

L'automatisation, une arme de destruction massive de l'emploi ?

Stephen Bouquin*

Résumé : L'automatisation, le développement d'une intelligence artificielle et la numérisation des espaces productifs sous-tendent un bouleversement visant à approfondir les mutations du travail et des processus productifs. Mais derrière les discours souvent propagandistes, la réalité est bien plus contrastée. La robotisation est loin d'être aussi ample que ce que l'on peut lire dans la littérature pro-managériale. L'intelligence artificielle a continué à progresser mais reste, pour l'essentiel, une simulation de l'intelligence humaine, démultipliée par la puissance de calcul et l'apprentissage des machines. La numérisation est de loin la tendance la plus développée qui s'accélère actuellement et dont l'action concourt à étendre le contrôle et la surveillance du travail vivant. Au final, l'impact de ces transformations sur l'emploi sera bien plus réduit que ce qui est annoncé. Si seulement une fraction réduite des emplois est automatisable la structure de l'emploi va certainement évoluer sur le plan des qualifications et compétences. Au final, les transformations à l'œuvre, leur caractère disparate et inégal comme leur effet réel sur le travail, ne peuvent se comprendre réellement qu'en élargissant le champ d'analyse qu'à la reorganisation d'ensemble du capitalisme globalisé. A nouveau, les innovations technologiques rendent compte des limites du cycle d'accumulation tout en amplifiant en partie les tensions qui le traversent.

Mots-clés : automatisation, robots, numérique, intelligence artificielle, emploi, productivité

Depuis quelques années, l'automatisation est à nouveau l'objet de réflexions de portée historique. Par automatisation, nous entendons l'usage de robots et de systèmes mécaniques automatisés tels que les robots, la mobilisation de l'intelligence artificielle (IA) ou, plus largement, la numérisation (digitalisation) des espaces productifs. En effet, il est difficile de dissocier ces évolutions tant elles sont interconnectées.

Bien souvent, ce mouvement d'automatisation est appréhendé de manière techno-optimiste sinon sur un mode pessimiste-critique, voire « technophobe », mais, dans les deux cas de figure, une fraction importante des emplois serait condamnés et le travail profondément transformé. Les propos de Cédric Villani illustrent parfaitement cette vision dramatique des choses :

« Le monde du travail est à l'aube de grandes transformations et n'y est encore que peu préparé. S'il n'est pas établi que le développement de l'intelligence artificielle constitue à proprement parler une quatrième révolution industrielle, il apparaît néanmoins de plus en plus certain qu'elle va modifier la majorité des métiers et des organisations. Ce développement va en effet permettre l'automatisation d'un grand nombre de tâches. Nous entrons dans une période

* sociologue, professeur des universités.

Université d'Evry-Paris Saclay.

stephen.bouquin@univ-evry.fr

de transition technologique importante, ce qui n'est pas sans créer des inquiétudes majeures : l'histoire nous enseigne que les précédentes transitions ne se sont pas faites sans encombre et que les processus de réajustements politiques ont parfois été violents, souvent au détriment des populations déjà les plus fragiles » (Villani, p.18).

A l'opposé d'une telle lecture, nous proposerons, dans cet article, une synthèse de recherches qui invitent à nuancer les processus en cours. Dans la première section, nous présentons les aspects techniques des processus d'automatisation en analysant l'ampleur de leur diffusion. La deuxième section abordera l'impact de la robotisation-automatisation-numérisation sur l'emploi. Il convient de relativiser les analyses catastrophistes quant à la disparition massive d'emplois. Certes, un grand nombre de postes de travail seront affectés par l'automatisation, mais une partie seulement sera directement substituable par des robots ou autres type de « machines intelligentes ». En même temps, les dynamiques d'automatisation et de numérisation transforment les métiers et les compétences, et recomposent la division du travail. Dans la troisième section, nous reviendrons sur les facteurs déterminant l'innovation technologique afin de comprendre les évolutions en cours par-delà les idées reçues et certains mythes savamment entretenus.

I. Les réalités contrastées de la robotisation-automatisation-numérisation

Faut-il parler d'une quatrième révolution technologique ou plutôt situer les innovations actuelles dans le cadre de la troisième révolution, celle de l'informatique, qui a débuté dans les années 1950 ? Les avis sont partagés, y compris parmi les plus fervents adeptes d'un techno-futurisme radieux tel Cédric Villani (Villani, 2019). Selon Villani, mathématicien et député LREM de l'Essonne, le vrai point de basculement se situe après la Seconde Guerre mondiale. C'est à ce moment-là que les capacités de calcul franchissent un seuil qualitatif. Les machines-outils à commande numérique (MOCN) incarnent à cette époque la figure de l'automate qui remplacera l'ouvrier qualifié¹. En réalité, l'usage des MOCN restera limité à l'automobile, à l'aéronautique et à la fabrication d'armes. Dans les années 1960, la révolution cybernétique (informatique) se déploie avec les grandes machines à calculer. Véritable pionnier dans ce domaine, IBM lance, en 1964, le modèle 360 et ouvre l'ère des mainframe, modèle type de l'unité de calcul centralisée. Pendant les années 1970, l'informatique commence à se miniaturiser avec les processeurs et les microprocesseurs, permettant, au cours de la décennie suivante, la commercialisation des ordinateurs personnels. La miniaturisation se poursuit dans les années 1990 et donne lieu à la commercialisation d'ordinateurs portables qui s'interconnectent désormais via Internet. Au cours de la dernière décade du XX^e siècle, les « autoroutes de l'information » nécessitent de lourds travaux d'infrastructure avec la pose de câbles de fibre optique et la mise en orbite d'un nombre considérable de satellites². Dans la décennie suivante, l'introduction de la téléphonie mobile, puis des Smartphone contribue à amplifier les informations échangées, favorisant l'émergence de ce qu'on appelle communément le Big

1. David Noble, dans *Forces of Production* (1984), expose en détail pourquoi les hommes d'affaires et les ingénieurs décident d'opter pour la machine-outil à commande numérique plutôt que le système bien moins onéreux de type record playback qui enregistre l'action de l'ouvrier qualifié pour ensuite la répliquer. Même si, au final, le second système a été utilisé tout autant que le premier, c'est bien la peur que suscitait la MOCN qui permit de briser la vague de grèves en 1946. Voir Mandel (1986), Crozier (1951).

2.. Aux Etats-Unis, le volume d'investissements dans le numérique atteint les 88 milliards de \$ en 2000, puis baisse à 10-15 milliards en moyenne jusqu'en 2010 pour remonter ensuite à 65 milliards de \$ en 2017. Voir Philipp Staab (2019), *Digitaler Kapitalismus*, p. 91

Data. Depuis lors, nous avons connu l'apparition de l'imprimante 3D – encore peu opérationnelle en dehors de projets maquettes –, l'Internet des objets (Internet of things) et, surtout, un retour en force de l'IA, qui, pris ensemble, contribuent à transformer en profondeur les sphères de production et de consommation.

Globalement, la longue stagnation économique des années 1970-1980 remobilise l'idée que l'innovation est la source de prospérité. Décideurs et scientifiques se retrouvent pour propulser l'innovation technologique et accélérer sa diffusion. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) justifient les espoirs placés dans l'avènement d'une société de la connaissance. La recherche se concentre désormais sur les algorithmes et la programmation de machines intelligentes.

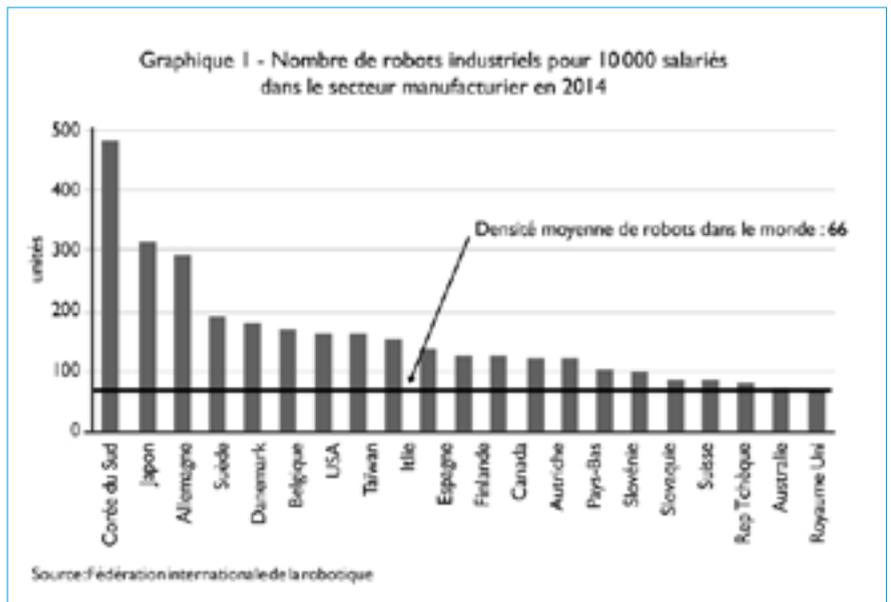
1.1 Une robotisation au ralenti³

En termes de volume, la vente des robots domestiques et de loisirs est bien plus grande que celle des robots professionnels. Ainsi en 2018, 16 millions de robots domestiques ont été vendus et près de 4 millions de robots de loisirs contre à peine 250 000 robots productifs ou industriels. En 2018, la vente de ces robots de loisirs ou domestiques représentait un chiffre d'affaires de respectivement 3,5 et 2 milliards de dollars, contre plus de 9 milliards de dollars pour les robots professionnels ou industriels. Ces écarts en termes de nombre d'unités et de valeur démontrent combien les robots affectés à la production demeurent plus onéreux, même lorsqu'on se situe en fin de cycle technologique (Sanders et Meldon, 2014)⁴.

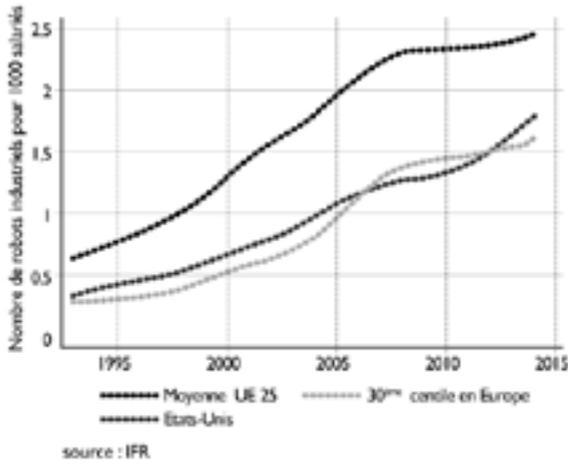
La robotique productive se décompose en plusieurs branches, la plus sophistiquée étant celle de la robotique « autonome », qui fait référence aux dispositifs de type mécatronique – mécanique et micro-électronique – qui traitent des informations et y répondent suivant des scripts réguliers. Un niveau moins sophistiqué est celui de la robotique collaborative qui partage

3. Pour analyser l'évolution de la robotisation, nous avons consulté les rapports annuels de la Fédération internationale de robotique (site <https://ifr.org/>). Il s'agit à la fois d'une centre d'études et d'un lobby propagandiste pour les entreprises industrielles du secteur.

4. April Glaser: (2017), 'The Industrial robotics market will nearly triple in less than ten years: Collaborative robots are expected to account for a third of that market', Recode, 22 juin 2017.



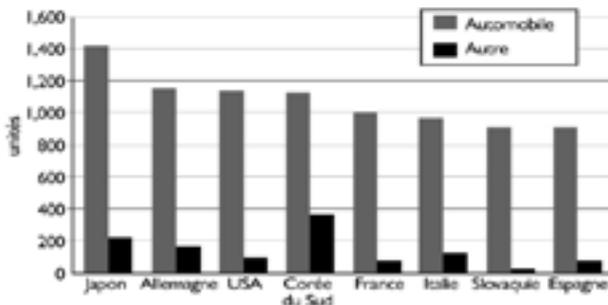
GRAPHIQUE 2 - Robots industriels aux États-Unis et en Europe (UE25)



son intervention avec les humains. Il s'agit de robots auxiliaires « serveurs » augmentant la capacité humaine pour soutenir ou soulager certains gestes exercés par l'humain. Les robots d'assistance, prenant la forme d'un bras mécatronique dévolu à des tâches industrielles comme le brossage, le burinage ou encore la manipulation, appartiennent à la même catégorie.

À l'horizon de cinq à dix ans, les robots collaboratifs devraient faire leur apparition dans la santé, avec le développement de robots médicaux capables d'assister les médecins dans des opérations chirurgicales ou des exosquelettes permettant de suppléer les fonctions motrices de personnes handicapées, ou encore les robots d'assistance aux personnes en perte d'autonomie⁵. Ce dernier champ ouvre des applications aussi diverses que la télésurveillance, la télémédecine ou l'assistance de vie au quotidien, avec des robots autonomes programmés pour aider par exemple au traitement quotidien des patients. En théorie, ces robots pourraient également faire leur entrée dans le secteur des services, au niveau de l'accueil dans les magasins, de la garde d'enfants ou encore de robots ludiques programmés pour le divertissement. Il y a un an, la Fédération internationale de robotique annonçait une hausse importante dans la vente de robots, passant de 168 000 unités (2017) à plus de 270 000 (2018). Ces dernières années, ce

GRAPHIQUE 3 - Nombre de robots industriels pour 10000 salariés dans le secteur automobile et les secteurs en 2016



Source : Fédération internationale de la robotique - 2017

5. Voir Mc Kinsey (2017) et Munro Mark (2017), "Where the robots are", Brookings, <https://www.brookings.edu/blog/the-avenue/2017/08/14/where-the-robots-are>

sont surtout les robots AGV (automatic guided vehicles) qui connaissent une hausse significative, ce qui s'explique aisément vu l'expansion de la logistique. Selon les prévisions de l'IFR de 2018, les ventes devaient presque doubler d'ici 2020 (500 000 robots) puis bondir à un million de robots en 2022. Désormais, on peut douter de ces prévisions et pas seulement parce que la pandémie a mis à l'arrêt l'économie mondiale.

