prédictive présente un intérêt majeur pour tous les exploitants de réseaux (ferroviaires et routiers) et de véhicules (avions, trains, poids lourds, etc.), car elle permet d'optimiser les opérations, de limiter les immobilisations pour cause de maintenance et de réduire les coûts d'entretien. Les services de maintenance peuvent également être en mesure d'anticiper, voire d'éviter les pics d'activité.

L'intelligence artificielle permettrait également d'optimiser la logistique en cas de crise. Cette application, initialement conçue pour le trafic ferroviaire, peut également être utilisée sur la route. Lorsqu'un incident survient, l'exploitation des trains de grandes lignes et des métros peut être fortement perturbée. Lorsque la maintenance préventive n'a pu éviter une crise, sa résolution peut encore être accélérée par l'intelligence artificielle. Aujourd'hui, les réponses aux scénarios de crise sont standardisées, le traitement de l'information et la coordination des actions nécessaires étant les deux principales pierres d'achoppement: deux obstacles que l'IA peut contribuer à lever. Par exemple, en cas de panne sur une ligne de métro: elle pourra prendre en compte le nombre de passagers, qui détermine la vitesse optimale pour désengorger la ligne, la disponibilité des trains de remplacement et la main-d'œuvre nécessaire à leur mise en service, les itinéraires alternatifs disponibles, etc. Une telle optimisation de la logistique et des flux n'est possible que si l'IA dispose de données en temps réel sur un large éventail de paramètres, avec tous les risques de blocage que la diversité des acteurs impliqués peut générer⁶².

Il semble possible que les applications décrites ci-dessus atteignent un niveau de maturité technologique permettant leur déploiement dans les cinq à dix prochaines années. Cependant, cette maturité doit également pouvoir répondre à différents paramètres influençant la diffusion de l'intelligence artificielle: notamment la disponibilité de données massives pour l'exploitation à grande échelle de véhicules autonomes, et le respect de la vie privée des particuliers avec le développement des véhicules connectés.

Dans tout déploiement futur de l'intelligence artificielle dans les transports, les questions de collecte et d'exploitation des données se poseront essentiellement entre entreprises, et par conséquent ne concerneront pas la question du respect de la vie privée mais plutôt celle du partage de la valeur. Pour une utilisation optimale des possibilités de l'IA, les données sur la navigation et la maintenance des véhicules et sur les infrastructures devront être partagées entre plusieurs types d'acteurs dont, notamment, les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires et routières et les exploitants de véhicules. Les conditions économiques et techniques en matière d'harmonisation, de qualité, d'interopérabilité, de temps réel, etc. devront donc être clairement définies.

2. Les impacts sur l'emploi, les métiers et les compétences

Les impacts de l'IA sur les métiers du transport dépendront des perspectives de déploiement des véhicules autonomes, elles-mêmes variables selon les activités de transport. En ce qui concerne le transport routier de marchandises, le développement des véhicules autonomes pourrait entraîner de nombreuses transformations dans le domaine de la conduite mais aussi en termes de volume d'emplois.

a) Baisse du nombre de chauffeur routier et évolution de leur métier

Comme nous l'avons précédemment cité, plusieurs facteurs inciteraient le déploiement des camions autonomes. L'avènement des véhicules autonomes de niveau 4 permettrait une conduite automatisée en convois sur les autoroutes, qui constitue un environnement particulièrement adapté à ce type de véhicule. De plus, sur les grands axes où circulent de nombreux camions, la formation de convois permettrait de réduire les coûts de carburant tout en augmentant la sécurité grâce à l'interconnexion des véhicules. Cette circulation automatisée en convois permettrait dans un premier temps d'augmenter les temps

⁶² S. Benhamou et L. Janin (2018): op-cit.

de conduite des camions en modifiant la réglementation sur les temps de repos des conducteurs qui ne seraient plus en situation de conduite tout au long du trajet. A terme, la présence d'un conducteur pourrait même être requise uniquement en tête de convoi. En revanche, une présence humaine serait toujours nécessaire pour prendre en charge les tâches qui ne sont pas encore automatisées (par exemple, le ravitaillement en carburant).

Des chauffeurs locaux pourraient être utilisés pour conduire les camions sur l'autoroute ou fournir des services locaux. Un nouveau système logistique pour le transport des camions pourrait alors être mis en place, comme c'est déjà le cas pour le transport par ferroviaire. Les camions seraient conduits par des chauffeurs jusqu'à une zone d'interface à l'entrée des autoroutes avant de rejoindre un convoi autonome, puis récupérés à la sortie pour être livrés au point final. Ainsi, la réduction du besoin de chauffeurs longue distance s'accompagnerait d'une augmentation de la demande de chauffeurs locaux, qui bénéficieraient de meilleures conditions de travail (trajets plus courts dans une zone géographique restreinte). Si le nombre d'emplois de chauffeurs routiers était menacé à terme, des emplois de contrôleurs pourraient être créés pour superviser à distance les flottes de véhicules.

b) Le conducteur deviendra un pilote de la supervision

De manière générale, les métiers de la conduite des transporteurs pourraient se transformer en profondeur. Avec l'IA, le métier de conducteur de véhicule, pourrait évoluer vers un métier de pilote de la supervision. Son activité de conduite diminuant, on pourrait s'attendre à diversification de ses tâches comme la vérification du bon fonctionnement des systèmes automatisés, l'analyse des données fournis par des logiciels à base d'IA pour prendre les bonnes décisions de pilotage du véhicule, superviser le déclenchement du chargement et du déchargement de son véhicule au niveau des plateformes d'entrepôts qui seront aussi de plus en plus équipés de système automatisés. Enfin, on peut imaginer que le conducteur remplisse également un rôle commercial pour analyser de nouvelles opportunités de croissance dans son secteur.

Ses transformations, anticipées notamment par les fédérations professionnelles du transport et de la logistique, à l'instar de l'AFT (l'Association for the Development of Vocational Training in Transport and Logistics in France)⁶³, supposeront de nouvelles compétences dans les métiers de la conduite: Le conducteur devra posséder non seulement des compétences digitales importantes pour utiliser des dispositifs connectés mais aussi des compétences analytiques pour comprendre les informations que les logiciels lui fourniront pour qu'il puisse s'adapter aux différentes situations. Comprendre le fonctionnement des logiciels à base d'IA, savoir contextualiser les données que vont lui délivrer ces logiciels, savoir analyser les alertes du véhicule et les failles du système afin d'assurer la sécurité de l'environnement dans lequel roulera le véhicule, ce sont autant de nouvelles compétences requises pour les métiers futurs de la conduite.

c) Création de nouveaux emplois grâce à l'émergence de nouveaux services de transport public

Le transport des particuliers se fait majoritairement par des véhicules personnels. Il est peu probable que les véhicules autonomes aient un impact majeur sur ce segment, l'avènement de la conduite automatique de niveau 5 étant encore très difficile à prévoir. Cependant, le niveau 4 devrait déjà permettre le développement de nouveaux services de transport public qui pourraient remplacer un pourcentage des trajets individuels. Les premières expériences en cours portent sur des services de navettes parcourant des itinéraires dans des zones délimitées. Navya, leader mondial dans ce domaine, a déjà déployé plus de 50 véhicules à travers le monde sur des trajets de courte distance (jusqu'à deux kilomètres). On peut donc imaginer que dans les années à venir, les navettes autonomes seront de plus en plus nombreuses à assurer de nouveaux services de transport public —sur des trajets locaux, avec moins de passagers potentiels et non couverts par les services actuels, comme par exemple les services de nuit.

⁶³ https://www.aft-dev.com/sites/default/files/download/Article_evolution_metiers_DEP_o.pdf.

Ces navettes autonomes partagées assurant des services de proximité pourraient compléter l'offre de transport public existante, en concurrence avec les transports publics de masse et le transport de particuliers en taxi ou en voiture avec chauffeur, auquel cas il pourrait bien y avoir un impact sur les emplois de conducteurs dans ces domaines. Toutefois, tant que les véhicules autonomes de niveau 5 ne sont pas encore à l'étude, les taxis et les voitures avec chauffeur resteront le principal moyen de transport pour les déplacements de porte à porte.

En outre, les capacités de circulation des véhicules autonomes qui prendront la route ne pourront pas rivaliser avec les moyens de transport public classiques sur les trajets les plus fréquentés: cela entraînerait une surcharge inacceptable des autoroutes. Ces évolutions s'accompagneront également de la création d'emplois pour la supervision des flottes, ainsi que de postes de relation client chargés de l'accueil et de la sécurité des passagers.

d) Evolution des métiers et des compétences du personnel de maintenance

De nouvelles organisations du travail pour le personnel de maintenance pourraient également voir le jour. Les outils de maintenance intelligente qui feront partie de l'équipement standard des nouveaux véhicules et des infrastructures pourront également être installés sur les véhicules existants. Les personnes chargées de l'entretien et de la maintenance seront donc confrontées à un besoin de nouvelles compétences et d'un nouveau cadre de travail quotidien, tant en ce qui concerne les tâches à accomplir que les outils disponibles.

Les outils intelligents fourniront une aide, voire des «instructions», tant pour le diagnostic que pour l'exécution des tâches de maintenance. Il est difficile de contredire une machine sur les origines d'une panne, surtout si elle ne s'est pas encore produite, comme ce sera le cas avec la maintenance prédictive. L'intelligence artificielle ne se contentera pas d'indiquer le composant à réparer, elle indiquera également la manière dont la réparation doit être effectuée. Pour emprunter une image au secteur médical, elle fournira à la fois le diagnostic et le traitement, d'où le risque que le personnel perde toute vision globale du fonctionnement d'un véhicule et des opérations de maintenance à effectuer.

