Conseil d'orientation pour l'emploi

# Automatisation, numérisation et emploi

## Tome 1 : Les impacts sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi

Janvier 2017

**Introduction** ..... 6

**Première partie : Une nouvelle vague d'automatisation et de numérisation qui transforme les systèmes productifs et l'économie** ..... 8

**1 Automatisation, numérisation : de quoi parle-t-on ?** ..... 9

**2 Des possibilités techniques d'automatisation et de numérisation encore accrues se profilent à l'horizon** ..... 13

**2.1 De nouvelles avancées technologiques dominées par le numérique et fortement interdépendantes** ..... 13

**2.2 Les progrès de l'intelligence artificielle et de la robotique élargissent la portée de l'automatisation** ..... 17

2.2.1 Intelligence artificielle : avancées technologiques, élargissement des domaines d'application et défis technologiques ..... 17

2.2.2 Robotique autonome ou collaborative: avancées technologiques, élargissement des domaines d'application et défis technologiques ..... 20

**2.3 L'impression 3 D et l'Internet des objets, des avancées technologiques porteuses de modifications importantes des modes de production et de distribution des biens et services** ..... 23

2.3.1 L'impression 3 D et ses implications potentielles sur le système productif ..... 23

2.3.2 L'internet des objets : description de la technologie et implications sur le système productif ..... 24

**3 Bon nombre d'entreprises françaises affichent encore un certain retard en matière d'utilisation des outils numériques et des robots** ..... 26

**3.1 Technologies numériques : connectivité, commerce en ligne, réseaux sociaux, logiciels de gestion de la logistique, progiciels** ..... 26

**3.2 Robots : robots industriels, robots de services à usage professionnels** ..... 28

**Deuxième partie : Ce que nous enseignent l'histoire et l'analyse économiques sur les relations entre progrès technologique et emploi** ..... 33

**1 L'approche historique : une préoccupation très ancienne, un débat continu au cours des deux derniers siècles** ..... 34

**1.1 L'évolution de l'emploi au cours des révolutions industrielles** ..... 35

**1.2 Un débat académique ancien, qui a toujours opposé optimistes et pessimistes** ..... 36

1.2.1 Des préoccupations nées avec l'accélération du progrès technique ..... 36

1.2.2 L'argumentation autour des mécanismes directs et indirects ..... 37

2 Le cadre du débat académique actuel ..... 38

2.1 L'analyse micro-économique ..... 39

2.1.1 Des conséquences diverses au sein de l'entreprise ..... 39

2.1.2 Une analyse forcément incomplète ..... 40

2.2 L'analyse macro-économique ..... 40

2.2.1 L'importance des mécanismes de compensation ..... 40

2.2.2 Pour apprécier l'impact global sur l'emploi incertain à court terme comme à long terme, des études empiriques doivent venir en appui des analyses théoriques ..... 43

2.3 Innovation et évolution des compétences ..... 45

2.4 Les technologies et la localisation de l'activité et de l'emploi ..... 46

3 Des interrogations sur l'évolution de la productivité et le chemin de croissance à long terme de l'économie ..... 48

3.1 Les liens entre technologies et productivité au niveau de l'entreprise et au niveau macroéconomique ..... 48

3.2 Le rôle débattu des technologies dans le ralentissement de la croissance de la productivité du travail depuis les années 1990 dans les pays développés ..... 49

Troisième partie : Les effets de l'automatisation et de la numérisation sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi ..... 53

1 Un exercice difficile qui requiert de répondre à quelques questions essentielles ..... 54

1.1 Comment mesurer le progrès technologique et ses effets sur l'emploi? ..... 54

1.1.1 Quel indicateur pertinent retenir pour mesurer le progrès technologique (et plus particulièrement pour capter l'effet des technologies liées à l'automatisation et à la numérisation) ? ..... 54

1.1.2 Comment isoler l'effet propre du progrès technologique sur l'emploi ? ..... 57

1.2 Comment quantifier le risque d'automatisation de l'emploi lié au progrès technologique? ..... 58

1.2.1 Qu'entend-on par activité, tâche, compétence, métier ? ..... 58

1.2.2 Doit-on mesurer le risque d'automatisation des emplois par métier ou par tâche ? ..... 59

1.3 Quel niveau d'analyse retenir ? ..... 64

1.4 Quel horizon temporel prendre en compte ? ..... 65

1.5 Comment résoudre les biais d'estimation potentiels des analyses prospectives ? ..... 67

**2 Les impacts sur le volume de l'emploi : les études existantes, la nouvelle étude du Conseil ..... 68**

**2.1 Analyse des études rétrospectives : les innovations technologiques de produit et de procédé ont été globalement favorables à l'emploi au cours des trente dernières années ..... 69**

2.1.1 Les résultats empiriques convergent malgré des différences selon le niveau d'analyse (agrégé, sectoriel ou entreprise) et les choix méthodologiques retenus ..... 69

2.1.2 Les innovations technologiques ont agi sur l'emploi via des canaux différents selon la nature des innovations et le niveau considéré ..... 75

2.1.3 Les effets passés des seules technologies numériques ou robotiques sur l'emploi sont pour l'instant peu documentés ..... 76

**2.2 Analyse des études prospectives : en fonction des méthodologies retenues, les effets potentiels sur le volume de l'emploi seraient significatifs, et dans certains cas massifs ..... 78**

2.2.1 Les principales études prospectives disponibles se focalisent sur le risque de destruction d'emploi sans s'accorder sur l'ampleur de ce risque ..... 78

2.2.2 Le COE a voulu, au travers d'une nouvelle étude, mieux apprécier l'exposition des emplois salariés en France ..... 85

2.2.3 Un potentiel de créations d'emplois réel, mais dont l'ampleur est difficile à quantifier ..... 97

**3 Les impacts sur la structure des emplois et le contenu des métiers ..... 107**

**3.1 La structure de l'emploi a été profondément modifiée depuis les années 1980, en partie en lien avec la diffusion de technologies numériques ..... 108**

3.1.1 Une modification de la structure de l'emploi depuis les années 1980, qui semble avoir surtout profité aux plus qualifiés en France ..... 108

3.1.2 La diffusion des technologies, notamment numériques, constitue l'un des moteurs de la modification de la structure de l'emploi ..... 114

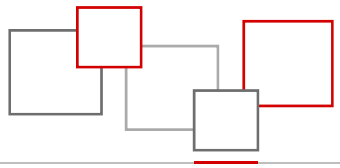
**3.2 La diffusion des nouvelles technologies a également contribué à une profonde évolution des métiers, marquée notamment par une complexification généralisée et un essor des compétences analytiques et relationnelles ..... 121**

3.2.1 Une complexification généralisée des métiers, marquée notamment par un essor des compétences analytiques et relationnelles, en lien avec la diffusion des nouvelles technologies ..... 121

3.2.2 Réglementations croissantes, mondialisation, exigences nouvelles des consommateurs ou encore transition énergétique ont également contribué à modifier le contenu des métiers en tâches et en compétences ..... 129

**3.3 Que peut-on anticiper? ..... 130**

3.3.1 Si des emplois dits qualifiés peuvent également faire partie des emplois à risque d'automatisation, les avancées technologiques en cours et à venir menaceraient d'abord les emplois les moins qualifiés ..... 130



3.3.2 Le seul point de vue technologique ne suffit pas pour anticiper l'évolution de la structure de l'emploi, qui dépendra surtout de la façon dont les postes s'ajustent et se réorganisent en termes de tâches et de compétences ..... 132

3.3.3 La complexification des métiers observés au cours des dernières décennies devrait se poursuivre ... 133

**4 Les impacts sur la localisation de l'emploi ..... 137**

**4.1 Avancées technologiques, délocalisations et relocalisations de l'emploi ..... 137**

4.1.1 Les technologies récentes, combinées à des transformations de la demande et du contexte macroéconomique international, sont susceptibles d'avoir un impact sur les décisions de localisation des entreprises ..... 138

4.1.2 Les cas de relocalisation en France semblent, pour l'instant, limités ..... 142

4.1.3 Les effets des délocalisations et des relocalisations sur l'emploi en France (volume et structure) ..... 147

**4.2 Les avancées technologiques récentes pourraient toutes choses égales par ailleurs, accentuer les écarts entre les régions en fonction de la composition des économies locales ..... 150**

4.2.1 Rappel des déterminants de la localisation de l'emploi au sein d'un pays et rôle possible des déterminants technologiques ..... 151

4.2.2 L'impact territorial des technologies sur l'emploi dépend d'abord de la spécialisation des territoires dans certains secteurs, des métiers ou qualifications soumis à un risque élevé d'automatisation ou affectés par la numérisation ..... 156

4.2.3 Les créations d'emploi liées aux nouvelles technologies devraient bénéficier diversement aux territoires ..... 158

4.2.4 La possibilité d'un « trickle-down » ou d'un multiplicateur technologique au niveau local en France 162

Conclusions ..... 164

Annexe 1 : Etude du COE "L'exposition des emplois salariés à l'automatisation en France" ..... 167

Annexe 2 : Liste des auditions ..... 191

# Introduction

Les progrès réalisés dans le champ de la robotique et de l'intelligence artificielle, l'essor de l'Internet des objets, le traitement des données de masse (big data), l'émergence de l'impression 3 D ou encore la révolution annoncée des voitures sans chauffeur alimentent aujourd'hui des inquiétudes autour d'un « futur sans emploi ».

Ces préoccupations ne sont pas nouvelles : à chaque nouvelle vague d'innovation importante, au moins depuis la Renaissance, la crainte d'un chômage technologique lié à la substitution de l'homme par la machine ressurgit. L'histoire montre cependant que les avancées technologiques successives, notamment celles liées à l'automatisation de la production, se sont au contraire accompagnées jusqu'à présent d'un développement de l'emploi, même si la nature et la structure des emplois ont dans le même temps profondément évolué, ainsi que leur répartition dans l'espace.

Les évolutions technologiques en cours, dominées par la numérisation et marquées par un potentiel d'automatisation considérable, relèvent-elles de la même logique ou, par leur nature, leur ampleur et la rapidité de leur diffusion, sont-elles de nature à avoir un impact différent sur l'emploi ?

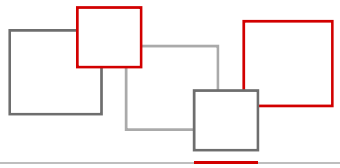
Plusieurs études récentes ont, depuis 2013, cherché à estimer la part des emplois actuels qui pourraient être menacés de disparition du fait des nouvelles possibilités d'automatisation. Ces études prospectives sont toutes à considérer avec précaution : elles reposent, par définition, sur ce que l'on peut raisonnablement attendre des prochaines vagues d'innovations technologiques au vu des seules connaissances actuelles. Elles ne tiennent pas compte du fait que toutes les innovations technologiques, lorsqu'elles sont mises en œuvre, ne se diffusent pas à la même vitesse.

Elles ignorent le potentiel – certes plus difficile à estimer – de création de nouveaux emplois induits par les transformations technologiques. Elles se focalisent en général sur le seul risque de disparition d'emplois existants, sans chercher à apprécier les perspectives de transformation qui pourraient concerner l'essentiel des emplois existants.

Toutefois, ces études considèrent que les effets potentiels sur le volume de l'emploi seraient significatifs voire massifs, sans pour autant s'accorder sur l'ampleur de ce risque en raison notamment de choix méthodologiques différents.

C'est pourquoi le Conseil d'orientation pour l'emploi a souhaité affiner les diagnostics en procédant à une analyse approfondie de l'impact de ces nouvelles innovations sur l'emploi. Il a cherché à apprécier non seulement les effets constatés et envisageables sur le volume de l'emploi (en termes de disparition mais aussi de créations), mais aussi les effets sur la structure de l'emploi (quels sont les métiers et les secteurs les plus concernés ? Comment les métiers sont-ils appelés à évoluer ? Quels types de compétences seront à l'avenir prioritaires ?) et sa localisation, à la fois à l'échelle nationale (quelles pourraient être les zones d'emploi les plus concernées ?) et internationale (les technologies pourraient-elles favoriser un mouvement de relocalisation des emplois en France ?).

Dans ce cadre, le Secrétariat général du Conseil a notamment réalisé une étude statistique, sur la base de l'exploitation des données de l'enquête Conditions de travail, visant à apprécier la part des emplois qui seraient potentiellement concernés par l'automatisation, mais aussi à la décliner par métier.

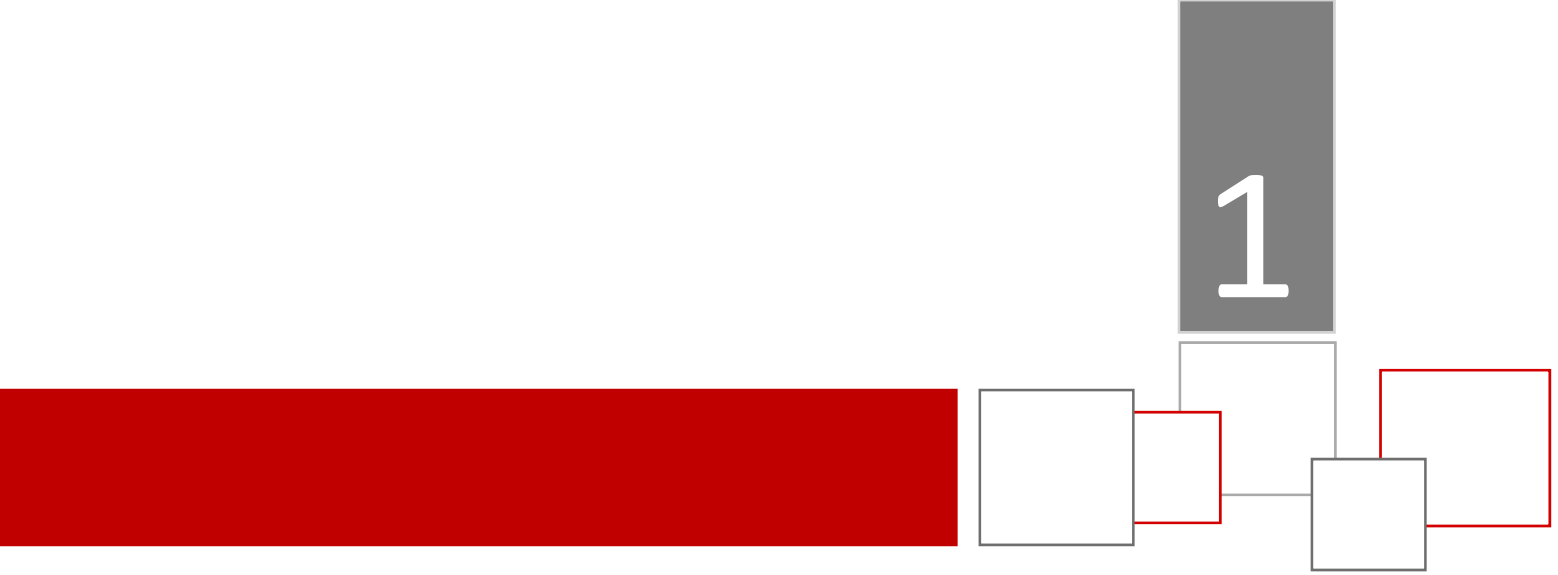


Ce premier tome du rapport du Conseil établit d'abord, sur la base des travaux conduits par le Conseil depuis juillet 2016, un diagnostic de l'impact des nouvelles technologies liées à la numérisation et à l'automatisation sur l'emploi : après un rappel des caractéristiques et des potentialités de la vague actuelle d'innovations et une analyse des principaux enseignements de l'histoire et de la théorie économiques, il examine les effets de l'automatisation et de la numérisation sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi.

L'importance du diagnostic, qui doit aussi intégrer toutes les incertitudes liées au phénomène, est d'autant plus grande que c'est sur cette base que doivent s'appuyer les évolutions des politiques publiques à mettre en œuvre : elles ne sont ni de la même ampleur ni de la même nature selon que les transformations sont lentes ou brutales, mineures ou massives, et concentrées ou non sur certaines compétences, certaines zones géographiques, certaines catégories d'emploi. Au-delà du diagnostic posé par le Conseil qui se concentre sur les seuls effets sur l'emploi, l'impact des nouvelles technologies sur les inégalités de revenus fait également débat et devra être analysé avec attention, même si cela ne relève pas du champ du présent rapport.

Dans un second tome du présent rapport, le COE va étudier, sur la base de ces différents scénarios, les enjeux précis en termes d'évolution des compétences, de mobilités professionnelles, d'organisation et temps de travail et de modes de management, de conditions de travail ou encore de soutien à l'innovation. Il y formulera également des préconisations de politiques publiques sur l'ensemble des champs de l'emploi et du travail.

Le Conseil remercie tout particulièrement, pour leurs contributions concernant l'analyse des technologies, Raja Chatila, Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'ISIR (Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique), Francis Jutand, Directeur général adjoint de l'Institut Mines-Télécom, Grégoire Postel-Vinay, chef de la mission Stratégie à la Direction générale des entreprises, et Jean Tournoux, Délégué général du SYMOP (Syndicat des technologies et machines de production) et, pour leurs contributions à l'analyse statistique, Sébastien Roux (INSEE), Benjamin Nefussi (Direction générale du Trésor), Thomas Coutrot (DARES), Amélie Mauroux (DARES) et Nicolas Le Ru (France Stratégie), ainsi que Michel Houdebine, Francis Kramarz et John Martin.