Les vingt-cinq dernières années, on a observé un accroissement du nombre de robots mais, globalement, le taux d'équipement demeure modeste. Ainsi, tant dans l'Union européenne qu'aux États-Unis, le nombre de robots par 1 000 salariés du secteur manufacturier est passé de 0,4 en 1990 à 1,8 en 2015. Certes, cela représente une augmentation de plus de 400 % mais, en chiffres réels, il s'agit d'un phénomène limité. A ce jour, le secteur de l'automobile demeure le premier destinataire de robots industriels (voir graphique 3). En vingt ans, le secteur de l'automobile a accueilli près de 40 % des nouveaux robots, contre 19 % pour le secteur électronique, 9 % pour le secteur de fabrication métallique et 8 % dans la pétrochimie.

Premier constat : la robotisation de la production demeure limitée ce qui s'explique aussi par les limites techniques de la robotique. Nonobstant les rêves éveillés des propagandistes de la robotique, le « paradoxe de Moravec » est toujours d'application. Selon l'ingénieur Hans Moravec (Moravec, 1998), le plus difficile à réaliser en robotique est souvent ce qui est le plus facile pour l'homme. Dit autrement, il est plus facile de programmer les ordinateurs pour répondre à des tests d'intelligence et gagner des jeux d'échecs que de leur attribuer la même agilité et les mêmes capacités de perception que celles d'un enfant d'un an...

Des poids lourds sans chauffeurs 6 ?

Le projet de mettre sur les routes des camions sans chauffeurs est une des principales icônes du rêve d'une automatisation totale. Il faudra certes équiper les routes d'une couverture 5G mais, selon les propagandistes de l'automatisation totale, ce rêve pourrait devenir réalité d'ici à une dizaine d'années. Ce qui est absolument faux. En 2016, Otto, une start-up consacrée à la conduite sans chauffeur, a organisé une démonstration en faisant rouler dans le Colorado un poids lourd chargé de casiers de bière. Le succès fut modeste car le camion a eu besoin d'une conduite humaine pour l'amener sur l'autoroute et puis à la sortie de celle-ci, pour circuler en ville jusqu'à destination.

Selon la Société des ingénieurs automobile des États-Unis, la conduite intégralement automatisée se situe à 5 sur une échelle de 0 à 6. De 0 à 4, l'intervention du chauffeur est toujours requise. La démonstration dans le Colorado équivalait au niveau 4, et elle exigeait une autoroute peu fréquentée et rectiligne. Selon les prévisions de la Fédération des transporteurs routiers des USA, il y aura au mieux 60 000 poids lourds semi-automatisés de la classe 8 (30 tonnes) en circulation d'ici à 2035 parmi les 3,4 millions de poids lourds de cette catégorie actuellement en circulation aux États-Unis. Derek Rotz, l'ingénieur de Daimler responsable du projet de conduite automatisée, estime qu'il faudra encore plusieurs décennies avant de pouvoir se passer entièrement d'un chauffeur. Les capteurs d'informations ne sont pas assez fiables. Le freinage automatique, le contrôle de la vitesse et la maîtrise de la dépense énergétique sont non automatisables en contexte urbain. Lorsque le trafic se densifie par rapport à des conditions climatiques aléatoires, un état des routes variable, la charge du camion interagit directement dans la conduite, ce qui est très difficile à modéliser. A cela s'ajoutent des questions juridiques en cas d'accident (assurances) et le risque de voir une cargaison dérobée via un hacking informatique relativement aisé puisque la conduite nécessite une connexion ouverte avec des réseaux locaux le long de la route à parcourir.

6. Sources:

Hook, Leslie (2017), "Out of road: driverless vehicles and the end of the trucker", Financial Times, March 30, 2017; GoOgle+ 2017, Google Self-driving Car Project, "Say Hello to Waymo", disponible sur : <https://plus.google.com/+SelfDrivingCar>. Voir aussi Short J., Murray D. (2016), *Identifying Autonomous Vehicle Technology Impacts on the Trucking Industry*, Novembre 2016 (Arlington VA: American Transportation Research Institute, 2016), 4-14. ; et Kim Moody (2018).

La logistique représente le secteur où les analyses prospectives s'attendent à voir l'automatisation progresser rapidement. Or, justement, c'est dans ce secteur que la robotisation avance lentement alors que la numérisation du procès de travail est extrêmement étendue. L'introduction du robot Kiva chez Amazon date de 2012 mais 8 ans plus tard, dans la majorité des entrepôts, le transport continue à se faire avec des transpalettes et des chariots élévateurs pilotés par des manutentionnaires. Aux États-Unis, le nombre de véhicules automatiques guidés ne dépassait pas les 16 000 en 2018, un chiffre très réduit quand on sait que le secteur compte 4,5 millions de salariés (hors chauffeurs-livreurs).

Dans un avenir proche, les consultants spécialisés dans la logistique considèrent que l'emploi va continuer à augmenter tandis que la robotisation restera limitée, se substituant à moins de 5 % de la force de travail. L'innovation passe donc avant tout par une réorganisation et le développement d'une logistique intermodale⁷ avec des *hubs* de transfert (appelés *cross-docking* dans le jargon) qui réduisent les surfaces de stockage et permettent aux marchandises d'être directement transférées d'un mode de transport à un autre.

Au final, la logistique nous montre que le travail « vivant » demeure plus performant et plus fiable que les robots, et qu'il suffit de rationaliser le flux via une organisation au plus juste⁸. Plutôt que de remplacer l'humain par un robot, il est préférable de le faire travailler « comme un robot », selon une logique de performance qui allie la souplesse et l'intelligence du travail humain avec l'efficacité d'une rationalisation du *process* via un *lean management* assisté par ordinateurs⁹.

1.2 - L'IA ne tient pas ses promesses

Depuis plusieurs décennies, l'intelligence artificielle incarne l'idéal parfait d'une automatisation totale. Ce rêve est déjà ancien. Pendant la seconde guerre mondiale, les machines de calcul avaient fait leurs preuves et furent ensuite perfectionnées en mobilisant des technologies nouvelles. Portée au pinacle par Herbert A. Simon, concepteur du programme informatique *General Problem Solver*, il fut de bon ton d'annoncer l'avènement du règne

7. Le nombre de plateformes organisant le transfert entre le transport maritime, les chemins de fer, et transport aérien a connu un essor significatif depuis 2010.

8. Dans la logistique, en 2018, peu s'attendent à des investissements dans la robotisation en pensent que c'est d'abord au niveau de la rationalisation du procès de travail via les TIC que les investissements se réaliseront.

9. Hocquelet M. (2020), « De l'influence du numérique sur les compétences dans les entrepôts de la logistique », *Céreq Bref*, n° 388, 2020, 4 p. <https://www.cereq.fr/de-linfluence-du-numerique-sur-les-competences-dans-les-entrepots-de-la-logistique>

Tableau I - Evolution du nombre de robots industriels installés entre 2013 et 2018

Pays	2013	2014	2015	2016*	2017*	2018*
Europe (UE28)	43 284	45 559	49 500	52 000	56 000	66 000
Rép Tchèque	1 337	1 533	1 900	2 000	3 000	3 500
France	2 161	2 944	3 200	3 300	3 500	3 700
Allemagne	18 297	20 051	21 000	21 000	22 000	25 000
Italie	4 701	6 215	6 600	6 800	7 800	8 000
Espagne	2 764	2 312	2 700	2 800	2 800	3 200
Royaume Uni	2 486	2 094	2 400	2 600	2 800	2 500
autre UE	11 538	10 410	11 700	13 500	14 700	19 100

Source : Fédération Internationale de la Robotique - Rap. Annuel 2013-2018 / * chiffres arrondis

des machines intelligentes dépassant les capacités de l'humain¹⁰. Aujourd'hui, Elon Musk, concepteur-fondateur de Tesla, joue cette même partition en annonçant que, d'ici cinq ans, l'IA sera en capacité de contrôler l'ensemble des processus dirigés par des humains¹¹.

Le doute est permis d'autant que des pronostics du même genre se sont systématiquement avérés faux. Le philosophe Herbert Dreyfus, premier à critiquer l'utopie cybernétique faisant de l'ordinateur le successeur de l'homme, peut nous aider à comprendre pourquoi (Laruelle, 1987). Dans *What Computers Can't Do* (1972, 1992), Dreyfus explique que l'IA n'est rien d'autre qu'une simulation de l'intelligence humaine. Les utopies cybernétiques reposent sur une épistémologie qui consiste à prendre de simples suppositions pour des axiomes « *alors que ce sont au mieux des hypothèses* ». Une de ces suppositions consiste à appréhender le cerveau comme un équivalent biologique de la logique binaire (I/O). Or, le cerveau humain contient 15 milliards de neurones qui chacun dispose de près de 1 000 synapses qui permettent des échanges simultanés et multiples. Une deuxième erreur est de nature psychologique : pour les tenants de l'IA, le cerveau fonctionne comme une machine à calcul suivant des règles formelles alors que ce que nous savons et comprenons résulte d'une inclination qui nous porte vers certaines interprétations. Lorsque nous utilisons des symboles explicites comme le langage, nous les utilisons avec un savoir intuitif qu'on pourrait identifier au sens commun. Ce savoir intuitif est rarement mobilisé sous forme de symboles, mais prend plutôt une consistance fluide composée de significations implicites et intuitives. À l'inverse de ce que le pionnier de l'IA John McCarthy défendait, les connaissances humaines demeurent en partie irréductibles à la logique formelle. Il est par conséquent impossible pour une machine intelligente de reproduire cette connaissance sous une forme logique. En dernier lieu, les chercheurs en IA tendent à considérer la connaissance scientifique formelle comme illimitée, ce qui permet d'appréhender chaque chose comme objet, comme classe d'objets, caractéristique d'objet et relation entre objets. Or, il n'y a aucune certitude que ce soit vrai dans la totalité des cas. On ne sait pas si des exceptions existent et il ne faut donc pas prendre pour loi universelle ce qui ne l'est pas. Vingt ans plus tard, dans *Mind Over Machine*, Herbert Dreyfus (Dreyfus, 1986) défend à nouveau l'idée que la capacité humaine à résoudre des problèmes restera encore longtemps supérieure à toute tentative automatisée et machinique de la reproduire¹².

Ces critiques ont conduit la recherche en IA sur de nouvelles pistes comme la modélisation des échanges infra-symboliques ou infra-cognitifs et l'écriture d'algorithmes évolutifs¹³. À partir des années 2000, les approches statisticiennes intègrent les probabilités dans la programmation, ce qui conduit l'IA sur la voie du *machine learning*. La programmation cherche à simuler la manière dont nos instincts inconscients perçoivent des anomalies tout en gardant la capacité de poser des jugements rapides. Les recherches neurologiques s'approfondissent à propos du fonctionnement bimodal en *slow and fast thinking* que l'IA arrive à simuler, en compensant le déficit de compréhension intuitif par des calculs en chaîne sur un nombre très élevé de données et qui représentent en quelque sorte la situation par rapport à

10. Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A. (1959). *Report on a general problem-solving program. Proceedings of the International Conference on Information Processing*, pp. 256–264.

11. Voir <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/elon-musk-artificial-intelligence-ai-singularity-a9640196.html>

12. Dreyfus distingue ici, à l'instar de Heidegger (savoir quoi et savoir comment), entre ce qui est à disposition et ce qui pourra être mis en pratique. Ce que l'on sait correspond à nos capacités conscientes de résolution de problèmes qui se font pas à pas.

13. À l'origine, l'algorithme n'est rien d'autre qu'un raisonnement logique écrit en langage informatique de type « If This Then That » (ceci amenant cela), mais qui peut s'étendre, en épousant un vaste ensemble de cas de figure entretenant des relations de combinaisons multiples.

laquelle une action sera entreprise.

L'artificialisation de l'intelligence trouve désormais des applications très variées. Citons pêle-mêle les applications au niveau des opérations financières qui se font à la nanoseconde tout en tenant compte de paramètres extrêmement complexes ; le système d'analyse de préférences et d'opinions créant la possibilité d'influencer le vote ; l'analyse médicale ou encore les sciences climatiques et les modèles d'analyse évolutifs avec des scénarios complexes qui intègrent les boucles rétroactives et les effets de seuil¹⁴. Toutefois, de nombreuses difficultés demeurent, comme on l'a vu dans le domaine de la conduite routière automatisée.