Cela pourrait conduire à une déqualification des travaux de maintenance, l'homme étant responsable de leur exécution sans nécessairement en avoir une compréhension profonde. A l'heure actuelle, un tel risque semble limité par une volonté générale de préserver l'autonomie des employés en ce qui concerne la maintenance globale d'un véhicule et de ne pas privilégier la spécialisation sur des tâches spécifiques qui pourront être automatisées ultérieurement. La montée en compétences est donc essentielle pour maintenir cette approche globale, malgré la complexité croissante des véhicules et la diffusion de nouveaux outils intelligents prescriptifs.

Enfin, le rythme de travail dans un centre de maintenance est susceptible d'être affecté par la maintenance prédictive, qui pourrait permettre de mieux prévoir les charges de travail ainsi que de limiter les pics d'activité.

C. L'impact de l'IA dans le secteur bancaire

Le secteur bancaire a été un pionnier dans l'adoption d'outils informatiques pour la gestion des bases de données clients et la mise en place de réseaux pour la banque en ligne. Le secteur bancaire a également été l'un des premiers à mettre en œuvre des «systèmes experts», des programmes informatiques conçus pour traiter des transactions techniques.

1. Champs d'application de l'IA dans le secteur

En fait, les solutions d'IA employées dans le secteur bancaire couvrent une grande variété de fonctions et de technologies, qui peuvent être divisées en cinq catégories: les applications orientées vers la relation client, les opérations de back-office, l'analyse de contrats, les applications de trading et de gestion de

patrimoine, et les applications orientées la supervision et la réglementation des services financiers⁶⁴. Ainsi, la forte présence de données structurées et le caractère dématérialisé de la grande majorité des transactions nationales et internationales font du secteur bancaire un terrain fertile pour le développement de solutions d'intelligence artificielle.

En matière de relation client, les applications d'intelligence artificielle les plus développées se situent dans le domaine de la notation du risque de crédit. Les banques ont historiquement développé une capacité à analyser le risque associé à tout demandeur de prêt à l'aide de modèles statistiques. Ces modèles sont désormais enrichis par des sources de données supplémentaires qui peuvent nécessiter un traitement par intelligence artificielle.

Mais le principal champ d'application et celui qui présente le plus fort potentiel de transformation du travail dans le secteur bancaire est celui des assistants conversationnels ou chatbots⁶⁵. Un certain nombre d'opérations de «back office» peuvent être liées aux activités financières des banques, notamment la modélisation des risques et l'optimisation de l'utilisation du capital. Quant aux applications dans le domaine de la gestion de patrimoine, elles se concentrent progressivement sur l'analyse des signaux faibles qui peuvent fournir des informations utiles pour les investissements.

Enfin, dans le domaine réglementaire, les applications de l'IA sont liées à la détection des transactions irrégulières et peuvent également être utilisées pour optimiser les mécanismes de connaissance du client, par exemple en utilisant la reconnaissance d'image pour extraire automatiquement des informations utiles de l'image scannée d'un document d'identité.

2. Impact sur l'emploi, les métiers et les compétences

a) L'évolution du métier de conseiller

Les changements induits par l'IA pourraient transformer en profondeur le métier de conseiller bancaire. Dans son étude pour l'Observatoire des métiers de la banque⁶⁶, met en avant comme activités les plus impactées celles liées à la conformité aux évolutions réglementaires, juridiques et fiscales propres au secteur bancaire. Ces activités seront améliorées grâce à un suivi plus pertinent et des outils de recommandation plus avancés et personnalisés, comme celui proposé par le moteur de recherche juridique Doctrine.fr, qui permettra un accès «à la demande» à ces informations. La construction de profils clients à l'aide d'outils d'IA permettra également aux conseillers de traiter plus rapidement les demandes de crédit, ou d'identifier plus efficacement les risques financiers tels que la fraude fiscale ou le blanchiment d'argent.

Indépendamment du développement de l'IA, l'annonce de son avènement conjuguée aux nouvelles attentes des consommateurs poussent les banques à transformer leurs activités pour se réorienter autour d'un service disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Elles entendent répondre à la double promesse d'instantanéité et de qualité de service en combinant un service basé sur l'IA pour la phase de tri des demandes et de gestion des questions les plus fréquentes avec un service humain à distance, disponible à tout moment. Une forme de service low-cost pourrait également émerger où le consommateur n'aurait accès qu'à une aide automatisée, quitte à payer un supplément pour interagir avec un humain. Les agents principalement affectés au fonctionnement de la plateforme ou à la résolution des problèmes techniques rencontrés lors de son utilisation pourraient progressivement constater un double effet sur leur métier: une réduction du nombre d'employés dédiés et une augmentation de la complexité des tâches restant à traiter.

⁶⁴ Federal Financial Supervisory Authority Report (2018): *Big Data meets Artificial Intelligence, Challenges and implications for the supervision and regulation of financial services*, BaFin, 2018.

⁶⁵ K.Satheesh Kumar, S.Tamilselvan, B.Ibrahim Sha, S.Harish (2018): "Artificial Intelligence Powered Banking Chatbot", International Journal of Engineering Science and Computing. Vol 8, Issue N°3.

⁶⁶ Athling (2017). L'IA dans la banque: emploi et compétences, Observatoire des métiers de la banque, décembre.

L'efficacité croissante de l'IA pour répondre aux questions liées à la plateforme bancaire en ligne, qui est déjà le moyen d'interaction prioritaire entre les clients et leur banque, permettra en effet de libérer du temps et de faciliter le travail de ces agents en filtrant le nombre de demandes. La banque pourrait alors choisir de former ces agents du service client pour répondre à des demandes qui relèvent traditionnellement du conseiller bancaire. Cette évolution correspond aux attentes du client, qui voit de plus en plus son conseiller non pas comme celui qui partage la responsabilité de la gestion de son portefeuille, mais comme un assistant qui doit l'aider à s'orienter, en se rendant disponible pour débloquer une situation.

Ce domaine voit également l'émergence de nouveaux acteurs qui disposent de l'une des ressources clés pour mettre en place un système basé sur l'IA. Les groupes de services intégrés spécialisés dans la relation client, qui ont accès à des quantités considérables de données dans le cadre d'opérations de service client pour le compte d'entreprises tierces, seront amenés à mettre en place une offre de remplacement gérée uniquement par un robot —le «bot-shoring»— qui pourrait réduire drastiquement leurs coûts.

La mise à disposition de technologies d'IA permettant de faciliter le travail du conseiller bancaire et de réduire le volume de connaissances nécessaires en les rendant plus disponibles peut également inciter les conseillers bancaires à évoluer vers une plus grande connaissance du client. Les conseillers pourraient alors prendre plus de responsabilités dans la gestion de leurs clients, en passant plus de temps à recommander des investissements ou des sources de financement. Dans ce scénario, les compétences sociales et décisionnelles seront renforcées, et les agences bancaires pourront être incitées à mettre l'accent sur la formation au dialogue ou à la négociation.

En fonction des choix des entreprises du secteur, l'intelligence artificielle pourra contribuer à optimiser le service et à poursuivre la tendance à la dématérialisation, ou renforcer l'importance du conseiller en lui donnant plus d'autonomie.

b) Transformation des métiers support

La transformation des fonctions support au sein du secteur bancaire s'inscrit dans la continuité des évolutions précédentes observées avec l'avènement du numérique. Avec l'intelligence artificielle, certaines tâches, y compris les plus répétitives, sont amenées à disparaître, notamment celles liées à la collecte de données, qui seront optimisées ou accélérées. De nouvelles modalités de travail vont émerger, où les acteurs devront apprendre à interagir avec le nouveau système basé sur l'IA pour le faire progresser.

En ce qui concerne les systèmes d'information, l'arrivée de méthodes issues de l'intelligence artificielle ne bouleversera pas l'organisation. Les avancées s'inscriront dans la continuité des processus mis en place avec le «RPA» ou Robotic Process Automation —des projets d'automatisation de l'informatique basés sur des algorithmes non apprenants, mis en place depuis les années 1990 et continuellement développés. Pour d'autres activités, comme les activités de conformité, les outils d'IA peuvent conduire à une valorisation des compétences transférables identifiées par exemple où les salariés de la banque font preuve de réactivité, d'adaptabilité, ainsi que de compétences bureautiques et informatiques⁶⁷. La mise en avant de ces compétences pourrait augmenter leur employabilité.

D. Quels enseignements peut-on tirer de nos analyses sectorielles?

Au total, cette analyse sectorielle à visée prospective, nous permet de dégager plusieurs enseignements importants. Elles montrent que les effets de l'IA seront multidimensionnels et extrêmement variés étant leurs spécificités (en termes de métiers, de compétences, des activités, de variété des tâches qui composent les métiers, du degré de complexité des tâches, selon les cas d'usage des dispositifs d'IA, etc.). Toutefois, il est possible de tirer plusieurs enseignements plus généraux dans d'autres secteurs d'activités où l'IA peut avoir des impacts transversaux de même nature.

⁶⁷ Lainé F. (2018), "Situations de travail, compétences transversales et mobilité entre les métiers", Document de travail n° 2018-03. France Stratégie, Paris.

1. L'impact de l'IA peut aller de la transformation, de la suppression jusqu'à la création de nouvelles tâches au sein même d'un métier

Tout d'abord, l'IA aura des impacts différents selon la nature des tâches et ses transformations iront au-delà des métiers et des compétences et englobera l'environnement de travail des individus. Par environnement, on entend à la fois l'organisation du travail, les conditions de travail, les pratiques managériales et les relations de travail.