# Une nouvelle vague d'automatisation et de numérisation qui transforme les systèmes productifs et l'économie

Première partie

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.

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.

# 1 Automatisation, numérisation : de quoi parle-t-on ?

L'automatisation, la robotisation, ou la numérisation constituent autant d'innovations technologiques qui, par leur nature et l'ampleur de leur diffusion, modifient actuellement en profondeur les modes de production, de consommation et d'échange de biens et services, jusqu'à parfois les bouleverser. Au-delà du seul système productif, la diffusion de ces innovations induit par ailleurs des transformations profondes tant dans les relations de travail que dans l'organisation sociale.

**Plusieurs vagues d'innovation se sont succédé, avec pour effet d'élargir le spectre des tâches et des fonctions de l'entreprise pouvant être automatisées, ainsi que des secteurs concernés** (figure 1)**.**

**Jusque dans les années 1970, le terme *automatisation* se confondait avec celui de mécanisation : il renvoyait à des technologies permettant l'exécution mécanique de certaines tâches par des machines liées essentiellement à la fabrication de produits industriels.** Des machines à filer du XVIII$^{e}$ siècle aux premières machines-outils utilisées par les constructeurs automobile dans les années 1960, ces technologies se sont à la fois perfectionnées et largement diffusées, pour l'essentiel dans l'industrie, grâce aux nouvelles énergies comme l'électricité ou à la découverte de nouveaux matériaux liés par exemple au progrès de la sidérurgie.

**En permettant l'intégration de l'informatique à l'ensemble des moyens et procédés de production, l'apparition de la micro-électronique dans les années 1970 associée depuis à une croissance exponentielle des capacités de calcul est à l'origine d'un bond technique très important en matière d'automatisation de la fabrication de produit.** Cette technologie a en effet permis l'émergence des machines à commande numérique qui permettent le pilotage d'une machine-outil à partir d'un ordinateur. La convergence entre les technologies de la mécanique et les technologies informatiques a par ailleurs permis le développement à partir du milieu des années 1980 de robots industriels munis de capteurs et d'actionneurs, et contrôlés par des programmes exécutés

par des ordinateurs[1]. Ces derniers ont pour spécificité par rapport aux machines-outils d'être dotés d'un bras articulé pouvant se déplacer sur plusieurs axes, en fonction des opérations qu'ils ont à réaliser.

L'émergence et la diffusion de l'informatique a également permis d'**élargir considérablement le spectre des tâches et des fonctions de l'entreprise pouvant être automatisées, ainsi que les secteurs concernés en s'étendant notamment au-delà de l'industrie pour toucher les services.**

Cet élargissement des domaines d'application de l'automatisation est à relier notamment au développement de la productique, c'est-à-dire « l'ensemble des techniques, des équipements et des services concourant à automatiser de façon globale et flexible les tâches de production »[2]. L'automatisation ne concerne alors plus seulement la fabrication industrielle, mais également la circulation des pièces et des produits, la conception des produits et des méthodes de fabrication, la gestion des unités de production, la gestion de la communication et finalement les échanges d'informations entre les différentes fonctions d'une entreprise.

Il est également à relier à l'émergence et à la diffusion de logiciels de bureautique (traitement de texte, messagerie, publication assistée par ordinateur, etc.) ou de gestion de l'activité (gestion de la relation client, gestion de la relation fournisseur, progiciels de gestion intégrés, etc.) dont bénéficient l'ensemble des secteurs et pas seulement l'industrie.

On peut souligner ici une complémentarité plutôt qu'une substitution de l'homme au travail s'agissant de certaines technologies. C'est le cas par exemple des logiciels de traitement de texte qui, sans permettre une substitution de l'homme au travail, ont permis de réduire considérablement le temps nécessaire pour rédiger un texte par rapport à l'époque des machines à écrire. C'est le cas également des tablettes que peuvent utiliser certains vendeurs dans les magasins, qui ne se substituent pas à ces derniers mais leur permettent d'accéder plus rapidement à des informations concernant les produits vendus ou à l'historique d'achat du client qu'ils conseillent.

**L'émergence et le déploiement d'internet à partir des années 1990 a marqué le démarrage d'une nouvelle vague de transformation du système productif, celle de la *numérisation* de l'économie.**

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 (Encadré 1). Si Internet constitue le point de départ de cette révolution numérique, l'émergence d'autres outils et technologies tels que les smartphones dans les années 2000 ou encore, une décennie plus tard, les technologies dites de big data permettant de stocker et traiter des flux toujours plus importants de données ont également largement contribué à ce phénomène. De même, des machines intelligentes communiquent désormais entre elles, tandis que les interfaces homme-machine se sont considérablement améliorées. Et les processus de circulation instantanée d'information permis notamment par le développement de plateformes numériques qui restaient au cours des décennies précédentes largement internes aux entreprises s'étendent également entre entreprises (fournisseurs et clients), et jusqu'au client final.

[1] Audition de Raja Chatila, Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), devant le COE le 13 septembre 2016.

[2] Ballet B. (1997), « L'automatisation et l'informatisation dans l'industrie », *Le 4 pages des statistiques industrielles*, n°80, juillet.

La capacité de ces technologies à provoquer des progrès comparables à ceux qui ont suivi l'avènement de la machine à vapeur ou de l'électricité et de la production en série au XX$^{e}$ siècle peut faire l'objet de débats (*cf.* deuxième partie, 3.2). Mais leur diffusion à l'ensemble de l'économie et l'ampleur de ses effets marquent sans nul doute l'avènement d'une troisième révolution industrielle[3]. Pour certains, la révolution numérique en cours constituerait même une quatrième révolution industrielle, la troisième étant celle de l'automatisation dans les années 1960-1980 liée à l'utilisation des ordinateurs et à la commande numérique des machines-outils. La numérisation de l'économie et de la société, et la grappe d'innovations qui lui sont liées, viendraient accélérer la révolution de l'automatisation qui concernerait des secteurs nouveaux de l'industrie et des services[4].

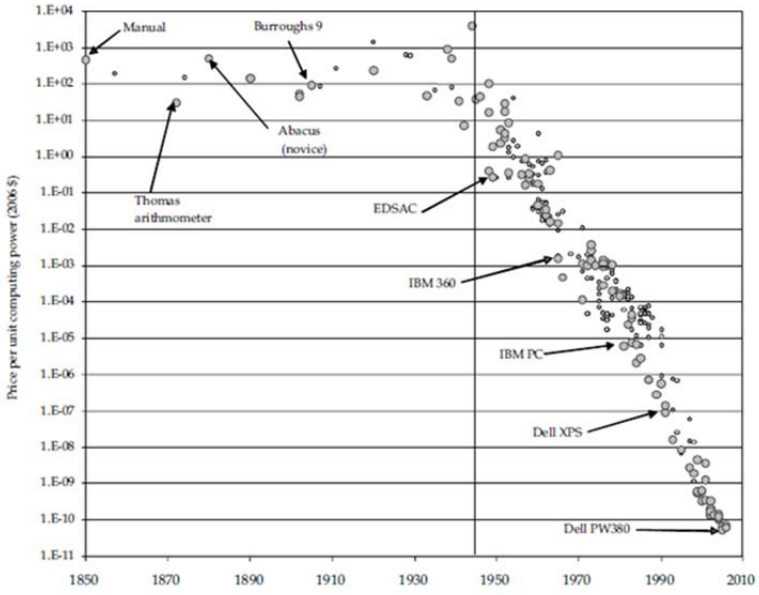
**Encadré 1 : Principales caractéristiques de la révolution numérique**

Alors que l'impact des technologies informatiques et numériques était, jusqu'à peu, limité à certains secteurs et métiers, on assiste depuis la fin des années 2000 à une diffusion de ces technologies à l'ensemble des activités productives et, plus globalement, de la société.

Au moins trois facteurs peuvent être avancés pour expliquer ce phénomène de diffusion des technologies numériques[5].

D'abord, les technologies numériques ont vu leur coût chuter de façon considérable au cours des dernières décennies (graphique 1).

**Graphique 1 : Evolution du prix de la puissance de calcul par seconde s ordinateurs entre 1850 et 2010**




*Lecture : Le prix unitaire de la puissance de calcul par seconde en valeur 2006 a baissé exponentiellement à partir des années 1950.*
*Source : Audition de Georg Graetz, Université d'Upssala, IZA, devant le COE le 11 octobre 2016*

[3] Voir notamment dans la série coordonnée par G. Postel-Vinay « Réalités industrielles » le numéro de novembre 2016 intitulé « L'industrie du futur » : http://annales.org/ri/2016/ri-2016.html.

[4] Schwab K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, janvier.

[5] OCDE (2016), Créer les conditions de la prochaine révolution de la production : l'avenir des industries manufacturières et des services – rapport intermédiaire, Direction de la science, de la technologie et de l'innovation, Réunion du conseil de l'OCDE au niveau des ministres, Paris, 1er-2 juin 2016.

Ensuite, **les technologies informatiques et numériques peuvent être intégrées à de nombreuses autres technologies, avec pour effet d'en améliorer les performances.** Ce phénomène devrait d'ailleurs tendre à s'intensifier avec les avancées technologiques à venir.

Enfin, **en conduisant à une baisse des coûts de transaction, ces technologies, et notamment Internet, démultiplient les effets de réseau** – une activité est caractérisée par de tels effets si la valeur ou l'utilité du produit ou du service qu'elle offre croît avec le nombre d'utilisateurs – **et permettent donc de produire à rendement croissant** – le coût moyen de production diminue au fur et à mesure que la quantité produite augmente. Comme le souligne une note du Conseil d'analyse économique (CAE) sur l'économie numérique, les effets de réseau et l'importance des phénomènes de rendements croissants viennent aussi des algorithmes d'apprentissage utilisés par les entreprises mobilisant les technologies informatiques et numériques pour améliorer constamment leurs performances grâce à la collecte et au traitement de volumineux flux de données[6]. S'ajoute par ailleurs une « viralité » à laquelle le client lui-même participe en contribuant à faire connaître le bien ou le service fourni ; mais aussi en fournissant des données exploitables. C'est sur ces effets de réseau et sur cette « viralité » que repose pour partie le succès des GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazon).

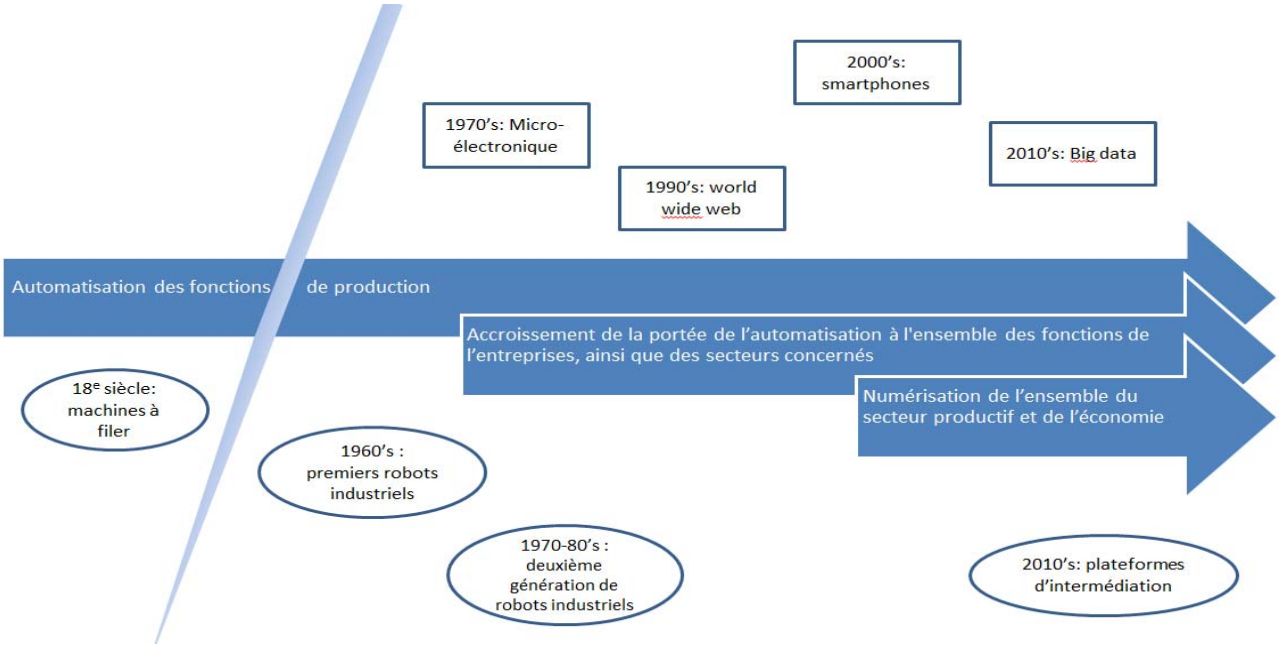
Ces effets de réseau (largement tirés par l'utilisateur lui-même) ont induit l'émergence de nouveaux modèles d'affaires ou de consommation qui permettent à des amateurs ou à des semi-professionnels de trouver des clients, et à des particuliers de s'échanger des biens ou des services, et cela à une échelle sans précédent. De tels modèles, qui reposent sur des plateformes numériques, ont ainsi vu le jour dans des secteurs aussi diversifiés que celui des transports (Uber, Snapcar, Chauffeur privé, etc.), du logement (Airbnb), du ménage à domicile (helping, servilink, etc.) ou encore des petits travaux (hellocasa).

Un autre de leurs effets est de modifier profondément la structure et le périmètre des entreprises. En baissant les coûts de transaction et en fluidifiant la circulation de l'information, les technologies numériques favorisent l'externalisation de fonctions, ainsi que le développement de formes d'entreprises étendues, du travail collaboratif ou d'autres formes de travail innovantes alliant un plus grand nombre d'intervenants.

En favorisant l'émergence de ces nouveaux modèles, **les technologies numériques ne constituent alors plus seulement une nouvelle brique permettant d'aller plus loin en matière d'automatisation des tâches et d'optimisation des procédés de production : elles remettent radicalement en cause le fonctionnement et l'organisation de certains secteurs et filières, et en permettent l'émergence de nouveaux, ce qui soulève des enjeux de régulation.**

[6] Colin N., Landier A., Mohnen P. et Perrot A. (2015), « L'économie numérique », *Notes du Conseil d'analyse économique*, n°26, Conseil d'analyse économique, octobre.

**Figure 1 : De l'automatisation des fonctions de production à la numérisation de l'économie**




*Source : COE*

# 2 Des possibilités techniques d'automatisation et de numérisation encore accrues se profilent à l'horizon

## 2.1 De nouvelles avancées technologiques dominées par le numérique et fortement interdépendantes

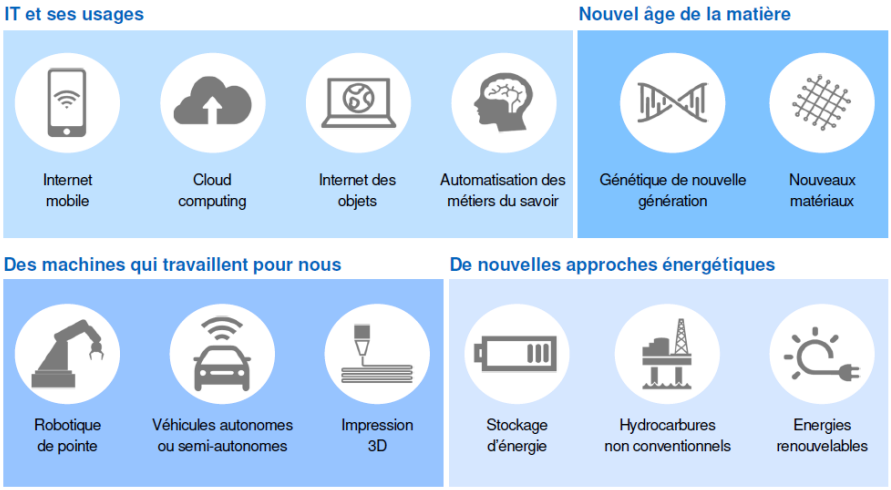
**Plusieurs évolutions technologiques en cours ou à venir disposent d'un potentiel considérable de transformation de notre système productif dans les années qui viennent.**

Dans le cadre du projet transversal « *Créer les conditions de la prochaine révolution de la production* »[7] , l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) a cherché à identifier les opportunités et les risques associés aux technologies susceptibles de jouer un rôle déterminant dans la production et la distribution à un horizon de 10 à 15 ans. Sept technologies considérées comme clés pour le système productif de demain ont été mises en évidence : les technologies de big data, la robotique avancée, l'infonuagique ou cloud computing, l'Internet des objets, l'impression 3 D, les biotechnologies et les nanotechnologies.

[7] OCDE (2016), *op. cit.*

Après avoir passé en revue une centaine d'innovations technologiques, le McKinsey Global Institute en a retenu 12 dont l'impact d'ici 2025 devrait être significatif sur l'emploi, l'économie et la croissance[8]. Ces technologies recoupent en partie celles retenues par l'OCDE (figure 2).