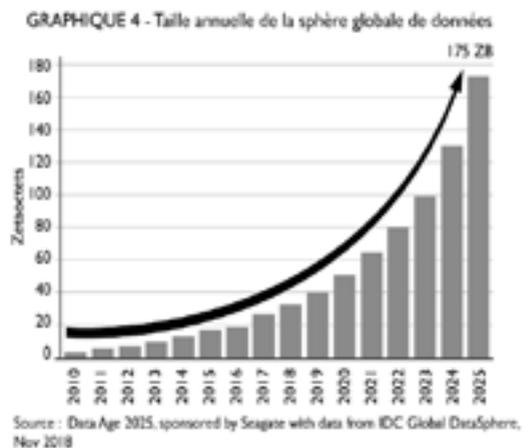
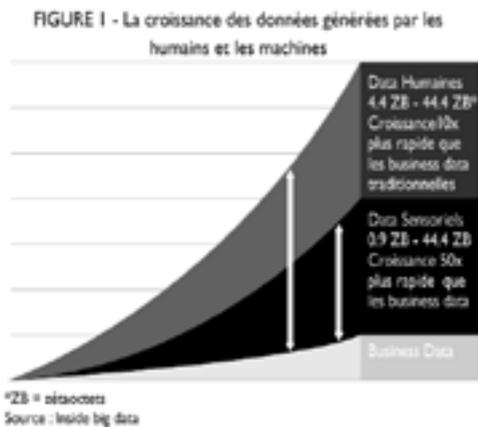
1.3 - Une numérisation fulgurante

Si la robotisation se développe au ralenti et que l'IA progresse par à-coups, la numérisation continue de son côté d'avancer de façon fulgurante. Ayant pris son envol au début des années 2000, elle affecte désormais l'ensemble des sphères sociales, production et consommation confondues. On en constate l'ampleur en mesurant le taux de croissance des téraoctets échangés via Internet, qui passerait de 25 zétaoctets en 2015 à 175 zétaoctets en 2025¹⁵.

L'ampleur de la numérisation se mesure aussi à l'aune des besoins énergétiques. Si la croissance annuelle en électricité est estimée à 3 % environ, la consommation électrique liée aux technologies numériques augmente de 8 % par an tandis que les besoins de réseaux s'accroissent de 10 % par an. Les analyses prospectives considèrent que celles-ci absorberont 20 % de la consommation d'électricité vers 2030¹⁶, malgré les gains d'efficacité et des outillages de moins en moins énergivores. A l'évidence, la croissance du volume de données produites, transmises et stockées semble illimitée, mais leur empreinte écologique ne l'est nullement ! D'après l'observatoire Global Internet Health, Internet représentait en 2019 la même empreinte car-

14. Ainsi, le programme d'IA Watson, conçu par IBM, a élaboré à partir de 600 000 rapports médicaux et de 2 millions de pages de journaux médicaux un programme informatique capable, à partir des symptômes et des antécédents familiaux et médicaux d'un patient, de générer un diagnostic et un programme complet de traitement.

15. Le zétaoctet est un multiple de l'octet unitaire pour les informations numériques. Le préfixe zeta indique la multiplication par la septième puissance de 1 000 ou 10²¹ dans le Système international d'unités. Un zétaoctet est un sextillion d'octets.



bone que le trafic aérien. Selon le rapport 2019 de l'Agence Internationale de l'Énergie (IAE), la consommation d'énergie électrique est avant tout propulsée par le numérique et augmente à un rythme tel qu'il faut craindre des chocs énergétiques à l'horizon de dix ans¹⁷.

L'importance de la numérisation se vérifie également par la montée des géants du Net. En juin 2020, les Gafam (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft) pesaient près de 5 000 milliards de dollars et, selon les analystes financiers, Apple devrait bientôt devenir la première entreprise à dépasser les 2 000 milliards de dollars de capitalisation boursière, presque autant que le PIB de la France. Amazon s'approche d'un résultat net de 6 milliards de dollars, ce qui en fait un géant, mais de la même taille que les grandes firmes globales traditionnelles. Toujours est-il que le modèle de profit fondé sur Internet apporte une puissance économique phénoménale grâce à l'accès au marché final qui assure à chaque firme des Gafam des rentes oligopolistiques – ce qui explique aussi pourquoi les capitaux affluent (Staab, 2019 ; Durand, 2020). Il est évident que le développement de l'e-commerce ne peut qu'amplifier cette position dominante dans les années à venir.

Si le mouvement de l'*open source* a constitué une contre-culture, faisant croire que la communication et l'échange *peer to peer* pouvait démocratiser les rapports sociaux¹⁸, aujourd'hui, l'*open source* représente plutôt un champ libre où les géants du Net peuvent braconner librement, et recycler des *codes source* pour les intégrer dans des applications et des programmes brevetés. Nonobstant les *hackerspaces* et autres pratiques ludiques et anti-lucratives, les nouveaux communs du savoir sont en voie d'enclosure, voire de « colonisation », par les géants du Net, à même de s'accaparer une masse énorme de données (Durand, 2020).

La numérisation des échanges sociaux affecte largement la sphère hors travail : consommation, loisirs, espace domestique et espace public sont en voie de numérisation totale. À l'évidence, cette numérisation a connu une accélération fulgurante avec le développement des réseaux sociaux. Le *digital labor*, appelé aussi micro-travail du clic, est un phénomène étroitement lié à cette numérisation des échanges sociaux. Ce concept visant à identifier des activités à la fois ludiques et laborieuses a été développé au début des années 2010 par des chercheurs s'inscrivant dans la tradition de l'opéraïsme. En France, les travaux d'Antonio A. Casilli (2019) ont contribué à rendre visible ce *digital labour*. À rebours des rêves futuristes d'un avenir sans travail humain, Casilli défend l'assertion que le *digital labour* représente non seulement une activité de travail qui ne s'avoue pas comme telle, qu'elle est source de création de valeurs (de richesses), mais surtout que l'automatisation et la numérisation ne peut aller de l'avant sans générer du micro-travail. Même si ce dernier se présente comme le contraire du travail (rémunéré), il en hérite néanmoins l'hétéronomie et certaines de ces contraintes.

Sachant qu'il faut continuer à consacrer du temps pour assurer son existence sociale sur des plateformes telles que Facebook, Instagram, Snapchat, cette activité répond à la fois à un besoin de reconnaissance, exacerbe le narcissisme et témoigne de façon ostentatoire du capital social dont on dispose. La création de contenus et leur transformation représente une acti-

16. Morleya, Wid-dicks, Hazas (2018), « Digitalisation, Energy, and Data Demand: The Impact of Internet Traffic on Overall and Peak Electricity Consumption », in *Energy Research & Social Science*, n° 38, 2018, pp. 128–137 ; ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.01.018>

17. Voir World Energy Outlook 2019 ; <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

18. Voir *Sauver le monde. Vers une économie post-capitaliste avec le peer-to-peer*, de Michel Bauwens (avec la collab. de Jean Lievens, préface de Bernard Stiegler), 2015.

vité qui devient une ressource valorisable à plusieurs niveaux. D'abord parce qu'elle informe la machine sur les préférences en termes de consommation de biens, ensuite parce qu'elle instruit aussi la machine sur comment ces préférences émergent et se diffusent (il faut donc identifier les «influenceurs»). Cette information permet non seulement de nourrir l'e-marketing, mais consolide des bases de données de plus en plus sophistiquées sur les croyances sociales et la formation des opinions politiques par exemple. Les réseaux sociaux participent à la société du spectacle, où l'on doit se mettre en scène. Ce vaste dédoublement numérique des espaces sociaux a favorisé des nouvelles activités comme le fermage des clics, la reconnaissance faciale, jusqu'à devenir un instrument de contrôle des masses. Sans nous étendre ici sur les manières d'interpréter ces évolutions, il convient de souligner l'intérêt que représentent les analyses de Jodi Dean à propos du capitalisme communicationnel (Dean, 2009) et celles de Shoshana Zuboff (Zuboff, 2018) à propos d'un capitalisme de surveillance. Ces deux auteures se rejoignent pour dire que le capitalisme contemporain est avant tout un système social où les profits sont propulsés par les données informationnelles que le numérique permet de traiter comme une véritable matière première.

1.4. La numérisation du travail

La numérisation des espaces de travail se développe depuis les années 1990 avec l'arrivée des ordinateurs et l'interconnexion de ceux-ci via Intranet ou Internet. Progressivement, plus aucune tâche ne semble à l'abri du numérique, au niveau de la saisie des informations comme de la transmission des données en passant, évidemment, par la comparaison des résultats.

Il faut rappeler ici le rôle moteur qu'a joué la *lean production*¹⁹, en tant que modèle productif qui impose une surveillance étroite de l'ensemble des activités productives, en cherchant à réduire au maximum les coûts, et en imposant une chasse aux temps morts. C'est à partir du *lean* que la numérisation s'est développée en tant qu'outil technique permettant de centraliser les informations et d'intégrer celles-ci dans un tableau de bord de « performance globale ». C'est à partir des systèmes d'information numérisés que la chaîne de valeur prend forme, en intégrant dans un même modèle organisation la conception des produits, les méthodes de fabrication, la circulation des pièces et des produits, la gestion des unités de production et les échanges d'informations entre les différents segments de la chaîne de valeur (avec les équipementiers et les sous-traitants).

Avec le développement d'Internet, la mise en relation de systèmes de production semi-automatisés peut s'émanciper des contraintes spatiales et insérer plusieurs séquences et lieux dans un même réseau. Dans l'automobile, les sous-traitants, situés à proximité des chaînes d'assemblage, sont intégrés dans les systèmes informatiques de pilotage, ce qui permet aux équipementiers de s'ajuster aux pannes et aux variations dans l'ordonnement de la production. Cette interconnectivité, également appelée « Internet des objets », donne une consistance informationnelle à la « chaîne de valeur ». Les cabinets conseils, premiers à faire de la recherche sur cette réalité, compatabilisaient, en 2018, près de 8,4 milliards d'objets interconnectés et estiment

19. Pour une analyse critique, voir Tony Smith (2000) ainsi que Bouquin (2010), Staab (2019). Pour une vision plus optimiste, voir Brynjolfsson et McAfee (2011), *Race Against the Machines : How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*, Digital Frontier Press. Pour une analyse contemporaine des effets de numérisation sur l'activité de travail, voir Moore (2018).

que ce volume va grimper à plus de 20 milliards d'objets dans les années à venir. Rappelons toutefois que si les machines intelligentes communiquent désormais entre elles, ce n'est pas sans surveillance humaine...

Les processus de partage et de circulation d'informations ont permis l'apparition de plateformes numériques qui restaient jusque-là largement internes aux entreprises²⁰. À l'aide d'algorithmes, ces plateformes mettent en relation offre et demande, clients et service demandé. Sur le plan technique, ce modèle fonctionne très bien au niveau des services à la personne (Airbnb, Uber, Deliveroo, etc.). Il en est tout autrement au niveau de la production de biens manufacturés, où l'on doit encore améliorer la fiabilité des informations transmises, faute de quoi l'interopérabilité demeure sujette à caution, ce qui est source d'erreur et de défauts de qualité avec des problèmes de surcoûts, et au final, peu d'économies d'échelle.

Si la numérisation semble fulgurante, l'analyse comparée de France et d'autres pays européens révèle néanmoins un certain retard dans sa diffusion. Ainsi, en 2017, la France se situait en dessous de la moyenne européenne, en 15^e position sur 28. Ce constat est clairement évoqué dans le « Rapport sur l'automatisation et la numérisation » 2018 du Conseil d'orientation pour l'emploi (COE) [pp. 28-32]. Déjà en 2015, le Cabinet McKinsey (2017) dressait un constat analogue :

« [Nous observons] une relativement bonne connexion des entreprises françaises à Internet, ainsi qu'un taux d'adoption supérieur à la moyenne pour certains outils numériques traditionnels et sophistiqués (usage de progiciels de gestion intégrés ou de gestion de la relation client), mais les résultats sont toutefois bien plus décevants en ce qui concerne le commerce en ligne et les technologies émergentes (réseaux sociaux, connexions mobiles) » (pp. 29-30).

Le retard de la France renvoie à un faible usage de certaines technologies comme le *cloud computing* ou la gestion numérique des échanges. Bien sûr, évoquer un « retard » remplit une fonction idéologique. Elle exprime une injonction à surmonter certains obstacles sociaux ou institutionnels. La thématique de la « *start-up nation* » et la volonté de l'exécutif de promouvoir l'innovation dans la recherche scientifique participent à cet effort de modernisation par l'innovation technologique.

Il est certain que la pandémie et le confinement du printemps 2020 ont pour conséquence d'accélérer la numérisation de la sphère du travail. Comme l'évoque Sophie Binet, de l'Ugict-CGT, dans l'entretien publié dans ce numéro (voir pp. 113-120), le patronat est désormais favorable au télétravail puisque cela permet d'approfondir l'individualisation de la relation salariale. Le caractère collectif (interdépendant) du travail demeure néanmoins présent. La diffusion du télétravail risque fort d'alimenter une critique sur le sens du travail et renforcer une demande en faveur de collectifs de travail non-aliénants.

20. Voir à ce propos un bilan critique, *Plateformes numériques. Utopies, réforme ou révolution ?*, sous la direction de Mathilde Abel, Hugo Claret et Patrick Dieuaide (2020).

2. L'automatisation contre l'emploi ?

Aux Etats-Unis, plusieurs ouvrages annonçant l'ère des robots ont été des bestsellers. Citons entre autres *The Second Machine Age*, d'Eric Brynjolfsson et Andrew McAfee (2014), ou encore *The Rise of the Robots: Technology and the Threat of Mass Unemployment*, de Martin Ford (2016). Ce n'est pas nouveau. En 1995, Jeremy Rifkin prédisait, dans *La Fin du travail*, une vague d'automatisations liées aux nouvelles technologies qui allait provoquer des pertes d'emplois massives.

