
Impacts de la révolution numérique sur l'emploi : enjeux et faits stylisés

Synthèse bibliographique

Résumé du rapport :

- La Chaire TDTE étudie la mise en place d'un système spécifique de formation professionnelle : une année de formation universelle pouvant être utilisée entre 16 et 64 ans, avec prise en charge du salaire. Celle-ci s'adresserait en particulier aux chômeurs et actifs impactés par les nouveaux outils de la révolution numérique.
- Dans le cadre de la modélisation de l'impact macroéconomique de ce dispositif de formation, l'estimation des paramètres liés à la révolution numérique est nécessaire. Afin de les faire reposer sur des éléments fiables, la Chaire a entrepris d'établir une synthèse bibliographique des rapports et papiers de recherche sur le sujet.
- Ce rapport apporte ainsi des éléments concrets pour le paramétrage de la modélisation en répondant aux questions suivantes : combien de personnes pourraient être concernées par la révolution numérique ? Existe-t-il des emplois, des compétences ou des niveaux de salaires plus à risque que d'autres ?
- Ce rapport conclut par des recommandations pour modéliser de manière pertinente l'impact macroéconomique de la révolution numérique.

Jérémy ZRIBI

SOMMAIRE

Introduction	3
I. Impact de la révolution numérique sur l'emploi : quels enjeux ?.....	4
a. Définitions.....	4
b. Principaux enjeux.....	5
c. Qu'est-ce qu'un emploi à risque ?.....	5
d. Comment estimer correctement l'effet de la révolution numérique ?	7
e. L'ampleur de la menace qui pèse sur l'emploi	9
f. Un impact différencié en fonction des pays	13
II. La révolution numérique : des effets disruptifs sur l'emploi.....	14
a. La polarisation de l'emploi et le recentrage des métiers	14
b. La dimension temporelle	14
c. Impact par secteurs	17
d. Les créations d'emplois	20
III. Recommandations pour la modélisation de la révolution numérique	23
a. Prendre en compte l'hétérogénéité des professions.....	23
b. Introduire une dimension temporelle dans la modélisation	25
c. Intégrer la logique de création d'emplois permise par la révolution numérique.....	26
Conclusion	27
Bibliographie.....	29

Introduction

Dans le cadre de son axe portant sur la « Deuxième chance », la Chaire TDTE (« Transitions démographiques, Transitions économiques ») a étudié la possibilité de la mise en place d'un dispositif de formation spécifique : une année de formation universelle, pouvant être utilisée librement entre 16 et 64 ans, avec prise en charge du salaire. Ce dispositif, modélisé par les chercheurs Nathalie Chusseau¹ et Jacques Pelletan², s'adresserait : (i) aux jeunes décrocheurs, (ii) aux actifs insatisfaits, (iii) aux actifs qui voient une partie de leurs compétences disparaître à cause de l'évolution technologique, (iv) aux chômeurs touchés soit par un choc technologique soit par un choc sectoriel.

Afin d'estimer au mieux les impacts de la révolution numérique sur ces deux dernières catégories de populations, la Chaire a entrepris de répondre à la question suivante : quels impacts de la révolution numérique sur l'emploi ? En effet les incidences de la révolution numérique, qui correspond à la diffusion des supports numériques et technologies informatiques à l'ensemble du système productif et, plus largement, à l'ensemble de la société, ne sont pas facilement estimables. L'objet de ce rapport est d'apporter des réponses aux questions que pose la modélisation du dispositif évoqué ci-avant : combien de personnes sont concernées par le choc technologique ? Dans quelle mesure ? Existe-t-il des emplois, des compétences ou des niveaux de salaires plus à risque que d'autres ?

Tous les rapports et articles de recherche s'accordent sur le fait que la révolution numérique en cours modifie et modifiera encore à l'avenir très fortement le marché du travail. Les économies ne peuvent s'abstraire à ces évolutions, et doivent en tirer profit, au risque de subir un décrochage. Le progrès technologique n'est pas une option et la rapidité d'adaptation de chaque économie est également un critère de réussite dans le contexte de mondialisation accrue.

Ce rapport se compose de trois parties : la première est consacrée à l'analyse des enjeux de la révolution numérique sur l'emploi, et cherche à en estimer les impacts quantitatifs. Dans un second temps, ce sont les grandes transformations dues au progrès technologique qui seront traitées. Enfin, des recommandations pour la modélisation sont déduites de l'ensemble des observations retirées des rapports et des articles de recherche.

¹ Professeure d'économie à l'Université de Lille

² Maître de conférences à l'Université Paris 8

I. Impact de la révolution numérique sur l'emploi : quels enjeux ?

a. Définitions

Jusque dans les années 1970, le terme automatisation renvoyait à des technologies permettant l'exécution de certaines tâches par des machines essentiellement pour la fabrication de produits industriels. L'émergence de l'informatique a permis un élargissement du spectre des tâches et des fonctions de l'entreprise pouvant être concernées par l'automatisation (conception de pièces et produits, distribution, gestion de la communication et échanges d'information, etc.), ainsi que des secteurs concernés.

L'essor d'Internet à partir des années 1990 marque le démarrage d'une nouvelle vague d'innovations qui a profondément transformé le système productif, ainsi que les modes de consommation et d'échange de biens et services. On parle couramment de la numérisation de l'économie et de la société, à laquelle est également associée l'émergence de produits ou services nouveaux.

Au sens strict, la numérisation est la conversion des informations d'un support (texte, image, audio, vidéo) ou d'un signal électrique en données numériques que des technologies informatiques peuvent exploiter. Ce terme est toutefois désormais utilisé pour appréhender le phénomène plus large de diffusion des supports numériques et technologies informatiques à l'ensemble du système productif et, plus largement, à l'ensemble de la société.

Un certain nombre d'avancées technologiques en cours et à venir, notamment les nouvelles fonctions permises par l'intelligence artificielle et la robotique, ont été identifiées comme susceptibles de venir encore accroître la portée de l'automatisation, ainsi que l'incidence des technologies numériques sur le système productif et l'économie.

Dans la suite de cette note, nous utiliserons indifféremment les termes de numérisation et d'automatisation pour désigner l'ensemble des composantes de la révolution numérique : l'automatisation, la numérisation, la robotique ou encore l'intelligence artificielle.

b. Principaux enjeux

La révolution numérique représente, dans l'imaginaire collectif, une menace pour les emplois de demain. Les machines, les logiciels et l'intelligence artificielle, plus productifs et plus efficaces que les hommes dans l'accomplissement de leurs tâches, finiraient à terme par les remplacer. Les plus pessimistes prophétisent ainsi un monde dans lequel le chômage de masse est partout la norme. Pourtant, la réalité montre un constat bien plus différencié : le progrès technologique présente des opportunités économiques et sociales dont il ne faudrait pas négliger les effets bénéfiques sur nos sociétés. En premier lieu, l'automatisation de certains métiers et des tâches permet d'obtenir des **gains de productivité conséquents**, en étant à l'origine de la baisse des coûts des opérations automatisées. Par ailleurs, le progrès technologique permet de créer **des innovations de rupture** dans biens des secteurs, qui sont susceptibles de créer de nouveaux marchés ou de donner une longueur d'avance à une entreprise qui aura su anticiper et miser sur ces avancées avant la concurrence. On peut ici prendre l'exemple des véhicules autonomes, dont l'émergence à venir permet à de nouveaux acteurs tel que Tesla de se positionner sur un marché automobile constitué en oligopole et dont les barrières à l'entrée sont très élevées.

Du point de vue des conditions de travail, la numérisation de l'économie permet de **réduire la pénibilité de certains métiers**, en abandonnant aux machines les travaux les plus exténuants et répétitifs. Ainsi, le progrès technologique constitue une opportunité sociale : elle valorise les « activités sociales » des travailleurs. En effet, ces activités ne sont pas, au moins à court ou moyen terme, automatisables à grande échelle. Les travailleurs peuvent donc se concentrer sur les tâches les plus valorisantes intellectuellement, et qui font appel à la créativité et au sens du relationnel.