**Figure 2 : 12 ruptures technologiques qui devraient avoir un impact significatif sur l'emploi et l'économie**




*Source : Audition d'Eric Labaye, Président du Mc Kinsey Global Institute, devant le COE le 8 novembre 2016*

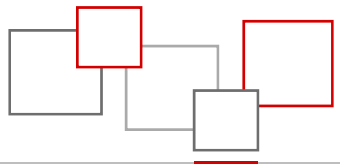
A la fois plus précise et plus restreinte que les approches de l'OCDE et du McKinsey Global Institute car intégrant les avantages comparatifs français, l'étude Technologies clés 2020 pilotée par la Direction générale des entreprises (DGE)[9] fournit pour sa part **une liste de 47 technologies stratégiques pour la compétitivité de la France à un horizon de 5 à 10 ans.** Identifiées sur la base de la consultation d'experts, cette liste recouvre des technologies à divers degrés de maturité, dont le déploiement est déjà engagé. Chacune de ces technologies peut trouver des applications dans un ou plusieurs des marchés identifiés dans le cadre de ce travail prospectif (loisir et culture, énergie, mobilité, numérique, environnement, santé et bien-être, habitat, sécurité et alimentation). Au sein de cette liste de 47 technologies clés, **19 sont considérées comme pouvant avoir une influence sur au moins trois marchés distincts** (figure 3).

On constate une convergence entre les technologies mises en avant par l'OCDE et le McKinsey Global Institute et ces 19 technologies clés[10].

[8] McKinsey Global Institute (2013), Disruptive Technologies : Advances that will tranform life, business, and the global economy, mai.

[9] Direction générale des entreprises (2016), *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*. Il s'agit du 5e exercice prospectif piloté par la DGE qui a pour objectif de favoriser l'appropriation des principales évolutions technologiques par les différents acteurs économiques, sociaux, académiques et publics concernés, mais également de contribuer à un meilleur pilotage des moyens publics en faveur de l'innovation.

[10] A l'exception de l'*infonuagique.*

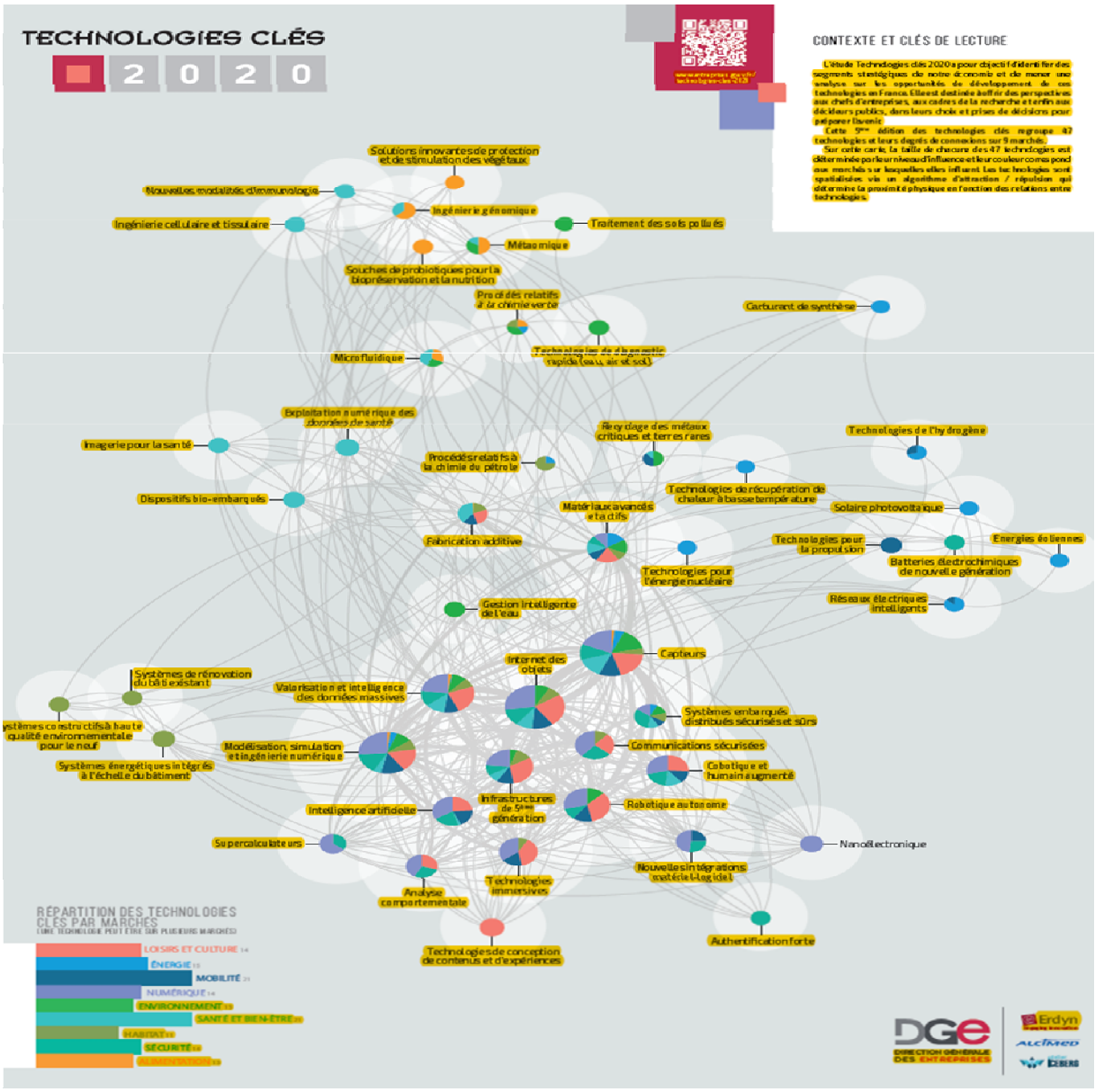


**Les avancées technologiques identifiées comme clés pour l'avenir du secteur productif se caractérisent par une large prédominance des technologies numériques, en nombre comme en impact, et par leur grande inter-dépendance.**

En effet, parmi les 19 technologies les plus influentes identifiées à partir des travaux de la DGE, 14 appartiennent au domaine du numérique. C'est aussi le cas de 5 des 7 technologies répertoriées par l'OCDE. Parmi elles figurent : les capteurs, l'Internet des objets, la valorisation et intelligence des données massives (big data), la modélisation, simulation et ingénierie numérique, l'intelligence artificielle, l'infrastructure de 5$^{e}$ génération (prochaine génération de réseaux mobiles 5 G), les systèmes embarqués distribués sécurisés et sûrs, les communications sécurisées, la robotique autonome, la cobotique et l'humain augmenté, les technologies immersives, l'analyse comportementale et les nouvelles intégrations matériel-logiciel.

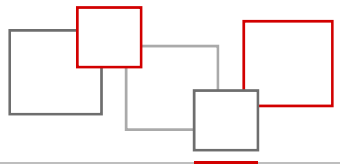
Ces technologies se caractérisent par ailleurs par leur grande interdépendance, en particulier dans le domaine du numérique. Les progrès qui pourront être faits dans les domaines de l'intelligence artificielle ou de la robotique découlent ainsi fortement des avancées réalisées dans les technologies de big data ou de l'essor de l'Internet des objets, eux-mêmes conditionnés dans une large mesure par les progrès réalisés dans des domaines tels que l'accroissement de la vitesse des ordinateurs, la modélisation et la simulation numérique, l'infonuagique ou encore le très haut débit, voire le développement des nanotechnologies.

**Figure 3 : Technologies clés 2020, une large prédominance des technologies numériques, et une forte interdépendance**




*Source : Direction générale des entreprises (2016), op. cit*

Une telle interdépendance peut également être observée entre technologies numériques et non numériques. Les technologies numériques peuvent par exemple être impliquées dans les avancées technologiques réalisées dans les domaines de la santé (par exemple l'imagerie pour la santé ou l'exploitation numérique des données de santé, mais aussi les avancées dans les biotechnologies et le bio-médical via la bio-informatique), de l'énergie (par exemple les réseaux d'électricité intelligents) ou encore dans des technologies comme la fabrication additive (impression 3 D), elles aussi transverses mais qui ne sont pas classées dans le domaine du numérique par l'exercice prospectif de la DGE. En permettant l'émergence de matériaux ou de sources d'énergies innovantes, des technologies non numériques peuvent quant à elles contribuer à accroître les performances de machines ou d'applications logicielles.



**Cette interdépendance des technologies rend les exercices de prospective en matière de développement technologique complexes.** Cela est d'autant plus vrai que les innovations, notamment les innovations de rupture, naissent aux interfaces. Or, ces interfaces se multiplient du fait même des possibilités de la société de l'information, ainsi que de la grande interdépendance des avancées technologiques les plus récentes qui favorisent des interactions entre domaines techniques et métiers antérieurement plus disjoints. En outre, le temps de la technologie est incertain, et peut être long : il se passe parfois de nombreuses années entre les premiers résultats positifs en laboratoire et le déploiement d'une technologie.

Certaines nouvelles technologies elles-mêmes peuvent favoriser de nouveaux modes d'innovation ou de diffusion des innovations. C'est le cas de plateformes numériques permettant à différents acteurs d'un domaine d'échanger sur leurs avancées respectives dans tel ou tel domaine d'innovation. C'est le cas également de technologies d'open data qui permettent de partager à une très large échelle et gratuitement des données ou des programmes informatiques.

Par ailleurs, au-delà de la difficulté de l'exercice de prospective technologique, ce n'est pas parce qu'une technologie est mature qu'elle va forcément être mobilisée. Un certain nombre de freins sociaux et culturels (toutes les technologies ne sont pas acceptées socialement), économiques (une technologie n'est pas toujours rentable au regard notamment du coût de la main-d'œuvre) mais aussi institutionnels peuvent en effet venir ralentir la diffusion des avancées technologiques au système productif et, plus largement, à la société (*cf.* troisième partie, 1.5).

## 2.2 Les progrès de l'intelligence artificielle et de la robotique élargissent la portée de l'automatisation

Les opérations confiées à des programmes informatiques ou à des robots sont restées pendant de nombreuses années essentiellement cantonnées à l'exécution d'activités relativement simples et répétitives. **Les avancées technologiques en cours et à venir, dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la robotique notamment, conduisent à une amplification considérable du champ et de l'intensité de l'automatisation, en tout cas d'un point de vue technique.**

### 2.2.1 Intelligence artificielle : avancées technologiques, élargissement des domaines d'application et défis technologiques

Selon John McCarthy, l'un des pionniers dans ce domaine, **l'intelligence artificielle renvoie à des programmes informatiques qui traitent des problèmes habituellement résolus par des processus mentaux de haut niveau chez les humains.** Cette technologie peut être décomposée en plusieurs sous-domaines qui recouvrent la diversité des facultés de l'intelligence humaine : représentation des connaissances et raisonnements automatiques, résolution de problèmes généraux, traitement du langage naturel, vision artificielle, apprentissage automatique et systèmes multi-agents[11] .

[11] Il s'agit de systèmes dans lesquels des agents artificiels opèrent collectivement et de façon décentralisée pour accomplir une tâche. Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 11 : Intelligence artificielle », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

**Les importants progrès dans plusieurs branches de l'intelligence artificielle élargissent les activités susceptibles d'être décrites en un ensemble de règles bien définies – et donc susceptibles d'être automatisées – à des activités complexes et ayant une forte dimension cognitive**. La compréhension de problèmes complexes et leur traduction sous la forme de règles explicites, de raisonnements probabilistes ou d' apprentissage profond pouvant constituer autant de substituts à la décision humaine est notamment favorisée par les technologies de big data, qui permettent la collecte et le traitement d'importants volumes de données pertinentes[12]. Les données rendent possible par ailleurs la quantification de façon objective des succès des programmes, ce qui permet de continuellement les améliorer. En témoigne, par exemple, la capacité de dialoguer en langage naturel avec des smartphones pour leur poser des questions variées, et obtenir des réponses pertinentes. Ou encore des applications visant à améliorer sensiblement la maintenance en la rendant prédictive.

Il découle de ces progrès **un élargissement des applications qui peuvent être faites des programmes informatiques à des secteurs et à des activités qui sont restés jusqu'à récemment relativement à l'écart d'une possibilité d'automatisation.** C'est le cas par exemple du secteur de la santé, où l'importance des données collectées et les progrès réalisés dans leur traitement permettent le développement de programmes informatiques susceptibles de faciliter des diagnostics. Ainsi, le programme d'intelligence artificielle Watson conçu par IBM a élaboré à partir de 600 000 rapports médicaux et de deux millions de pages provenant 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 programme complet de traitement[13]. C'est également le cas dans le secteur juridique, avec le développement de programmes informatiques capables de réaliser des actes juridiques simples, de l'analyse financière avec des programmes visant à analyser les perspectives financières d'entreprises ou encore du journalisme, avec des programmes permettant de chercher et d'analyser l'information, mais aussi de rédiger des articles factuels dans des domaines délimités.

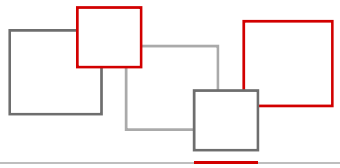
Cet élargissement des domaines d'application de l'intelligence artificielle devrait par ailleurs se poursuivre en lien avec les progrès attendus dans certaines des branches de cette technologie clé, et cela en dépit de la persistance d'un certain nombre de défis techniques.

L'intelligence artificielle a en effet connu une première heure de gloire au début des années 1980, mais les espérances ont été partiellement déçues pour des raisons tenant à l'insuffisante puissance des outils d'alors. Avec l'accroissement gigantesque des capacités de calcul et de la miniaturisation, elle connaît depuis environ cinq ans un très fort regain d'intérêt, qui se traduit à la fois par une R & D très intense, des investissements dans le capital risque, et des perspectives de croissance des marchés. Les études sur les évaluations du marché potentiel de l'intelligence artificielle varient dans de larges proportions, mais s'accordent sur une explosion : pour le seul marché des entreprises, Tractica research évoque par exemple un marché de 200 millions d'euros en 2015 passant à 11 milliards d'euros en 2024[14].

[12] Frey C. B. et Osborne M. A. (2013), *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation*, University of Oxford september.

[13] Berger T. et 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.

[14] https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/artificial-intelligence-for-enterprise-applications-to-reach-11-1-billion-in-market-value-by-2024/



D'importantes marges de progression existent notamment dans le domaine de l'apprentissage automatique, et cela grâce à la collecte de volumes toujours plus importants de données représentatives des situations que doit avoir à gérer un programme ou un robot. Des avancées sont également à attendre de l'intégration de plus en plus forte aux techniques d'intelligence artificielle de connaissances et de méthodes issues d'autres disciplines telles que la psychologie, les neurosciences, les sciences cognitives, la linguistique et l'économie.

Le développement de ces techniques repose en pratique sur un triptyque : de la R & D, de la diffusion auprès des utilisateurs et des éléments régulateurs.

Pour la R & D, d'importants programmes de recherche publics ou privés cherchent à soutenir les avancées réalisées dans ce domaine. Ainsi, le projet européen Human Brain Project, lancé fin 2013, vise à réaliser une simulation numérique complète d'un cerveau humain grâce à des superordinateurs[15]. De même, un laboratoire de recherche sur le deep learning, une branche de l'intelligence artificielle, utilisé notamment dans les systèmes de reconnaissance d'image ou de la parole, a par exemple été récemment créé à Paris[16].

Un certain nombre de défis techniques pourraient toutefois venir freiner l'élargissement des domaines d'application de l'intelligence artificielle. Si des activités cognitives de plus en plus complexes peuvent désormais être réalisées par des programmes informatiques, cela se limite pour le moment le plus souvent à des activités pour lesquelles il est possible d'identifier des tendances pouvant prendre la forme de règles définies. Des difficultés peuvent émerger dès lors que les activités impliquent de l'« intelligence créative » ou de l'« intelligence sociale ». La programmation de ces deux types de compétences constitue pour Frey et Osborne (2013)[17] deux des trois « goulets d'étranglement de la frontière technologique» sur lesquels se fondent notamment leur estimation du volume d'emploi à risque d'automatisation (*cf.* troisième partie, 1.2).

Il convient toutefois de souligner ici le flou entourant les notions d' « intelligence créative » et d' « intelligence sociale ». Ainsi, certaines avancées enregistrées dans le domaine de l'intelligence artificielle peuvent se rapprocher de ce qui est considéré par certains comme de l'ordre de l'intelligence sociale : des robots capables de détecter des informations émotionnelles (expressivité gestuelle et verbale de la personne), de les interpréter et d'y répondre ont par exemple été développés récemment. Il ne s'agit toutefois que d'un petit pas en avant : la palette d'états affectifs pouvant être reconnus reste malgré tout très limitée, ainsi que la capacité d'un système d'intelligence artificielle à détecter une voix dans le bruit par exemple.

Pour l'appropriation de l'intelligence artificielle par la sphère économique, se posent également les problèmes usuels d'information, de déclinaison par métiers et de formation des utilisateurs.