Selon les économistes Carl Frey et Michael Osborne (2013), chercheurs de l'école polytechnique de l'université d'Oxford, près de 50 % de l'emploi total serait « à haut risque » de disparaître, sachant que ces postes de travail comprennent des tâches automatisables²¹. Au cours de la décennie écoulée, toute une série de rapports ont annoncé la disparition de plus d'un tiers des emplois. Selon le Global McKinsey Institute (2017), 35 % des emplois seraient amenés à disparaître d'ici à 2035. La Banque mondiale estimait dans son rapport de 2016 que 57 % des emplois des pays de l'OCDE seraient menacés. En France, le Cabinet conseil Roland Berger²² abondait dans le même sens, considérant qu'environ 40 % des emplois risquaient de disparaître au cours de quinze prochaines années. A l'échelle mondiale, selon le scénario le plus pessimiste, 400 millions d'emplois disparaîtraient d'ici à 2035 à cause de l'automatisation. L'OMC, plus prudente, considère quant à elle que de 10 à 15 % des emplois des pays de l'OCDE seraient entièrement automatisables (WTO, 2016 : 90-110).

Dans une étude économétrique qui est devenu une sorte de méta-référence, Daron Acemoglu et Pascual Restrepo (2017), modélisent l'impact de la robotisation sur l'emploi²³. Selon leurs calculs, la robotisation des vingt-cinq dernières années démontre que pour chaque robot 6,2 postes de travail disparaissent. Reste à savoir si le solde en termes de volume d'emploi est négatif. Les études économétriques ont le plus grand mal à répondre à cette question, tant au niveau rétrospectif que prospectif. En effet, comment isoler les variables indépendantes et dépendantes pour ensuite les pondérer ? L'analyse microéconomique au niveau de l'entreprise observe que l'automatisation permet d'augmenter les volumes de production et d'embaucher du personnel, ce qui invite à penser l'innovation comme un cercle vertueux, mais cela ne mesure pas la destruction d'emplois chez les concurrents et laisse de côté le rôle joué par l'innovation produit.

Une approche sectorielle ou nationale donne la possibilité de mieux mesurer l'effet de l'automatisation, à condition d'intégrer d'autres variables comme la conjoncture économique, la balance commerciale, la politique monétaire et la provision d'aides publiques.

2.1 Les effets de l'automatisation sur le volume d'emploi

Au cours des années 2016-2017, le Conseil d'orientation pour l'emploi (Coe) réalisait une série d'auditions d'économistes afin de déterminer plus exactement les effets de l'automatisation sur l'emploi. Le rapport issu de ces auditions propose une analyse comparée des études (essentiellement économétriques) et conclut que l'effet de l'automatisation sur le volume

21. Voir Frey, C. B. and M.A. Osborne (2015), « Technology at Work: The Future of Innovation and Employment », Citi GPS: Global Perspectives & Solutions, February 2015. ; Frey, C.B., Osborne M.A. (2013), *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?*, University of Oxford. ; Frey, C.B., Osborne M.A. (2017), 'The future of Technological Forecasting & Social change' 114: 254-80.

22. Roland Berger Strategy Consultants (2014), « Les classes moyennes face à la transformation digitale. Comment anticiper ? Comment accompagner ? ».

23. https://irs.princeton.edu/sites/irs/files/event/uploads/robots_and_jobs_march_3.17.2017_final.pdf

d'emploi net est soit neutre, soit positif puisque les créations d'emploi dans le secteur de l'informatique, la numérisation des processus de production et la fabrication de nouveaux outillages automatisés doivent également être comptabilisées. On peut donc dire avec une grande certitude que les annonces catastrophistes annonçant une disparition de 30 % ou de 40 % des postes de travail sont absolument infondées.

Mesurer l'effet des nouvelles technologies, de l'automatisation et de la robotisation sur l'emploi

L'OCDE (2017) a réalisé une étude sur les effets des investissements dans les technologies de l'information et de la communication sur l'emploi au niveau macroéconomique et sectoriel. Dix-huit pays de l'OCDE – dont la France – ont été étudiés sur la période 1990-2012. Les auteurs partent du constat que, entre 1990 et 2012, le coût du capital des technologies de l'information et de la communication (TIC) n'a cessé de baisser dans tous les pays étudiés, et cherchent alors à évaluer les effets de la baisse du coût du capital TIC sur la répartition des facteurs de production au sein des entreprises. En se fondant sur une hypothèse très restrictive – les auteurs estiment que, à long terme, le travail et le capital sont aisément substituables – et en retenant comme indicateur la baisse du coût annuel d'usage du capital TIC, le modèle montre que les investissements en TIC n'ont, à moyen terme, pas d'effet négatif sur l'emploi au niveau agrégé dans les pays observés sur la période 1990-2012 compte tenu des mécanismes de compensation : l'effet de substitution direct du travail par le capital est compensé par la hausse de la demande – mécanisme de la baisse des prix et de l'augmentation des revenus.

Une autre étude, réalisée par Graetz et Michaels (2016), cherche à évaluer l'impact de la diffusion des robots industriels sur différentes variables économiques dont l'emploi. Elle porte sur 17 pays au cours de la période 1993-2007. Ils en concluent notamment que la densification en robots industriels dans les économies étudiées entre 1993 et 2007 n'a pas eu d'effet négatif sur le nombre d'heures travaillées, sauf pour les moins qualifiés. Toutefois, pendant la période, les robots industriels n'étaient utilisés en moyenne que dans un tiers de l'économie ; les auteurs soulignent alors que les effets à venir pourraient être potentiellement plus puissants.

Une dernière étude, réalisée par Gregory, Salomons et Zierahn (2016) analyse les effets théoriques et empiriques du progrès technologique défavorable au travail routinier sur le volume de l'emploi (RRTC pour routine-replacing technological change). Des données sur 238 régions de 27 pays européens sont analysées sur la période 1999-2010. Selon eux, trois effets du progrès technologique peuvent influencer sur le volume de l'emploi. Le premier est l'effet de substitution : quand le coût du capital baisse, les entreprises ont tendance à devenir plus économes en travail – l'effet est négatif. Il y a ensuite l'effet de la baisse des prix, et donc de l'augmentation de la demande qui est favorable à l'emploi. Enfin, il y a le mécanisme de l'augmentation des revenus disponibles qui peut soutenir la consommation locale pour les nouveaux produits, mais aussi d'autres produits – l'effet est positif. La balance entre ces trois effets théoriques détermine empiriquement les effets globaux sur l'emploi. Les auteurs concluent que, d'après leurs estimations, le RRTC a créé environ 11,6 millions d'emplois

en Europe, soit la moitié de l'emploi créé sur la période 1999-2010. Les technologies récentes seraient donc créatrices d'emplois.

Ces trois études rétrospectives montrent qu'effectivement les innovations technologiques peuvent temporairement détruire des emplois, mais qu'elles en créent aussi directement et indirectement. En fonction notamment de la nature des technologies et du contexte institutionnel, les nouvelles technologies peuvent être défavorables à l'emploi pendant une période d'ajustement. Les résultats empiriques récents montrent toutefois que, sur les trente dernières années, les innovations qui ont émergé avec la vague du numérique ont permis aux entreprises d'être plus productives et ont enclenché des mécanismes qui ont tiré la croissance de la production et de l'emploi tout en créant de nouveaux secteurs qui ont soutenu la demande en travail.

Les difficultés auxquelles sont confrontées les analyses économétriques ont conduit des chercheurs à investiguer une voie alternative qui porte le regard sur la division du travail et l'évolution des métiers. Cette approche distingue les tâches et les emplois. Suivant cette approche, les tâches hautement prévisibles dans un environnement stable sont considérées comme automatisables, ce qui ne correspond qu'à 5 % des emplois, selon les estimations plus récentes. Toutefois, beaucoup de métiers et de fonctions verront certainement une partie des tâches être automatisées, ce qui devrait, selon les auteurs du rapport du COE, affecter facilement plus de la moitié des emplois. Pour mieux identifier les tâches automatisables, l'équipe de chercheurs sous la direction de David Autor (Autor, 2003 ; Autor, 2013) a proposé de retenir la dimension routinière comme facteur discriminant. Ce critère fait néanmoins débat en ce qu'il demeure trop vague et que son périmètre est forcément évolutif.

Nicolas Le Ru (2016) a retenu une méthode adaptée à la situation française²⁴. Le graphique 5 présente les résultats de cette étude. Selon ce scénario, le volume d'emploi automatisable dépasserait en théorie de 3 millions d'unités, ce qui est loin d'être négligeable puisque cela représente près de 9 % des actifs employés. Mais cette estimation laisse de côté la faisabilité économique qui dépend aussi de l'ampleur de l'activité. A l'évidence, dans les PME ou les TPE, les choix et arbitrages en faveur ou non de l'automatisation se font différemment... Par conséquent, les 3 millions d'emplois entièrement automatisables sont une estimation « haute ». A la suite des préconisations de plusieurs scientifiques, le COE a voulu préciser davantage les critères qui permettent d'isoler le caractère automatisable d'une tâche. Il est utile de les citer ici car ils révèlent à leur manière l'existence de nombreux freins organisationnels et sociaux qui entravent une automatisation rapide et la disparition concomitante d'emplois.

Pour être entièrement automatisable, un poste de travail doit se caractériser par une quadruple absence, à savoir :

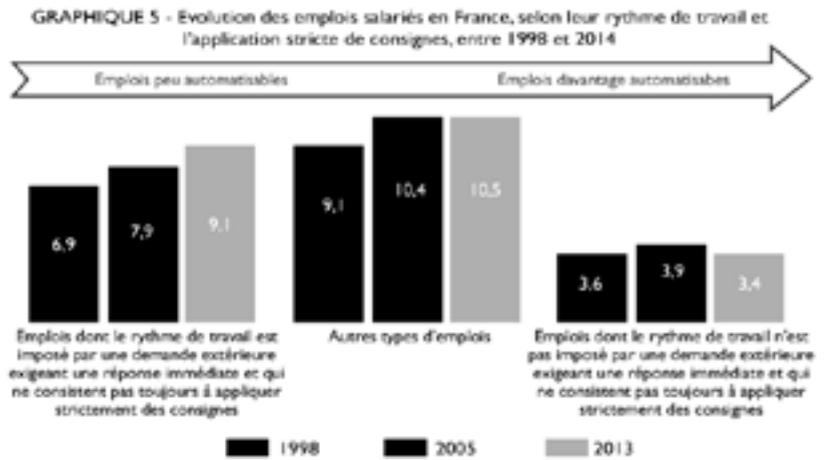
- Une absence de flexibilité : le rythme de travail est imposé par une cadence machine, la tâche est encadrée par des normes de production horaire, la tâche consiste à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations ;
- Une absence d'adaptation : il n'existe pas de nécessité d'interrompre une tâche en cours d'exécution pour en effectuer une autre non prévue, et la

24. N. Le Ru s'appuie ici sur les travaux de David Autor selon qui l'homme gardera un avantage comparatif par rapport aux machines dans les prochaines années pour les métiers qui demandent des capacités particulières de flexibilité, d'adaptabilité, de résolution des problèmes et d'interactions sociales. Afin de pouvoir apprécier la part d'emplois automatisables, l'auteur a mobilisé l'enquête « Conditions de travail » de la Dares en cherchant à apprécier le nombre de salariés occupant les emplois (partiellement) automatisables, au travers des réponses à deux questions :

1) « Votre rythme de travail vous est-il imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate ? » - Cette vérifie la mobilisation de compétences telles que la capacité de tenir compte d'interactions sociales, l'adaptabilité et la flexibilité.

2) « Vous recevez des ordres, des consignes, des modes d'emploi. Pour faire votre travail correctement, est-ce que : a) vous appliquez strictement les consignes ; b) dans certains cas, vous faites autrement ; c) la plupart du temps vous faites autrement ; d) sans objet (pas d'ordres, de consignes ou de modes d'emploi) ? »

Un emploi est donc considéré comme automatisable si le travailleur répond « oui » à la première question reportée ci-dessus et « vous appliquez strictement les consignes » à la deuxième.



Lecteur: Les emplois salariés dont le rythme de travail est imposé par la satisfaction immédiate de la demande des clients et qui ne consiste pas à appliquer strictement des consignes ont augmenté de 1,04 million entre 1998 et 2005 - passant de 6,9 millions à 7,9 millions - puis de 1,14 million entre 2005 et 2013, passant de 7,9 millions entre 2005 et 2013

Source : France Stratégie, d'après Dares-Drees-DGAFP-Insee, enquêtes Conditions de travail

tâche consiste en une application stricte de consignes ou de procédures ;

- Une absence de résolution de problèmes : lorsqu'il se produit une situation anormale, le salarié fait appel à d'autres pour résoudre le problème ;
- Une absence d'interactions sociales : le contact avec le public est limité et le rythme de travail n'est pas imposé par une demande extérieure variable.

Certes, ces critères déterminent seulement en partie la probabilité de voir une tâche être automatisée mais ils forment néanmoins une sorte de « barrière sociale » à l'automatisation totale. Dès lors qu'on ajoute à cela d'autres facteurs, comme l'état d'avancement des technologies, l'acceptabilité sociale de l'automatisation ou encore le coût global de celle-ci, il est évident que l'effet de l'automatisation sur le volume des emplois demeure réduit. En tout logique, le rapport du COE conclut :

« Alors même que ces projections sont bien moins préoccupantes que celles de Frey et Osborne (2013), les auteurs soulignent que ces chiffres ne se traduiront pas nécessairement en perte effective d'emplois, et ce pour au moins trois raisons : primo, l'adoption et la diffusion des technologies sont un processus ralenti par les obstacles économiques, légaux et sociaux, de telle sorte que souvent la substitution technologique ne s'effectue pas comme prévu ; secundo, les travailleurs ont la capacité de s'adapter de manière à pouvoir changer le contenu en tâches de leurs métiers et de travailler avec les technologies ; tertio, l'innovation peut également d'une part créer de nouveaux secteurs et donc de l'emploi, et d'autre part augmenter la compétitivité et par ce biais soutenir la demande » (p. 56).