Finalement, l'influence de la numérisation sur l'emploi dépendra surtout de la façon dont elle sera employée dans l'organisation des tâches quotidiennes. Il est par ailleurs à noter que de nombreux facteurs viennent ralentir le déploiement des nouveaux outils du numérique dans les pratiques quotidiennes : leur coût, la réglementation (i.e. la régulation par les autorités compétentes), la faisabilité technique ou encore l'acceptabilité sociale.

c. Qu'est-ce qu'un emploi à risque ?

Les emplois potentiellement automatisables sont en fait ceux qui consistent à **appliquer strictement des consignes et dont le rythme de travail n'est pas imposé par la satisfaction immédiate de la demande des clients**. Avant l'apparition des outils informatiques, l'automatisation concernait principalement les emplois peu qualifiés dont les tâches étaient

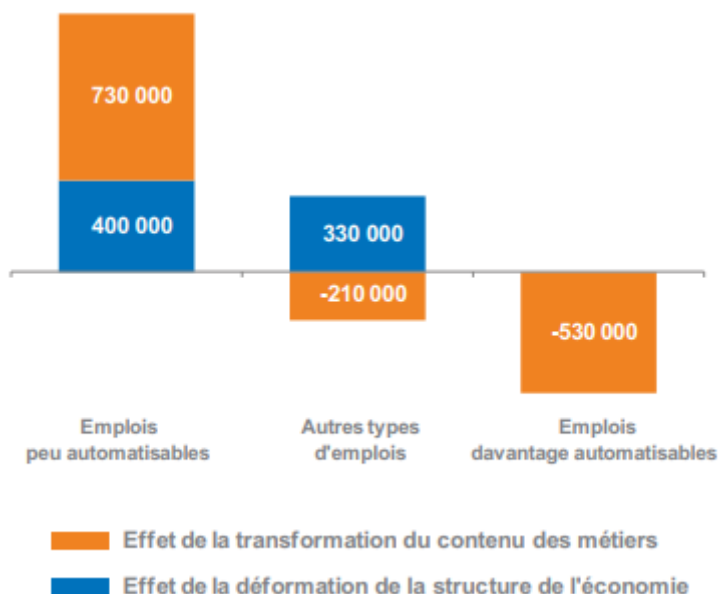
répétitives et donc facilement reproductibles par une machine. Mais avec les progrès de l'informatique et de l'intelligence artificielle, il est désormais possible d'automatiser des tâches intellectuelles, pour peu qu'elles aient ce caractère répétitif. D'ailleurs, certaines études établissent une méthodologie consistant à distinguer les tâches routinières des autres tâches pour catégoriser les emplois potentiellement automatisables. Qu'elles soient de type mécanique ou cognitif, ces tâches présentent ainsi un risque accru d'automatisation. Cette distinction permet d'expliquer le fait qu'un nombre croissant de professions qualifiées à valeur ajoutée relativement élevée sont aujourd'hui réalisées par des technologies innovantes : c'est le cas par exemple des comptables ou encore de certaines professions du secteur médical qui étaient jusqu'ici épargnées. Cela pourrait expliquer pourquoi on a assisté aux Etats-Unis à une polarisation de l'emploi en deux temps : d'abord une hausse du nombre de travailleurs qualifiés dans les décennies 1980 et 1990 ; puis une hausse des peu qualifiés dans les années 2000.

Les critères retenus pour identifier les emplois automatisables ou non conduisent à des risques différents pour les métiers industriels et ceux des services. En effet, les ouvriers et techniciens de l'industrie déclarent fréquemment qu'ils doivent appliquer strictement des consignes pour réaliser leur travail correctement et déclarent peu souvent que leur rythme de travail est imposé par la satisfaction immédiate d'une demande extérieure. **Au regard des critères retenus, une part importante des emplois industriels (25 %) apparaît, de ce fait, automatisable. Les métiers de services, parce qu'ils sont plus fréquemment en relation avec le public, semblent moins fréquemment automatisables (13 %).** Dès lors se pose la question de savoir dans quelle mesure l'augmentation du nombre global d'emplois peu automatisables dans l'économie tient :

- ➔ A la tertiarisation et à la désindustrialisation de l'économie française ;
- ➔ A la transformation des métiers dans le temps, au sein de chaque secteur, du fait de l'émergence de nouvelles technologies, de nouveaux modes d'organisation du travail ou de consommation, ou encore du recentrage de nombreuses activités sur les métiers et tâches les plus difficilement automatisables.

Le graphique suivant montre les effets de chacun de ces éléments sur l'emploi :

Graphique - Effets de la transformation du contenu des métiers sur l'emploi salarié entre 2005 et 2013



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

Il convient cependant de nuancer l'hypothèse selon laquelle tous les emplois répétitifs seraient automatisables. En fait, les travailleurs disposent encore d'un avantage comparatif sur les machines en termes d'interactions sociales, d'adaptabilité, de flexibilité et de capacité à résoudre des problèmes, qui rend l'automatisation des tâches plus complexes qu'il n'y paraît.

d. Comment estimer correctement l'effet de la révolution numérique ?

L'estimation précise de l'impact de l'automatisation sur l'emploi n'est pas aisée. **Premièrement**, les innovations technologiques ont un effet ambigu sur l'emploi dans la mesure où elles en détruisent certains emplois existants, et en créent de nouveaux dans le même temps. **Deuxièmement**, il existe des biais de surestimation et de sous-estimation.

→ Surestimation

D'une part, il peut s'agir de biais de surestimation du nombre d'emplois à risque d'automatisation : ce n'est pas parce qu'une technologie peut se substituer à l'emploi d'un travailleur qu'elle est effectivement directement et massivement utilisée par les entreprises. Parmi les éléments qui peuvent conduire à ce biais, on peut citer :

- les questions d'acceptation sociale de la substitution de l'emploi des travailleurs.

- le contexte institutionnel et réglementaire : il influe sur le comportement des individus et la décision des entreprises de recourir ou non à l'automatisation ;
- la rentabilité économique : elle constitue l'un des principaux facteurs qui est susceptible d'expliquer l'écart entre potentiel d'automatisation et automatisation effective. En effet, malgré les baisses des prix des technologies liées à l'information et aux communications ou encore des robots au cours des dernières décennies, ces nouvelles technologies requièrent souvent des investissements initiaux élevés pour les entreprises. Leurs montants constituent des barrières à l'entrée significatives, ou peuvent se révéler plus importants que ceux des salaires versés aux travailleurs ;
- les créations d'emploi. Qu'il s'agisse de créations directes dans la filière numérique, de créations directes induites par l'apparition de nouveaux besoins de consommation qui ne se substituent pas nécessairement à d'autres plus traditionnels, ainsi que de créations indirectes par les gains de productivité, ces créations sont réelles et peuvent être très nombreuses. Il est néanmoins difficile de quantifier a priori et exactement combien de nouveaux emplois sont créés, directement ou indirectement, grâce au progrès technologique.

➔ **Sous-estimation**

A l'inverse, il existe aussi un biais de sous-estimation du nombre d'emplois à risque d'automatisation. Les études qui cherchent à estimer le nombre d'emplois à risque d'automatisation sont fondées sur des a priori inhérents aux critères retenus : les critères éloignant le risque d'automatisation dans ces études sont par exemple les capacités d'interaction sociale, la dextérité ou la créativité. Or, le fait qu'aujourd'hui, telle ou telle tâche soit impossible à automatiser ne signifie pas que cela soit encore le cas demain. L'exemple de la voiture autonome en est une illustration, et d'une manière plus générale, les progrès de l'intelligence artificielle et du machine learning vont dans le sens d'une automatisation croissante des tâches plus complexes jusqu'ici préservées.