Enfin se posent des questions de régulation, offrant un cadre propice au développement de l'intelligence artificielle : sont ici en cause des enjeux sociaux (accès au plus grand nombre), juridiques (sur la propriété de données, la propriété intellectuelle, mais aussi sur des aspects touchant aux libertés publiques), éthiques (les questions posées par les adeptes du trans-humanisme, ou de façon plus immédiate, par des logiciels devant faire des choix pour des dispositifs automatisés, de transport, par exemple, ou sur les diagnostics médicaux), et de souve-

[15] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 11 : Intelligence artificielle », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur.*

[16] https://fr-fr.facebook.com/notes/facebook/facebook-choisit-paris-pour-installer-sa-nouvelle-e%CC%81quipe-de-recherche-europe%CC%81en/968222343210782/

[17] Frey C. B. et Osborne M. A. (2013), *op. cit.*

raineté nationale (aspects touchant à la cyber-sécurité, à l'usage et aux limites du libre accès aux données). La question des modes de régulation, et en particulier le niveau de régulation selon qu'il est national ou supranational, devient alors un enjeu central qu'il s'agisse ici de l'intelligence artificielle mais aussi des autres technologies numériques.

### 2.2.2 Robotique autonome ou collaborative: avancées technologiques, élargissement des domaines d'application et défis technologiques

La robotique peut être décomposée en au moins deux grandes branches :

- **la robotique dite autonome** fait référence aux dispositifs mécaniques et électroniques ayant la capacité de traiter de l'information pour effectuer une action appropriée avec une certaine autonomie de décision, d'action, de mouvement ou énergétique[18] ;
- **la robotique collaborative** fait référence aux systèmes robotiques partageant une zone commune avec les humains et pouvant aller jusqu'à interagir avec les humains pour les assister *via* des apports de puissance, de précision, de perception ou de cognition. Il s'agit aussi de systèmes qui amplifient les capacités des hommes par des technologies intégrées à leur anatomie, sous forme de prothèses ou d'orthèses ou encore des interfaces de perception intégrant des moyens de détection et de pilotage neuronal[19]. On parle alors de cobotique, qui constitue une sous-catégorie de la robotique collaborative.

Les progrès accomplis dans le domaine de l'intelligence artificielle, combinés au développement de capteurs et actionneurs plus performants, à l'accroissement de la vitesse des processeurs et de la disponibilité de la mémoire ou encore à l'amélioration des capacités de stockage de l'énergie, permettent **le développement et l'expérimentation de robots de plus en plus « apprenants » et capables de réaliser davantage de tâches à dimension cognitive.**

Des progrès sont également en cours en ce qui **concerne la capacité de perception et d'adaptation des robots à des environnements complexes, leur dextérité ou capacité de manipulation ou encore leur capacité à communiquer ou à interagir** avec d'autres robots ou directement avec les humains. Des capteurs plus performants couplés aux technologies de big data constituent un moteur essentiel des progrès réalisés dans le domaine de la robotique. Ces technologies permettent en effet la collecte et le traitement de données concernant l'activité des robots afin d'optimiser leur fonctionnement et leur interaction avec leur environnement.

A l'instar de l'intelligence artificielle, ces avancées permettent un **élargissement des applications qui peuvent être faites des robots à des secteurs et à des activités où ces derniers n'étaient jusqu'à récemment que peu utilisés.**

Si des robots sont utilisés depuis longtemps dans l'industrie, ce secteur offre un champ de développement important avec l'apparition depuis quelques années de robots collaboratifs qui travaillent conjointement avec les hommes à la réalisation de certaines tâches en partageant avec eux un même espace de travail. La structure

[18] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 12 : Robotique autonome », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

[19] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 10 : Cobotique et humain augmenté », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

robotisée, conçue afin de compléter de façon optimale les capacités physiques et cognitives de l'homme, peut ainsi venir « augmenter », soutenir ou soulager certains gestes exercés par les hommes dans le cadre de leur travail (réduction de la pénibilité pour des manutentions lourdes, remplacement de l'homme pour des opérations dans des espaces confinés difficiles d'accès, interventions de crise en environnement hostile ou en situation accidentelle, etc.). Ainsi, le déplacement d'objets ou d'équipements par les robots aux côtés des humains dans des environnements contraints font l'objet de nombreux développements. On peut citer par exemple le robot Kiva d'Amazon, qui a été programmé afin de déplacer les étagères où sont stockés les produits à livrer jusqu'à des personnes chargées de leur mise sous plis. On peut également citer le développement par le CEA-list et l'Institut Cetim d'un robot d'assistance pour l'industrie prenant la forme d'un bras mécatronique dédié à des tâches industrielles pénibles comme le brossage, le burinage ou encore la manipulation[20]. Le développement d'exosquelettes permettant de démultiplier la capacité physique de l'être humain ou de lutter contre la pénibilité et les troubles musculo-squelettiques constitue également un axe de développement important de la robotique industrielle.

Mais des robots sont désormais en voie de diffusion dans de nouveaux secteurs. C'est notamment le cas de la santé, avec le développement de robots médicaux capables d'assister les médecins dans des opérations chirurgicales de précision, d'orthèses ou d'exosquelettes robotisés permettant d'assister ou de suppléer les fonctions motrices de personnes handicapées, ou encore de robots d'assistance aux personnes en perte d'autonomie. 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 malades.

C'est également le cas dans le secteur des services, avec le développement de robots d'accueil dans les magasins, de robots éducatifs pour les enfants ou encore de robots domestiques et compagnons programmés pour le divertissement. Les robots Nao ou Pepper de la compagnie Aldebaran sont ainsi programmés pour apprendre et comprendre les préférences des utilisateurs afin d'agir en fonction de leurs habitudes[21]. Le robot Spencer – issu de travaux de recherches menés par un consortium financé par l'Union européenne et regroupant le Centre national de recherche scientifique (CNRS) et des partenaires allemands, suédois, suisses et néerlandais – est quant à lui programmé pour informer et guider les personnes dans les aéroports. Des robots ménagers sont également programmés pour passer l'aspirateur, la serpillère, nettoyer les gouttières ou encore tondre la pelouse[22].

La robotique autonome trouve enfin de nombreuses applications en extérieur dans des secteurs tels que la sécurité – avec le déploiement de drones de surveillance de sites industriels ou en cas de catastrophes naturelles-, l'agriculture – avec l'utilisation de drones pour diagnostiquer les besoins de parcelles agricoles ou détecter la maturité d'une récolte –, ou encore le secteur des transports avec des véhicules de plus en plus autonomes. L'impact économique des véhicules autonomes pour le transport des marchandises ou des personnes risque d'être très important à terme.

[20] http://www.cea.fr/comprendre/pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-robotique.aspx.

[21] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 12 : Robotique autonome », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

[22] Frey C. B. et Osborne M. A. (2013), *op. cit.*

**Tout comme pour l'intelligence artificielle, qui est au cœur du robot autonome, l'élargissement des domaines d'application de la robotique devrait également se poursuivre en lien avec les progrès attendus dans plusieurs de ses branches, et cela en dépit de la persistance d'un certain nombre de défis techniques**.

Un axe important de développement des robots concerne leur capacité à interagir de manière sûre avec les hommes et réaliser des fonctions variées, souvent à faible cadence, dans des environnements relativement dynamiques[23]. De tels développements impliquent d'affiner encore la capacité des robots à percevoir leur environnement, à mener un panel d'actions en fonction de cet environnement et à les corriger en cas d'aléas. Le développement de robots plus simples d'utilisation et plus flexibles est également attendu pour faciliter leur déploiement dans les petites et moyennes entreprises[24]. Enfin, un élargissement des domaines d'application des robots autonomes est également à attendre. On peut citer à titre d'illustration le cas d'Amazon qui a annoncé vouloir utiliser des drones pour faire de la livraison, ou des projets comme le projet européen *Aerial Robotics Cooperative Assembly System* (ARCAS)[25] qui vise à réaliser des projets de construction, de surveillance ou de maintenance dans des zones difficiles d'accès ou dangereuses ou encore pour faciliter des interventions de secours[26].

Plusieurs défis pourraient toutefois venir freiner ces développements. Un défi majeur réside dans le manque actuel de dextérité des robots et leur insuffisante capacité de préhension. Leur capacité à manipuler des pièces ou objets de différentes tailles, rigides et souples et plus ou moins fragiles reste en effet encore limitée[27]. D'autres limitations sont celles de l'interprétation de situations évolutives complexes et la prise de décision dans de telles situations.

Enfin, se pose la question importante de l'interopérabilité qui porte à la fois sur les normes et sur les plateformes d'intégration logicielle qui permettent l'interopérabilité entre machines différentes. Cette question n'est au demeurant pas propre aux seuls robots, elle concerne aussi tout le champ du numérique. Des carences dans l'interopérabilité peuvent entraîner notamment des besoins de saisies répétées de données, sources d'erreur, des défauts de non qualité, des problèmes de coûts, et l'absence d'économies d'échelle, ainsi que des coûts de formation sur des outils très divers et incompatibles entre eux, qui pourraient être évités.

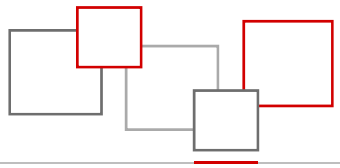
[23] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 11 : Intelligence artificielle », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

[24] Audition de Jean Tournoux, Délégué général du Syndicat des machines et technologies de production (SYMOP), devant le le Secrétariat général du COE le 20 octobre 2016.

[25] http://www.arcas-project.eu/.

[26] Audition de Raja Chatila, Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), devant le COE le 13 septembre 2016.

[27] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 10 : Cobotique et humain augmenté », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur.*



## 2.3 L'impression 3 D et l'Internet des objets, des avancées technologiques porteuses de modifications importantes des modes de production et de distribution des biens et services

### 2.3.1 L'impression 3 D et ses implications potentielles sur le système productif

La fabrication additive – également appelée impression 3 D ou impression tridimensionnelle - renvoie à un ensemble de technologies et de processus permettant de produire, à partir d'un fichier numérique, un objet tridimensionnel physique par ajout d'un ou plusieurs matériaux (métaux, polymères, céramiques, etc.) en couches successives.

Pendant des années, l'utilisation de la fabrication additive, créée dans les années 1980, est restée principalement circonscrite à des applications de prototypage dans les secteurs du luxe, de l'aéronautique ou encore dans le domaine médical. Les progrès réalisés depuis quelques années conduisent à un élargissement de son champ d'application à la fabrication de pièces industrielles plus complexes et pouvant incorporer plusieurs matériaux, mais aussi à la production de pièces « grand public » pouvant être produites chez soi ou dans une structure dédiée.

A l'heure actuelle, cette technologie présente un certain nombre d'avantages par rapport aux autres techniques historiques de production par assemblage ou par usinage, parmi lesquels :

- la réduction des délais de fabrication, en lien avec la réduction du nombre de pièces à assembler ;
- la création de pièces à géométrie complexe, difficiles voire impossibles à réaliser par les techniques d'usinage traditionnelles ;
- la possibilité de produire de façon décentralisée, à partir d'un fichier numérique contenant les données de conception et les spécifications, de très petites séries flexibles et personnalisées ;
- le rapprochement possible du lieu de fabrication desdites pièces de son utilisateur intermédiaire ou final.

Si la fabrication additive est souvent présentée comme susceptible de transformer de façon radicale la façon dont les objets sont conçus et réalisés et l'organisation du système productif, sa diffusion à grande échelle demeure encore largement dépendante d'un nombre important d'avancées techniques dont il est difficile d'anticiper la vitesse. A l'heure actuelle, les machines et procédés ne permettent pas de répondre à toutes les contraintes de la production industrielle et des progrès devraient notamment être réalisés pour accélérer la cadence de production[28]. Des progrès sont également attendus pour accroitre la fiabilité des procédés de fabrication afin d'assurer des pièces de qualité constante et élevée et pour améliorer l'état de la surface des pièces à la sortie de l'imprimante 3 D. Les pièces ainsi fabriquées nécessitent encore souvent un traitement (nettoyage, polissage, sablage, etc.) pouvant être important, coûteux et aléatoire, trois inconvénients majeurs s'agissant en particulier de pièces dont l'utilisation est soumise à des exigences ou réglementations de sécurité. Les matériaux pouvant être utilisés restent par ailleurs encore limités en nombre et onéreux par rapport à ceux disponibles pour les procédés traditionnels.

[28] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 9 : Fabrication additive », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

### 2.3.2 L'internet des objets : description de la technologie et implications sur le système productif

L'internet des objets peut être défini comme « un réseau de réseaux qui permet, *via* des systèmes d'identification électronique […], d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant »[29].

En permettant la collecte et la transmission d'informations concernant des appareils et des objets, cette technologie permet l'émergence de nouveaux services associés à la vente de l'objet connecté (solution personnalisée, maintenance, etc.). Le numérique offre ainsi notamment aux industriels la possibilité de se repositionner sur la chaîne de valeur, et cela en améliorant la qualité ou la fonctionnalité d'un objet en y intégrant des capteurs remontant des informations sur son utilisation[30]. Parce qu'elles gèrent non seulement les données mais peuvent également regrouper les acteurs d'une communauté d'objets connectés – développeurs, fournisseurs, utilisateurs, gestionnaires de services, etc. – les plateformes sont susceptibles de jouer un rôle clé dans la structuration du secteur des objets connectés[31].

Un déploiement de cette technologie est attendu dans tous les secteurs de l'économie. Dans l'industrie, les chaînes de logistique et de distribution ont été parmi les premières à intégrer dans les produits des puces électroniques permettant d'assurer la traçabilité et d'optimiser leur activité[32] . Le déploiement de cette technologie à l'ensemble du processus de production fait l'objet d'attentes très importantes et constitue l'un des piliers de « l'Usine du futur » en France, « Industrie 4.0 » en Allemagne ou « Smart manufacturing » aux Etats-Unis (encadré 2). La diffusion des objets connectés est également attendue dans l'espace public pour mieux gérer l'éclairage public, la collecte des déchets, les transports en commun, la qualité de l'air ou encore la distribution d'eau et d'électricité, pour mieux organiser les transports ou encore augmenter le confort dans les logements. Si les attentes sont moindres dans l'espace privé, le déploiement des objets connectés pour une meilleure gestion de la santé ou pour améliorer le confort de vie des personnes est également anticipé.

Un certain nombre de défis technologiques doivent toutefois être relevés afin de garantir une diffusion à grande échelle de cette technologie. Le plus important concerne probablement la capacité des réseaux à absorber la quantité toujours croissante de données qu'impliquerait la généralisation de l'internet des objets[33], mais également à sécuriser ces données (qu'il s'agisse des données concernant les entreprises ou les utilisateurs privés). L'interopérabilité entre les technologies mobilisées derrière chaque objet connecté (afin de permettre le développement de services à haute valeur ajouté) ou encore le développement de réseaux à bas débit permettant une communication à moindre coût entre objets connectés, en consommant le moins d'énergie possible, constituent d'autres défis technologiques qui devront être relevés.

**Encadré 2 : L'usine du futur**

[29] Benghozi J. P., Bureau S. et Massit-Folléa F. (2009), *L'Internet des objets, quels enjeux pour l'Europe*.

[30] Bidet-Mayer T. (2016), « L'industrie du futur : une compétition mondiale », L*es notes de la Fabrique,* La Fabrique de l'industrie.

[31] Nemri Mehdi (2015), « Demain, l'internet des objets », La note d'analyse, n°22, France stratégie, janvier.

[32] Nemri Mehdi (2015), *op. cit.*

[33] Direction générale des entreprises (2016), « Fiche 5 : Internet des objets », dans *Technologies Clés 2020, Préparer l'industrie du futur*.

Les expressions « Usine du futur », « Usine connectée », « Industrie 4.0 » ou « *Smart manufacturing* » renvoient aux transformations des modes de production et d'organisation qui sont attendues d'une plus grande intégration des nouvelles technologies dans les usines. Comme le souligne la Fabrique de l'Industrie dans une publication consacrée au sujet, ce nouveau modèle industriel doit par ailleurs permettre de répondre aux nouvelles exigences de consommation en termes d'innovation ou de personnalisation des produits, aux enjeux environnementaux, sociétaux, ou encore induits par une concurrence mondiale accrue[34]. Considérée comme un levier de maintien ou de redressement de la compétitivité industrielle, la bonne appropriation des nouvelles technologies par les entreprises est soutenue par les Etats selon des modalités qui peuvent être variables.

Cette vision prospective d'une usine à même de répondre aux enjeux de demain ne correspond pas à un modèle unique : elle est susceptible de se décliner sous diverses formes en fonction des pays, des secteurs ou encore des tailles d'entreprise. Elle repose notamment sur l'interconnexion et l'intercommunication entre les employés et les machines permises par les technologies numériques, et notamment l'Internet des objets. De nombreuses autres technologies telles que la fabrication additive, la réalité virtuelle, la robotique collaborative ou encore des matériaux plus intelligents sont également intégrées à cette nouvelle façon de produire. Un enjeu essentiel est celui de la bonne articulation de ces briques technologiques qui doivent être conçues de façon intégrée afin d'en obtenir les meilleurs résultats.