En outre, selon le type de tâches, l'éventail des possibles peut aller de la transformation, de la suppression jusqu'à la création de nouvelles tâches au sein même d'un métier. Ces transformations peuvent concerner aussi bien des tâches «périphériques» à faible valeur ajoutée comme des tâches à forte valeur ajoutée qui composent le «cœur» de métier comme dans le cas de la conduite par un véhicule autonome.

A cet égard, on peut identifier trois catégories différentes de tâches avec des effets différents sur le travail: En premier lieu, l'exécution de tâches qu'il n'aurait pas été possible de réaliser sans une machine, en tout cas pas dans des conditions économiquement rentables ou supposant la mobilisation d'une main-d'œuvre qui n'était pas disponible. Il s'agit typiquement des activités de contrôle d'un dispositif de santé connecté enregistrant des données 24 h sur 24. Il n'y a pas dans ce cas de substitution avec du travail actuel: il s'agit de nouvelles tâches de supervision d'un dispositif automatique.

En second lieu, l'automatisation de tâches auparavant exécutées de façon manuelle. La conduite automatique sur autoroute dans le cas du transport routier de marchandise relève de cette catégorie ou dans le secteur bancaire où on retrouve un grand nombre de tâches peu compliquées et routinières comme les activités de contrôle et de traitement d'informations (vérification des documents, fraudes, respect de règles prédéfinies...) ou des tâches d'organisation et de priorisation. Ces tâches qui mobilisent des outils IA vont dans le sens d'une substitution avec des compétences mobilisées dans les fonctions supports de la banque de détail (programmation, gestion des dossiers clients, analyses de risques situationnels, score, systèmes experts, ...). Les outils IA peuvent dans ce cas induire une dévalorisation de certaines compétences spécifiques, dès lors que la machine parvient à exécuter la même tâche. L'expertise dans la détection de certaines pathologies en imagerie médicale pourrait relever de cette catégorie. De même, des compétences procédurales (planification, contrôle qualité, respect des normes juridiques ou réglementaires...) peuvent perdre en valeur, dès que le respect de la procédure est assuré par la machine.

En troisième lieu, il y aurait des tâches qui resteront effectuées par des humains, à tout le moins dans un avenir prévisible en raison des limites inhérentes à la technologie elle-même. Par exemple pour des situations pour lesquelles la technologie n'est pas mûre et ne semble pas prête de l'être en raison de la forte complexité de certaines activités comme la conduite autonome en toute condition de circulation ou la prise en charge médicale d'un patient.

Outre les effets sur les tâches, plus ou moins automatisables, l'IA va aussi générer de nouvelles tâches, voire des métiers entiers liés aux activités de conception, de production et déploiement des dispositifs à base d'IA. Les champs couverts s'étendent depuis la recherche et le développement, la production, le déploiement, la mise à jour, jusqu'au contrôle et à la maintenance. Ces nouvelles activités, peuvent concerner plusieurs types de métiers et de qualification (du chercheur à l'ouvrier au technicien). Certes, la recherche en matière d'IA requiert des personnes hautement qualifiées mais d'autres activités nécessaires au déploiement des dispositifs d'IA ne nécessitent pas le même niveau de compétence. Par exemple, la mise à jour du système d'apprentissage du logiciel et des procédés algorithmiques, la détection et la correction d'erreurs de classification par les dispositifs d'IA, la collecte et la numérisation des données. Ces activités ne constituent pas un volume très significatif d'emplois à l'échelle des secteurs analysés mais il s'agit de fonctions essentielles pour un déploiement réussi de dispositifs à base d'IA. Des cursus professionnels existent d'ores et déjà pour acquérir une formation certifiante dans le domaine de l'intelligence artificielle pour satisfaire une demande croissante de ces nouveaux métiers.

2. De nombreux avantages pour les travailleurs en matière d'apprentissage continu, d'organisation du travail et valorisation des compétences sociales et humaines

Nos exemples sectoriels ont montré que les dispositifs d'IA sont capables d'améliorer la performance opérationnelle en contribuant à une meilleure coordination entre les travailleurs, à une plus grande autonomie dans le travail et délégation des tâches et en contribuant à favoriser une dynamique d'apprentissage continue via la complémentarité humain-machine.

Ils ont aussi mis en évidence l'importance que peuvent prendre d'autres types de compétences, notamment sociales et humaines dans la valorisation du travail induit par l'IA. Dès lors que les outils d'IA facilitent la prise en charge de tâches simples ou compliquées, les compétences relationnelles et sociales, comme le sens du contact, la capacité à influencer, négocier et écouter seront pourrains de plus en plus valorisées, et en particulier pour des métiers traditionnellement peu rémunérés comme pour les aides-soignants, les travailleurs sociaux par exemple. Plus globalement, l'IA renforcera tous les métiers qui tirent leur «force» des interactions humaines et sociales.

Les outils IA génèrent également des besoins de compétence d'analyse des résultats fournis par la machine. Quand un dispositif automatique indique qu'il pense avoir détecté une tumeur par exemple, il reste une fonction de lecture critique de ce résultat. Il en est de même dans des programmes de maintenance prédictive, comme illustré dans les transports, où les problématiques liées à la sécurité humaine sont primordiales. Il deviendra essentiel pour l'humain d'être en capacité de suivre, de critiquer et de trouver des contre-arguments possibles pour s'assurer de la bonne prise de décision.

Il est donc important que le temps libéré par la machine puisse être consacré à l'analyse et à l'explicabilité des résultats fournis par la machine. Utiliser le temps libéré par la machine pour apprendre et améliorer ses compétences est certes important mais cela renvoie aussi à un autre enjeu lié à la responsabilité dans la prise de décision par les utilisateurs de solutions à base d'IA. Cet enjeu sera d'autant plus important dans le cadre des systèmes basés sur l'apprentissage profond (deep learning) qui se caractérisent par leur opacité, c'est-à-dire, par la difficulté de retracer le processus de décision et donc à comprendre leur fonctionnement. Ces réflexions se sont déjà posées avec les premiers systèmes d'IA, déployés dans les situations de travail (les systèmes experts) dans les années 80-90⁶⁸ et de manière plus générale, par tous les systèmes automatisés qui impliquent une interaction humain-machine⁶⁹.

Au-delà de nos exemples sectoriels, soulignons toutefois que les avantages en matière d'apprentissage et d'élévation des compétences dépendront aussi des logiques d'utilisation de l'IA qui découleront eux-mêmes de la stratégie économique adoptée par les organisations. Si elle est tournée vers l'amélioration de la qualité du travail comme levier de performance de l'organisation, on peut s'attendre à ce que ces effets positifs deviennent une réalité dans le travail quotidien des travailleurs. A l'inverse, si la stratégie est principalement orientée vers une rationalisation maximale des coûts pour répondre principalement à des impératifs économiques, l'IA, comme toute technologie, risque de limiter l'ampleur de la dynamique d'apprentissage. Seules des études de cas approfondies à partir de cas d'usage concrets au niveau sectoriel pourraient apporter des éléments de réponse à ces enjeux stratégiques, à travers une analyse approfondie sur les liens entre l'usage des outils d'IA, les attentes des organisations et leur «business model».

3. l'IA peut paradoxalement diminuer certaines capacités cognitives humaines et détériorer les conditions de travail

L'analyse sectorielle a permis aussi de mettre en évidence les effets contradictoires que l'IA peut engendrer sur les conditions de travail. Si l'IA peut débarrasser le travailleur des tâches fastidieuses et routinières pour se concentrer sur des tâches complexes à plus haute valeur ajoutée, cette situation peut paradoxalement

⁶⁸ G. de Terssac, Soubie J.-P et L. Neveu (1988): «Systèmes experts et transferts d'expertise», *Sociologie du travail* Année 1988 30-3 pp. 461-477.

⁶⁹ Parasuraman, R., et C. Wickens, (2008). Humans: Still Vital After All These Years of Automation. *Human factors. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 50(3):511-20.

générer une surcharge cognitive et mentale. Cette situation peut conduire un épuisement cognitif si le temps libéré par la machine se traduit par une hausse trop importante de tâches complexes. L'incapacité de maintenir une performance cognitive maximale suite à une activité mentale prolongée est un phénomène naturel qui se produit pour toutes sortes de tâches et peut concerner tous les métiers, quel que soit le secteur d'activité. Les conséquences de ce phénomène peut conduire à des erreurs de jugements, de perception, de mémorisation et à un ralentissement des réactions humaines pouvant ainsi conduire à de mauvaises prises de décision et à une baisse de la performance⁷⁰.

Ce risque potentiel doit conduire les organisations, lors de l'introduction de technologies à base d'IA, à définir une répartition des tâches et du travail la plus soutenable possible, et ce, afin de concilier un haut niveau de performance économique et de bonnes conditions de travail.

L'IA peut avoir aussi conduire à diminuer, voire à faire disparaître certaines compétences cognitives si ces dernières sont moins ou plus sollicitées. Ce risque renvoie à un phénomène plus ancien que l'IA avec le développement du GPS (Global Positioning System) qui, selon plusieurs études, favorise la dévalorisation du sens de l'orientation, de la connaissance d'une ville pour les conducteurs et à un forte dépendance en raison d'une baisse de la sollicitation de certaines zones du cerveau, notamment de l'hippocampe⁷¹. Le non-usage de l'hippocampe peut même mener à son atrophie chez les utilisateurs «dépendants», qui dans certains cas peut conduire au développement de maladies neurodégénératives comme l'Alzheimer⁷².

Ce type de risque soulève un enjeu lié non seulement à la manière d'utiliser les outils IA mais aussi à leur fréquence d'utilisation, qui soulève l'importance de définir des règles de gouvernance des algorithmes IA pour protéger les capacités cognitives humaines. La définition de ces règles, dans le cadre des interfaces humain-machine, permettrait notamment de décider quelles capacités cognitives humaines sont importantes et doivent être protégées en priorité, pour que les dispositifs avec l'IA soient conçus pour renforcer ces capacités tout en bénéficiant d'une efficacité et d'une productivité augmentées.