Troisièmement, les effets que l'on estime sont très largement dépendants des choix méthodologiques qui sont faits. Ainsi, quel indicateur choisit-on pour mesurer le progrès technologique : les dépenses en R&D, l'introduction d'une innovation de procédé dans l'économie, ou encore le nombre de brevets déposés ? De même, les résultats peuvent être différents en fonction du niveau d'analyse que l'on retient. Comme nous le verrons dans la sous-section II.b., l'impact de la révolution numérique sur l'emploi n'est pas le même selon les secteurs. Ainsi, l'étude de l'impact au niveau national cache de fortes disparités sectorielles.

Enfin, il convient d'isoler l'impact des effets du progrès technologique sur le volume de l'emploi des autres facteurs qui influent sur celui-ci. En effet, l'évolution du marché du travail est fortement liés à des facteurs tels que la réglementation ou encore l'accélération des flux commerciaux.

e. L'ampleur de la menace qui pèse sur l'emploi

Dans cette sous-section, nous étudions les conclusions de quelques études qui sont des références sur le sujet, ou qui présentent une méthodologie innovante.

-> Frey et Osborne (2013)³

L'étude de Frey et Osborne est l'une des études de références sur le sujet. Il utilise une matrice qui permet d'identifier les tâches manuelles/cognitives d'une part, et routinières/non routinières d'autre part. Le critère retenu afin de déterminer quelles tâches sont automatisables se fonde sur les « goulets d'étranglement de la frontière technologique ». Ainsi, les tâches sont d'autant moins automatisables que les caractéristiques suivantes sont importantes dans leur accomplissement : perception et dextérité manuelle, intelligence créative et sociale.

A partir de cette méthodologie, les auteurs avancent les chiffres suivants : 47 % des emplois aux Etats-Unis et 35 % au Royaume-Uni présenteraient une probabilité élevée d'automatisation à l'horizon de 20 ans. Le cabinet Roland Berger (2014)⁴ a appliqué leur méthode au cas français : **il estime que 42 % des emplois en France seraient à risque.**

Le choix méthodologique de Frey et Osborne qui consiste à caractériser chaque métier en fonction des tâches qui le compose présente des limites. En effet, cela suppose que deux travailleurs occupant le même type de poste réalisent exactement les mêmes tâches, or ce n'est pas le cas. Ils considèrent par ailleurs que lorsque que plus de 70% des tâches au sein d'un même métier sont automatisables, alors l'ensemble des emplois de ce métier sont voués à la disparition. Cette analyse, qui a été introduite dans un but de simplification, aboutit à une surestimation de l'impact négatif des innovations technologiques sur l'emploi, et minimise la complémentarité entre l'homme et la machine. Concrètement, ce mode de réflexion revient à dire qu'il n'y aura plus aucun vendeur ni caissier par exemple aux Etats-Unis d'ici 20 ans (ces deux métiers étant ceux considérés comme étant les plus fortement automatisables selon la méthodologie utilisée par les auteurs. Parmi les métiers les plus automatisables, on trouve également les employés de bureau, les serveurs et les

³ Frey C. B. et Osborne M. A., *The future of employment : how susceptible are jobs to computerisation ?*, 2013

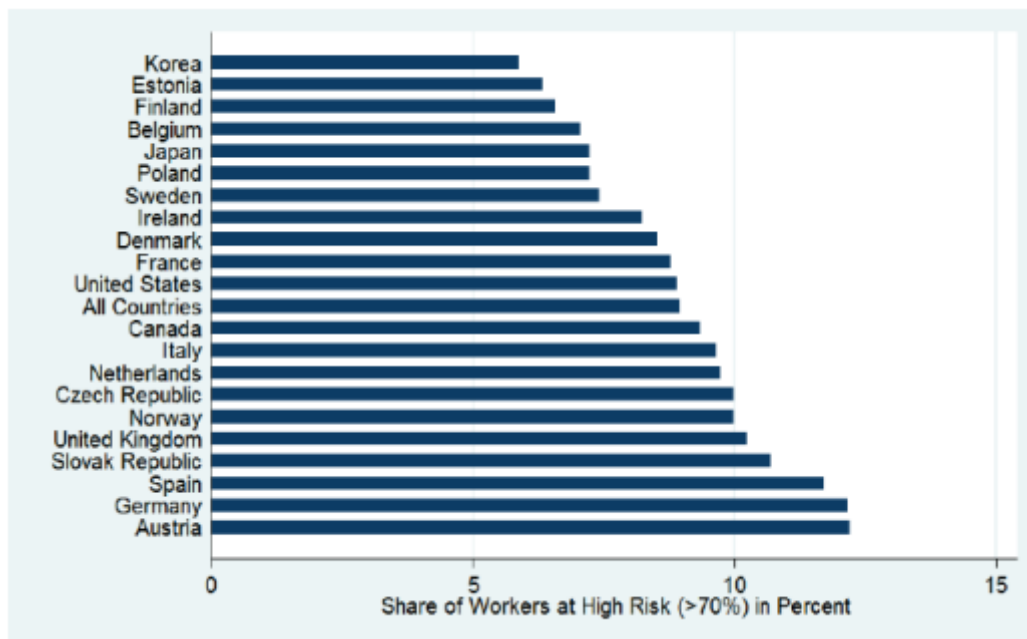
⁴ *Les classes moyennes face à la transformation digitale*, Roland Berger, octobre 2014

employés dans la restauration rapide, les manutentionnaires ou encore les secrétaires et les professions liées à la comptabilité).

-> Arntz, Gregory et Zierahn (2016)⁵

Pour pallier aux limites des travaux de Frey et Osborne, les auteurs de cette étude utilisent une approche basée sur les tâches afin d'estimer les emplois à risque dans une vingtaine de pays de l'OCDE. Ils aboutissent à des résultats moins alarmants : **seulement 9% des emplois en moyenne dans ces pays de l'OCDE sont fortement menacés** selon eux (voir le graphique suivant).

Graphique – Part d'emplois à risque élevé d'automatisation par pays de l'OCDE



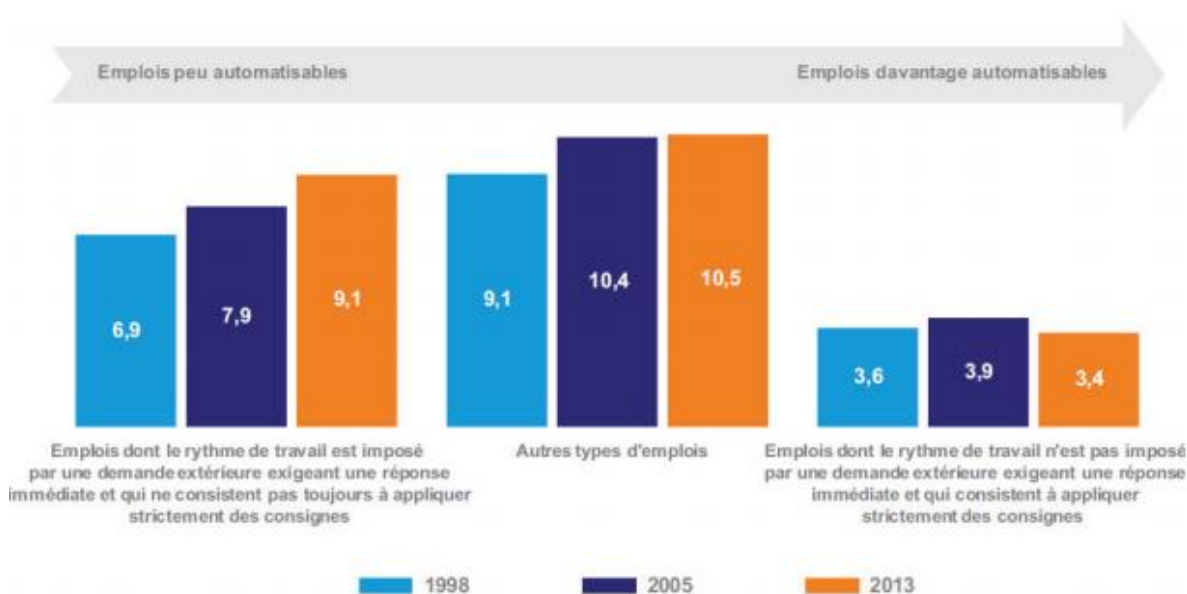
Source : Arntz *et al.* (2016)

⁵ Arntz M., T. Gregory et 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.