Les bénéfices attendus sont nombreux. L'un des premiers est une hausse de la productivité globale des entreprises industrielles découlant d'un pilotage plus intelligent et donc d'une optimisation de l'ensemble du processus de production et de distribution compris au sens large. Lors de la phase de production notamment, les machines et systèmes impliqués ont accès aux données relatives au fonctionnement de la ligne de production et aux produits en temps réel, ce qui leur permet de réagir le plus rapidement possible voire de façon anticipée à un évènement (incident, non-conformité des produits, rupture de stock, etc.). Lors de la phase de commercialisation, la collecte de données sur les motivations d'achat ou encore sur les canaux d'achats privilégiés doit quant à elle permettre une meilleure adaptation des produits et des modes de commercialisation aux goûts et pratiques des consommateurs. Ces technologies peuvent également transformer le marketing de façon profonde, en permettant aux magasins d'ajuster leurs prix, stocks, et produits en fonction de la demande.

Du point de vue des salariés, le déploiement de robots permettant d'assister voire de remplacer les hommes dans la réalisation des tâches les plus pénibles et les plus répétitives peut conduire à améliorer les conditions de travail. Toutefois, si ces nouvelles technologies peuvent constituer un facteur d'épanouissement et d'enrichissement du contenu du travail, une interaction homme-machine uniquement productiviste peut contribuer à réduire pour partie l'autonomie des personnes et vider d'autant le travail de son sens (*cf.* tome 2 du présent rapport).

Des bénéfices sont finalement à attendre du point de vue des clients, qui sont susceptibles de pouvoir profiter de la plus grande flexibilité des lignes de production grâce à la multiplication de capteurs à la fois dans les produits en cours de fabrication et les machines qui les manipulent, ces dernières devenant en mesure de traiter de façon spécifique chaque produit. En plus de permettre une plus grande personnalisation des produits sans surcoût important, ce nouveau mode de production permet aussi une amélioration de la qualité grâce à l'identification et à la correction immédiate des défauts qui surgissent lors de la fabrication.

[34] Bidet-Mayer T. (2016), « L'industrie du futur : une compétition mondiale », *Les notes de la Fabrique*, La Fabrique de l'industrie.

Comme le souligne là encore la Fabrique de l'industrie, si l'émergence d'usines connectées peut être associée à une quatrième révolution industrielle, c'est parce que les bouleversements qui en découlent ne s'arrêtent pas aux frontières de l'usine. C'est tout le sens de la distinction entre « l'Usine du futur » et « l'Industrie du futur ». En effet, si les nouvelles technologies et notamment les technologies numériques permettent une amélioration des procédés de production et des produits eux-mêmes, elles conduisent également les industriels, sous l'effet de la multiplication des objets connectés par exemple, à repenser totalement les modèles d'affaires.

# 3 Bon nombre d'entreprises françaises affichent encore un certain retard en matière d'utilisation des outils numériques et des robots

## 3.1 Technologies numériques : connectivité, commerce en ligne, réseaux sociaux, logiciels de gestion de la logistique, progiciels…

**Si en France l'industrie du numérique est bien positionnée dans la compétition internationale, les entreprises affichent en moyenne un certain retard en matière d'utilisation des outils numériques au regard des autres pays européens.**

Ce constat ressort par exemple d'un travail mené par McKinsey qui a étudié la position relative de la France, en 2013, en matière d'utilisation du numérique au sein de l'Union européenne à 28. Cinq dimensions sont prises en compte : la connectivité, la pratique du e-commerce, les usages d'outils « traditionnels », les usages d'outils plus sophistiqués et les usages de technologies émergentes[35].

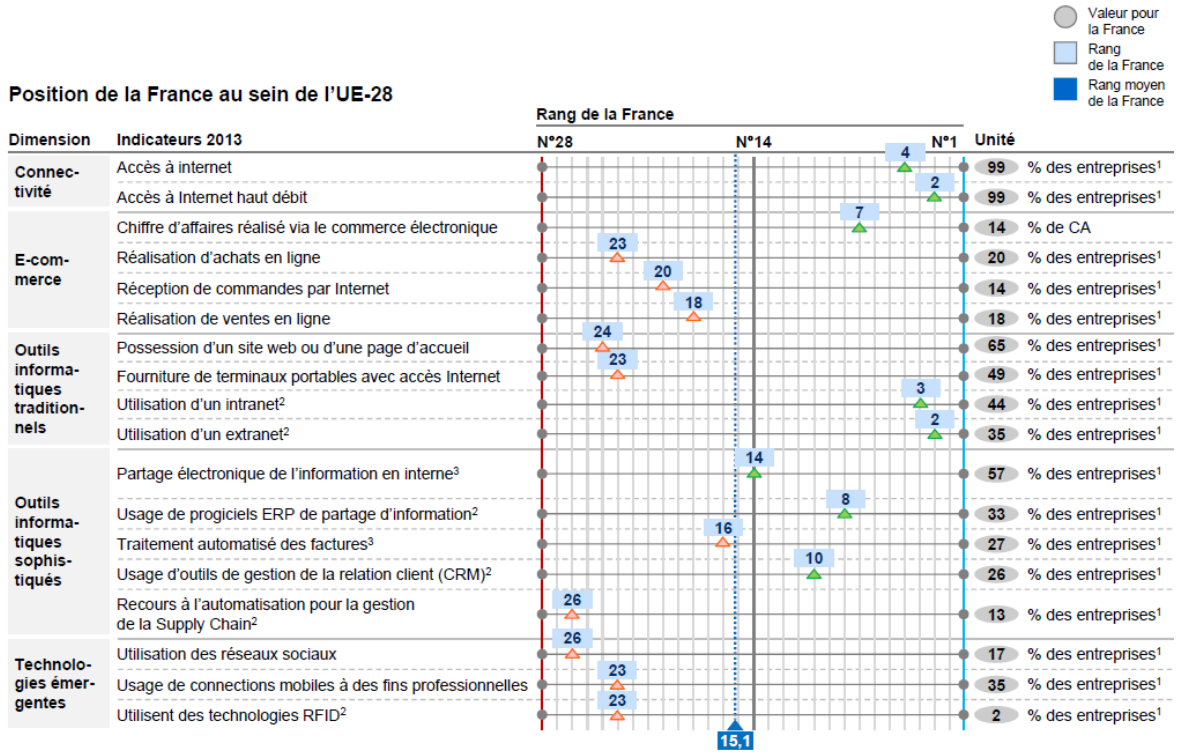
Le tableau ci-dessous met en évidence une relativement bonne connexion des entreprises françaises à Internet, ainsi qu'un taux d'adoption supérieur à la moyenne pour certains outils numériques traditionnels (utilisation d'un intranet et d'un extranet) et sophistiqués (usage de Progiciels de Gestion Intégrés ou de Gestion de la Relation Client). Les résultats sont toutefois bien plus décevants en ce qui concerne notamment le commerce en ligne et les technologies émergentes (réseaux sociaux, connections mobiles, utilisation des technologies de radio-identification). Les entreprises françaises affichent également un retard certain concernant l'utilisation d'un site web ou d'une page d'accueil. Au total, selon cette étude, la France se situe en dessous de la moyenne européenne, en 15e position sur 28.

A partir d'une enquête menée en mai et juin 2014 auprès de 500 entreprises françaises, dont 325 petites et moyennes, McKinsey a cherché à comprendre les raisons de la faiblesse du déploiement des technologies et usages numériques en France[36]. Quatre raisons principales ont émergé : des rigidités organisationnelles (à hauteur de 45 %), un déficit de compétences numériques (31 %), un manque de marges de manœuvre financières (30 %) et un manque d'implications visibles de la part des dirigeants de l'entreprise (28 %).

[35] McKinsey France (2014), *Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France*.

[36] McKinsey France (2014), *op. cit.*

**Tableau 1 : Position de la France en matière d'utilisation du numérique par les entreprises au sein de l'UE à 28 en 2013**




*1 Ensemble des entreprises, hors secteur financier (comptant au moins dix salariés) ; 2 Valeur pour 2010 ; 3 Valeur pour 2012*

*Source : Audition d'Eric Labaye, Président du McKinsey Global Institute, devant le COE le 8 novembre 2016*

Les dernières données Eurostat disponibles pour 2016[37] confirment ce diagnostic. Si la France est au-dessus de la moyenne européenne en 2016 dans certains domaines comme l'accès à internet des entreprises (99 %, contre 97 % dans l'UE à 28) ou l'utilisation de Progiciels de Gestion Intégrés (39 %, contre 36 % dans l'UE à 28[38]), elle reste en deçà dans d'autres. Ainsi, 68 % des entreprises françaises sont dotées d'un site web ou d'une page d'accueil, contre 77 % dans l'UE à 28[39]. Les entreprises françaises affichent également un retard en ce qui concerne l'usage des réseaux sociaux (36 % des entreprises, contre 45 % dans l'UE à 28). On peut toutefois souligner une progression importante de l'usage du commerce en ligne par les entreprises françaises : les achats en ligne concernent désormais 55 % des entreprises en 2016, contre 42 % dans l'UE à 28.

**Le retard en matière d'utilisation du numérique est constaté quelle que soit la taille des entreprises.**

L'utilisation des outils numériques croît généralement avec la taille des entreprises. Ainsi, 95 % des entreprises françaises de 250 employés et plus sont dotées d'un site web ou d'une page d'accueil en 2016, contre 88 % pour

[37] Source : Eurostat. Ensemble des entreprises, hors secteur financier (comptant au moins dix salariés).

[38] Valeurs pour 2015.

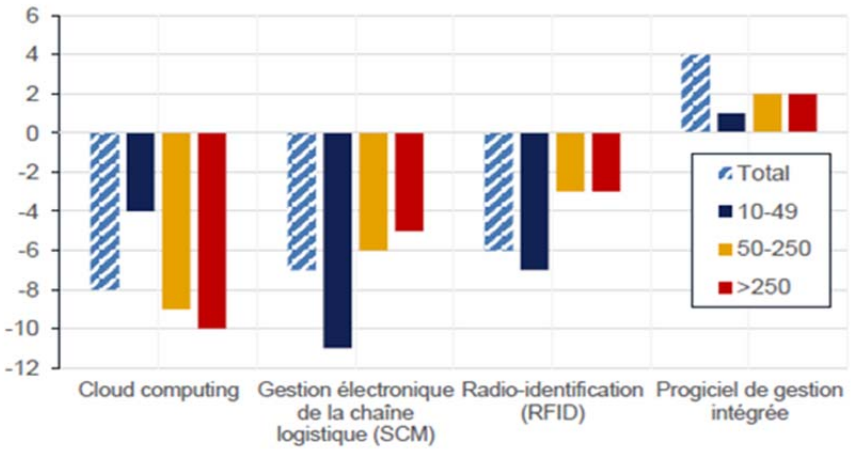
[39] Source : Eurostat. Ensemble des entreprises, hors secteur financier (comptant au moins dix salariés).

les entreprises de 50 à 249 employés et 65 % pour celles de 10 à 49 employés[40]. S'agissant des réseaux sociaux, 59 % des entreprises de 250 employés en font usage, contre 42 % pour les entreprises de 50 à 249 employés et 33 % pour celles de 10 à 49 employés.

**Il faut toutefois nuancer ce diagnostic, qui porte sur des moyennes : certaines entreprises sont au meilleur niveau mondial, d'autres, en retard.**

Lorsqu'on considère plusieurs technologies pour lesquelles la France est en retard – cloud computing, gestion électronique de la chaîne logistique, radio identification –, ce retard s'observe quelle que soit la taille des entreprises (graphique 2). De manière symétrique, dans le cas des Progiciels de Gestion Intégrés pour lesquelles les entreprises françaises sont mieux équipées que la moyenne européenne, cette avance concerne aussi toutes les tailles d'entreprises (graphique 2).

**Graphique 2 : Recours à des outils numériques par taille d'entreprise en France en écart à la moyenne de l'UE à 15 (points de %)**




*Source : Eurostat, Audition de Michel Houdebine, Chef économiste de la Direction générale du Trésor, devant le COE le 27 septembre*

## 3.2 Robots : robots industriels, robots de services à usage professionnels

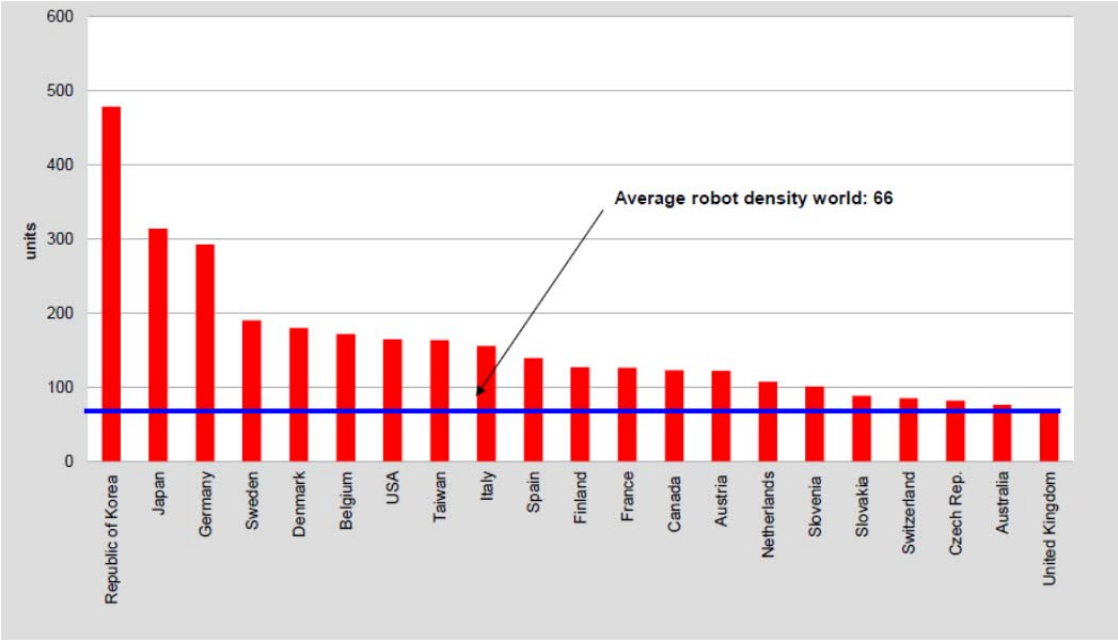
**Au retard des entreprises françaises en matière d'utilisation des outils numériques, s'ajoute un retard dans la robotisation de l'outil de production industriel.**

Le recours aux robots industriels varie sensiblement selon les pays. Selon la dernière publication de la Fédération internationale de la robotique, la France compte 126 robots industriels pour 10 000 employés dans l'industrie manufacturière (graphique 3) et 1 004 robots pour 10 000 employés dans l'industrie automobile en 2014 (graphique 4).

[40] Source : Eurostat. Ensemble des entreprises, hors secteur financier.

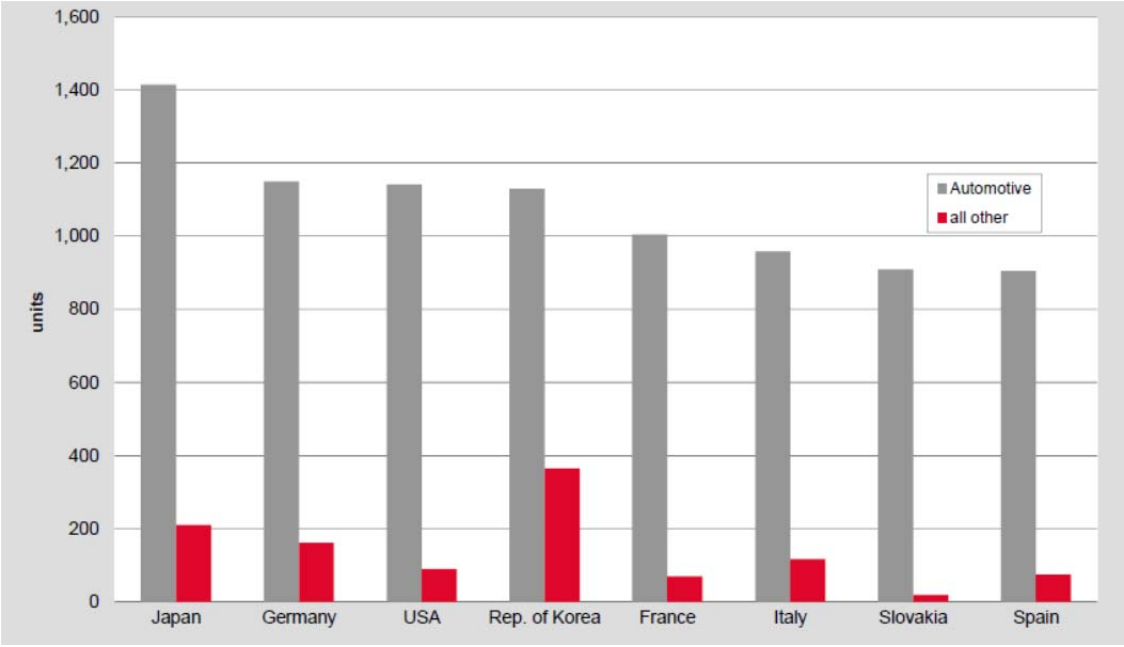
Si elle se situe au-dessus de la moyenne mondiale qui est de 66 robots pour 10 000 employés, la France se positionne loin derrière l'Allemagne ou la Corée du Sud qui comptent respectivement près de 300 et près de 500 robots pour 10 000 salariés de l'industrie manufacturière. Dans l'industrie automobile, la France se situe derrière le Japon (avec plus de 1 400 robots pour 10 000 employés) ou l'Allemagne (avec plus de 1 100 robots pour 10 000 employés).