Le risque de fatigue mentale lié à un plus grand nombre de tâches complexes à traiter, mis en exergue dans nos analyses sectorielles, peut aussi conduire à un stress plus important au travail. Encore une fois, ce risque peut concerner tous les secteurs, au-delà de ceux analysés dans notre étude. Il existe encore peu d'études menées sur l'impact de l'IA sur le stress au travail lié à la réorganisation des tâches induit par l'IA. On peut toutefois citer l'enquête récente menée auprès de 10 000 travailleurs japonais qui a montré que si l'IA leur a permis de se concentrer sur des tâches plus complexes leur procurant une plus grande satisfaction, ces mêmes tâches ont aussi intensifié le stress dans la réalisation de leur travail et dégrader leurs conditions de travail⁷³.

4. Le cas des robots collaboratifs

Pour aller au-delà de nos frontières sectorielles, d'autres risques sur les conditions de travail existent dans le cas des interfaces humain-machine. Prenons l'exemple de l'introduction des robots dotés de solutions à base d'IA, (incluant les robots collaboratifs (les cobots) utilisés pour de nombreuses applications dans les secteurs, par exemple, de l'industrie et de la fabrication ou encore dans la logistique et la gestion des entrepôts. Ces robots intelligents regroupent tous les robots d'assistance au port de charges lourdes, les exosquelettes sur les chaînes de montage qui soutiennent les processus de production et assistent les opérateurs ou encore les robots mobiles roulant à l'intérieur des usines et des entrepôts. Il allie à la fois précision du geste et réduction des contraintes liées à la répétition des tâches et à la manutention

⁷⁰ Laurent ., F (2010): Détection de la fatigue mentale à partir de données électrophysiologiques. Neuro-sciences [q-bio.NC]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2010.

⁷¹ Se reporter par exemple à Javadi, AH., Emo, B., Howard, L. *et al* (2017): Hippocampal and prefrontal processing of network topology to simulate the future. *Nat Commun* 8, 14652 (2017).

⁷² Bohbot, V.D., Lerch, J., Thorndyraft, B., Iaria, G. et Zijdenbos, A. (2007) Gray matter differences correlate with spontaneous strategies in a human virtual navigation task. *Journal of Neuroscience* 27, 10078-10083. Bohbot, V.D., Iaria, G., Petrides, M. (2004) Hippocampal function and spatial memory: Evidence from functional neuroimaging in healthy participants and performance of patients with medial temporal lobe resections. *Neuropsychology* 18(3):418-425.

⁷³ Yamamoto, I. (2019), "The impact of AI and information technologies on worker stress", *VoxEU*.

de charges lourdes. Il représente, par ailleurs, une opportunité d'assistance pour les salariés diminués ou vieillissants. La robotique collaborative peut ainsi participer à l'amélioration des conditions de travail en visant la réduction des TMS (troubles musculo-squelettiques) et en améliorant l'ergonomie du lieu de travail⁷⁴. Les robots intelligents peuvent en effet travailler aux côtés des opérateurs pour réduire les conséquences négatives sur la santé liées aux efforts physiques, aux mouvements répétitifs et aux postures contraignantes, considérés comme des facteurs de risque pour les blessures musculo-squelettiques.

Toutefois, ces robots intelligents peuvent aussi engendrer de nombreux risques⁷⁵. Tout d'abord, des risques psychosociaux si les personnes sont amenées à travailler au rythme du robot, ainsi que des risques physiques dus à des collisions potentielles entre les robots et les opérateurs⁷⁶. Si l'étroite collaboration facilitée par les cobots peut aussi améliorer les performances dans certains contextes, une plus grande autonomie accordée à ces robots pourrait aussi diminuer les marges d'autonomie des opérateurs.

Ces robots collaboratifs posent également la question de la responsabilité entre les différents acteurs économiques (constructeur, intégrateur, utilisateur et robot lui-même) en cas d'accident de travail. Ils soulèvent aussi un enjeu éthique lié au respect de la vie privée, dans la mesure où ces robots intelligents sont munis de nombreux capteurs qui emmagasinent les informations issues de leur environnement de travail et stockent des données qui peuvent relever de l'intime. C'est le cas par exemple de l'utilisation de caméras, jugées nécessaires pour l'évolution du robot dans une chambre d'hôpital mais qui deviennent intrusives dans le quotidien du patient⁷⁷. Tous ces risques sont aussi importants à prendre en compte dans les organisations pour assurer la sécurité, la confiance, l'acceptabilité sociale des robots et le bien-être au travail.

5. L'IA peut paradoxalement renforcer des tâches hautement répétitives dans certaines situations de travail

On peut également souligner le risque d'aliénation et de déshumanisation du travail si l'IA laisse aux travailleurs des tâches très répétitives et routinières mais trop coûteuses pour être automatisées. Un des secteurs que l'on peut citer est celui de la logistique dans les entrepôts où l'automatisation croissante des activités dans les systèmes de tri automatique ont conduit à réorganiser le métier de «picking manuel» en deux métiers («alimentation» et «palettisation»). D'après un ensemble d'études de cas⁷⁸, cette réorganisation, même si elle n'a pas fait appel à de l'IA, aurait rendu les tâches plus répétitives et les travailleurs auraient exprimé un sentiment d'aliénation, comme s'ils étaient devenus de «simple exécutant guidé par la machine». On ne peut pas exclure que l'introduction de système à base d'IA dans les activités d'entrepôts puissent générer des impacts négatifs similaires, voire les amplifier.

Ce phénomène où le salarié devient un simple exécutant d'une machine a notamment commencé avec le développement des plateformes de type Mechanical Turk d'Amazon, dès lors que la supervision des tâches par l'IA est possible et permet un contrôle virtuel par le biais d'algorithmes à base d'IA⁷⁹: Sur ce type de plateforme, des «petites mains» se connectent pour réaliser des micro-tâches que les logiciels les plus perfectionnés n'arrivent pas à faire, comme par exemple identifier des objets sur images, les

⁷⁴ Les agences de sécurité et de santé au travail (SST) avait déjà identifié le potentiel des robots pour remplacer les travailleurs dans les activités de travail pénibles et les environnements de travail dangereux (par exemple, les risques chimiques ou ergonomiques). Se reporter au rapport OSHA, (2018): *Key trends and drivers of change in information and communication technologies and work location*. European Commission Report.

⁷⁵ Eurogip (2017): *Prévention dans le domaine de la robotique collaborative: Synthèse de travaux réalisés à l'international*, Note Eurogip 2017.

⁷⁶ Moore, P. (2019), "OSH and the Future of Work: benefits and risks of artificial intelligence tools in workplaces", *EU-OSHA Discussion papers*, EU-OSHA, Bilbao.

⁷⁷ Steijn, Wouter & Luijff, Eric & Beek, Dolf. (2016). *Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place*. TNO-Rapport.

⁷⁸ Gautié, J., Jaehrling, K. et Perez, C. (2020). Neo-Taylorism in the Digital Age: Workplace Transformations in French and German Retail Warehouses. *Industrial Relations*, 75(4), 774-795.

⁷⁹ Benhamou S, (2018): *The world of work in 2030: Four scenarios in Work in the Digital Age: Challenges of the Fourth Industrial Revolution*, Ed. Max Neufeind, Jacqueline O'Reilly, Florian Ranft, Rowman et Littlefield Intl., London-New York.

nommer, traduire des fragments de texte, classer des images par catégorie. Le principe est toujours celui de tâches «périphériques» réalisables à distance par des personnes peu qualifiées. Ce système rappelle le management scientifique théorisé par F.-W. Taylor, fondé sur des tâches fragmentées et répétitives, à la seule différence que le contrôle hiérarchique n'existe plus. Celui-ci devient virtuel par le biais des algorithmes.

6. Risque de contrôle et de surveillance accru dans le travail

Enfin, l'IA peut conduire à une surveillance accrue des travailleurs et dégrader l'environnement de travail. Le risque de contrôle et de surveillance au travail liés aux technologies n'est pas nouveau, notamment depuis la numérisation et la digitalisation des outils de travail (surveillance informatique via les ordinateurs, vidéosurveillance...). Mais les dispositifs à base de l'IA pourraient exacerber ces risques sur les salariés à travers la collecte et le traitement de données (via des capteurs) concernant leurs activités. Même les cobots —qui ne sont pas destinés à surveiller les comportements des employés mais plutôt à les aider à exécuter des tâches professionnelles - produisent une myriade de données granulaires sur les performances professionnelles (par exemple, les temps d'inactivité des travailleurs et des machines). L'introduction des cobots peuvent ainsi, selon ses usages, renforcer ce risque de surveillance et de contrôle des activités. En outre, même si elle est efficacement anonymisée et agrégée, la collecte de données peut capturer des éléments personnels, notamment le niveau d'interaction avec les collègues et l'humeur des travailleurs⁸⁰. Selon les pratiques de management dans les organisations, l'IA peut être utilisée pour renforcer le contrôle avec toutes les conséquences que ce peut engendrer en termes de stress, d'intensification du travail et d'anxiété pour les travailleurs.

Ces enjeux ne sont pas nouveaux et avaient déjà donné lieu à un large débat au cours des années 1970 et 1980 sur la question de savoir si les directions des entreprises avaient intérêt à mettre en place une stratégie générale de déqualification technologique pour accroître le contrôle managérial⁸¹. L'utilisation de machines-outils à commande numérique (CN) était donnée comme un exemple pour illustrer la manière dont les entreprises pouvaient utiliser les technologies d'automatisation pour accroître son contrôle sur les salariés en séparant les tâches de conception et d'exécution. L'IA ne fait que renouveler ces risques de contrôle et la surveillance accru par la machine mais elle fait peser potentiellement ces risques sur pratiquement tous les sur des emplois qualifiés, moyennement ou faiblement qualifiés, concernés par l'utilisation de l'IA dans leur environnement professionnel.