-> Nicolas Le Ru (2016)⁶

Selon lui, les emplois potentiellement automatisables sont en fait ceux qui consistent à appliquer strictement des consignes et dont le rythme de travail n'est pas imposé par la satisfaction immédiate de la demande des clients.

Graphique – Evolution des emplois salariés en France, selon leur rythme de travail et l'application stricte de consignes, entre 1998 et 2013 (en millions)



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

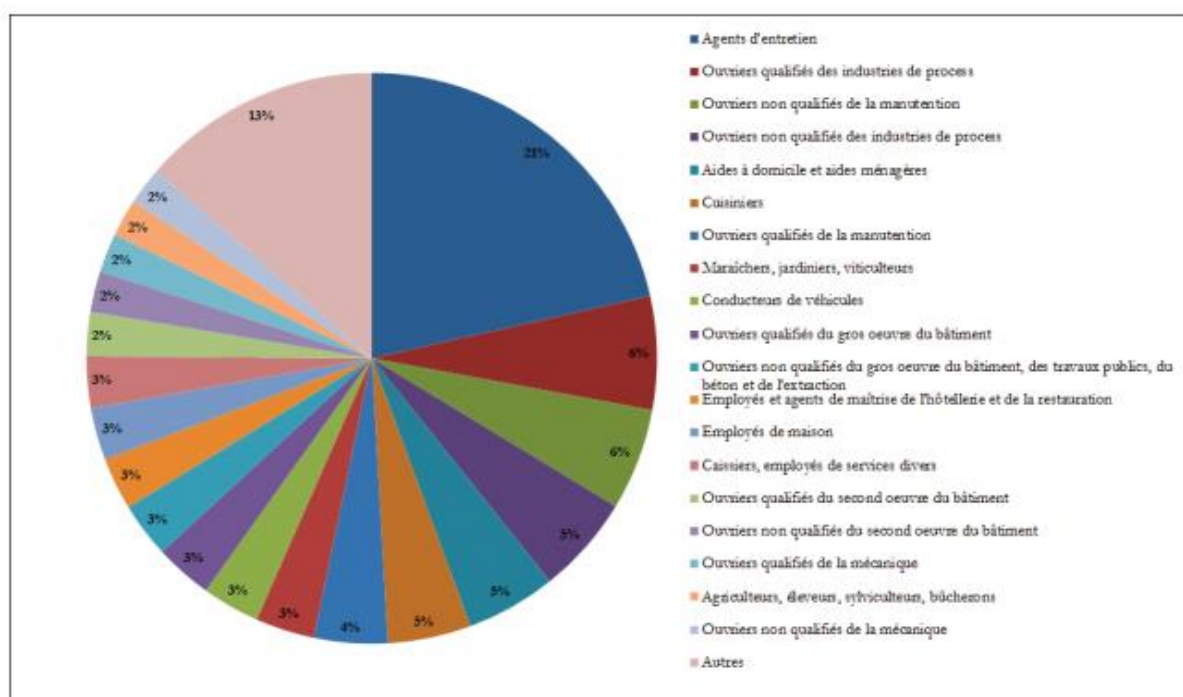
On s'aperçoit que le nombre d'emplois « facilement » automatisables selon les critères retenus est de **3,4 millions en 2013 (soit 15% des travailleurs salariés en France)**. En revanche pour ce qui est des emplois plus difficilement automatisables, le chiffre est plus important et concerne 9,1 millions d'emplois sur la même année. Par ailleurs, on remarque que les emplois peu automatisables ont eu tendance à augmenter relativement fortement, tandis que les emplois à risque ont plutôt diminué entre 1998 et 2013.

⁶ Le Ru N. (2016), « L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait et ce qu'on ignore », La Note d'analyse, n°49, France Stratégie, juillet.

-> COE (2017)⁷

L'analyse issue du rapport du COE réalisé publié en 2017 permet d'identifier les types d'emplois ayant un indice d'automatisation élevé. Les emplois les plus menacés présentent des caractéristiques communes, à savoir qu'ils sont pour la plupart peu qualifiés et manuels. Cependant, la plus grande complexité des tâches des emplois qualifiés a pour conséquence le fait qu'il est plus difficile de les étudier. Ainsi, les données de l'étude du COE sont davantage centrées sur les emplois moins qualifiés.

Graphique – Décomposition des emplois les plus « exposés » : les métiers les plus importants en volume



Source : Secrétariat général du COE

Finalement, les rapports récents sur le sujet s'accordent sur un point : la disparition massive des emplois existants, que laissaient entendre de précédentes études, n'est pas la perspective la plus probable. En réalité, « seuls » entre **5 à 15% des emplois actuels seraient réellement susceptibles d'être fortement impactés par la numérisation** (c'est-à-dire que le contenu de ces emplois pourrait être totalement ou quasi totalement automatisé). Il ne faut cependant pas

⁷Automatisation, numérisation et emploi, COE, janvier 2017

minimiser l'impact de la numérisation, puisque **40 à 50% des emplois existants sont amenés à évoluer dans leur contenu de façon significative.**

L'étude de McKinsey, qui confirme cette estimation de l'ordre de 50% des emplois présentant une certaine vulnérabilité, ajoute une précision. En raison des différents facteurs qui ont été développés dans la sous-section précédente, la part des emplois affectée devrait en réalité se situer à un niveau en-deçà des 50%, un pourcentage qui constituerait en réalité un seuil maximum. Les scénarios de McKinsey dans 46 pays suggèrent qu'**entre 0 et 1/3 des activités professionnelles peuvent être impactés d'ici 2030, avec un point médian de 15%. Par ailleurs, 60% des emplois contiennent au moins un tiers de tâches automatisables.**

f. Un impact différencié en fonction des pays

L'impact de l'automatisation sur l'emploi varie beaucoup entre pays et ce en fonction de plusieurs facteurs : le niveau de salaires, la croissance et la productivité, la démographie, et enfin la part des secteurs à fort potentiel d'automatisation (comme le secteur manufacturier). Pour le Japon par exemple, les prévisions de croissance faibles, une démographie défavorable et une grande part de travail automatisable sont autant d'éléments qui expliquent que l'automatisation dans ce pays aura un impact important sur l'emploi.

A l'échelle mondiale, il est attendu que l'automatisation progresse beaucoup plus vite dans les pays développés. En effet, à profession équivalente, les salaires réels y sont bien plus élevés que dans les pays émergents et en développement, ce qui rend l'investissement en outils d'automatisation d'autant plus attractif.

La polarisation des revenus pourrait donc se poursuivre aux Etats-Unis et dans d'autres économies avancées. En conséquence, la structure des salaires actuelle devrait se maintenir. L'augmentation de l'investissement et de la productivité permise par l'automatisation pourrait encourager la croissance de sorte à permettre le plein emploi, mais seulement si les travailleurs qui changent d'emploi trouvent de nouvelles opportunités dans un délai d'un an. En revanche, si la réembauche est trop lente, le chômage frictionnel augmentera probablement dans le court terme, et les salaires pourraient connaître des pressions à la baisse. Ces tendances de salaires ne sont pas universelles : En Chine ainsi que dans d'autres économies émergentes, les emplois à rémunération moyenne tels que les emplois dans les services et la construction sont ceux qui connaîtront le plus de croissance nette d'emplois, stimulant ainsi l'émergence de la classe moyenne.