**Graphique 3 : Nombre de robots industriels pour 10 000 salariés dans le secteur manufacturier en 2014**




*Source : Fédération internationale de la robotique*

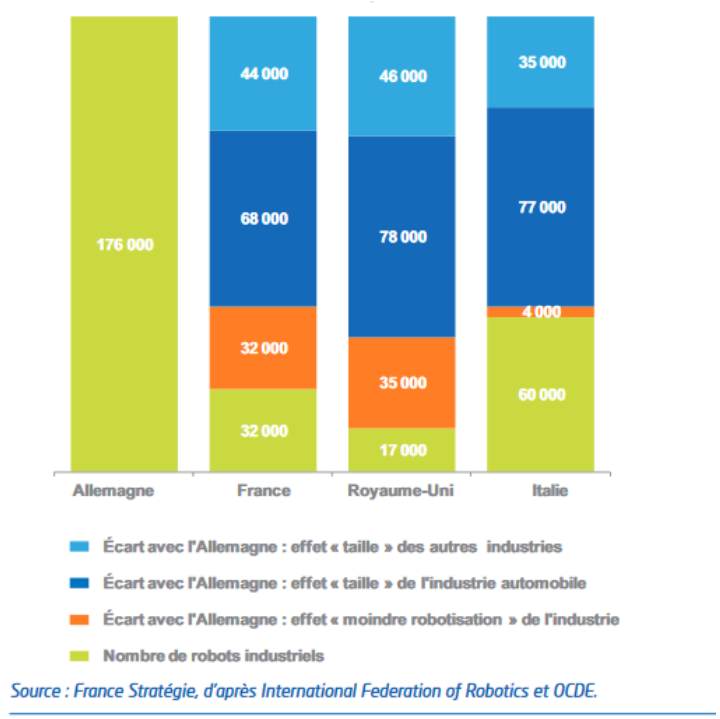
**Graphique 4 : Nombre de robots industriels pour 10 000 salariés dans le secteur automobile et les autres secteurs en 2014**




*Source : Fédération internationale de la robotique*

La faible robotisation de l'industrie française persiste même une fois les effets de structure pris en compte, en considérant par exemple la part que représente l'industrie dans l'activité de chaque pays[41]. Le graphique ci-dessous le montre : une fois pris en compte cet effet de composition de l'économie, la France – comme le Royaume-Uni – reste toujours bien moins robotisée que l'Allemagne.

**Graphique 5 : Décomposition de l'écart du nombre de robots industriels français avec l'Allemagne en 2014**




*Source : Le Ru (2016), d'après la Fédération internationale de la robotique et l'OCDE*

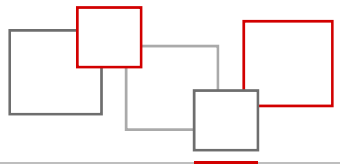
**Le retard français en matière de robotisation de son outil de production devrait toutefois se réduire au cours des prochaines années.**

La moindre robotisation du secteur industriel est la traduction notamment de la faiblesse des investissements de modernisation et de rationalisation dans l'industrie au cours des années 2000, au profit des investissements de renouvellement des capacités existantes[42].

En lien notamment avec la mise en œuvre du pacte national pour la croissance, la compétitivité et l'emploi et le Plan robotique pour la Nouvelle France Industrielle annoncés respectivement en 2012 et 2014, ou encore les dispositifs d'amortissement accéléré de 2015, le rythme français d'investissement est toutefois supérieur depuis

[41] 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.

[42] CAE (2014), « Redresser la croissance potentielle de la France », *Les notes du Conseil d'analyse économique*, n°16, Conseil d'analyse économique, septembre.



2014 à celui de l'Allemagne[43]. Il est en conséquence possible d'anticiper une réduction du retard français en matière de robotisation de son outil de production. Cette accélération de l'investissement permettrait par ailleurs de remplacer par des robots de dernière génération un parc de robots industriels vieillissant.

La Fédération internationale de robotique prévoit ainsi une augmentation du nombre de robots industriels installés en France entre 2016 et 2018 (tableau 2).

**Tableau 2 : Evolution du nombre de robots industriels installés entre 2013 et 2018**

| Country | 2013 | 2014 | 2015* | 2016* | 2017* | 2018* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Europe** | **43,284** | **45,559** | **49,500** | **52,000** | **56,000** | **66,000** |
| Czech Rep. | 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 |
| Germany | 18,297 | 20,051 | 21,000 | 21,000 | 22,000 | 25,000 |
| Italy | 4,701 | 6,215 | 6,600 | 6,800 | 7,200 | 8,000 |
| Spain | 2,764 | 2,312 | 2,700 | 2,800 | 2,800 | 3,200 |
| United Kingdom | 2,486 | 2,094 | 2,400 | 2,600 | 2,800 | 3,500 |
| other Europe | 11,538 | 10,410 | 11,700 | 13,500 | 14,700 | 19,100 |

**données prévisionnelles pour 2015, 2016, 2017 et 2018*

*Source : Fédération internationale de la robotique*

**Si le nombre de robots de service à usage professionnel installés reste relativement limité, il devrait également croître au cours des prochaines années**

Depuis 1998, seulement 172 000 robots de service à usage professionnel ont été installés. La Fédération internationale de robotique prévoit l'installation de 152 400 nouveaux robots de service à usage professionnel entre 2015 et 2018 dans le monde, principalement dans les secteurs de la défense, de la logistique, mais aussi de l'agriculture et de la santé.

[43] Audition de Grégoire Postel-Vinay, Chef de la Mission Stratégie de la Direction générale des entreprises, devant le COE le 15 novembre 2016.

2

# Ce que nous enseignent l'histoire et l'analyse économiques sur les relations entre progrès technologique et emploi

Deuxième partie

Le lien entre technologie et emploi fait l'objet de débats à la fois anciens et intenses : chaque vague d'innovation importante a vu ressurgir la crainte d'un *chômage technologique*. En réalité, si l'emploi s'est profondément transformé au cours des deux derniers siècles, l'emploi n'a évidemment pas disparu et s'est au contraire fortement développé. La question est, naturellement, celle de la période de transition. Elle est aussi de savoir si la vague d'innovations actuelle serait – et si oui pour quelles raisons – d'une nature radicalement différente des précédentes.

L'impact des innovations technologiques sur l'emploi ne se résume pas au remplacement de l'homme par la machine dans les processus de production existants. Les mécanismes en jeu sont bien plus complexes. Tout d'abord, se pose la question de la faisabilité ou, plus précisément, de l'opérabilité de ces innovations. La mise en place de nouvelles technologies de production suppose en effet que cela soit possible au plan organisationnel et social (les éventuels freins culturels doivent être surmontés), mais aussi que cela soit rentable sur le plan économique. La vitesse et l'étendue de la diffusion au sein de l'économie peuvent varier sensiblement selon la nature des avancées technologiques. Ensuite, si l'introduction de nouvelles technologies peut conduire à supprimer certains emplois, elle permet également à la production de se développer et à de nouvelles activités de se créer, induisant par ce biais des créations d'emplois supplémentaires. L'automobile et le développement des transports routiers ont certes précipité le déclin des maréchaux ferrants, mais ils ont parallèlement suscité l'apparition de nouvelles activités (réparation, construction de routes, distribution de carburants, restauration, etc.).

Ces mécanismes complexes ont fait l'objet de débats théoriques continus, alimentés par l'observation des effets des révolutions industrielles successives et qui sont aujourd'hui pour partie renouvelés du fait du contexte issu du ralentissement constaté des gains de productivité.

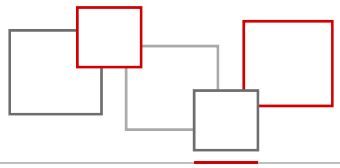
# 1 L'approche historique : une préoccupation très ancienne, un débat continu au cours des deux derniers siècles

Le mythe de Prométhée tel qu'il est relaté par Hésiode (VIII$^{e}$ siècle av. J.-C.) constitue peut-être le récit le plus célèbre parmi ceux qui mettent en garde contre les effets incontrôlables de la technologie : en représailles contre le vol du feu, Zeus décrète la fin de l'âge d'or, où les hommes vivaient dans l'insouciance, sans avoir besoin de travailler, exemptés de toute maladie, souffrance ou vieillissement.

Bien des exemples historiques peuvent être cités, et ce bien avant que la Révolution Industrielle ne prenne son essor au début du XIX$^{e}$ siècle. Comme le rappelle par exemple David Dorn[44], le conseil municipal de Cologne a décidé, en 1412, d'interdire à un artisan local du textile de produire en utilisant le rouet, une innovation apparue en Italie à partir du XIII$^{e}$ siècle dont le but était de rendre plus rapide le travail de filature. Et cela parce que le conseil craignait que de nombreuses fileuses perdent leur emploi si l'on autorisait l'utilisation de cette machine capable d'augmenter considérablement la productivité du processus. De même, Bertrand Gille[45] documente les

[44] Dorn D. (2016), « La montée en puissance des machines : comment l'ordinateur a changé le travail », *Revue française des affaires sociales* n°5.

[45] Gille B. (1978), *Histoire des techniques : Technique et civilisations, technique et sciences* (dir), Paris, Gallimard.



expéditions punitives organisées au début de la Renaissance contre les artisans qui dérogeaient aux règles de production telles qu'elles étaient fixées par les corporations et les pouvoirs publics.

Nous nous intéresserons dans le cadre du présent rapport aux débats intervenus lors des dernières révolutions industrielles, au cours des deux derniers siècles.

## 1.1 L'évolution de l'emploi au cours des révolutions industrielles

Au cours des deux siècles passés, les avancées technologiques qui ont marqué les révolutions industrielles, et en particulier l'automatisation de la production, ont profondément modifié la structure et la nature des emplois dans un contexte de croissance de l'emploi total. La mécanisation s'est paradoxalement accompagnée d'une croissance plus forte et un développement de l'emploi[46], mais aussi d'importants transferts d'emplois conformément à la théorie du « déversement » d'Alfred Sauvy.

Stewart, De et Cole (2015)[47] ont montré par exemple le transfert des « *métiers de force* » vers les « *professions du bien-être* » au sein de l'emploi en Angleterre et au Pays de Galles entre 1871 et 2011.

**Tableau 3 : Evolution de l'emploi dans les professions du « bien-être » et de la « force » en Angleterre et au Pays de Galles entre 1871 et 2011**

| | Part de l'emploi total en Angleterre et Pays de Galles | |
|---|---|---|
| | 1871 | 2011 |
| « Bien-être » | 1,1 % | 12,2 % |
| « Force » | 23,7 % | 8,3 % |

*Note : les « professions du bien-être » concernent la santé, l'enseignement, l'accueil des enfants et les services liés au bien-être. Les « métiers de force » concernent les ouvriers, les mineurs, le nettoyage et les services domestiques.*

*Source : Stewart, De et Cole (2015)*

La première révolution industrielle, qui a démarré en Angleterre dès le milieu du XVIII$^{e}$ siècle, a donné lieu à d'importants transferts d'emplois entre les secteurs de l'agriculture vers le secteur manufacturier. Elle a été marquée par une dualisation croissante du marché du travail en fonction de la qualification[48]. La mise en place de nouvelles inventions, notamment dans l'industrie du textile ou l'industrie du papier, nécessitait l'emploi de travailleurs qualifiés selon un phénomène de complémentarité entre technologie et compétences. Plus récem-

[46] Au Royaume-Uni, par exemple, l'emploi a plus que doublé au cours des 150 dernières années.

[47] Stewart I., De D., et Cole A. (2015), *Technology and people : the great job-creating machine*, Deloitte.

[48] Audition de Jean-Yves Grenier, Professeur d'histoire économique, directeur d'études à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, devant le COE le 6 septembre 2016.

ment, Crafts (2004)[49] montre que la première révolution industrielle en Angleterre n'a pas créé de chômage technologique. Au contraire, les gains de productivité du travail ont permis à l'économie britannique de continuer à croitre dans son ensemble et à créer des emplois.

Cette dualisation du marché du travail s'est poursuivie lors de deuxième révolution industrielle. Dans l'industrie manufacturière américaine, l'emploi qualifié, indispensable seulement pour l'installation des machines de fabrication, a eu tendance à décliner entre 1830 et 1880 au profit de l'emploi non qualifié et de l'emploi très qualifié[50]. Dans l'ensemble de l'économie américaine, le niveau de qualification a néanmoins augmenté au cours de cette période.

Au XX$^{e}$ siècle, la technologie a continué de favoriser l'emploi qualifié au détriment du non-qualifié. La mécanisation et l'essor du système fordiste dans l'industrie ont contribué à renforcer la dualité du marché du travail et à accentuer la déqualification des travailleurs avec une faible valorisation du travail peu qualifié[51].

## 1.2 Un débat académique ancien, qui a toujours opposé optimistes et pessimistes

### 1.2.1 Des préoccupations nées avec l'accélération du progrès technique

Depuis plus de deux siècles, les vagues de progrès technologique successives ont suscité des inquiétudes sur l'emploi et fait craindre l'apparition d'un chômage technologique durable. Au début du XIX$^{e}$ siècle, la révolte des ouvriers anglais du textile, qui voulaient détruire les machines à tisser afin de préserver leur travail, en a été l'un des premiers exemples[52]. Keynes[53] avait anticipé que le progrès technologique entrainerait à la fois une progression ininterrompue du revenu par tête et un chômage massif à mesure que les machines remplacent les travailleurs. Wasily Leontief[54] avait exprimé des craintes similaires : « *Le travail deviendra de moins en moins important… De plus en plus de travailleurs seront remplacés par des machines. Je ne pense pas que les nouveaux secteurs pourront employer tous ceux qui veulent un emploi* »[55].

Pourtant les diverses avancées technologiques n'ont, jusqu'à présent, pas rendu le travail obsolète[56]. Naturellement, cela ne veut pas dire *a priori* qu'il en sera toujours ainsi et que l'apparition de nouveaux processus

[49] Crafts N. (2004), « Productivity growth in the industrial revolution: a new growth accounting perspective », *The Journal of Economic History*, Volume 64, Issue 2, pp. 521-535.

[50] Katz L. F. et Margo R. A. (2013), « Technical change and the relative demand for skilled labor: The United States in historical perspective ». *NBER working papers series*, Working paper n° 18752.

[51] Audition de Jean-Yves Grenier, Professeur d'histoire économique, directeur d'études à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, devant le COE le 6 septembre 2016.

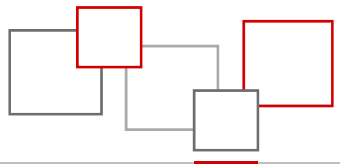
[52] Hobsbawm E. J. (1968), *Industry and Empire: an economic history of Britain since 1750*, Harmondsworth Middlesex Penguin Books.

[53] Keynes J. M. (1930), « Economic possibilities for our grandchildren », in *Essays in persuasion*, New York: Norton & Co.

[54] Leontief W. (1952), *Machines and man,* Scientific American.

[55] *« Labor will become less and less important… More and more workers will be replaced by machines. I do not see that new industries can employ everybody who wants a job ».*

[56] Autor D. H. (2015), « Why are there still so many jobs ? The history and future of workplace automation », *Journal of Economic Perspectives*, volume 29, n°3.



d'automatisation ne puisse pas conduire à détruire des emplois à grande échelle et encore moins entraîner de profonde transformation dans la nature ou la localisation des emplois exercés. Aujourd'hui, un débat s'est ouvert dans la littérature économique entre, d'un côté, les *techno-optimistes* pour lesquels l'économie est en train de connaitre une métamorphose digitale radicale, avec des gains de productivité potentiellement élevés et un puissant mouvement de substitution du capital au travail[57], et, de l'autre côté, les *techno-pessimistes* qui considèrent, à l'inverse, que les conséquences des innovations récentes restent limitées en comparaison des deux premières révolutions industrielles[58]. Pour ces derniers, les innovations passées (machine à vapeur, électricité, moteur à explosion, etc.) ont transformé l'économie de manière beaucoup plus profonde que ne pourrait le faire le développement du numérique. Il s'en résulterait un ralentissement inexorable des gains de productivité. La partie suivante revient en détail sur les conséquences possibles en matière de productivité.

### 1.2.2 L'argumentation autour des mécanismes directs et indirects

Une analyse rigoureuse doit partir du fait que le volume de production et la quantité globale de travail ne sont pas fixes dans l'économie. Lorsqu'une machine remplace un travailleur, des effets induits s'enclenchent sur les marchés des biens et services entrainant simultanément des destructions et créations d'emploi. Cette mécanique peut conduire, dans certaines conditions, au résultat *a priori* paradoxal d'une croissance plus forte et d'un emploi plus élevé. À mesure que la production de richesses augmente sous l'effet d'une productivité renforcée, la demande finale progresse et de nouveaux secteurs se développent, comme par exemple les activités de loisirs et de divertissements. Les créations d'emploi induites peuvent alors compenser les pertes initiales. Autor (2015)[59] a bien rappelé la nécessité de ne pas s'arrêter aux seuls mécanismes de substitution et de prendre en compte les interactions entre le marché des biens et des services et le marché du travail pour apprécier l'impact d'un changement technologique.