⁸⁰ Moore, P. (2019): op-cit.

⁸¹ Braverman, H. (1974) *Labor and monopoly capital: the degradation of work in the twentieth century*. New York, NY: NYU Press.

IV. Discussion générale et recommandations

Depuis quelques années, l'intelligence artificielle est devenue un sujet de débat majeur qui va bien-au-delà du seul champ du numérique, tant on pressent toute l'ampleur de ses conséquences économiques et sociales, en particulier dans le monde du travail.

Les avancées récentes de l'IA suscitent des débats et interrogations lourds de sens et de signification. Jusqu'où la machine peut-elle remplacer l'homme? Combien d'emplois va-t-elle détruire et créer? Comment les métiers, les compétences et les conditions d'exercice du travail vont-ils se transformer sous l'effet du déploiement de l'IA? Cette révolution «technologique» peut-elle être synonyme de bien-être accru pour les travailleurs, que ce soit en termes de conditions de travail comme en termes d'élévation des compétences?

Exagérément optimistes, ou à l'inverse souvent alarmistes, les estimations actuelles de l'impact de l'IA ne permettent pas d'apporter des réponses robustes à des interrogations légitimes, comme l'a montré cette étude. Les premières contribuent à nourrir une vision trop simpliste de l'IA, voire à «créer du buzz», tant sur les potentialités techniques de l'IA (que peut-elle faire réellement à la place de l'humain), que sur sa capacité à générer des gains de productivité, à améliorer les conditions de travail, à éliminer le travail pénible, voire à déboucher sur le graal d'une harmonieuse complémentarité humain-machine. A contrario, d'autres estimations cristallisent les craintes en prédisant des destructions massives d'emplois et de pans entiers d'activités. On y voit surgir le spectre d'une déshumanisation du travail s'appuyant sur un «fordisme technologique» basé sur une fragmentation extrême des tâches, une supervision accrue du rythme de travail et un contrôle des interactions sociales.

Ces deux visions réductrices sont non seulement improductives mais surtout, elles peuvent être dangereuses. L'optimisme démesuré conduit à des attentes démesurées, qui négligent les conditions réelles de mise en œuvre de l'IA, et surtout, les conditions à réunir pour que l'IA reste un outil au service des humains. Le pessimisme extrême peut à l'inverse conduire à renoncer aux avantages de l'IA, mais aussi à un attentisme paralysant, qui fait que la société et les travailleurs seront peu ou mal préparés face aux changements qui viennent.

Les avenues explorées dans cette étude se situent entre ces deux extrêmes, et privilégient une approche réaliste et pragmatique, afin que l'IA reste toujours au service de l'épanouissement de chacun.

Les études sectorielles que nous avons présentées mettent en relief des risques causés par l'IA —transfert d'expertise vers la machine, perte de compétences cognitives, détérioration des conditions de travail— mais aussi des bénéfiques potentiels— élévation des compétences, enrichissement des tâches, autonomisation des travailleurs. Nous avons donc un paradoxe, des risques et des avantages simultanés.

Est-ce à dire que c'est la machine —l'IA en l'occurrence— qui porte en elle-même, de par sa nature, ces paradoxes?

A. Promouvoir un cadre moral et éthique pour réguler le déploiement de l'IA

Ma conclusion est toute autre: c'est bien le cadre forgé par l'être humain qui dicte et détermine le sens des impacts que la machine aura sur le travail et l'emploi. Les effets de l'IA comme ceux des technologies en général, ne se produisent pas d'eux-mêmes mais dépendent toujours de choix humains —les intentions et la prise de décision —et des modalités de mise en œuvre— institutionnelles, organisationnelles et réglementaires. Ces dimensions sont à prendre en considération pour faire pencher la balance du bon côté.

Ainsi, la question clé qui émerge d'une analyse de l'impact de l'IA sur le travail est que la question n'est pas fondamentalement technologique, mais bien profondément humaine. Quel travail voulons-nous? Quelle société voulons-nous? Quelle valeur accordons-nous à l'intelligence humaine? Au travail? L'IA nous pousse nécessairement à nous poser ces questions, et c'est dans le cadre des réponses apportées à celles-ci qu'elle se développera, dans la direction que nous aurons choisie, ou non.

Il est donc impératif de définir, de découvrir les modalités dans lesquelles l'IA serait complémentaire à l'intelligence humaine, et ne se substituerait pas à celle-ci. L'IA change une donnée majeure: le fait que l'IA soit une technologie auto-apprenante fait qu'il est en pratique impossible de prévoir dans quelle direction elle va aller, d'un point de vue technologique. Son potentiel d'innovation et de «disruption» est illimité. Laisée à elle-même, nous ne savons tout simplement pas dans quelle direction l'IA est susceptible d'aller...

Or, les débats aujourd'hui se focalisent sur le développement de compétences spécifiques, en rapport avec ce que nous savons des possibilités techniques de l'IA aujourd'hui. Mais l'IA est par nature imprévisible, parce qu'auto-apprenante.

C'est pourquoi, beaucoup plus que de compétences techniques, ce que l'IA exige, c'est un cadre moral et éthique qui permette d'appréhender correctement des ruptures et des bouleversements qui émergeront forcément du développement de l'IA, sans que nous puissions prévoir ce qu'ils seront, d'où ils émergeront.

Bien entendu, les sociétés auront besoin de davantage de techniciens capables de travailler avec la donnée, de data-scientists, d'analystes de données, de développeur IA, et ainsi de suite. Mais d'une part, ces emplois ne représenteront qu'une faible part des emplois totaux, et surtout, d'autre part, c'est un enjeu de *second ordre*.

L'enjeu de *premier ordre* est le suivant, c'est celui de la direction que nous voulons donner à notre société. Les techniciens, les analystes, travailleront dans ce cadre. Et en fonction de celui-ci, ils le feront dans le cadre d'emplois précaires, soumis à une machine, ou alors, dans le cadre d'emplois stables, gratifiants, et assurant leur dignité.

Au niveau «macro», ce cadre éthique existe, par exemple, dans la Charte de Nations Unies et la Déclaration universelle des Droits de l'Homme. C'est par rapport à ces deux textes que pourraient être appréhendés des développements technologiques par nature imprévisibles et contingents.

B. L'IA souligne l'importance qu'il y a à «apprendre» à apprendre

A un niveau plus «micro», un cadre doit aussi être posé face au à l'avènement de l'IA. Cette technologie auto-apprenante, pose une autre question profonde liée à l'apprentissage, en particulier ce qu'il faut apprendre et comment apprendre. Bien souvent, l'IA travaille avec des données historiques pour découvrir des régularités statistiques. Paradoxalement, elle peut favoriser un certain conservatisme dans la prise de décision et aller à l'encontre des innovations futures. Or, le progrès n'est pas une affaire de passé mais exige de la créativité et de la prise de risque. L'IA exigera donc de l'Humain de savoir déroger aux règles et aux normes qui prévalaient dans le passé quand l'environnement l'impose et de l'alimenter en continue en nouvelles connaissances.

Les algorithmes suivent aussi des règles prédéterminées par le concepteur, qui ne correspondent pas forcément à la réalité complexe de l'utilisateur de l'IA. Il est donc impératif que l'humain garde la main sur la machine en étant capable d'apporter une lecture critique des recommandations de la machine et de les enrichir par des interprétations novatrices.

Etre capable de remettre en question les recommandations de l'expertise d'une IA pour décider en toute connaissance de cause est aussi une question liée à la responsabilité individuelle dans un domaine professionnel. Cette responsabilité peut s'exercer pleinement si les algorithmes sont traçables jusqu'à remonter toute la chaîne du processus de décision. La régulation humaine —compréhension, vérification de la structuration des données et des critères sur lesquels se fonde le raisonnement de la machine— est donc essentiel.

Cette étude a également souligné le risque de voir émerger des contextes organisationnels qui diminuent la mobilisation des compétences cognitives par un transfert d'expertise vers la machine. La délégation d'un nombre toujours croissant de tâches à l'IA peut ainsi engendrer un désengagement, une déresponsabilisation des travailleurs, et un appauvrissement des relations interpersonnelles en cas d'un transfert d'expertise accrue vers la machine. Ces risques peuvent être d'autant plus importants chez les professions qualifiées qui peuvent également avoir davantage leur mot à dire sur la manière dont l'IA est adoptée, étant donné qu'ils sont plus susceptibles de posséder des connaissances spécialisées essentielles au fonctionnement de l'organisation. Ces impacts sur la main-d'œuvre qualifiées sont peu discutés dans les débats, pourtant ces risques peuvent engendrer des coûts organisationnels importants (baisse de la coopération, résistance au changement technologique et organisationnel, manque de réactivité...) si elle se sent devenir que de simples «subordonnés» de l'IA.

Face à ces enjeux, les organisations auraient intérêt à développer leur propre outil d'aide à la décision en mobilisant plusieurs compétences, en faisant travailler ensemble des spécialistes de l'IA et ceux qui possèdent la compétence «métier». L'objectif est d'améliorer l'appropriation des processus de décision mais aussi leur acceptabilité par des outils d'IA «contrôlée» et contextualisés adaptés aux besoins des utilisateurs et à la complexité de leurs domaines d'application. Ces collaborations entre différents métiers permettraient d'apporter aussi une protection contre les risques systémiques que l'IA peut contenir en elle.