Au final, comme le rappelait Ulrich Zierahn devant le COE pour l'Emploi²⁵, les craintes que suscitent l'automatisation sont largement infondées, et son développement se traduira avant tout par une transformation des emplois existants plutôt que par leur disparition.

Tout comme auparavant, les technologies nouvelles suscitent aussi la création d'emplois. Il y a d'abord les emplois « directs » liés au niveau du développement et la production des outils technologiques, dans ce cas-ci le numérique et la robotique. A cela il faut ajouter les emplois « indirects » qui sont liés à l'usage de ces technologies nouvelles dans l'ensemble des secteurs. Selon le rapport du COE, il apparaît que le potentiel de création d'emplois directs varie fortement. Il est significatif dans le numérique mais très limité dans la robotique. Les créations emplois indirects semble plus difficile à mesurer : « Autant les perspectives de création d'emplois dans le secteur du numérique apparaissent significatives, autant celles envisageables dans le secteur de la robotique sont, à ce stade, plus limitées ». En effet, le secteur de fabrication d'équipements robotisés employait en 2018 à peine 7 000 salariés et un peu moins de 5 000 personnes dispersées dans d'autres secteurs²⁶. La fabrication de robots industriels étant limitée, et le potentiel de croissance aussi, il ne faut pas s'attendre à beaucoup d'emploi additionnels au cours des prochaines années.

Parallèlement, le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) a connu un essor important, suscitant une demande de travail qui se traduit par la croissance d'emplois. En 2018, dans l'Union Européenne, environ 9 millions de personnes étaient employées dans le domaine des TIC, principalement au Royaume-Uni (1,7 million), en Allemagne (1,7 million) et en France (près de 1 million). Ces emplois représentaient alors 3,6 % de l'emploi total dans l'Union européenne²⁷. En France, le nombre de personnes employées dans le secteur des TIC est passé de 636 000 à 980 000 entre 2011 et 2017, soit une augmentation de près de 50%, tandis que leur part dans l'emploi total est passé de 2,5 % à 3,6 % au cours de cette même période (Eurostat, 2019). Sur la période 2009-2014, l'emploi créé dans ce secteur d'activité a augmenté de 2,6 %, alors qu'il n'a progressé que de 0,6 % pour l'ensemble de l'économie. Le secteur du numérique a également été moins affecté par le retournement conjoncturel lié à la crise de 2008. Dans les années à venir, l'emploi du numérique devrait continuer à s'accroître, sans doute à un rythme moins soutenu de l'ordre de 1,8 % par an, mais néanmoins significatif en termes de volume. Ceux-ci se situeraient davantage dans les secteurs connexes que dans la branche elle-même, ce qui ne fait que refléter la numérisation de l'ensemble des secteurs (COE, « Rapport... », p. 77).

Selon la DARES et France Stratégie, dans leur exercice de « Prospective des métiers et des qualifications à l'horizon 2022 »²⁸, l'emploi dans le secteur informatique resterait « dynamique », quel que soit le scénario macroéconomique. L'informatique devrait avoir gagné 110 000 emplois sur la décennie 2012-2022 suivant une cadence de +1,8% par an, demeure supérieur à celui de l'ensemble des métiers. Cette croissance pourrait toutefois recouvrir des évolutions contrastées selon les familles professionnelles :

« Les techniciens et les ingénieurs de l'informatique devraient continuer à bénéficier de perspectives d'emploi favorables (respectivement + 1,1 % et + 2,3 % de créations nettes par an), compte tenu des besoins toujours croissants en fonctions d'ex-

26. <https://fr.statista.com/etude/47426/fabrication-de-machines-et-equipements-nca-en-france/>

27. Il existe toutefois des disparités importantes entre les différents pays, puisque la part la plus élevée du secteur des TIC dans l'emploi total a été relevée en Finlande (6,5 %) et en Suède (6,1 %), ainsi qu'aux Pays-Bas et au Royaume-Uni (5 % dans les deux cas), contre seulement 1 % en Grèce. La France se situait, en 2017, légèrement au-dessus de la moyenne européenne avec un taux de 3,7 %.

28. Argouarc'h J. (2015), *Prospective des métiers et des qualifications à l'horizon 2022 : méthodologie et projections par métiers*. Dares (<https://dares.travail-emploi.gouv.fr/dares-etudes-et-statistiques/etudes-et-syntheses/documents-d-etudes/article/prospective-des-metiers-et-qualifications-a-l-horizon-2022-methode-et-projections>)

pertise. L'emploi des employés et opérateurs de l'informatique devrait rester stable. Dans un scénario plus favorable aux TIC, la hausse de l'emploi dans les métiers de technicien et d'ingénieur serait accentuée tandis que le nombre d'employés resterait stable. Exercées dans des secteurs d'activités très variés, ces professions sont relativement sensibles à la conjoncture économique et connaîtraient des perspectives d'emploi légèrement amoindries dans un scénario économique globalement plus dégradé. » (Argouarc'h, 2015 : 79)

De ce rapide survol, nous pouvons retenir que les nouvelles technologies informationnelles contribuent autant à la création d'emploi qu'elles en suppriment directement ou indirectement via l'automatisation. Leur diffusion dans l'ensemble des secteurs accentue la recomposition de la structure de l'emploi, ce qui est bien sûr une manifestation extérieure d'une réorganisation des qualifications et des compétences.

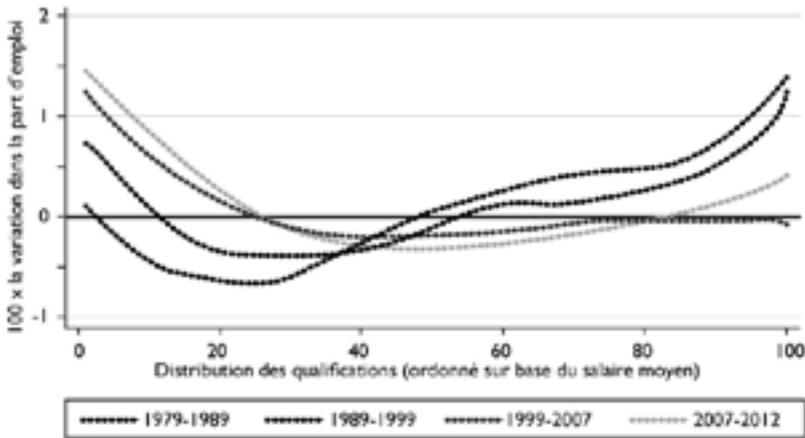
2.3. Nouvelles compétences et polarisation des qualifications

Il existe un large consensus scientifique pour interpréter les effets de l'automatisation-numérisation et de la robotisation sur la structure de l'emploi en termes de polarisation des qualifications²⁹. Les recherches en économie du travail laissent apparaître une diminution des emplois associés à des niveaux de qualifications intermédiaires allant de pair avec une augmentation de la part des emplois à haut et à bas niveaux de qualification. Cette tendance est souvent représentée par une courbe en U, décrivant l'évolution de la part de l'emploi selon le niveau de qualification. Dans le cas des États-Unis, la polarisation des qualifications semble constituer un phénomène relativement généralisé et travaux sur les cas anglais et allemand laissent apparaître une évolution analogue. L'analyse comparée (Goos e.a., 2009, Goos & Manning, 2014) de l'évolution de la structure de l'emploi en fonction du niveau de qualification – estimé à partir du salaire moyen – pour 16 pays de l'OCDE sur la période 1993-2010 montre que cette polarisation est une tendance « lourde » que l'on retrouve dans tous les pays de l'OCDE. Comme l'illustre le graphique 6 (voir page suivante) au sujet des États-Unis, l'ampleur et la forme de cette polarisation peut toutefois varier selon la période considérée. Alors que les périodes 1979-1989 et 1989-1999 sont d'abord marquées par une progression des emplois les plus qualifiés, cette tendance s'inverse au cours de la décennie suivante, qui se caractérise par une croissance particulièrement importante des emplois peu qualifiés. Le progrès technologique représente la principale explication avancée des transformations de la structure de l'emploi, puisque celui-ci favoriserait certains types d'emplois ou des tâches non substituables par des machines, autrement dit ceux où l'homme garderait un avantage comparatif par rapport aux machines.

L'analyse économique s'est surtout concentrée sur l'effet des technologies numériques au sens large et délaisse les effets spécifiques des robots industriels sur l'emploi. Seule une étude portant sur ce sujet et concernant un panel de pays de l'OCDE a pu être identifiée à ce jour (Graetz et Michaels, 2015)³⁰. Selon les conclusions de cette étude, la production de

29. Cela n'est en rien nouveau et a été largement étudié au cours de la période 1950-1980. Rétrospectivement, le schéma inter-prétatif élaboré par Alain Touraine s'avère relativement robuste. Dans un premier temps, la parcellisation conduit à la déqualification du travail ; dans une seconde phase, l'automatisation réduit le nombre de postes peu qualifiés tandis que cette même automatisation suscite à son tour un travail plus qualifié (de contrôle et maintenance). L'erreur d'Alain Touraine consistait à penser que le travail peu/non qualifié va progressivement disparaître. Pour une analyse critique des thèses d'Alain Touraine, voir Alaluf (1986).

GRAPHIQUE 6 - Part de l'emploi selon le niveau de qualification
aux États-Unis entre 1980 et 2012



Lecture : Chacune des courbes représente les évolutions de la répartition des emplois selon le niveau de qualification (estimé d'après le logarithme des salaires moyens en 1979) sur une période. Par exemple, la part des emplois les moins qualifiés (correspondant à la valeur 0 selon l'échelle des abscisses) augmente de plus en plus au cours des périodes retenues : l'augmentation est faible entre 1979 et 1989 (environ 0,2 point de pourcentage), et plus importante entre 2007 et 2012 (environ 1,5 point de pourcentage). Source : Autor (2014).

robots ne demeure semi-automatisée et exige d'abord des qualifications élevées. Sachant que la production de robots demeure réduite en termes de volume, les effets sur la structure des qualifications et des compétences est négligeable.

Depuis les années 1990, la thèse d'un progrès technique favorable aux plus qualifiés demeure dominante dans la littérature. Elle repose sur l'idée que les technologies sont complémentaires à la qualification. En effet, les technologies, et notamment les technologies numériques, constituent des outils d'aide à la prise de décision, d'aide à la recherche ou au tri d'informations, susceptible d'accroître la productivité des personnes capables de les maîtriser. En même temps, la diffusion de ces technologies requiert l'emploi de personnes disposant déjà d'un niveau de qualification suffisant. Selon cette hypothèse, les technologies numériques permettraient des gains de productivité particulièrement importants pour les emplois les plus qualifiés. Il en résulterait une augmentation de la demande des entreprises pour ces derniers, tandis que les travailleurs les moins qualifiés pourraient au contraire voir leurs emplois être remplacés par les systèmes automatiques exécutant des tâches simples.

Plusieurs travaux confortent l'idée que le progrès technique est défavorable aux tâches routinières. On peut citer les travaux de Goos et Manning (2014), qui valident l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches routinières et son impact sur la polarisation de l'emploi observée dans plusieurs pays de l'OCDE, et notamment la France. De leur côté, Michaels, Natraj et Van Reenen (2014), dans le cadre d'une étude portant sur les États-Unis, le Japon et 9 pays européens – dont la France –, mettent en évidence un lien entre volume d'investissements en capital TIC et la polarisation de l'emploi selon le niveau d'éducation. D'autres études (Char-

30. Graetz G. et Michaels G. (2015), « Robots at Work », in *IZA Discussion Paper*, n° 8938, mars 2015.

noz et Orand, 2016) ont mis en évidence, au sujet de la France, la diminution de la part des métiers routiniers dans les secteurs d'emplois où cette part était restée élevée depuis 1982. L'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches routinières serait donc également validée, tout comme la redirection des travailleurs exécutant des tâches routinières vers les emplois peu qualifiés dans le secteur des services³¹.

Des enquêtes plus approfondies sont certainement nécessaires pour mieux mesurer l'effet des technologies nouvelles suivant le type de secteur (manufacturier et services), suivant aussi les fonctions de production ou les fonctions de type support ou maintenance. Il sera également indispensable d'apprécier comment le numérique transforme l'activité de travail au niveau de l'agir au travail comme sur le plan des qualifications et de compétences sollicitées.

3 – L'innovation technoscientifique entre discours et réalités

3.1. Un ralentissement des gains de productivité

Malgré vingt ans de plaidoyers en faveur de l'innovation et de politiques publiques visant à stimuler celle-ci, force est de constater qu'elle progresse de façon très inégale. A cela se rajoute ce fait paradoxal qu'est le phénomène de ralentissement de la productivité. Les données agrégées montrent que ce ralentissement des gains de productivité remonte à la fin des années 1990. Le graphique 7 fait apparaître cette tendance lourde qui peut s'observer aux Etats-Unis, en Europe comme au Japon. Le rapport du COE mentionne explicitement cette tendance lourde :

« On assiste à un ralentissement significatif de la croissance de la productivité, ralentissement qui s'est accéléré après la première vague de numérisation. Ce ralentissement interroge alors à la fois la relation entre technologies et productivité (en quoi les nouvelles technologies influent-elles sur la productivité ?) et celle entre productivité et emploi (en quoi l'évolution de la productivité contribue-t-elle à déterminer celle de l'emploi ?) » (2017, p. 49).