Ces mécanismes sont analysés et débattus depuis deux siècles.

Dans son *Traité d'économie politique* de 1803, Jean-Baptiste Say arrive à la conclusion que les nouvelles techniques de production peuvent créer plus d'emplois qu'elles n'en détruisent. D'abord, « *les machines ne peuvent pas être fabriquées sans une grande quantité de travail, ce qui donne un débouché à ceux qu'elles ont propulsé hors de l'emploi* ». Ensuite, prenant l'exemple de l'imprimerie qui, sous certains aspects, peut être comparée à Internet, Jean-Baptiste Say démontre que cette innovation majeure a réduit les besoins en travailleurs ainsi que leur niveau de qualification dans ce secteur, mais a permis en même temps la diffusion de la connaissance avec un impact positif sur la création d'activités nouvelles et, par la suite, de nouveaux emplois. De son côté, Karl Marx considère que le changement technologique permet aussi l'apparition de nouveaux secteurs productifs qui constituent autant de gisements d'emplois[60].

[57] Brynjolfsson E. et McAfee A. (2011), *The race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity and irreversibly transforming employment and the economy,* Digital Frontier Press.

[58] Gordon R. (2016), *The rise and fall of american growth: the US standard of living since the civil war*, Princeton Press.

[59] Autor, D. H. (2015), *op. cit.*

[60] " Entirely new branches of production, creating new fields of labour, are also formed, as the direct result either of machinery or of the general industrial changes brought about by it" (Marx, 1961, vol. 1; p. 445 first ed. 1867).

Dans ses *Principes d'économie politique* (1819), Thomas Malthus partage la vision de Jean-Baptiste Say. Il souligne que, d'une manière générale, la mécanisation permet une baisse des coûts de production, donc des prix de vente, et augmente la demande en retour.

A l'inverse, d'autres économistes, comme John Maynard Keynes[61] ou John Stuart Mill[62], se sont montrés plus réservés sur l'ampleur des mécanismes de compensation qui transitent par la baisse des prix et la hausse des revenus et donc l'incidence en matière d'emploi des investissements en nouvelles machines et des changements technologiques. John Stuart Mill a notamment relevé que le mécanisme lié à la baisse des prix de production s'inscrivait dans un contexte de baisse de la demande globale provoquée par la mise à l'écart de travailleurs. Keynes a souligné quant à lui qu'une faible élasticité de la demande et l'inertie des décisions de consommation pouvaient limiter l'impact de ce mécanisme. Enfin, l'effet de compensation lié à la baisse des salaires et l'embauche de nouveaux salariés est limité selon Keynes par la baisse de la demande globale qui altère les perspectives de débouchés.

## 2 Le cadre du débat académique actuel

Le débat économique continue aujourd'hui de se focaliser principalement sur les mécanismes de compensation et sur les effets de bouclage macro-économiques induits qui peuvent contrebalancer l'impact négatif initial sur l'emploi des innovations technologiques[63]. Les analyses théoriques les plus récentes mettent en exergue deux dimensions particulières de la relation entre emploi et progrès technique. La première concerne l'impact direct *a priori* plus positif des innovations de produit par opposition aux innovations de procédé. La seconde a trait à l'impact, possiblement biaisé, en termes de qualification et vient ainsi compléter l'approche purement quantitative des évolutions de l'emploi.

Enfin, de nouvelles recherches ont été menées notamment sur le rôle que peuvent jouer l'organisation du travail[64] et des pratiques de management[65] au sein de l'entreprise sur l'évolution quantitative et qualitative de l'emploi. Des travaux[66] ont par exemple montré que les changements organisationnels, bien que très difficiles à définir et à mesurer, peuvent comporter un biais de qualification au moins aussi important que le progrès technologique. Elles ont également porté, au travers des récents travaux d'économie géographique, sur les conséquences de l'innovation sur la localisation de l'emploi.

---

[61] Keynes J. M. (1973). « The general theory of employment, interest and money », *The collected writings of John Maynard Keynes*, London: Macmillan.

[62] *« the increased demand for commodities by some consumers, will be balanced by a cessation of demand on the part of others, namely, the labourers who were superseded by the improvement »* (Mill, 1976, p.97; first ed. 1848).

[63] Vivarelli M. (2014), « Innovation, Employment and skills in advanced and developing countries: a survey of the literature », *Journal of economic issues,* Volume 48, 1.

[64] Greenan N. et Guellec D. (2000), « Technological Innovation and Employment Reallocation », *Labour*, Wiley, n°14.

[65] Bloom N. et Van Reenen J. (2010), « Why do management pratices differ across firms and countries? », *Journal of economic perspectives*, 24.

[66] Piva M. Santarelli E. et Vivarelli M (2005), « The skill bias effect of technological and organizational change: evidence and policy implication », *Research Policy*, n°34.

## 2.1 L'analyse micro-économique

Le point de départ est que, lorsqu'une entreprise investit dans les machines, elle va pouvoir, à niveau de production donné, réduire ses effectifs et abaisser ses coûts de production. Dans ses *Principes de l'économie politique et de l'impôt* (1821), David Ricardo a souligné l'effet direct négatif des machines sur l'emploi : *« l'opinion de la classe ouvrière selon laquelle l'utilisation des machines est généralement défavorable à leurs intérêts n'est pas infondé, mais est au contraire conforme aux principes de l'économie politique »*[67].

Bien entendu, ce raisonnement ne vaut que si le volume et la composition de la production sont fixes. Or des gains d'efficacité dans le processus de production vont permettre une baisse des prix et entrainer *in fine* une hausse de la demande pour le produit concerné comme l'a admis David Ricardo, lui-même, mettant ainsi en évidence l'existence de mécanismes de compensation au sein même de l'entreprise.

### 2.1.1 Des conséquences diverses au sein de l'entreprise

Au niveau de l'entreprise, l'innovation peut conduire à automatiser certaines tâches et réorganiser les processus de production avec des conséquences diverses en matière de productivité et d'emploi.

Askenazy et Gianella (2000)[68] montrent la forte complémentarité entre innovations organisationnelles et innovations technologiques dans les entreprises. Seule la combinaison des deux permettrait de générer de forts gains de productivité. A l'inverse, l'informatisation sans changements organisationnels aurait peu d'impact sur l'efficacité du processus de production.

Toutefois, l'automatisation de certaines tâches ne conduit pas nécessairement à une diminution de l'emploi dans l'entreprise. Le progrès technologique peut faire évoluer le contenu des métiers sans entrainer une diminution des effectifs  Dans le secteur bancaire par exemple, si l'installation des distributeurs automatiques de billets au cours de la décennie 1980 a profondément modifié les besoins en main-d'œuvre, elle ne s'est pas accompagnée d'une réduction du personnel dans les agences bancaires, aussi bien aux États-Unis[69] qu'en France[70]. Dans un premier temps, le coût d'exploitation des agences a diminué et leur nombre a alors augmenté. Surtout, la nature des emplois s'est profondément modifiée. Les guichetiers, débarrassés de tâches répétitives et chronophages, ont pu offrir aux clients des banques des services plus élaborés, axés sur le conseil. Si les compétences requises ont évolué, le nombre d'emplois n'a dans ce cas précis pas diminué. Et, comme dans d'autres secteurs, les métiers exercés par les employés de banque se sont recentrés sur les tâches les plus difficilement automatisables. Il reste que de nouvelles innovations technologiques induites par le numérique touchent actuellement plusieurs activités du secteur et pourraient affecter l'emploi[71].

---

[67] *« ….the opinion, entertained by the labouring class, that the employment of machinery is frequently detrimental to their interests, is not founded on prejudice and error, but is conformable to the correct principles of political economy ».*

[68] Askenazy P. et Gianella C. (2000), « Le paradoxe de productivité : les changements organisationnels, facteurs complémentaires à l'informatisation », *Économie et statistiques,* n° 339-340.

[69] Bessen J. (2015), « Toil and technology », *Finance and development*, 52.

[70] Le Ru N. (2016), « L'effet de l'automatisation sur l'emploi: ce que l'on sait et ce qu'on ignore », *France Stratégie,* n° 49.

[71] Du moins à ce stade puisque certaines études prévoient une diminution importante de l'emploi dans le secteur bancaire. Ainsi, une étude de Citigroup de mars 2016 prévoit que d'ici 2025 un million d'emplois pourraient disparaître dans le secteur bancaire européen sur les 2,9 millions de salariés actuels.

### 2.1.2 Une analyse forcément incomplète

Au niveau de l'entreprise, on ne peut, par construction, mesurer qu'une partie des transferts d'emplois : ceux détruits par l'introduction de nouvelles méthodes de production plus efficaces (par exemple dans l'agriculture ou l'industrie manufacturière) ou ceux créés en lien avec de nouveaux produits ou services (par exemple dans le secteur de la santé). En revanche, on ne peut mesurer ceux créés ou induits dans d'autres entreprises, non concernées par ces nouvelles méthodes, mais bénéficiant d'un développement de leur marché grâce par l'augmentation des intrants (informatique, recherche scientifique) ou la progression général des revenus (culture, loisirs, etc.). Ce faisant, on a tendance à surestimer les destructions d'emplois comme l'a indiqué M. Jean-Yves Grenier, Professeur d'histoire économique, directeur d'études à l'EHESS, lors de son audition devant le Conseil.

Si elle est adaptée pour procéder à une analyse fine et détaillée, notamment au niveau sectoriel, l'approche micro-économique se révèle incomplète car elle ne permet d'analyser que les effets de court terme dans les entreprises ou les secteurs où a lieu l'innovation.

Cette approche doit donc être complétée par une approche macro-économique dans le cadre d'un équilibre général qui, elle seule, permet d'appréhender les effets globaux.

## 2.2 L'analyse macro-économique

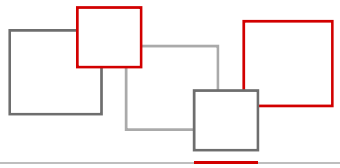
L'histoire économique suggère fortement que le chômage technologique ne doit pas être considéré comme inévitable[72]. Au contraire, il relève plutôt de l'exception, se produisant lorsque la production globale n'augmente pas, autrement dit, lorsque les effets de compensation sont faibles ou inexistants. Par ailleurs, certaines innovations, en particulier celles à l'origine de produits nouveaux, peuvent créer spontanément de l'emploi en suscitant l'apparition de nouveaux secteurs d'activité et de nouvelles entreprises à condition qu'ils ne se substituent à des activités existantes.

### 2.2.1 L'importance des mécanismes de compensation

Le progrès technologique présente deux visages. D'un côté, c'est une source de gains de productivité qui tend à réduire l'emploi, historiquement dans les secteurs manufacturiers et, plus récemment, dans certaines activités de service comme le commerce de détail. De l'autre, il peut conduire à développer l'emploi en suscitant l'apparition de nouveaux produits et de nouveaux secteurs d'activité.

Pour les besoins de l'analyse, il est utile de distinguer deux formes principales d'innovation : « l'innovation de procédé », qui correspond à l'introduction de nouvelles techniques de production et de distribution, avec entre autres objectifs d'accroître la productivité, et « l'innovation de produit », qui renvoie à la commercialisation d'un produit ou d'un service nouveau ou sensiblement amélioré.

[72] Stewart I. De D. et Cole A. (2015), *op. cit.*



Marco Vivarelli (2015)[73] a présenté les conséquences possibles en matière d'emploi attachées à ces deux types d'innovations.

***L'innovation de procédé***

*A priori*, une innovation de procédé a pour effet direct de réduire, à niveau de production fixé, les besoins en main-d'œuvre puisqu'elle consiste en général à automatiser la production en substituant des machines à l'homme.

Ceci étant posé, les économistes classiques ont mis en évidence plusieurs mécanismes de compensation conduisant à réduire, voire compenser intégralement, les pertes d'emploi initiales. Ces mécanismes peuvent transiter par plusieurs canaux : la construction de nouvelles machines ; la réduction des prix de production ; les nouveaux investissements ; et la baisse des salaires. Quantité de facteurs, liés à la nature de l'innovation en cause, au contexte institutionnel (normes sociales, juridiques ou techniques), au fonctionnement des marchés (nature et intensité de la concurrence, élasticité de la demande au prix), aux possibilités de substitution entre travail et capital, ou à la formation des anticipations des agents économiques (entreprises et consommateurs), peuvent limiter l'efficacité de ces mécanismes de compensation. La quantification de ces mécanismes est donc délicate *a priori*.

- la construction de nouvelles machines :

L'effet sur l'emploi de l'introduction de nouvelles machines dans le processus de production est ambigu. Si elle implique une réduction du nombre de travailleurs au sein de l'entreprise concernée, la construction de ces machines, en amont de la chaîne de production, nécessite évidemment l'emploi de nouveaux travailleurs.

Plusieurs phénomènes peuvent toutefois limiter l'ampleur de cette « compensation ». D'abord, pour que l'introduction de nouvelles machines soit intéressante du point de vue économique, le coût du travail associé à leur construction doit être inférieur à celui qu'elles permettent d'économiser. L'automatisation des tâches, si elle est techniquement possible, n'est pas toujours rentable. Ensuite, cet effet de compensation peut être atténué par le fait que la production de ces nouveaux équipements bénéficie à son tour d'une technologie plus efficace et plus économe en main d'œuvre. Enfin, les nouvelles machines peuvent simplement venir remplacer d'autres plus anciennes et moins performantes, sans générer la moindre compensation en termes d'emploi.

- la réduction des prix de production :

Une innovation de procédé va conduire à réduire les coûts unitaires puisque l'efficacité du système productif est renforcée. Dans une situation de concurrence pure et parfaite, cette diminution entraine une baisse des prix de vente qui suscite en retour une hausse de la demande, et par conséquent de la production et de l'emploi. Les pertes initiales d'emploi sont atténuées par cet effet de bouclage selon la loi de Say. L'augmentation de la demande ne concerne pas nécessairement que le bien concerné par le changement technologique. Les gains de pouvoirs d'achat qu'il entraîne peuvent profiter à d'autres catégories de biens ou de services. Ce mécanisme permet d'expliquer en partie le développement des services par rapport à l'industrie qui a enregistré énormément de gains d'efficacité.

[73] Vivarelli M. (2015), « Innovation and employment », *IZA World of Labor* 154.

Cependant, la hausse de la demande induite par la baisse des prix des biens va dépendre de son élasticité, variable selon les secteurs, et peut mettre du temps à se matérialiser. Dans ce dernier cas, un chômage temporaire peut apparaître et devenir en partie structurel si les délais de réaction de la demande face à des prix en baisse continue sont trop longs.

Par ailleurs, l'hypothèse d'une concurrence pure et parfaite est importante dans ce raisonnement. En cas de concurrence oligopolistique, la baisse des coûts de production ne se transmet pas intégralement aux prix de vente[74]. Elle génère des profits supplémentaires qui peuvent, le cas échéant, être recyclés en investissements, en rémunération des actionnaires ou en salaires *via* la négociation salariale. Dans tous les cas, il en résulte à plus ou moins brève échéance une augmentation de la demande finale.

- les nouveaux investissements :

En situation de concurrence imparfaite, les gains d'efficience peuvent ne pas se transformer entièrement en baisse de prix mais conduire à une hausse de la profitabilité. Cette augmentation des profits peut générer de nouveaux investissements, conduisant à une augmentation de la demande en biens d'équipement, donc de la production et de l'emploi.

Toutefois, le réinvestissement des profits n'est pas forcément intégral et immédiat. La nature et le rythme de ces investissements vont fortement conditionner l'ampleur de la compensation en emplois.

- la baisse des salaires :

En cas de baisse de la demande de travail, le prix – c'est-à-dire le salaire – s'ajuste de manière à équilibrer offre et demande sur le marché du travail. Sous l'hypothèse d'une parfaite substituabilité entre travail et capital, la diminution de l'emploi découlant de l'introduction d'une innovation va entrainer une baisse des salaires qui suscite en retour une plus grande demande pour les travailleurs dont le coût a baissé.

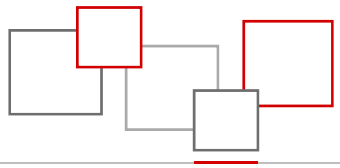
Si, à l'inverse, il y a complémentarité entre capital et travail, ou que les avancées technologiques ont une dimension irréversible, la demande de travail peut ne pas réagir à la baisse du salaire[75]. De même, la baisse de la demande finale résultant de celle des salaires peut décourager l'embauche de travailleurs supplémentaires dans les secteurs qui voient ainsi leurs débouchés se réduire.

***L'innovation de produit (et de service)***

Certaines innovations, en particulier celles à l'origine de produits et de services nouveaux, peuvent créer spontanément de l'emploi en suscitant l'apparition de nouveaux secteurs d'activité et de nouvelles entreprises à condition qu'ils ne se substituent pas à des activités existantes.

[74] Sylos Labini P. (1969), *Oligoply and technical progress*, Cambridge MA: Harvard university press.