C. Adapter la formation initiale et continue face à l'impératif d'apprentissage

Ainsi, l'un des défis majeurs du système d'éducation initiale et de la formation continue sera de donner les moyens aux individus de développer le jugement critique, l'esprit de créativité, la pensée «systémique», la coopération et le travail en équipe, pour appréhender des phénomènes complexes et interdépendants, les hiérarchiser et pour apporter des solutions opérationnelles à des problèmes qui répondent réellement aux besoins et aux attentes des organisations et des personnes.

Les impacts de l'IA posent ainsi la question de la formation tout au long de la vie avec une acuité nouvelle. Les progrès continus de l'IA peuvent accélérer l'obsolescence de certaines compétences acquises au fur et à mesure qu'elle sera capable de prendre en charge un plus nombre de tâches. Il est donc important d'accompagner les transitions induites par l'IA en sécurisant les parcours professionnels, d'une part, à l'intérieur des métiers qui se transformeront et d'autres part, en facilitant la mobilité professionnelle vers d'autres métiers et vers d'autres secteurs d'avenir pour ceux les plus exposés au risque d'automatisation.

L'accès à la formation continue et à l'évolution de ses contenus devront aussi évoluer et s'inscrire en cohérence avec l'évolution du système de formation initiale. Les systèmes de formation initiale et continue devront en effet trouver un bon équilibre entre l'acquisition de connaissances formelles délivrées dans le cursus scolaire et l'acquisition de connaissances basées sur un apprentissage «expérientiel» fondé sur le tâtonnement et la résolution de problèmes pratiques, la créativité, la prise de risque. L'objectif devra rester celui de donner la capacité des individus d'apprendre à apprendre tout en gardant le sens des responsabilités et de l'éthique face à la prise de décision.

Face à cet impératif d'apprentissage, la formation continue ne doit plus s'appréhender uniquement sous format scolaire, sous forme de cours et de stage en dehors des «murs de l'entreprise». Les pratiques de formation continue devront se diversifier par des formations en «situation de travail», c'est-à-dire sur les postes de travail pour favoriser l'apprentissage «expérientiel».

D. La complémentarité humain-machine nécessitera un nouveau paradigme organisationnel

Mais l'évolution des politiques publiques en matière de formation initiale et continue ne suffiront pas face aux bouleversements de l'IA sur le marché du travail. L'organisation du travail, à travers ses pratiques managériales et organisationnelles, jouera aussi un rôle déterminant dans le développement des compétences et dans la complémentarité humain-machine.

Encore une fois, les rapports nationaux et internationaux sur l'IA et le travail se focalisent principalement sur les politiques publiques visant à adapter la formation initiale et continue aux développements de l'IA. Ces enjeux sont certes importants mais leurs vertus risquent d'être sérieusement limitées si les organisations du travail ne sont pas adaptées pour développer les capacités d'apprentissage en continue des travailleurs à travers une plus grande autonomie, le travail en équipe, la coopération, les expérimentations sur le lieu de travail etc.

Comme je l'avais souligné dans une étude récente menée avec Edward Lorenz⁸², la question de l'organisation du travail est malheureusement trop souvent sous-estimée, dans les politiques publiques destinées à développer les compétences, à améliorer la qualité du travail ou encore à promouvoir une plus grande diffusion des innovations, soit parce que les modalités de mise en œuvre sont difficiles à identifier, soit parce qu'elles sont considérées comme la «boîte noire» de l'entreprise.

Or, l'organisation du travail joue un rôle déterminant dans l'utilisation des compétences, dans la gestion du savoir et des connaissances, sur la qualité du travail ainsi que sur la diffusion des innovations à travers les processus de gestion des savoirs et des connaissances. En exploitant plusieurs sources statistiques à l'échelle des pays européens (UE-27), nous démontrons empiriquement (toutes choses égales par ailleurs) que toutes les organisations du travail ne se valent pas pour atteindre ces objectifs. Certaines sont plus efficaces que d'autres, c'est notamment le cas de l'organisation apprenante. Surtout, ce modèle nous semble le plus adaptée pour construire les conditions propices à la complémentarité humain-machine au regard des enjeux évoqués précédemment.

⁸² Benhamou, S. et Lorenz, E. (2020). Les organisations du travail apprenante, Enjeux et Défis pour la France, Avril 2020. Rapport de France Stratégie.

E. L'avènement de l'organisation apprenante pour favoriser une complémentarité «intelligente» et «responsable» entre l'humain et la machine

Une organisation apprenante est un modèle d'organisation du travail qui repose fondamentalement sur le développement en continue des capacités d'apprentissages de ses membres pour atteindre des objectifs partagés et anticiper les transformations futures. Elle est donc particulièrement adaptée à un environnement instable et hautement complexe qui appelle des modalités organisationnelles et managériales spécifiques visant à soutenir une forte culture de l'apprentissage, à accroître la participation des salariés dans les processus de décisions et à mettre en place une gestion des ressources humaines en cohérence avec cette vision.

L'apprentissage organisationnel est notamment favorisé par une forte autonomie des salariés, le travail en équipe pluridisciplinaire et par des méthodes de travail reposant la plupart du temps sur la résolution de problèmes complexes et l'expérimentation. Ces pratiques managériales et organisationnelles visent ainsi à développer la créativité, la coopération et le jugement critique des salariés. Se tromper n'est donc pas une erreur dans une organisation apprenante mais au contraire un droit pour progresser, pour apprendre et pour innover. Les salariés sont ainsi incités à réfléchir à ce qu'ils font, comment et pourquoi ils le font. Ils sont aussi incités à dépasser des «modèles mentaux» préétablis et des cadres de représentation dominants qui favorisent les processus d'apprentissage «routiniers» qui empêchent, parfois de façon inconsciente, une bonne compréhension systémique des mutations de l'environnement des entreprises et leur anticipation.

Ainsi, l'organisation apprenante est plus à même à faire «tomber les frontières» entre les métiers, en favorisant l'apprentissage en équipe interdisciplinaire en leur permettant de partager des connaissances et des «savoir-faire» formels et informels en situation de travail. Dans ce type d'organisation, chaque personne apprend à connaître son rôle et la relation qui existe entre ses responsabilités et celles des autres. Cette approche vise à développer chez les individus la capacité de penser de manière systémique chaque problème qui peut influencer les processus de production dans leur globalité et non pas de penser dans sa propre «case».

L'expérience accumulée dans le travail permet de développer des compétences cognitives liées à la résolution de problèmes complexes et à identifier la survenance d'un problème, à utiliser son jugement pour générer et évaluer des alternatives, à faire des recommandations pour résoudre ces problèmes en établissant un plan d'actions concrètes⁸³. Les méthodes de résolution de problèmes permettent aussi de développer des compétences telles que la capacité à conceptualiser de manière systématique des situations/problèmes sur un large ensemble d'informations pouvant être de natures différentes. Le développement d'une vision partagée «des futurs possibles et désirables» pour favoriser l'engagement et la volonté de tous les membres d'une organisation d'apprendre en continu est également rendu possible dans ce type d'organisation.

En somme, l'organisation apprenante touche au cœur les processus de prise de décision et comportementaux des individus pour accompagner favorablement une dynamique d'apprentissage généralisée et pour soutenir le développement personnel et professionnel des membres de l'organisation. A cet égard, elle est aussi un modèle «cognitif» auto-apprenant qui a l'avantage de renforcer les compétences cognitives, sociales, organisationnelles, qui échappent à la machine tout en permettant de développer un apprentissage mutuel entre la machine et l'humain. Dans cette perspective, l'organisation du travail est la condition qui sous-tend toutes les autres (adapter la formation initiale et continue) pour favoriser cette complémentarité.

⁸³ Kolb D. A. (1984), *Experiential Learning*, Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.

F. L'organisation apprenante favorise aussi une meilleure qualité du travail et une plus grande diffusion des innovations

Enfin, au-delà de la complémentarité humain-machine, l'organisation du travail apprenante est fortement associée à une meilleure qualité du travail (plus grande stabilité de l'emploi, meilleures conditions de travail, qualité du management, meilleure reconnaissance du travail et un plus sens donné au travail)⁸⁴. Les salariés sont également les moins exposés aux risques psychosociaux et aux cadences élevées au travail et car ils bénéficient d'un environnement de travail plus épanouissant et plus soutenable sur le long terme. Or, comme souligné dans cette présente étude, l'amélioration des conditions de travail induit par le déploiement de l'IA est une hypothèse tout aussi crédible que l'aliénation et l'intensification du travail. En fait, tout dépendra des choix opérés dans les gains de productivité attendus et dans l'organisation du travail, des tâches et des équipes. Le risque d'une déshumanisation accrue favorisé par l'automatisation croissante par l'IA ou l'opportunité d'une autonomisation des individus favorisée par la complémentarité humain-machine reposera aussi sur le «design» organisationnel choisi par les entreprises (publiques comme privées).

Les opportunités qu'offre l'organisation apprenante ne se mesurent pas uniquement en matière de qualité du travail. Elle est également associée à de meilleures performances économiques grâce à plus grande productivité des salariés et d'une meilleure diffusion des innovations, en particulier des innovations nouvelles, dites de rupture. Ces constats empiriques confirment qu'il existe un lien systémique entre les possibilités d'apprentissage et d'exploration de nouvelles connaissances offertes aux salariés dans leur travail quotidien et la capacité des entreprises à développer l'innovation.