GRAPHIQUE 7 - Évolution du taux de croissance annuel de la productivité horaire du travail (%) lissée entre 1890 et 2012



Source : Bergeaud, Cette, Lecat (2014)

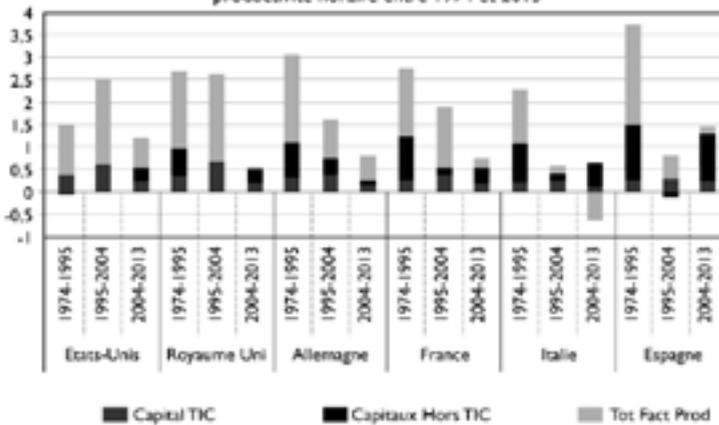
31. Charnoz, P. et Orand, M. (2017). Technical change and automation of routine tasks: Evidence from local labour markets in France, 1999-2011. *Economie et Statistique*, 497-498, 103-122.; <https://doi.org/10.24187/>

L'interprétation optimiste explique ce paradoxe par l'agrégation des données qui font que les véritables gains de productivité sont noyés dans un ensemble plus vaste. Cette lecture n'est certainement pas fautive, mais la tendance générale à la stagnation est bien trop ample que pour ne pas s'interroger davantage. Comme le graphique 8 l'indique, la part des NTIC dans les gains de productivité horaire reste plutôt modeste, et cela dans l'ensemble des pays étudiés.

Une interprétation pessimiste considère que les innovations ne sont plus aussi puissantes qu'elles l'ont été au cours des révolutions technologiques précédentes. Pour Robert Gordon (2016), il faut admettre que la nature des innovations technologiques a bel et bien changé : les robots, les ordinateurs, la téléphonie mobile et Internet ne permettent pas de faire de nouvelles choses, mais plutôt de faire les mêmes choses de manière plus performante. Par conséquent, les gains potentiels sont de toute façon limités. Cela ne signifie nullement que la cadence des innovations va se ralentir, seulement que celles-ci ne vont plus accroître la productivité comme c'était le cas au cours du XX^e siècle. Cette deuxième lecture nous invite à relativiser les attentes à l'égard des bienfaits du numérique et de la digitalisation, sans pour autant expliquer grand-chose des attermoissements que peuvent connaître les processus d'innovation.

Pour avancer dans cette direction, il faudra d'abord cesser de penser le progrès économique et social comme étant propulsé par l'innovation technologique. Comme le montrent les études historiques sur l'émergence du capitalisme en Grande-Bretagne, l'innovation techno-scientifique a précédé de plusieurs décennies la révolution industrielle. Le système manufacturier industriel était en fait le produit d'un capitalisme déjà là et non sa cause (Meiksin-Wood, 2002: 67, 97-115 et 174-176). Suivant cette perspective, l'innovation technologique exprime l'existence d'entraves qui pèsent sur le processus de valorisation. Il nous faut ensuite oser questionner l'idée selon laquelle les machines produisent de la valeur. L'hypothèse contraire, à savoir

GRAPHIQUE 8 - Décomposition de la croissance de la productivité horaire entre 1974 et 2013



Lecture: Entre 1974 et 2013, le capital TIC contribue à la croissance de la productivité horaire (en gris foncé) en France comme suit : il compte pour 0,3 points de pourcentage entre 1974 et 1995, 0,4 entre 1995 et 2004 et 0,2 entre 2004 et 2013. Entre 1974 et 2013, la productivité globale des facteurs (TFP, en vert) contribue de moins en moins à la croissance horaire en France, de près de 3 points de pourcentage entre 1974 et 1995, 2,5 entre 1995 et 2004 et 0,1 entre 2004 et 2013.

Source : Bergesani, Cotta, Leont (2014), Cotta, Clerc, Bresson (2015)

que seul le travail humain est en mesure de produire de la valeur, est rarement admise, exception faite par les auteurs d'inspiration marxiste³². Or, la mobilisation de techniques et de machines est toujours subordonnée aux impératifs de profit et à la poursuite du cycle d'accumulation. Le degré d'automatisation demeure largement déterminé par les coûts de celle-ci que l'on peut qu'amortir par l'extension possible du marché ou l'augmentation des parts de marché.

Les analyses qui suivent la pente d'un déterminisme technologique sous-estiment ces facteurs alors qu'ils sont bel et bien déterminants. Très souvent, le marché et le niveau de maîtrise technologique sont appréhendés comme des réalités parfaites, ce qui laisse espérer une diffusion continue, quasi automatique et homogène des innovations technologiques. Dans la réalité, nous sommes loin du monde idéal et la concurrence inter-capitaliste va favoriser une diffusion inégale et combinée des technologies nouvelles. Certains bénéficient de la mobilisation de capitaux déjà accumulés et les profits tirés de l'activité productive sont suffisants pour investir massivement. D'autres entreprises ne peuvent pas se permettre de mettre au rebut leurs machines vieillissantes ni d'acheter, surtout en début de cycle technologique, de nouveaux équipements. Plutôt que de favoriser l'émergence d'entreprises identiques, la compétition conduit à redifférencier continuellement les conditions de la production.

En appliquant cette grille d'analyse à la période récente, on comprend mieux pourquoi la robotisation se développe si lentement ces deux dernières décennies. Les hausses de productivité ont d'abord été réalisées à partir d'une intensification du travail, doublé d'un régime organisationnel centré sur la flexibilité tout en freinant la hausse de la masse salariale. Par conséquent, la substitution de l'homme par des machines tend à perdre son utilité concrète.

Le travail dans le secteur du médicament et de la pharmacie montre que, malgré des taux de rendements très élevés du secteur, l'automatisation demeure très faible au niveau de la fabrication avec des installations anciennes et souvent dysfonctionnelles tandis que le travail est majoritairement pris en charge par des femmes, payées à peine au dessus du salaire minimum (Fournier, Lomba, Muller, 2014).

Au final, il s'avère que la longue « guerre d'usure » entre le capital et le travail a permis d'obtenir à moindre coût ce que la semi-automatisation a été en mesure d'apporter dans le contexte des années 1970-1980, et cela face à une action syndicale plutôt combative. L'histoire de l'automatisation dans le secteur automobile confirme cette grille de lecture puisque ce secteur a connu dans la plupart des pays industrialisés une longue période marquée par une activité gréviste importante et un climat latent d'insubordination ouvrière. A cela, dans la plupart des cas, partir de 1980, les directions d'entreprises, ont répondu par une introduction massive de robots, en tôlerie, emboutissage et aussi dans les ateliers de peinture (Bouquin, 2006). Le degré de robotisation est donc en partie déductible de la vigueur de l'antagonisme capital/travail. Plus les conflits sociaux poussent les salaires à la hausse, plus le management sera tenté d'y répondre en substituant le « travail vivant » par le « travail mort » des machines.

Mais ce n'est pas le seul facteur à prendre en compte. Quand les coûts salariaux sont tirés vers le bas, que ce soit suite à une politique de modéra-

32. Voir Carchedi et Roberts (2018). Pour un aperçu des travaux portant sur la controverse de la baisse tendancielle du taux de profit, voir le site de Michel Husson, page taux de profit : <http://hussonet.free.fr/tprof.htm>

tion salariale sous impulsion gouvernementale ou par effet du marché de l'emploi (l'action de l'armée de réserve industrielle), les nécessités d'automatiser peuvent s'amenuiser très rapidement. L'économiste néerlandais Alexander Kleinknecht a vérifié ces hypothèses en montrant que les politiques de réduction du coût du travail ont conduit à ralentir l'innovation technologique au cours de la période 1995-2012 (Kleinknecht, 2014). Lorsque le régime de mobilisation de la main-d'œuvre est efficace du point de vue managérial – avec peu de revendications salariales et encore moins de grèves –, il n'y a aucune raison d'automatiser. On peut le vérifier dans le secteur de la logistique où les hausses de productivité se font à raison de 2,5 % à 4 % par an via une intensification du travail. Or, les bas salaires prolifèrent dans ce secteur. Ainsi aux États-Unis, 30 % des salariés d'Amazon bénéficient d'aides sociales ou de compléments de salaire et l'utilité marginale d'une robotisation est devenue très relative³³.

En traitant la question à un niveau plus global, on pourrait même dire que la forte robotisation du secteur automobile a eu comme corolaire une bien plus faible robotisation dans la logistique. Pourtant, techniquement parlant, la manipulation de colis pourrait aisément être automatisée massivement. Mais cela coûterait bien davantage que ce que cela pourrait apporter en termes de productivité gagnée. De surcroît, l'ampleur de l'armée de réserve qui s'est constituée dans les années 1980-1990 a favorisé une vaste paupérisation salariale (le secteur des bas salaires), ce qui ralentit du même coup l'automatisation et la robotisation dans les secteurs où la main-d'œuvre excédentaire finit par trouver un emploi³⁴.

Comprendre la dynamique contradictoire de l'innovation technologique exige de repenser la question avec l'aide de Marx, ce que l'économiste Ernest Mandel a su faire avec brio. En effet, dans *Le Troisième Âge du capitalisme* (1976), Mandel propose une grille d'analyse qui s'avère encore actuelle bien après l'émergence d'un « nouveau modèle productif ». Mandel explique combien l'accélération de l'innovation technologique est d'abord une conséquence d'une accélération de la rotation du cycle d'accumulation du capital. Cette rotation accélérée constitue une sorte de réponse *sui generis* à l'érosion du taux de profit. Moins de profits dégagés au cours d'un cycle A-M-A' sera compensé en accélérant la vitesse de rotation du cycle. C'est d'ailleurs la même logique qui conduit à programmer l'obsolescence de produits. Ensuite, Mandel nous permet de comprendre pourquoi l'automatisation se développe d'abord au niveau du secteur des biens de consommation – lorsque celui-ci connaît une expansion – comme ce fut le cas dans les années 1950-1970. Dans le secteur de la fabrication des moyens de production, même si c'est techniquement possible, les volumes ne sont pas suffisants pour amortir les investissements nécessaires. Les innovations technologiques ne se diffusent donc jamais de la même façon selon qu'on se situe dans le secteur I (biens et outillages de production) et II (biens de consommation). Sachant que les volumes d'investissement augmentent aussi la composition organique du capital (et favorisent des surcoûts), pour y faire face, il faudra restreindre l'automatisation en amont et en aval de la chaîne. Là aussi, on peut le vérifier puisque dans l'automobile, pourtant encore le secteur avec le taux d'équipement de robots le plus élevé, les équipemen-

33. Cooper, D. (2016). « A Majority of Low-Wage Workers Earn So Little That They Must Reply on Public Assistance to Make Ends Meet », in *Economic Snapshot: Wages, Income, and Wealth*, 9 février 2016, Economic Policy Institute. Pour les États-Unis, voir aussi Moody (2018).

34. Marx avait décrit ce phénomène dans le chapitre « Machinisme et grande industrie » : « Dans les anciens pays, le machinisme provoque l'existence d'une main-d'œuvre excédentaire qui provoque une baisse des salaires, ce qui provoque à son tour dans d'autres secteurs un ralentissement du machinisme. »..

tiers et sous-traitants automatisent très peu... Dans le secteur de micro-électronique, la fabrication des ordinateurs qui sont les pilotes des automates s'accompagne d'un régime de mise au travail en amont qui relève plutôt du travail forcé ou du travail de subsistance tandis qu'en aval, au niveau du transport et de la logistique, on retrouve un travail peu automatisé, avec des emplois au rabais, tandis que vente se fera en faisant travailler les clients (Dujarier, 2008).

3.2- Quand l'automatisation alimente les crises de suraccumulation

Au-delà du mouvement inégal d'automatisation, le capitalisme doit en permanence « gérer » une contradiction interne qui va, à certains moments, mettre en panne son dynamisme. La compétition, tant sur le plan national qu'international, pousse les entreprises à investir dans de nouvelles technologies afin de réduire les coûts salariaux et d'augmenter leurs profits. Mais lorsque la part de capitaux fixes – investissements et entretien des frais fixes – augmente par rapport à la part de capital variable – la masse salariale –, le taux de profit tend à décliner, même si les profits peuvent continuer à augmenter en volume, tant que les débouchés continuent à s'étendre. Marx évoque cela en montrant comment l'augmentation de la composition organique du capital conduit à éroder le taux de profit jusqu'à le rendre « tendanciellement » insuffisant³⁵. L'économiste Martin Ford (Ford, 2016), pourtant loin d'être marxiste, explique en substance la même chose : plus les machines réalisent de travail, plus la valeur ajoutée par le travailleur tend à décliner.