Dans le cas de la France, on observe une diminution de la part des emplois automatisables.

II. La révolution numérique : des effets disruptifs sur l'emploi

a. La polarisation de l'emploi et le recentrage des métiers

Un autre point sur lequel les études s'accordent concerne la polarisation de l'emploi. Depuis les années 1980, l'automatisation s'est accompagnée d'une modification de la structure de l'emploi. La polarisation du marché du travail se définit comme la diminution de la part des emplois associés à des niveaux de qualifications intermédiaires. Dans le même temps, on assiste à une hausse du nombre des emplois plus fortement qualifiés et peu qualifiés.

Prenons l'exemple de la France. Au cours des dernières décennies, l'économie française s'est transformée, consacrant une part de plus en plus grande aux emplois qualifiés (ingénieurs et cadres de techniques de l'industrie, de l'informatique et des télécoms, personnels d'études et de recherche...) et à certains métiers peu qualifiés de services (aides à domicile, assistantes maternelles...). Malgré cette plus forte présence de métiers qualifiés, de plus en plus de travailleurs estiment exercer un métier répétitif. C'est le cas de 40 % des salariés en 2013, contre 20 % en 1984. Cette hausse des emplois considérés comme répétitifs, dont l'essentiel a lieu après 2005, concerne l'ensemble des salariés, qu'ils soient cadres ou ouvriers, jeunes ou non, hommes ou femmes. Ces emplois répétitifs sont de bons candidats à l'automatisation car ils pourraient « subir » les progrès de l'apprentissage automatique.

Néanmoins, le caractère répétitif ici pointé du doigt peut être plus ou moins marqué et recouvrir des réalités différentes. Parce qu'ils sont déclaratifs, ces chiffres peuvent aussi refléter le point de vue des salariés sur leur environnement de travail : leur emploi peut leur paraître répétitif par comparaison aux tâches que réalisent leurs collègues ou encore parce qu'ils estiment que leur travail pourrait être réalisé autrement pour limiter cette pénibilité. C'est pourquoi il convient de nuancer l'hypothèse selon laquelle tous les emplois répétitifs seraient automatisables. En fait, les travailleurs disposent encore d'un avantage comparatif sur les machines en termes d'interactions sociales, d'adaptabilité, de flexibilité et de capacité à résoudre des problèmes, qui rend l'automatisation des tâches plus complexes qu'il n'y paraît.

b. La dimension temporelle

D'après la théorie économique, les technologies permettant de remplacer les hommes peuvent conduire à des pertes d'emploi à court terme dans les secteurs utilisateurs de ces technologies, qui peuvent être compensées par la suite par un certain nombre de mécanismes de compensation. La question est alors de savoir quelle est la durée de la transition entre les effets

négatifs de court terme (eux-mêmes contrebalancés par des effets positifs de court terme liés à de nouveaux besoins en main-d'œuvre dans les secteurs ou activités technologiques) et la réalisation des mécanismes de compensation à moyen ou long terme.

De fait, la durée de cette période de transition pour les changements technologiques en cours se révèle d'autant plus difficile à évaluer qu'elle est largement liée à deux facteurs qui sont eux-mêmes par nature variables :

- le rythme de diffusion des technologies considérées qui dépend lui-même de la nature des technologies et de l'environnement technique, organisationnel, juridique, fiscal. Dans de nombreuses études, l'horizon temporel pour la diffusion d'une innovation à travers l'ensemble de la société est de 20 ans. Pourtant, en fonction du type d'innovation (innovation de procédé ou organisationnelle), cet horizon temporel peut être bien différent.
- le jeu des mécanismes de compensation qui dépend d'un ensemble de facteurs institutionnels notamment dont dépendent l'ampleur et la vitesse de réalisation de ces mécanismes.

L'OCDE a réalisé en 2016⁸ 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. 18 pays de l'OCDE (dont la France) sont étudiés sur la période 1990-2012. Les auteurs partent du constat qu'entre 1990 et 2012, le coût du capital 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 qu'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).

⁸ Berger, T. and C. Frey (2016), "Structural Transformation in the OECD: Digitalisation, Deindustrialisation and the Future of Work", OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 193, OECD Publishing, Paris.

Une autre étude réalisée par Graetz et Michaels (2017)⁹ cherche à évaluer l'impact de la diffusion des robots industriels sur différentes variables économiques dont l'emploi. Elle porte sur 17 pays sur la période 1993 à 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 en 2016¹⁰ analyse les effets théoriques et empiriques du progrès technologique défavorable au travail routinier sur le volume de l'emploi. 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, les technologies permettant de remplacer les tâches routinières ont créé environ **11,6 millions d'emplois en Europe soit la moitié de l'emploi créé sur la période 1999-2010.**

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 parallèlement créant de nouveaux secteurs qui ont soutenu la demande en travail.

⁹ Graetz, Georg, and Guy Michaels. 2017. "Is Modern Technology Responsible for Jobless Recoveries?" *American Economic Review*, 107 (5): 168-73.

¹⁰ Gregory, Terry and Salomons, Anna and Zierahn, Ulrich, *Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe* (July 15, 2016). ZEW - Centre for European Economic Research Discussion Paper No. 16-053.

c. Impact par secteurs

L'impact de l'automatisation sur l'emploi varie beaucoup en fonction des secteurs et du type de poste. Comme on l'a vu précédemment, les emplois potentiellement automatisables sont ceux qui consistent à appliquer strictement des consignes et dont le rythme de travail n'est pas imposé par la satisfaction immédiate de la demande des clients. Deux autres critères sont aussi à prendre en compte :

- **les activités « physiques » en environnement prévisible** (utilisation de machines, préparateur dans les fast-foods) ;
- **la collecte et le traitement de données.**

Ainsi, la comptabilité, le domaine du para-juridique ou encore le traitement de transactions « back-office » sont autant de secteurs menacés par l'automatisation.

En revanche, les professions qui consistent à gérer une équipe, à appliquer une expertise ou impliquant des interactions sociales sont plus épargnées. D'une façon plus générale, dès lors qu'il s'agit d'activités nécessitant des capacités sociales ou relationnelles, les emplois concernés sont moins automatisables. D'autres professions (jardinier, plombier, aide à domicile) sont quant à elles moins touchées notamment car les salaires associés sont plus faibles, ce qui rend leur automatisation moins attractive.

La comparaison du degré de robotisation de l'industrie dans d'Europe ou l'exemple du déploiement des caisses automatiques dans la grande distribution montrent que l'automatisation des emplois ne se résume pas qu'à une question technologique : un emploi n'est pas nécessairement remplacé par une machine dès lors qu'il peut techniquement l'être. D'autres facteurs influencent le déploiement des automates comme le mode d'organisation du travail, l'acceptabilité sociale et la rentabilité économique.

Plus que la disparition pure et simple de certains métiers (peu probable à moyen terme), la révolution digitale crée de nouvelles polarisations au sein des secteurs d'activités, entre des métiers automatisables, qui seront soumis à une plus forte pression entre travail humain et investissement, et métiers peu automatisables, qui au contraire tendront à voir leur valeur – mais également les compétences attendues pour les exercer – revalorisées.

Dans le secteur médical, les impacts des nouvelles technologies sur la transformation des métiers sont massifs. L'ordinateur Watson d'IBM permet d'établir des diagnostics médicaux (fiables à plus de 90% pour la détection du cancer du poumon), et propose des conseils sur les traitements adéquats en fonction du profil patient. La recherche épidémiologique est bouleversée par le Big Data, et l'impression 3D trouve déjà de nombreuses applications avec les prothèses ou les plâtres. Ces évolutions transformeront le métier de médecin. Mais celui-ci ne disparaîtra pas, et le nombre de médecins ne diminuera vraisemblablement pas. En revanche, les métiers paramédicaux à plus faible valeur ajoutée seront directement touchés : par exemple les personnels des laboratoires d'analyse via le développement des logiciels, ou le personnel hospitalier via le développement de robots.