Il y a donc là un changement profond de paradigme par rapport au modèle taylorien classique, conçu vers la fin du XIXe siècle pour une production de masse standardisée, avec une forte division des tâches de conception et d'exécution, sans opportunité d'apprentissage et d'autonomie accordée aux salariés. L'organisation du travail apprenante se distingue également de la lean management, où l'autonomie procédurale accordée aux salariés, que ce soit en termes de méthodes, de rythme ou de contrôle de la qualité, est plus faible et les opportunités d'apprentissage plus limitées. Surtout ces deux modèles se caractérisent par une forte standardisation des processus de production, ce qui peut laisser la «part belle à l'IA» pour automatiser une grande part du travail dans ce type d'organisation du travail...

G. Lancer des programmes nationaux pour accompagner les transformations organisationnelles

Il est donc dans l'intérêt mutuel des entreprises, des syndicats et des pouvoirs publics d'apporter une réponse cohérente et globale en faveur d'organisations du travail qui permettent aux travailleurs d'apprendre «en travaillant» pour accompagner la transition vers l'IA.

Les gouvernements et les organisations internationales devraient inscrire dans leur agenda de réformes l'enjeu organisationnel face à l'impératif d'apprentissage que pose l'avènement de l'IA dans l'ère du big data. L'étude de S. Benhamou et E. Lorenz propose, notamment pour les pays où les organisations apprenantes sont les moins diffusées plusieurs pistes d'actions concrètes dans le cadre d'un programme national pour accompagner les entreprises et les administrations dans leurs projets de transformation organisationnelle, à l'instar de ce qui a déjà été fait dans les pays d'Europe du Nord et Scandinaves.

Ce programme est d'autant plus important que les défis posés par l'IA se conjugueront avec d'autres changements d'une ampleur inégalée qui s'annoncent pour l'ensemble des pays avancés, technologiquement et économiquement⁸⁵. Ces mutations soulèvent des défis très lourds pour les entreprises et pour les

⁸⁴ Benhamou, S et E. Lorenz (2020): op-cit.

⁸⁵ ESPAS (2015), Global trends to 2030: Can the EU meet the Challenges ahead?, European Strategy and Policy Analysis System, Bruxelles.

travailleurs. Les tendances de fond qui font consensus dans la plupart des travaux prospectives de référence annonce un monde de plus en plus complexe et très instable. Globalisation croissante des économies, accélération des chaînes de valeurs mondiales, crises économiques, épidémiques et géopolitiques successives, ralentissement de la croissance mondiale. Ces tendances combinées avec l'avènement de l'IA et l'ère du Big Data, soumettront les organisations à rude épreuve pour rester compétitives et innovantes. Le monde en 2030 exigera la mise en place d'organisations du travail capables d'anticiper les changements, même brutaux, pour rester performantes et à la pointe de l'innovation. Comme le soulignait l'étude prospective sur l'évolution des organisations du travail en 2030⁸⁶, la performance des entreprises passera aussi par des organisations du travail flexibles capables d'optimiser rapidement la gestion des savoirs et des connaissances tout en développant les capacités d'apprentissage en continu.

Le monde de demain sera d'une incroyable complexité à gérer: l'IA sera-t-elle un levier permettant de réduire cette complexité? Personne ne peut le savoir aujourd'hui. La question aujourd'hui est de savoir si nous nous donnons les moyens, pour gérer cette complexité croissante, et non seulement pour s'y adapter de manière passive ; mais bien pour l'influencer vers la direction que l'on se sera fixée collectivement.

H. Renforcer la recherche pour évaluer les impacts réels de l'IA sur le travail

Aujourd'hui les manières d'évaluer l'impact de l'IA sur le travail et l'emploi et les compétences sont limitées et peu satisfaisantes. Nous avons soulevé les problèmes posés par la méthodologie de la plupart des travaux économiques sur le sujet. A l'inverse, les évaluations sur données micro sont plus prometteuses mais quasiment inexistantes. Elles permettraient pourtant de prendre en compte toute la complexité liée aux transformations du travail causées par l'IA en partant de cas d'usage d'IA réellement déployés dans les organisations et en prenant en compte les effets internes (organisationnels, managériaux, les choix stratégiques des entreprises, les coûts liés aux déploiements de l'IA...).

Il est donc important de développer des données d'enquêtes (avec un volet «salariés», un volet «entreprises», volet «représentants du personnel») plus fines qui permettraient de mieux estimer les effets sur l'emploi et le travail et pour approfondir les attentes et la manière dont les différents acteurs se coordonnent face aux changements technologiques et organisationnels. Ces enquêtes n'existent quasiment pas à l'échelle nationale et internationale. Elles auront du sens si elles sont analysées dans le but d'approfondir nos analyses au regard des enjeux posés par l'IA en matière d'éthique et de responsabilité.

L'approfondissement des effets de l'IA doit aussi passer par le développement d'études de cas sectorielles pour analyser encore plus finement les transformations de cas d'usages spécifiques dans différents secteurs par des protocoles d'enquêtes basées sur des guides d'entretiens auprès de plusieurs parties prenantes des organisations dont le salarié «utilisateur».

Ce type d'étude de cas permettrait aussi de mieux analyser comment les facteurs éthiques sont pris en compte dans la conception du systèmes d'IA, dans quelle mesure et à quel moment la transparence du système d'IA est-elle requise pour l'organisation et pour l'utilisateur dans sa pratique quotidienne de travail? Quels sont les principaux obstacles ou contraintes rencontrés en termes de collecte et d'étiquetage des données nécessaires à la formation et à l'expérimentation du machine learning? Comment sont utilisées les données personnelles des salariés (surveillance vs développement des compétences)? Ces études de cas devront aussi chercher à analyser les possibilités et les moyens accordés aux salariés de repenser le système d'IA pour améliorer les processus et pour évaluer comment les choix de design sur les interfaces humains-algorithmes (IA ou Intelligence humaine «augmentée») impactent les capacités cognitives et les conditions de travail des salariés. Quels sont les changements dans l'organisation du travail et la réorganisation des tâches nécessaires à l'adoption effective et comment ces changements varient-ils

⁸⁶ Benhamou S. (2017), «Imaginer les organisations du travail à horizon 2030 – Quatre types d'organisation du travail à l'horizon 2030», Etude prospective, n° 2017-05, France Stratégie, avril.

d'un secteur à l'autre? Ces changements sont-ils différents selon la catégorie socioprofessionnelle? Tous ces exemples de pistes de réflexions/questions sont encore très loin de donner lieu à des réponses rigoureuses aujourd'hui.

I. Engager une concertation multipartite sur notre rapport à la technologie

Enfin, pour conclure, à notre sens, toute réflexion portant sur l'adoption et l'impact d'une nouvelle technologie devrait prendre en compte la relation entre coût du capital et coût du travail. En effet, le fait qu'une solution technologique existe ne signifie pas quelle sera déployée. Comment expliquer par exemple que des secteurs économiques très importants tels le textile, le recyclage, la cuisine dans le secteur de l'hôtellerie-restauration-et en particulier la cuisine dans la restauration rapide, soient restés largement en dehors de l'automatisation, alors que la technologie le permettrait tout à fait? Le processus de production de jeans ou de t-shirt est à la portée d'un robot et ne nécessite aucune interaction avec des êtres humains, pourtant, le textile reste une activité essentiellement humaine. C'est tout simplement qu'à l'heure actuelle, les êtres humains sont «moins chers» que des machines. Cette question renvoie au rôle fondamental que jouent les institutions, les normes, la réglementation, la fiscalité, les dispositifs de protection sociale dans l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies. Ce sont ces institutions et ces normes qui délimiteront les champs d'applications de l'IA, et qui lui permettront d'avoir un impact soit positif sur la cohésion sociale et le progrès humain, soit négatif dans le sens d'un accroissement des inégalités et de la précarisation du travail. En somme la question la plus importante n'est pas tant de savoir combien d'emplois l'IA risque d'être détruit dans le futur mais bien de savoir quelle est la société nous souhaitons réellement promouvoir pour demain. Notre rapport à la technologie et notre vision de ce que doit être la vie en société déterminera en grande partie le futur du travail.

Références bibliographiques

- Agrawal, A., Gans, J. et Goldfarb, A. (Eds.) (2019), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Alderwick, H., Ham, C. et Buck, D., (2015), *Population Health Systems, Going beyond into integrated Care*, February 2015. The King's Fund.
- Alpaydayn, E. (2016). *Machine learning: the new AI*. MIT Press.
- Arntz, M., Gregory, T. et Zierahn, U. (2016), The risk of automation for jobs in OECD countries: a comparative analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. OECD Publishing, Paris.
- Arntz, M., Gregory, T. et Zierahn, U. (2017), «Revisiting the Risk of Automation», *Economics Letters* 159: 157-160.
- Athling (2017), *L'IA dans la banque: emploi et compétences*, Observatoire des métiers de la banque, décembre.
- Autor, D., F. Levy et R. Murnane (2003), "The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 118(4), pp. 1279-1333.
- Benhamou S. (2018), *The world of work in 2030: Four scenarios in Work in the Digital Age: Challenges of the Fourth Industrial Revolution*, Ed. Max Neufeind, Jacqueline O'Reilly, Florian Ranft, Rowman et Littlefield Intl., London-New York.
- Benhamou S. (2017), «Imaginer les organisations du travail à horizon 2030 – Quatre types d'organisation du travail à l'horizon 2030», Etude prospective, n° 2017-05, France Stratégie.
- Benhamou, S. and Janin L. (2018), "Artificial Intelligence and Work", Report France Stratégie to the Minister of Labour and the Minister of State for the Digital Sector.
- Benhamou, S. and Lorenz, E. (2020), *Les organisations du travail apprenante, Enjeux et Défis pour la France*, Avril 2020. Rapport de France Stratégie.
- Bohbot, V. D., Lerch, J., Thorndycraft, B., Iaria, G. et Zijdenbos, A. (2007), Gray matter differences correlate with spontaneous strategies in a human virtual navigation task. *Journal of Neuroscience* 27, 10078-10083.
- Bohbot, V. D., Iaria, G., Petrides, M. (2004), Hippocampal function and spatial memory: Evidence from functional neuroimaging in healthy participants and performance of patients with medial temporal lobe resections. *Neuropsychology* 18(3):418-425.
- Braverman, H. (1974), *Labor and monopoly capital: the degradation of work in the twentieth century*. New York, NY: NYU Press.
- Bresnahan, T. et M. Trajtenberg (1992), "General Purpose Technologies "Engines of Growth?", *Working Paper 4148*, National Bureau of Economic Research, NBER Series.
- Brynjolfsson, E. et McAfee, A (2014), *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.