Sachant que la mobilité du capital, sa disponibilité pour l'investissement, est avant tout déterminée par le taux de retour sur investissement et non le taux moyen de profit du secteur concerné, on comprend mieux pourquoi une profitabilité en berne se traduit par un taux d'investissement qui baisse. Depuis bientôt vingt ans, les indicateurs montrent un net ralentissement des investissements ainsi qu'une érosion constante de la profitabilité. Les travaux de Michel Roberts (Roberts, 2016 ; 2020), analyste financier et économiste marxiste, le montrent chiffres à l'appui, et il a raison de mettre ces deux paramètres en rapport l'un avec l'autre³⁶. L'économiste Anwar Shaikh (Shaikh, 2016) abonde dans le même sens : considérant les chiffres pour les États-Unis, le stock de capitaux fixes/PIB a augmenté globalement de 1980 à 2015, mais cette croissance a subi un ralentissement continu. Dans les années 1980, les capitaux fixes/PIB pouvait s'accroître de 1,8 % par an. Au cours de la décennie suivante, cette croissance ne se situait plus qu'à 0,9 % par an, pour se tasser ensuite à 0,3 % au cours de la première décennie des années 2000, et finalement chuter à 0,08 % dans la période récente. Comparativement, au cours de l'après-guerre, de 60 % à 70 % des profits étaient réinvestis, alors qu'aujourd'hui on ne dépasse guère les 35 %, le solde étant distribué sous forme de dividendes ou de remboursements des emprunts³⁷.

Investir dans la robotique est à haut risque – « on ne sait jamais quand on va récupérer sa mise » – et, par conséquent, les capitaux affluent là où les profits à court terme sont assurés, à savoir la spéculation financière, l'extractivisme et la privatisation de biens communs (avec le landgrabbing, l'accaparement de terres arables par des fonds spéculatifs). Le choix entre

35. Voir *Le Capital*, livre III, à propos de la baisse tendancielle du taux de profit et des mesures cherchant à contrecarrer les effets de celle-ci.

36. Reconnaître cette baisse nous semble néanmoins important pour comprendre pourquoi les réorganisations productives s'accompagnent de formes régressives de mise au travail qui s'apparentent à des formes primitives d'accumulation, tant au centre qu'à la périphérie du capitalisme globalisé.

un investissement productif et un placement financier est vite fait... Ce choix témoigne aussi d'une sorte de fuite en avant puisqu'il faut bien éviter l'éclatement de bulles spéculatives – révélant la nature fictive des capitaux accumulés – en produisant de nouvelles bulles spéculatives. Cela explique aussi pourquoi la poursuite du cycle d'accumulation se fait de manière de plus en plus régressive. Souvent, les acquisitions, fusions et autres modes de captation de valeur cherchent avant tout à appauvrir ou à éliminer les concurrents. Les entreprises s'endettent en achetant des (petits) concurrents parce que cela permet d'étendre leur part de marché, mais sans que cela corresponde à une hausse concomitante de la profitabilité. Pour honorer le service de la dette, les directions d'entreprise tentent de tirer la profitabilité vers le haut, non pas via des investissements, mais via ce que Marx désigne par l'extorsion de survaleur absolue, c'est-à-dire une baisse des salaires réels, un allongement du temps de travail, une intensification du travail et toutes les autres manières de faire qui sont loin de l'automatisation.

Parmi les crises économiques récurrentes, la crise de suraccumulation se traduit par des surcapacités de production et un taux de profitabilité en baisse. Cela pousse les entreprises à rétablir une profitabilité via des licenciements, une réduction des salaires, un allongement de la journée de travail ou encore une intensification du travail et, seulement en dernier lieu, par des innovations technologiques visant à augmenter la productivité. En cas de surcapacités, une fraction du capital ne va plus être investie et commence à circuler dans la sphère financière, puisque des rendements financiers sont plus élevés alors que les problèmes de surcapacité harcèlent les secteurs non financiers.

Durant la période 1990-2020, on a vu apparaître de plus en plus de bulles financières. Selon Tony Smith (Smith, 2000), ces bulles financières ne sont pas le produit d'un manque de volonté politique pour réguler la sphère financière. Il faut avant tout comprendre qu'elles sont le produit de contradictions internes au capitalisme: l'innovation technologique amplifie la suraccumulation mais, lorsque les gains de productivité se tarissent, les investissements en automatisation s'estompent tandis que les profits ont généré un excédent de capitaux disponible pour la spéculation financière. Et puisque ce secteur est le plus profitable, c'est justement là qu'affluent les investissements en NTIC et que se concentre le plus haut degré d'innovation produit. Pour Tony Smith, le lien de causalité entre innovation technologique et suraccumulation financière est généralement minimisé dans les analyses néo-schumpetériennes. Or, plus l'innovation est soutenue financièrement, plus vite le phénomène de suraccumulation va apparaître et plus courte sera la période pendant laquelle il sera possible de bénéficier de rentes technologiques avec des profits au-dessus de la moyenne. Sur une période de vingt ans, on a vu apparaître à plusieurs reprises des bulles financières, sans que cela ait donné lieu au retour d'une « onde longue » expansive, bien au contraire. Nous semblons plutôt entrés dans une période prolongée de stagnation que certains économistes (Bihl et Husson, 2020) identifient à une période de décadence structurelle et qui se manifeste par un affrontement entre blocs économiques, des guerres commerciales, une compétition technologique de plus en plus féroce.

37. Dans l'OCDE, ces quinze dernières années, l'investissement dans le processus informatique se situait en moyenne à 2,4 % du PIB, ce qui est bien inférieur au taux d'investissement en équipements industriels (5,8 %), en bâtiments (10 %) ou en moyens de transport (11 %) – y compris la R&D (recherche et développement) subissent une stagnation. Toujours dans les pays de l'OCDE, les dépenses en R&D (hors secteur pharmaceutique) en % du PIB ont connu une croissance annuelle de 2,5 % dans les années 1990-2010, mais elle s'est quasiment arrêtée depuis lors, pour stagner à + 0,3 %/PIB par an. Voir Shaikh, A. (2016), *Capitalism: Competition, Conflict, Crises*, New York: Oxford University Press.

4. Conclusions

Le mouvement d'automatisation se caractérise par des réalités contrastées avec une robotisation au ralenti, une automatisation très inégale et une numérisation fulgurante. La robotisation progresse de façon lente et inégale. Elle a continué à s'étendre dans le secteur de l'automobile – emboutissage, assemblage, peinture, logistique interne – mais demeure limitée dans d'autres secteurs de l'industrie de fabrication. Elle se développe néanmoins dans la production des biens manufacturés à haute valeur ajoutée – turbines, aéronautique et trains à grande vitesse. Dans la logistique, la robotisation joue un rôle auxiliaire de facilitation et de fluidification du processus (workflow), mais le travail humain y demeure prépondérant. Dans ce secteur, le numérique sert d'abord à faire travailler « comme des robots » (Gaboriau, 2017).

La nature inégale de l'automatisation s'explique notamment par l'avantage comparatif que représente la *lean production* qui insère le travail humain dans des dispositifs de plus en plus serrés avec un pilotage et un contrôle quasiment individualisé de la performance. Somme toute, il est préférable de faire travailler les humains comme des robots plutôt que de les remplacer par des machines intelligentes dont la durée de vie n'excède pas 5 ans...

L'automatisation est en revanche beaucoup plus avancée dans le traitement des informations. L'IA a connu un regain d'intérêt au point où elle polarise une fraction croissante de la capitalisation boursière. Mais elle demeure jusqu'à présent incapable de faire mieux qu'une simulation de l'intelligence humaine. Elle progresse néanmoins dans le traitement évolutif des données, en mobilisant les données dans l'apprentissage des machines (machine learning). Ces progrès permettent d'avancer vers l'automatisation des activités langagières (traduction), l'informatique (codage semi-automatique) et le traitement d'informations (reconnaissance faciale).

La révolution numérique permet la mise en relation des unités de production au sein de chaînes de valeur, et facilite des changements d'échelle. L'utilité pratique des technologies numériques se traduit aussi par une gestion intégrale des processus de production. Elle s'est développée autant sur le versant de la production que de la consommation puisqu'elle permet un accès étendu au marché final, une gestion centralisée de la relation client, un e-marketing globalisé et une valorisation des contenus créés par les « produsagers » (digital labour). Le travail humain se déroule dans un environnement de plus en plus numérisé jouant le rôle du panoptique. En résumé, si les robots ne vont pas nous remplacer, ils seront mobilisés pour nous surveiller...

Les effets de l'automatisation sur l'emploi sont forcément très hétérogènes : seul 5 % du stock des emplois serait réellement automatisable, mais la moitié des emplois sera potentiellement affecté par celle-ci via la « rationalisation numérisée ». Ceci ne manquera pas de provoquer un changement dans la structure de l'emploi. Un phénomène qui peut déjà s'observer avec la création de nouveaux emplois directs et indirects. Il faut également – phénomène nullement nouveau – s'attendre à une polarisation des qua-

lifications avec une croissance des emplois hautement qualifiés et un poids croissant des emplois peu ou non qualifiés. Au milieu, sur le segment semi-qualifié avec des métiers devenus caducs et des compétences peu évolutives, les emplois tendent à s'évaporer.

L'automatisation va certainement restructurer l'emploi, faire évoluer les besoins de qualifications et de compétences, et transformer le travail. C'est pourquoi il faut continuer à envisager l'automatisation comme un enjeu qui laisse entrevoir la possibilité d'une autre division du travail à condition d'imposer une réduction (massive) du « temps de labour ». Que certaines opérations puissent être automatisées est en soi nullement problématique car quelle fierté l'ouvrier peut-il tirer d'un travail qui pourrait tout aussi bien être réalisé par une machine intelligente ? (Alaluf, 1986). De manière plus générale, l'automatisation demeure une arme à double tranchant, qui peut « blesser » le travail comme le capital, puisqu'elle permet au travail vivant se libérer d'une charge contraignante et souvent hétéronome.

Loin de verrouiller la situation, l'automatisation modifie d'abord les termes d'une conflictualité sociale qui ne peut que resurgir tôt ou tard. Bien sûr, l'efficacité du traitement informationnel constitue l'un des enjeux forts de l'automatisation, puisqu'il s'agit de rationaliser au maximum des flux d'informations toujours plus nombreux et complexes, tandis que travail et emplois sont redistribués en permanence autour de ces flux. La numérisation du travail permet donc de faire travailler les humains « comme des robots ». Ce qu'ils ne sont pas, et les nouvelles formes d'aliénation ne tarderont pas à susciter de nouvelles formes de subjectivité rebelle et de résistances sociales.

Les effets de la rationalisation-numérisation sur les conditions de travail – que nous n'avons pas abordés dans le cadre de cet article – sont loin d'être négligeables, tant il est avéré que le numérique permet d'étendre – souvent à l'insu du travailleur – une surveillance quasi individualisée de la productivité, ce qui permet d'évoquer à juste titre le concept d'un « moi quantifié », avec un tableau de suivi des performances qui s'applique autant aux coursiers qu'aux ingénieurs et managers d'un groupe projet (Moore, 2018). Il est certain que le suivi numérisé de la contribution productive de chacun approfondit la subsomption réelle du travail vivant (Vincent, 1977). Il serait toutefois erroné de ne reconnaître que cet aspect car, chemin faisant, l'extension de la domination du travail abstrait va aussi nourrir le sentiment d'exploitation. En imposant aux salariés un rapport instrumental et désincarné à leur travail tout en exigeant d'eux qu'ils aiment ce qu'ils font (Bouquin, 2019), le capital nourrit inmanquablement une critique du travail par les travailleurs.

Répondre de façon adéquate aux innovations technologiques exige d'articuler une action visant à libérer l'activité de travail de la tutelle numérisée du management tout en faisant de la réduction de la durée du temps d'emploi à une semaine de quatre jours un enjeu central avec la perspective de travailler autrement, en permettant aux collectifs de travail s'appropriier le travail et de maîtriser pleinement ses finalités.

- Abel M., Claret H., Dieuaide P. (2020), *Plateformes numériques. Utopies, réforme ou révolution ?*, sous la direction de Mathilde Abel, Hugo Claret et Patrick Dieuaide (2020).
- Acemoglu D., Restrepo P. (2020), « Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets », in *Journal of Political Economy*, volume 128, N°6 juin 2020, Article DOI <https://doi.org/10.1086/705716>
- Acemoglu D., Restrepo P. (2017), « Robots and Jobs: Evidence From US Labor Markets », Cambridge MA: National Bureau of Economic Research inc., <http://www.nber.org/papers/w23285.pdf>
- Acemoglu D., Autor D. H. (2011), « Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings », *Handbook of Labor Economics*, Vol. 4, 1043-1171.
- Acemoglu, D., Restrepo P (2018), « The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. », in *American Economic Review*, 108 (6): 1488-1542. DOI: 10.1257/aer.20160696
- Alaluf M. (1986), *Le Temps du labeur. Formation, emploi et qualification en sociologie du travail*, Bruxelles, ULB.
- Arntz M., Gregory T. (2014), « What Old Stagers Could Teach Us – Examining Age Complementarities in Regional Innovation Systems », *ZEW Discussion Paper*, No. 14-050, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung.
- Arntz M., Gregory T., U. Zierahn (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. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>
- Autor D. H. (2013), « The 'task approach' to labor markets: an overview », in *Journal for Labour Market Research*, 46(3), pp. 185-199.
- Autor D. H. and M. J. Handel (2013), « Putting Tasks to the Test: Human Capital, Job Tasks, and Wages », *Journal of Labor Economics*, 31(2), pp. S59-S96.
- Autor D. H., Dorn, D. (2013). « The Growth of Low Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market. », in *The American Economic Review*, 103, 1553–97. <https://doi.org/10.1257/aer.103.5.1553>
- Autor D. H., Levy F., Murnane R. J. (2003), « The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration », in *Quarterly Journal of Economics*, 118, 1279–1333. <https://doi.org/10.1162/003355303322552801>
- Berger T., Frey C. B. (2016), « Structural transformation in the OECD: « Digitalisation, Deindustrialisation and the Future of Work », *OECD - Social, Employment and Migration Working Papers* n°193.
- Boston Consulting Group (2015), « Back to the Future: The Road to Autonomous Driving », <http://de.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/the-road-to-autonomous-driving>.
- Botwinick H. (1993), *Persistent Inequalities: Wage Disparity under Capitalist Competition* Princeton, Princeton University Press, 1993.
- Bowles J. (2014), *The Computerization of European Jobs*, Bruegel Foundation, Bruxelles.
- Brynjolfsson E., McAfee. (2014), *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, New York, W.W. Norton & Company.
- Brynjolfsson E. and A. McAfee (2011), *Race Against the Machines : How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*, Digital Frontier Press.
- Carchedi G., Roberts M. (coord.) (2018), *World in Crisis. A Global Analysis of Marx's Law of Profitability*, Haymarket books, Londres / NY, 356 p.
- Casilli A. A. (2019), *En attendant les robots. Enquête sur le travail du clic*, Postface de Dominique Méda, Seuil, Paris, 394p.
- Charnoz P., Orand M. (2016), « Progrès technique et automatisation des tâches routinières : une analyse à partir des marchés du travail locaux en France dans les années 1990-2011 », *Economie et Statistiques* N° 497 498, 2017
- Charnoz, P. & Orand, M. (2017). Technical change and automation of routine tasks: Evidence from local labour markets in France, 1999-2011. *Economie et Statistique*, 497-498, 103-122. ; <https://doi.org/10.24187/ecostat.2017.497d.1933>
- Cooper D. (2016). « A Majority of Low-Wage Workers Earn So Little That They Must Reply on Public Assistance to Make Ends Meet », *Economic Snapshot: Wages, Income, and Wealth*, February 9, 2016, Economic Policy Institute.