Les métiers du secteur juridique connaîtront une polarisation semblable. Le développement de bases de données en ligne, de logiciels tels que Lex Machina, capables d'effectuer des analyses juridiques (recherche de cas juridiques similaires, traitement de l'information et formulation d'une recommandation) ou LegalLife, qui rédige des actes juridiques basiques, déplacent la valeur ajoutée des professions juridiques vers d'autres tâches telles que la plaidoirie, l'écoute du client, la constitution d'un réseau d'influence... Mais les métiers à plus faible valeur ajoutée, tels qu'analyste junior ou assistant juridique, seront beaucoup moins nécessaires.

Le secteur bancaire a lui aussi connu une évolution dans les dernières décennies, illustrant l'adaptation des métiers dans un contexte de progrès technologique. L'installation de distributeurs automatiques de billets (DAB) a profondément modifié les besoins en main-d'œuvre dans le secteur bancaire. Dans un premier temps, le déploiement des DAB a diminué le coût d'exploitation des agences bancaires, et leur nombre a alors augmenté. Puis le développement des services de banque en ligne et l'apparition des modes de paiement sans contact — qui limite les besoins en liquidités — a stoppé le déploiement des DAB et réduit le nombre des agences bancaires. Mais il n'y a pas seulement eu une baisse de l'effectif des employés : la nature de ces métiers s'est aussi modifiée. Ils sont devenus moins automatisables, de même que les techniciens et dans une moindre mesure, les cadres.

Concernant **les métiers de l'industrie**, entre 25 et 50 %, auraient une probabilité très forte d'être automatisés dans les 20 ans à venir. Parmi eux : régleur, cariste, vérificateur qualité usine, ouilleur, opérateur de machines, assistées par ordinateur. Le secteur va également être impacté par l'arrivée de nouveaux métiers ou de nouvelles qualifications : statisticien de maintenance prédictive,

formateur de robots, cyber-testeurs (tests de produits par simulation) ou paramétreurs de systèmes de contrôles. Néanmoins, certains métiers vont davantage évoluer vers une hybridation et un élargissement des tâches.

La principale innovation dans **le secteur des transports** est le véhicule autonome, qui pourrait permettre de répondre, au moins en partie, au problème de la pénurie de chauffeurs. L'intelligence artificielle permettra aussi d'optimiser la logistique et d'améliorer la circulation des véhicules.

L'IA sera probablement à l'origine d'une baisse du nombre de chauffeurs pour le **transport de marchandises** à terme. Seule un chauffeur serait nécessaire en tête de peloton pour conduire une colonne de véhicules autonomes. Il y aurait donc moins de chauffeurs longue distance, mais davantage de chauffeurs locaux pour amener les camions autonomes sur l'autoroute ou assurer les dessertes locales. Concernant le transport de personnes, les véhicules autonomes vont peu à peu remplacer les taxis et VTC traditionnels, mais dans le même temps, il y aura des créations d'emplois pour superviser la flotte des véhicules. Concernant la maintenance automobile, on observera une polarisation de l'emploi, entre des experts capables de faire un diagnostic plus poussé que les technologies existantes, et des exécutants qui exécuteront les tâches à réaliser identifiées par les outils numériques. D'où l'importance de la formation pour que l'homme et la machine puisse coopérer correctement.

Finalement, le phénomène que l'on observe quel que soit le secteur est celui de la polarisation des emplois. Les machines et logiciels remplacent pour partie les travailleurs dont les qualifications peuvent être qualifiées d'intermédiaires. Cependant, peu de métiers sont réellement voués à disparaître. La plupart vont en fait devoir s'adapter à la technologie, qui fera de plus en plus partie du quotidien ; en clair, la machine vient compléter le travail des hommes. Cette évolution, déjà amorcée, va dans le sens d'une élévation des compétences des travailleurs. Ceux-ci devront se spécialiser davantage dans les compétences sociales, celles qui requièrent de la créativité, du sens artistique, de l'intelligence sociale ou du contact humain.

Quel besoin en compétences pour les différents secteurs ?

Il est estimé que 50% des acquis de connaissance durant la première année d'étude supérieur seront devenus obsolètes au moment où l'étudiant en question aura obtenu son diplôme. Une étude du World Economic Forum (2016) met en évidence pour chaque type d'industrie les compétences considérées comme étant stables dans le temps. Le tableau suivant montre le

pourcentage de ces compétences par industrie, qui correspondent aux compétences qui seront, au moins à court terme, le moins affecté par l'automatisation. En fait, les compétences qui seront le plus valorisées à mesure que le progrès technologique s'immisce dans tâches quotidiennes sont celles qui permettent aux travailleurs de travailler avec les données et de prendre des décisions en fonction des données issues du Big Data.

Tableau – Stabilité des compétences, 2015-2020, ensemble des industries

Industry group	Unstable	Stable
Industries Overall	35%	65%
Media, Entertainment and Information	27%	73%
Consumer	30%	71%
Healthcare	29%	71%
Energy	30%	70%
Professional Services	33%	67%
Information and Communication Technology	35%	65%
Mobility	39%	61%
Basic and Infrastructure	42%	58%
Financial Services & Investors	43%	57%

Source : Future of Jobs Survey, World Economic Forum

d. Les créations d'emplois

Le potentiel de création d'emplois des nouvelles technologies peut s'apprécier de deux façons : de façon directe, il s'agit des emplois propres au développement de la technologie (emplois du numérique et de la robotique, par exemple). Mais il s'agit aussi des emplois indirects créés dans l'ensemble de l'économie et induits notamment par les effets de compensation, à savoir les emplois induits par la hausse des revenus et par l'émergence de nouveaux produits. McKinsey évalue pour sa part l'emploi direct du secteur du numérique à **880 000 salariés en 2014. A ces emplois directs s'ajoutent entre 700 000 et 1 million d'emplois indirects et induits, soit 2,9 % à 4,4 % de l'emploi salarié.**

Pour ce qui est des emplois directs, selon les données d'Eurostat, environ 8 millions de personnes étaient employées en 2015 comme spécialistes des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'Union européenne, principalement au Royaume-Uni (1,54 million), en Allemagne (1,47 million) et en France (950 000). Ces emplois représentent 3,5 % de l'emploi total en Europe.

Les créations d'emplois indirects, ceux qui s'opèrent hors des secteurs producteurs de technologies, sont plus difficiles à mesurer. Les avancées dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la robotique s'inscrivent dans un mouvement plus large d'avancées technologiques pouvant conduire à l'émergence d'innovations de produit ou de services qui ont plus de chance d'avoir un effet positif sur l'emploi que les innovations de procédé. En effet, les innovations de produits sont susceptibles de créer de nouveaux marchés et donc de nouvelles entreprises. Parmi les nouveaux produits pouvant potentiellement avoir un effet positif sur l'emploi, on peut citer l'Internet des objets, la robotique domestique ou encore l'impression 3D.

Ensuite, la diffusion des technologies d'automatisation pourrait permettre aux secteurs à risque et notamment à l'industrie d'améliorer leur compétitivité, coût mais aussi hors coût. Plus compétitives, les entreprises industrielles pourraient gagner des parts de marché à l'étranger, et donc augmenter leur production avec in fine des effets positifs sur l'emploi. Finalement, au vu de la portée des outils d'automatisation, ce sont tous les secteurs qui seront à termes concernés par la technologie et qui pourraient donc potentiellement bénéficier de ces effets sur les gains de parts de marché.