- Brynjolfsson, E., T. Mitchell et D. Rock (2018), "What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy?", *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 108, pp. 43-47.
- Chollet, F. (2018), *Deep Learning with Python*, Manning Publications, Sister Island.
- Daron, A. et P. Restrepo, (2019), "Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor," *Journal of Economic Perspectives*, Vol 33(2), pages 3-30.
- Daugherty, P. R. et Wilson, J. (2018), *Humans+Machine: Reimagining work in the age of AI*. Boston: Harvard Business Review Press.
- Dauth, W., Findeisen, S., Sudekum, J., Woessner, N. (2017), "German Robots - The Impact of Industrial Robots on Workers", in *CEPR Discussion Paper* No. DP12306.
- Davies, A. (2017), *Self-Driving Trucks Are Now Delivering Refrigerators*. Wired.
- Demange M, Pino M, Kerhervé H, Rigaud AS et Cantegreil-Kallen I. (2019), Management of acute pain in dementia: a feasibility study of a robot-assisted intervention. *J Pain Res.* 2019 Jun 7;12:1833-1846. doi: 10.2147/JPR.S179640. PMID: 31289446; PMCID: PMC6565935.
- ESPAS (2015), *Global trends to 2030: Can the EU meet the Challenges ahead?*, European Strategy and Policy Analysis System, Bruxelles.
- Eurogip (2017), *Prévention dans le domaine de la robotique collaborative: Synthèse de travaux réalisés à l'international*, Note Eurogip 2017.
- EU-OSHA, (2018), *Key trends and drivers of change in information and communication technologies and work location*. European Agency for Safety and Health at Work.
- Federal Financial Supervisory Authority Report (2018), *Big Data meets Artificial Intelligence, Challenges and implications for the supervision and regulation of financial services*, BaFin, 2018.
- Frey, C. et M. Osborne (2017), "The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation", *Technological forecasting and social change*, Vol. 114, pp. 254-280.
- Felten, E., M. Raj et R. Seamans (2019), "The Occupational Impact of Artificial Intelligence on Labor: The Role of Complementary Skills and Technologies", *NYU Stern School of Business*.
- Foley, T. et F. Fergus (2015), *The Potential of Learning Healthcare Systems*, The Learning Healthcare Systems Projects: <http://www.learninghealthcareproject.org/>, The Health Foundation, New Castle University and Institute of Health and Society.
- FIT (2019), *Perspectives des transports*, publication OCDE 2019.
- Holm., J et E. Lorenz (2020), *The Impact of Artificial Intelligence on Skills at Work in Denmark*. New Technology, Work and Employment, Wiley, 2021.
- Kaiser Permanent (2018), Kaiser Permanente Washington, Population Health, Program Description.:<https://wa.kaiserpermanente.org/static/pdf/public/about/population-health-2019.pdf>.
- Knight, W. (2016), "An AI Ophthalmologist Shows How Machine Learning May Transform Medicine", *MIT Technology Review*.
- Kolb D. A. (1984), *Experiential Learning*, Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.
- Institute of Medicine (2013), *Best Care at Lower Cost: The Path to Continuously Learning Health Care in America*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13444>.
- Gautié, J., Jaehrling, K. et Perez, C. (2020), Neo-Taylorism in the Digital Age: Workplace Transformations in French and German Retail Warehouses. *Industrial Relations*, 75(4), 774-795.
- G. de Terssac, Soubie J.-P et L. Neveu (1988), «Systèmes experts et transferts d'expertise», *Sociologie du travail* Année 1988 30-3 pp. 461-477.
- Gruson, D. (2019), *IA et emploi en santé: quoi de neuf docteur? Rapport de l'Institut Montaigne*.
- K.Satheesh Kumar, S.Tamilselvan, B.Ibrahim Sha et S.Harish (2018), "Artificial Intelligence Powered Banking Chatbot", *International Journal of Engineering Science and Computing*, Vol 8, Issue N°3.
- Javadi, A H., Emo, B., Howard, L. et al (2017), Hippocampal and prefrontal processing of network topology to simulate the future. *Nat Commun* 8, 14652 (2017).
- Lainé, F. (2018), "Situations de travail, compétences transversales et mobilité entre les métiers", Document de travail n° 2018-03. France Stratégie, Paris.
- Laurent, F. (2010), *Détection de la fatigue mentale à partir de données électrophysiologiques*. Neuro-sciences [q-bio.NC]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2010.
- Lee Rainie, Janna Anderson et Emily A. Vogels (2021), *Worries about developments in AI*", Pew Research Center: <https://www.pewresearch.org/internet/2021/06/16/1-worries-about-developments-in-ai>.

- Leru, N. (2016), «L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait et ce qu'on ignore», Note d'Analyse, France stratégie.
- Malone, A. (2018), «Vers des systèmes d'information hautement performants, enjeux cliniques, enjeux de gouvernance, enjeux systémiques», in Hervé, C. Stanton-Jean, M., (eds.) *Innovations en santé publique, des données personnelles aux données massives (Big Data)*, Dalloz, p. 157-171.
- Malone, A., Politi, C. (2020), «Pour un système d'information et d'organisation populationnel», *French Hospitals Federation*.
- Moore, P. (2019), "OSH and the Future of Work: benefits and risks of artificial intelligence tools in workplaces", *EU-OSHA Discussion papers*, EU-OSHA, Bilbao.
- Muro, M., R., Maxime et J., Whiton (2019), Metropolitan Policy Program, *Brookings Institute*.
- Nedelkoska, L. et G. Quintini (2018), "Automation, Skills use and Training ", OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 202.
- Neveu, L., Soubie J.-P et de Terssac, G. (1988), «Systèmes experts et transferts d'expertise», *Sociologie du travail* Année 1988 30-3 pp. 461-477.
- Nordhaus, W. (2015), "Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth", *Cowles Foundation Discussion Papers*, No. 2021.
- Obermeyer, Z., B., Powers, C., Vogeli et S., Mullainathan (2019), "Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations", *Science*. Vol. 366, Issue 6464, pp. 447-453.
- OCDE (2019), "Artificial Intelligence in Society", Juin 2019.
- OCDE (2021), Panorama de la santé 2021. Les indicateurs de l'OCDE, Décembre 2021.
- OCDE (2017), *Tackling Wasteful Spending on Health*, Éditions OCDE, Paris.
- Parasuraman, R., et C. Wickens, (2008), Humans: Still Vital After All These Years of Automation. *Human factors. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 50(3):511-20.
- Polanyi, M. (2009), *The Tacit Dimension*, University of Chicago Press, Chicago.
- Shademan A, Decker RS, Opfermann JD, Leonard S, Krieger A, Kim PC (2016), Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. *Sci Transl Med*. 2016 May 4;8(337):337ra64. doi: 10.1126/scitranslmed.aad9398. PMID: 27147588.
- Shishehgar M., Kerr D. et Blake J. (2017), «The effectiveness of various robotic technologies in assisting older adults», *Health Informatics Journal*.
- Smith A. et M. Anderson (2017), "Automation in Everyday Life", Pew Research Center: <https://www.pewresearch.org/internet/2017/10/04/automation-in-everyday-life/>.
- Steijn, Wouter, Luijff, Eric et Beek, Dolf. (2016), *Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place*. TNO-Rapport.
- Neveu, L., Soubie J.-P et de Terssac, G. (1988), «Systèmes experts et transferts d'expertise», *Sociologie du travail* Année 1988 30-3 pp. 461-477.
- Vallencien Guy (2015), *La médecine sans médecin? Le numérique au service du malade* Collection Le Débat, Gallimard.
- Webb, M. (2020), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market", *Stanford University Series Papers*.
- Xiaoxuan L., Faes, L., U Kale, A., K Wagner, S., Fu, D, J., Bruynseels A., Mahendiran, T., Moraes G., Shamdas., M., Kern, C., Ledsam, J R., Schmid M, K., K, Topol E J, Bachmann L M; Keane P A, Denniston A K, (2019), "A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis", *Lancet Digital Health* Volume 1, Issue 6.
- Yamamoto, I. (2019), "The impact of AI and information technologies on worker stress", *VoxEU*.

Les avancées récentes de l'IA suscitent des débats et interrogations lourds de sens et de signification. Jusqu'où la machine peut-elle remplacer l'homme? Combien d'emplois va-t-elle détruire et créer? Comment les métiers, les compétences et les conditions d'exercice du travail vont-ils se transformer sous l'effet du déploiement de l'IA? Cette révolution «technologique» peut-elle être synonyme de bien-être accru pour les travailleurs? Exagérément optimistes, ou à l'inverse souvent alarmistes, les estimations actuelles de l'impact de l'IA ne permettent pas d'apporter des réponses robustes à des interrogations légitimes. Les pistes explorées dans cette étude se situent entre ces deux extrêmes, et privilégient une approche réaliste et pragmatique, en explicitant les conditions (éthiques, institutionnelles et organisationnelles) favorables à une complémentarité «intelligente» et «responsable» entre l'humain et la machine.