- Crozier M. (1951), « Le Human Engineering », in *Les Temps modernes*, juillet 1951.
- De Vries G., Gentile E., Miroudot S. et Wacker K. (2020), *The Rise of Robots and the Fall of Routine Jobs*, Asian Development Bank, ADB Economics Working Paper Series n°619, 42p., DOI: <http://dx.doi.org/10.22617/WPS200236-2>
- Dean J. (2005), Communicative Capitalism: Circulation and the Foreclosure of Politics, mars 2005, in *Cultural Politics an International Journal* 1(1):51-74, DOI: 10.2752/174321905778054845
- Dreyfus H. (1992), *What Computers Still Can't Do :A Critique of Artificial Reson*, MIT Press, 408p (édition originale 1972)
- Dreyfus H. & Dreyfus S. (1986), *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*, Free Press, 231 p.
- Dujarier M.-A. (2008), *Le Travail du consommateur. De McDo à eBay*, Paris, La Découverte, 246 p.
- Durand C. (2020), *Technoféodalisme. Critique de l'économie numérique*, Paris, La Découverte, coll. « Zones »,
- Economist (The) (2015), « Humanoid Robots: After the Fall », juin 13, 2015, <https://www.economist.com.ezproxy.westminster.ac.uk/news/science-and-technology/21654011-pitting-robots-against-each-other-shows-promise-and-many-pitfalls>.
- Ford M., (2016), *The Rise of the Robots: Technology and the Threat of Mass Unemployment*, One World Publications, 352 p.
- Fournier P, Lomba C., Muller S. (2014), *Les Travailleurs du médicament. L'industrie pharmaceutique sous observation*, Toulouse, Erès, 350 p.
- Frey C. B., Osborne M.A. (2015), « Technology at Work: The Future of Innovation and Employment », Citi GPS: Global Perspectives & Solutions, February 2015.
- Frey, C.B., Osborne M.A. (2013), *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?*, University of Oxford.
- Frey C.B., Osborne M.A. (2017), *The future of Technological Forecasting & Social change* 114: 254-80.
- Gaboriau D. (2017), « Quand l'ouvrier devient robot, Représentations et pratiques ouvrières face aux stigmates de la déqualification », in *L'Homme & la Société* n° 205 pp. 245-268.
- Glaser A. (2017), « The Industrial robotics market will nearly triple in less than ten years: Collaborative robots are expected to account for a third of that market », in *Recode*, 22 juin 2017, <https://www.recode.net/2017/6/22/15763106/industrial-robotics-market-triple-tens-years-collaborative-robots>
- GoOgle+ 2017, Google Self-driving Car Project, 'Say Hello to Waymo', available at: <https://plus.google.com/+SelfDrivingCar>.
- Goos M., Manning A., Salomons A. (2014), « Explaining Job Polarization: Routine Biased Technological Change and Offshoring », in *American Economic Review*, 104(2), 2509–26. <https://doi.org/10.1257/aer.104.8.2509>
- Goos M., Manning A., Salomons A. (2009), « Job Polarization in Europe », in *American Economic Review*, 99(2), 58–63. <https://doi.org/10.1257/aer.99.2.58>
- Gordon R. (2016), *The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living Since the Civil War*, Princeton: Princeton University Press.
- Graetz G., Michaels, G. (2015). Robots at Work. London School of Economics, *CEP Discussion Paper* N° 1335. <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1335.pdf>
- Green F. (2012), "Employee involvement, technology and evolution in job skills: A task-based analysis", *Industrial and Labor Relations Review*, 65(1), pp. 36-67.
- Gregory T., Salomons, A., Zierahn U. (2015). « Technological Change and Regional Labor Market Disparities in Europe », *Centre for European Economic Research*, Mannheim.
- Gregory T., Salomons A., Zierahn, U. (2016), Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe (July 15, 2016). ZEW - Centre for European Economic Research Discussion Paper No. 16-053, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2815469> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2815469>
- Hocquelet M. (2020), « De l'influence du numérique sur les compétences dans les entrepôts de la logistique », *Céreq Bref*, n° 388, 2020, 4 p. <https://www.cereq.fr/de-linfluence-du-numerique-sur-les-competences-dans-les-entrepots-de-la-logistique>
- Hook L. (2017), 'Out of road: driverless vehicles and the end of the trucker', *Financial Times*, 30 mars 2017
- Hunt G. (2017), 'GM's robot production line has its head in the cloud', *Silicon Republic*, April 5, 2017, www.siliconrepublic.com/machines/gm-gneral-motors-robots.

- International Federation of Robotics (2016), 'Executive Summary World-Report 2015'
- International Federation of Robotics (2017), 'Executive Summary World-Report 2016'
- International Federation of Robotics (2018), 'Executive Summary World-Report 2017'
- International Federation of Robotics (2019), 'Executive Summary World-Report 2018'
- Kleinknecht A. (1998), Is labour market flexibility harmful to innovation?, in *Cambridge Journal of Economics* vol 22 (3), 387-396
- Kleinknecht A. (e.a.) (2014): « Does labor market deregulation reduce labor productivity growth? A panel data analysis of 20 OECD countries (1960-2004) », *International Labour Review*, 153(3), p. 365-393.
- Kleinknecht A., Verbeer R. (2011): 'The impact of labor market deregulation on productivity: A panel data analysis of 19 OECD countries (1960-2004)', *Journal of Post-Keynesian Economics*, Vol. 33 (No. 2), p. 369-404
- Laruelle F. (1987), La philosophie devant l'Intelligence artificielle, in *Le Cahier* (Collège international de philosophie), No. 3 (mars 1987), pp. 146-148, <https://calenda.org/688449>
- Le Ru N. (2016), Note d'Analyse n°49, France Stratégie, Automatisation et emploi : ce que l'on sait et ce que l'on ignore. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/na-49-automatisation-emploi.pdf>
- Mandel E. (1976 [1972]), *Le Troisième Age du capitalisme*, 3 vol., réédité Paris, éditions La Passion, 1997, 559 p.
- Mandel E., (1986), Marx, la crise actuelle et l'avenir du travail humain, in *Revue Quatrième Internationale* n°20, mai 1986, en ligne <http://www.ernestmandel.org/new/ecrits/article/marx-la-crise-actuelle-et-l-avenir>
- Marx K. (1976), *Capital. Critique of political economy*, Londres. 3 vol
- Marx, (1987), *Grundrisse, A Contribution to the Critique of Political Economy*, London.
- McKinsey Global Institute (2017), A Future That Works : Automation, Employment and Productivity, 148p. disponible via lien MGI-A-future-that-works_Full-report.pdf // voir aussi <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet#>
- Meiksins-Wood E. (2002), *The Origins of Capitalism: a longer view*, London:Verso.
- Michaels G., Natraj A., Van Reenen, J. (2014), « Has ICT polarized skill demand? Evidence from eleven countries over 25 years », *Review of Economics and Statistics*, 96 (1). pp. 60-77. ISSN 0034-6535 https://DOI:10.1162/REST_a_00366
- Mishel L, Bivens J. (2017), The zombie robot argument lurches on, Washington DC: Economic Policy Institute, disponible à <https://www.epi.org/publication/the-zombie-robot-argument-lurches-on-there-is-no-evidence-that-automation-leads-to-joblessness-or-inequality/>
- Moody K (2019), « High Tech, Low Growth: Robots and the future of Work », in *Historical Materialism*, n°26, jan 2019, pp. 3-34 ; <https://doi.org/10.1163/1569206X-00001745>
- Moody K. (2017), *On New Terrain: How Capital is Shaping the Battleground of Class War*, Chicago: Haymarket Press.
- Moore Ph. (2018), *The Quantified Self in Prerarity : Work, Technology and What Counts*, Routledge, Londres et New York, 286p.
- Moravec H. (1998), *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind*.
- Morleya J., Widdicks K., Hazas M. (2018) « Digitalisation, Energy and Data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption », April 2018, *Energy Research & Social Science* 38:128-137, DOI: 10.1016/j.erss.2018.01.018
- Munro M. (2017), 'Where the robots are', August 14, 2107, Brookings, <https://www.brookings.edu/blog/the-avenue/2017/08/14/where-the-robots-are>
- Newell A., Shaw J.C., Simon H.A. (1959). *Report on a general problem-solving program. Proceedings of the International Conference on Information Processing*. pp. 256-264.
- Noble D. (1984[2011]), *Forces of Production : Social history of industrial Automation*, Aldine Transaction, 444p.
- OECD 2017, *Main Science and Technology Indicators*, Organization for Economic Co-operation and Development, <http://oe.cd/msti>.
- Rapport du Conseil d'Orientation pour l'Emploi (2018), *Automatisation, numérisation et emploi ; Tome I : les Impacts sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi*, 129p.
- Richards Gw. (2014), *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. Second Edition, London: Kogan Page, 2014.
- Rifkin J. (1995), *The End of Work: The Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-Market Era*, New York: G.P. Putnam's Sons.

- Roberts M. (2016), *The Long Depression: How It Happened, Why It Happened, and What Happens Next*, Chicago: Haymarket Books.
- Roland Berger Strategy Consultants (2014), « Les classes moyennes face à la transformation digitale. Comment anticiper ? Comment accompagner ? ».
- Sanders A., Wolfgang M. (2014), 'The Rise of Robotics', BCG Perspective, Boston Consulting Group, www.bcgperspectives.com/content/articles/business_unit_strategy_innovation_rise_of_robotics/.
- Shaikh A. (2016), *Capitalism: Competition, Conflict, Crises*, New York, Oxford University Press.
- Sheffi Y. (2012), *Logistics Clusters: Delivering Value and Delivering Growth*, Cambridge MA: The MIT Press.
- Short J., Murray D. (2016), Identifying Autonomous Vehicle Technology Impacts on the Trucking Industry, November 2016 (Arlington VA: American Transportation Research Institute, 2016), 4-14.
- Smith T. (2000), *Technology and Capital in the Age of Lean Production: Marxian Critique of the New Economy*, State of University of New York Press, 199 p.
- Smith T. (2010), « Technological change in capitalism. Some Marxian Themes », in *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 34 & n°1, pp. 203-212,
- Smith T. (2020), How Capitalism Stifles Innovation, in *Tribune*, <https://tribunemag.co.uk/2020/08/how-capitalism-stifles-innovation>
- Spitz-Oener A. (2006) Technical Change, Job Tasks, and Rising Educational Demands: Looking outside the Wage Structure, in *Journal of Labor Economics*, Vol. 24, No. 2 (April 2006), pp. 235-270 (36 pages), The University of Chicago Press ; DOI: 10.1086/499972 <https://www.jstor.com/stable/10.1086/499972>
- Staab Ph. (2019), *Digitaler Kapitalismus. Markt und Herrschaft in der Ökonomie der Unknappheit*, Surkamp, Berlin, 345p.
- Villani, C. (2019), *Donner un sens à l'intelligence artificielle. Pour une stratégie nationale et européenne* (en collaboration avec Yann Bonnet, Charly Berthet, François Levin, Marc Schoenauer, Anne Charlotte Cornut, Bertrand Rondepierre), consulté DOI 17 juillet 2020
- Waters D., Rinsler S. (2014), *Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management*, 7th Edition, London: Kogan-Wingfield, Nick 2017, 'As Amazon Pushes Forward With Robots, Workers Find New Roles', in *New York Times*, September 10, 2017, <https://www.nytimes.com/2017/09/10/technology/amazon-robots-workers.html?emc=eta1>.
- World Economic Forum (2016), *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy of the Fourth Industrial Revolution*, Geneva: World Economic Forum.
- World Trade Organization (2017), *World Trade Report 2017*, Geneva: World Trade Organization.
- World Trade Report (2017), *Trade, Technology and Jobs*, 187p. [https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/world_trade_report17_e.pdf]
- Yang Ch., Lizhi X. (2015), *La machine est ton seigneur et ton maître*, Marseille, Agone, 110 p.
- Zuboff S. (2018) *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*, Public Affairs, 2018 ; traduction française Zulma.