Ainsi, même avec l'automatisation, la demande de travail et de travailleurs pourrait augmenter à mesure que l'économie croît, en partie grâce à la croissance de la productivité rendue possible par le progrès technologique. La hausse des revenus et de la consommation, en particulier dans les pays en développement, l'augmentation des soins de santé pour les sociétés vieillissantes, l'investissement dans les infrastructures et l'énergie et d'autres tendances créeront des emplois qui pourraient compenser le remplacement des travailleurs. Des investissements supplémentaires, tels que dans les infrastructures et la construction, pourraient être utiles en soi, afin de réduire le risque de pénurie d'emplois dans certaines économies avancées.

- Entre 300 et 365 millions nouveaux emplois pourraient être créés grâce à la hausse des revenus.
- 80 à 130 millions nouveaux emplois d'ici 2030 dans le secteur de la santé.
- 20 à 50 millions d'emplois pour le secteur des nouvelles technologies (informaticiens, ingénieurs).
- 80 à 200 millions d'emplois dans l'infrastructure et la construction (architectes, ingénieurs, menuisiers, ouvriers).

- 10 à 20 millions d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et pour l'adaptation climatique.
- 50 à 90 millions d'emplois pour le travail domestique (garde d'enfants, ménage, etc.).

Le rapport McKinsey estime que **9% de la demande de travail pourrait consister en de nouvelles professions** qui n'existaient pas jusqu'à maintenant. Si la croissance, l'innovation et l'investissement sont suffisamment élevés, il pourrait y avoir assez de création d'emplois pour compenser l'impact de l'automatisation.

Par ailleurs, Le mouvement d'automatisation et de numérisation pourrait à terme contribuer à **favoriser des relocalisations d'activité**, avec des retombées potentielles positives sur l'emploi, même si à ce stade les exemples sont encore modestes.

III. Recommandations pour la modélisation de la révolution numérique

La révolution numérique n'est pas facilement estimable. Pour autant, les différents rapports et papiers de recherche permettent de mettre en évidence certains ordres de grandeur : sur la proportion d'emplois fortement impactés par la révolution numérique par exemple, le chiffre de 10% est celui qui prédomine. De même pour les emplois impactés mais de façon moins importante, la plupart des rapports s'accordent à dire que cela concerne entre 40 et 50% des emplois. Mais certains paramètres de la révolution numérique font moins consensus. Dans la perspective de la modélisation de la révolution numérique, il apparaît ainsi nécessaire de faire des choix afin de faire ressortir des données qui soient réellement utilisables. Cette section est ainsi consacrée aux éléments à considérer dans la modélisation.

a. Prendre en compte l'hétérogénéité des professions

Distinction entre les différentes professions

Dans la mesure où dans la plupart des cas, la machine ne vient pas se substituer à 100% à l'homme et où elle ne remplace que certaines tâches au sein de chaque métier, il apparaît nécessaire d'inclure dans la modélisation de la révolution numérique une distinction entre les différents métiers.

On peut pour cela établir une méthodologie afin de déterminer les professions qui présentes, ou non, un fort risque d'automatisation. On peut à cet égard considérer qu'un métier n'est qu'un ensemble de tâches (comme le font Frey et Osborne), et décomposer ainsi chaque métier en les tâches qui le composent. **On pourra ainsi considérer qu'un métier est fortement automatisable s'il présente au moins 70% de tâches automatisables.** Cette distinction permet de dépasser le clivage simpliste entre professions (de type industriels) mécanisables et professions (davantage intellectuelles) non mécanisables qui prévalait jusque dans les années 1970 mais qui n'est plus valable aujourd'hui. Cette méthodologie présente un biais de surestimation, puisqu'elle revient à considérer que l'ensemble des emplois d'un métier comportant plus de 70% de tâches automatisables sont voués à disparaître. Mais elle présente l'avantage d'établir une distinction claire en termes de risque d'automatisation entre différentes professions, et semble donc applicable assez facilement dans le modèle.

Distinction en fonction du niveau de qualification

Une autre façon de rendre compte de l'hétérogénéité entre métiers dans le modèle est de faire directement une **distinction entre secteurs ou métiers, basée sur le niveau de qualification requis pour les exercer**. Comme nous l'avons vu tout au long de ce rapport, les métiers les plus à risque sont ceux qui présentent un caractère répétitif, et ce peu importe qu'ils requièrent des compétences en termes physique ou cognitif. Ce raisonnement revient à mettre en évidence la polarisation du marché du travail : l'automatisation aboutit à une hausse de la proportion des métiers à qualification intermédiaire. **Les métiers les moins touchés par l'automatisation sont : (i) ceux qui consistent à appliquer une expertise ou sollicitent des qualifications « sociales », artistiques relationnelles : créativité, sens du relationnel etc. ; (ii) ceux pour lesquels la rentabilité de l'automatisation n'est pas assurée à long terme, au vu des salaires relativement peu élevés qui y sont associés.**

On peut ainsi définir la liste non exhaustive des métiers à fort risque d'automatisation : caissier, vendeur, employé de bureau, serveur, employé dans la restauration rapide, manutentionnaire, secrétaire, professions liées à la comptabilité, agent d'entretien, ouvrier qualifié des industries de process, ouvrier non qualifié de la manutention, ouvrier non qualifié des industries de process, aide à domicile et aides ménagères, cuisinier, ouvrier qualifié de la manutention, maraîcher, jardinier, viculteur, conducteur de véhicule, ouvrier qualifié du gros œuvre du bâtiment, le domaine du para-juridique ou encore le traitement de transactions « back-office ».

Dans le secteur médical, les impacts des nouvelles technologies sur la transformation des métiers sont massifs. Ces évolutions transformeront le métier de médecin. Mais celui-ci ne disparaîtra pas, et le nombre de médecins ne diminuera vraisemblablement pas. En revanche, les métiers paramédicaux à plus faible valeur ajoutée seront directement touchés.

Les métiers du secteur juridique connaîtront une polarisation semblable à celle du secteur médical. La valeur ajoutée des professions juridiques se déplace vers d'autres tâches telles que la plaidoirie, l'écoute du client, la constitution d'un réseau d'influence... Mais les métiers à plus faible valeur ajoutée, tels qu'analyste junior ou assistant juridique, seront beaucoup moins nécessaires.

Le secteur bancaire a lui aussi connu une évolution dans les dernières décennies, illustrant l'adaptation des métiers dans un contexte de progrès technologique. Il y a eu une baisse de l'effectif des employés mais dans le même temps, la nature de ces métiers s'est aussi modifiée. Ils sont

devenus moins automatisables, de même que les techniciens et dans une moindre mesure, les cadres.

Concernant **les métiers de l'industrie**, entre 25 et 50 %, auraient une probabilité très forte d'être automatisés dans les 20 ans à venir. Parmi eux : régleur, cariste, vérificateur qualité usine, ouilleur, opérateur de machines, assistées par ordinateur. Le secteur va également être impacté par l'arrivée de nouveaux métiers ou de nouvelles qualifications : statisticien de maintenance prédictive, formateur de robots, cyber-testeurs (tests de produits par simulation) ou paramétreurs de systèmes de contrôles.

Selon le **World Economic Forum (2016)** : les types d'industrie présentant les compétences les plus stables dans le temps sont les suivantes (dans l'ordre) : industrie médiatique, du divertissement et de l'information ; industrie de la consommation ; industrie médicale ; industrie de l'énergie ; industrie des services pro ; technologies de l'information et de la communication ; mobilité ; infrastructure ; services financiers.

Finalement, le choix de la distinction peut se faire à deux niveaux. On peut choisir de discriminer au niveau du métier. Ou alors distinguer deux secteurs, le secteur industriel et celui des services, et on distingue, au sein de chacun de ces secteurs les emplois en fonction de leur niveau de qualification. Il semble également pertinent d'ajouter un troisième et nouveau secteur, celui du secteur numérique. Ce point est évoqué dans les recommandations suivantes.

b. Introduire une dimension temporelle dans la modélisation

Introduire une dimension temporelle dans le modèle. En effet à court terme, on constate que l'automatisation est responsable de pertes d'emploi dans les secteurs utilisateurs de ces technologies. Mais il y a des phénomènes de compensation à court terme (car il y a de nouveaux besoins en main-d'œuvre dans les secteurs ou activités technologiques) mais aussi à long terme. La question est alors de savoir quelle est la durée de la transition entre les effets négatifs de court terme et les mécanismes de compensation qui se réalisent à moyen-long terme. **Dans de nombreuses études, l'horizon temporel pour la diffusion d'une innovation à travers l'ensemble de la société est de 20 ans.** On peut considérer trois étapes temporelles : la première est l'effet de substitution : quand le coût du capital baisse, les entreprises ont tendance à devenir plus économes en travail – l'effet sur l'emploi 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.

c. Intégrer la logique de création d'emplois permise par la révolution numérique

Dans la perspective de la modélisation de la révolution numérique, il paraît nécessaire, au vu des effets positifs que peut avoir la révolution numérique sur l'emploi, de **prendre en compte les créations d'emplois**. En effet comme détaillé dans le rapport, plusieurs études montrent que les pertes d'emplois relatives à l'introduction des outils numériques sont a minima compensées par les créations à long terme. Selon l'étude de Gregory, Salomons et Zierahn (2016), les technologies permettant de remplacer les tâches routinières ont créé environ **11,6 millions d'emplois en Europe soit la moitié de l'emploi créé sur la période 1999-2010**. Dans cette logique de création d'emplois, un secteur est particulièrement dynamique : il s'agit du secteur des nouvelles technologies. McKinsey évalue l'emploi direct du secteur du numérique à **880 000 salariés en 2014**. **A ces emplois directs s'ajoutent entre 700 000 et 1 million d'emplois indirects et induits, soit 2,9 % à 4,4 % de l'emploi salarié**. Quatre types de nouvelles compétences seront requises dans l'ère numérique : l'analyse de données, l'expertise en technologie informatique, le management basé sur une culture numérique et la spécialisation dans les infrastructures numériques. La modélisation de ce secteur semble donc importante dans le modèle développé par Nathalie Chusseau et Jacques Pelletan.

Conclusion

La diffusion des nouvelles technologies et par conséquent leur impact sur l'emploi n'est pas une route toute tracée : à frontière technologique donnée, les scénarios peuvent être très différents selon les choix des acteurs économiques – les créateurs d'entreprises et les investisseurs –, et les conditions résultant de leur environnement. Aussi **les choix de politiques publiques ainsi que les normes éthiques et sociales** sont déterminants. Les entreprises et les décideurs politiques devront agir de sorte à accompagner les travailleurs dans cette transition technologique qui s'amorce, afin de compenser les effets néfastes de la révolution technologique.

Pour assurer de bons résultats, les décideurs politiques et les chefs d'entreprise devront saisir les opportunités permises par l'automatisation, tout en répondant aux défis posés aux travailleurs contraints de changer de poste ou de catégorie professionnelle suite à ces changements technologiques. Garantir une croissance de la demande robuste et le dynamisme économique est une priorité : l'histoire montre que les économies qui ne se développent pas ne génèrent pas de croissance de l'emploi. Ces changements appellent à repenser les modèles d'éducation et de formation professionnelle actuelles.

Face à l'ampleur de l'automatisation sur l'emploi qui s'annonce dans les années à venir, l'une des réactions pourrait être d'essayer de réduire le rythme et la portée des avancées technologiques, afin de préserver les travailleurs à court terme. Pourtant cela aurait pour conséquence de limiter les effets bénéfiques de ces technologies sur les entreprises et sur la croissance via les gains de productivité qu'elles génèrent. Afin de faciliter la transition qui s'annonce, quatre éléments clés sont à encourager :

- ➔ Le maintien d'une croissance robuste afin d'accompagner la création d'emploi ;
- ➔ Repenser et réorganiser les compétences des travailleurs et leur apprentissage via la formation professionnelle. Pour cela, il est nécessaire d'identifier quelles sont les tâches automatisables ou non, en prenant en compte la complexité de la tâche, le risque d'erreur acceptable et le degré d'interdépendance de métiers au sein d'une organisation. Il faut ensuite mettre en place les formations les plus efficaces pour assurer une complémentarité entre l'homme et la machine.
- ➔ Améliorer le dynamisme du marché du travail, notamment en intégrant davantage la notion de mobilité ;

- ➔ Apporter une assistance, notamment financière, aux travailleurs affectés par l'automatisation. Il faut protéger les individus dont les emplois pourraient disparaître demain. La formation des individus par blocs de compétences semble être la voie à suivre pour favoriser le passage d'un métier à l'autre. En clair, il ne faut pas axer les formations sur les métiers, mais davantage sur les compétences pour permettre la réinsertion.
- ➔ Par ailleurs, il faut assurer une formation des travailleurs aux enjeux de la révolution numérique, en termes techniques mais également éthiques.

Ce rapport faisant la synthèse des différents rapports et papiers de recherche sur l'impact de la révolution numérique sur l'emploi permet de mettre en évidence plusieurs éléments cruciaux dans la modélisation de cette révolution numérique que souhaite réaliser la Chaire TDTE :

- En termes de volume d'emplois concernés : 10% des emplois seraient fortement impactés et pourraient donc être remplacés par des outils numériques ; entre 40 et 50% des emplois seraient impactés, mais dans une moindre mesure ;
- Tous les métiers ne sont pas touchés dans la même ampleur, mais on constate cependant une bipolarisation de l'emploi dans toutes les branches, les professions moyennement qualifiées étant les plus touchées. Pour la modélisation, il peut ainsi être pertinent de faire la distinction entre (i) les métiers ou (ii) entre les deux secteurs que sont l'industrie et les services et faire ensuite une distinction plus fine en fonction des niveaux de qualification des emplois. A ces deux secteurs, l'ajout du secteur numérique paraît également indispensable ;
- La révolution numérique n'a pas les mêmes effets à court terme qu'au moyen-long terme, la diffusion d'une innovation à travers l'ensemble de la société est d'environ 20 ans.

Bibliographie

Rapports

Le Ru N. (2016), « L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait et ce qu'on ignore », La Note d'analyse, n°49, France Stratégie, juillet

Les classes moyennes face à la transformation digitale, Roland Berger, octobre 2014

Formation professionnelle : faire décoller l'investissement dans les compétences, Roland Berger, octobre 2017

Automatisation, numérisation et emploi, COE, janvier 2017

The Future of Jobs, World Economic Forum, 2016

Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France, McKinsey France, septembre 2014

Jobs lost, jobs gained : workforce transitions in a time of automation, McKinsey, décembre 2017

Intelligence artificielle et travail, France Stratégie, mars 2018

Situation de travail, compétences transversales et mobilité entre les métiers, France Stratégie, février 2018

Travail industriel à l'ère du numérique, La Fabrique de l'Industrie, mars 2017

Working papers

Arntz M., T. Gregory et 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

Berger, T. and C. Frey (2016), "Structural Transformation in the OECD: Digitalisation, Deindustrialisation and the Future of Work", OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 193, OECD Publishing, Paris.

Frey C. B. et Osborne M. A., *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation ?*, 2013

Graetz, Georg, and Guy Michaels. 2017. "Is Modern Technology Responsible for Jobless Recoveries?" *American Economic Review*, 107 (5): 168-73.

Gregory, Terry and Salomons, Anna and Zierahn, Ulrich, *Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe* (July 15, 2016). ZEW - Centre for European Economic Research Discussion Paper No. 16-053.