[75] Freeman C. et Soet L. (1987), *Technical change and full employment*, Oxford: Basil Blackwell.



Si l'existence et l'intensité des effets de compensation relatifs aux innovations de procédé sont débattues par les économistes, plusieurs études, citées par Vivarelli (2014)[76], s'accordent sur le fait que la commercialisation de nouveaux produits et l'émergence de nouveaux secteurs d'activité ont des effets positifs pour l'emploi.

Cet impact reste toutefois d'intensité variable selon le contexte et la nature de l'innovation considérée. Il sera d'autant plus élevé que la substituabilité des nouveaux produits à ceux existant est faible et que les nouvelles productions sont intensives en travail. Par exemple, la généralisation de l'automobile a eu un impact beaucoup plus fort sur l'emploi que la diffusion des ordinateurs personnels.

Enfin, les innovations de produit (ou de service) et les innovations de procédé vont souvent de pair. L'impact sur l'emploi des unes et des autres est une question difficile à trancher empiriquement.

### 2.2.2 Pour apprécier l'impact global sur l'emploi incertain à court terme comme à long terme, des études empiriques doivent venir en appui des analyses théoriques

Si les analyses académiques soulignent l'importance des effets de compensation, elles n'apportent pas de réponse définitive quant à leur ampleur et l'impact final sur l'emploi d'une innovation technologique de procédé et de produit. Innovation de procédé et innovation de produit interfèrent souvent et l'innovation de procédé ne conduit pas nécessairement à diminuer l'emploi. Les destructions d'emploi directement liées aux avancées technologiques peuvent être observées, et donc mesurées. Les créations sont en revanche plus diffuses, parce qu'indirectes, et difficiles à prévoir en fonction de l'évolution de la demande finale et des interactions entre emploi et innovation[77]. De la temporalité des effets de bouclage résultent des enjeux décisifs en matière de gestion de la période de transition.

Les effets de compensation ont d'ailleurs pu varier selon les périodes de l'histoire et la nature des innovations. Ils ont fait l'objet d'intenses débats parmi les économistes. L'intensité de ces effets de compensation dépend de nombre de facteurs tels que le degré de concurrence sur les marchés, l'élasticité de la demande finale, l'élasticité de la substitution le capital et le travail et les préférences des consommateurs. Le débat n'est encore aujourd'hui pas tranché.

Comme on l'a vu, certains économistes, à l'instar de Jean-Baptiste Say[78] ou de Steuart[79], ont développé une vision optimiste quant à la puissance des effets d'entrainement provoqués par l'apparition de nouvelles machines. D'autres, comme John Maynard Keynes ou John Stuart Mill[80], se sont à l'inverse montrés plus réservés

---

[76] Vivarelli M. et Pianta M. (2000), *The employment impact of innovation: evidence and policy,* London: Rouledge; Edquist C., Hommen L. et McKelvey M. (2001), *Innovation and employment: Product versus process innovation,* Cheltenham: Elgar.

[77] Stewart I., De D. et Cole A. (2015), *op. cit.*

[78] *« Machines cannot be constructed without considerable labour, which gives occupation to the hands they throw out of employ. »* (Say, 1967, p. 87; first ed. 1803).

[79] *« The introduction of machines is found to reduce prices in a surprising manner. And if they have the effect of taking bread from hundreds, formerly employed in performing their simple operations, they have that also of giving bread to thousands.»*, (Steuart, 1966, vol. II, p. 256; first ed. 1767).

[80] « *the increased demand for commodities by some consumers, will be balanced by a cessation of demand on the part of others, namely, the labourers who were superseded by the improvement. »* (Mill, 1976, p.97; first ed. 1848).

sur l'ampleur des mécanismes de prix et de revenus et donc l'incidence en matière d'emploi des investissements en nouvelles machines et des changements technologiques.

Par ailleurs, il est incontestable que les effets de compensation ne se matérialisent que progressivement alors que les pertes d'emploi liées à l'automatisation ou à la digitalisation peuvent être immédiates. Des mécanismes de correction peuvent toutefois se mettre en place. Lorsque l'automatisation des tâches est rapide et précède la création de nouvelles activités, la diminution de l'emploi entraîne celle des salaires et donc du coût du travail. Les gains d'efficience apportés par la technologie s'amoindrissent et le rythme de l'automatisation ralentit. L'effort de recherche s'oriente vers le développement de nouvelles tâches utilisant le facteur travail plus intensément.

Gregory et al. (2016) ont par exemple illustré l'importance des effets de compensation[81]. Ils ont, pour la première fois, décomposé l'impact à long terme de l'automatisation des tâches dites « routinières » sur la demande de travail dans l'Union européenne au cours de la période 1999-2010. L'impact (positif) lié à l'augmentation de la demande (en réaction à la baisse des prix de production) et à l'effet de bouclage macro-économique (effet multiplicateur) a plus que compensé l'impact négatif initial lié à la substitution de la machine à l'homme[82].

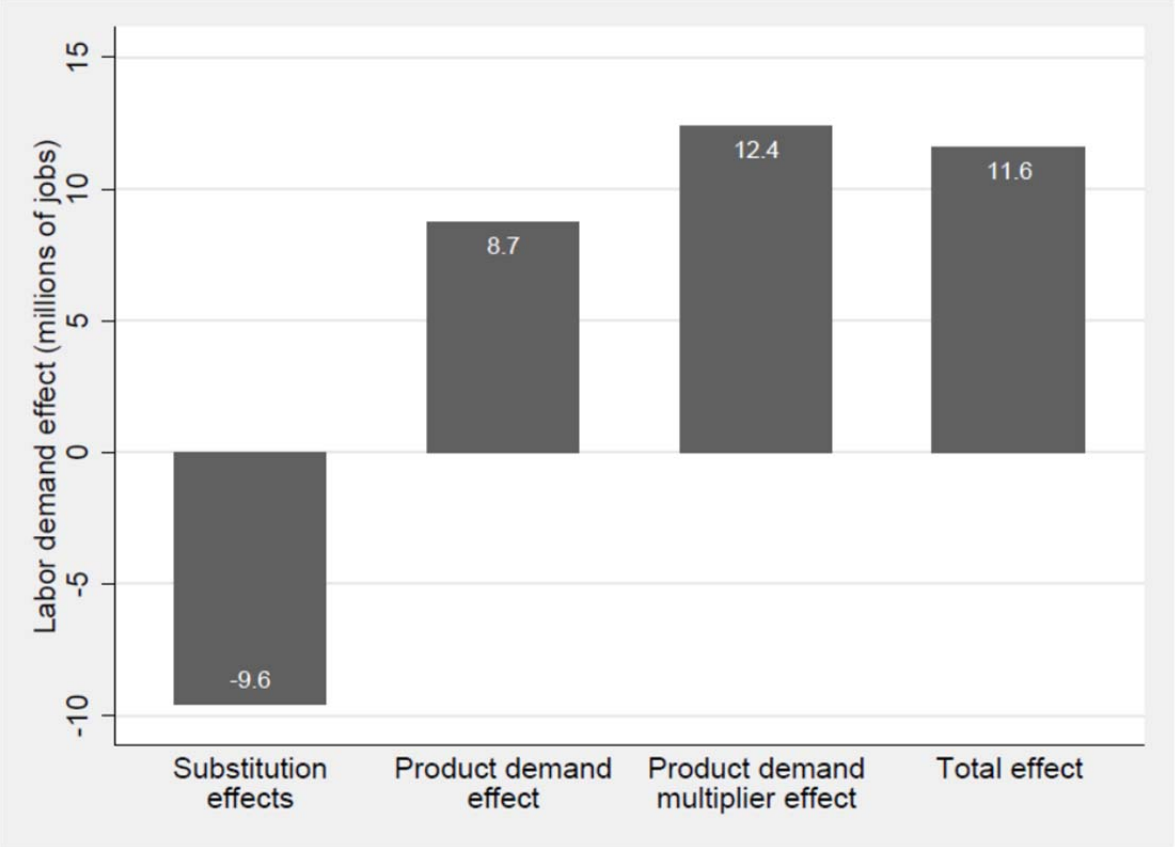
Trois conclusions fortes émergent de ce travail :

- L'impact de l'automatisation des tâches « routinières » sur la demande de travail à relativement long terme est positif ;
- Cette conclusion ne résulte pas d'un effet de substitution du capital au travail qui pourrait être faible ou négligeable, mais au contraire de l'importance des effets de compensation qui domine l'effet de substitution initial ;
- Les effets de compensation concernent à la fois les secteurs directement touchés par le progrès technologique et ceux qui ne le sont pas.

[81] Gregory T., Salomons A. et Zierahn U. (2016), « Racing with or against the machine? Evidence from Europe », *Centre for European Economic Research*, discussion paper n° 6-053.

[82] Audition de Ulrich Zierahn, Chercheur au Centre européen de recherche économique (ZEW) de Mannheim, devant le COE le 20 septembre 2016.

**Graphique 6 : Évolution de la demande de travail dans l'UE entre 1999 et 2010**




*Source : Gregory et al, (2016)*

La théorie économique n'apporte pas de réponse définitive à la question de l'impact des nouvelles technologies sur le marché du travail, l'emploi et les compétences, tant celui-ci peut varier selon la nature des innovations, le comportement et la stratégie des agents économiques, l'élasticité de substitution entre travail et capital, les différentes régulations etc. La mobilisation d'études empiriques au niveau agrégé, sectoriel ou microéconomique prenant en compte les différentes formes possibles de l'évolution technologiques, les effets directs sur l'emploi ainsi que les effets de compensation, est indispensable pour mieux identifier et mesurer les mouvements de réallocation sur les marchés du travail et des biens et services.

## 2.3 Innovation et évolution des compétences

Il est important d'analyser l'impact qualitatif du progrès technique sur l'emploi, en particulier sur sa structure par niveau de qualification, au-delà du seul impact quantitatif sur le volume d'emplois.

Une première intuition porte sur le fait que l'innovation est plutôt favorable au travail qualifié, en ce qu'elle conduirait à remplacer des tâches habituellement réalisées par des travailleurs peu ou pas qualifiés par des emplois exigeant des qualifications plus élevées. La théorie économique, mettant l'accent sur la complémentarité entre évolution technologique et travail qualifié, a ainsi introduit l'hypothèse d'un « *progrès technologique biai-*

*sé* »[83]. Cette hypothèse repose sur l'idée que les nouvelles technologies requièrent, pour être mise en œuvre efficacement, de mobiliser les compétences adéquates. En conséquence, une insuffisance de travail qualifié peut être contraignante et freiner, d'une part, la diffusion du progrès technique et le développement de l'emploi d'autre part[84]. Plus récemment, un cadre d'analyse complémentaire se fondant sur l'hypothèse d'un progrès technologique défavorable aux tâches « routinières » a été développé (*cf.* troisième partie, 3.1).

Acemoglu et Restrepo[85] ont développé un modèle théorique dans lequel le progrès technique peut entraîner l'automatisation de certaines tâches avec le remplacement de l'homme par la machine et la création de versions plus complexes de tâches déjà existantes pour lesquelles le facteur travail conserve un avantage comparatif. Le modèle intègre par ailleurs l'hétérogénéité des compétences et distingue travail peu qualifié et travail qualifié. Le processus d'innovation est endogène : les entreprises choisissent de développer l'une ou l'autre de ces catégories de tâches en fonction du coût relatif des facteurs. Lorsque, par exemple, le coût du travail diminue, les entreprises vont développer des technologies qui utilisent plus intensément le facteur travail. Il existe ainsi un mécanisme stabilisateur faisant que l'automatisation des tâches, en diminuant le prix du travail, décourage les entreprises de poursuivre plus en avant l'automatisation et les incite à développer de nouvelles tâches complexes.

L'automatisation, qui détruit de l'emploi non qualifié, et la création de nouvelles tâches, favorable au travail qualifié, ont *a priori* pour effet d'accroitre les inégalités. Toutefois, à long terme, ces inégalités se réduisent en théorie progressivement à mesure que les nouvelles tâches se standardisent et peuvent utiliser efficacement de la main d'œuvre peu qualifiée. Lorsque l'accumulation de la technologie est endogène, les auteurs démontrent que les deux types d'innovations se développent simultanément. Le partage de la valeur ajoutée entre le capital et le travail, l'emploi et les inégalités entre les deux catégories de travail sont stables à long terme. Ce résultat (théorique) est lié au fait que l'évolution technologique, qui n'est pas exogène, peut impacter différemment le capital et le travail.

L'impact des nouvelles technologies sur l'évolution des compétences est principalement analysé à travers la littérature empirique. Le point de départ est constitué par l'observation depuis une trentaine d'années au sein des pays de l'OCDE d'une déformation dans la composition de l'emploi et de la distribution des salaires en faveur notamment du travail qualifié. Cette déformation de la structure de l'emploi s'est accompagnée à partir des années 1990 dans certains pays d'une hausse concomitante de la part des emplois peu qualifiés. Ce phénomène de polarisation de l'emploi est particulièrement marqué aux États-Unis, un peu moins en Europe et notamment en France (*cf.* troisième partie, 3.1).

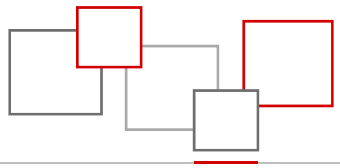
## 2.4 Les technologies et la localisation de l'activité et de l'emploi

Une autre question est de savoir si les nouvelles technologies sont susceptibles de modifier la géographie de l'économie, et par conséquent celle de l'emploi.

[83] Griliches Z. (1969), « Capital-skill complementarity ». *Review of economics and statistics*, 51. ; Welch F. (1970), « Education in production ». *Journal of political economy,* n°78.

[84] Vivarelli M. (2014), *op. cit.*

[85] Acemoglu D. et Restrepo P. (2016), « The race between machine and man: implications of technology for growth, factor shares and employment », *NBER Working paper* 22252.



La théorie économique a longtemps ignoré la question des effets des technologies sur la répartition des emplois dans l'espace que ce soit entre les pays ou entre les régions. Ceci s'explique par l'impossibilité théorique de prendre en compte l'espace dans les cadres de la pensée économique dominante. Le cadre néoclassique pose en effet trois hypothèses : les rendements d'échelle constants[86]; la concurrence parfaite[87] et l'espace homogène c'est-à-dire que chaque point est une économie autarcique.

Trois branches de l'économie ont adopté des solutions différentes pour intégrer l'espace comme une friction de marché. Dans la théorie du commerce international, l'espace est hétérogène puisque les ressources y sont inégalement réparties : ressources naturelles, technologies, aménités. Le courant de l'économie urbaine fait l'hypothèse qu'il existe des forces non prises en compte par le marché issues de l'interaction entre les entreprises et les ménages et qui poussent à la concentration : ce sont les externalités d'agglomération. Enfin l'économie géographique et notamment la Nouvelle Economie géographique autour de Paul Krugman conteste l'hypothèse de concurrence parfaite pour introduire celle de la concurrence monopolistique et oligopolistique où les prix ne sont plus donnés mais le résultat d'un jeu stratégique spatialisé.

Dorénavant, l'espace est intégré de façon croissante dans les travaux d'économie et en particulier d'économie géographique. Il est donc possible d'appréhender *a priori* les effets des technologies sur la répartition dans l'espace des entreprises et des ménages. Les technologies peuvent affecter d'abord les coûts de transport ou plus largement les coûts de transaction : quand ils sont bas, les entreprises peuvent plus facilement se disperser, au contraire quand ils sont élevés, elles se situent plus près de leur marché final. La valorisation par les acteurs économiques de la concentration (externalités d'agglomération) dépend aussi des transformations des modes de production et de consommation induites par le paradigme technologique dominant. Enfin, la course à l'innovation technologique a lieu dans des territoires spécialisés qui se concurrencent. Ces effets se combinent de façon dynamique et expliquent les motifs de localisation des emplois entre pays et entre régions.

Si l'on s'inscrit dans une perspective historique, poursuivant les évolutions initiées aux XVIII$^{e}$ et XIX$^{e}$ siècles, les progrès en matière de transport et de communication ont entraîné, au cours du XX$^{e}$ siècle, une fragmentation spatiale de la chaine de production qui s'est accompagnée d'une croissance rapide du commerce de biens intermédiaires. Dans le même temps, on a pu observer une tendance à la concentration spatiale avec l'agglomération de certains maillons de la chaîne de production matérielle (automobile à Detroit par exemple) ou immatérielle (établissement financiers à Wall Street, à la City de Londres ou à Tokyo).

Leamer et Storper[88] analysent ces mouvements contraires de la façon suivante. D'un côté, la transformation de certaines tâches, auparavant complexes, en activités « routinières » exécutables en de nombreux endroits contribue à la dispersion de la production. De l'autre, l'innovation engendre de nouvelles activités, qui nécessitent une coordination complexe et inédite, poussant au rapprochement des acteurs. Ils observent en particulier que les productions « intellectuelles » sont encore plus concentrées que les productions « matérielles ».

[86] Les rendements d'échelle sont dits constants quand l'augmentation d'une quantité d'un facteur de production entraine une hausse de la production de la même quantité.

[87] Quand la concurrence est dite parfaite, cela induit qu'il n'y a pas de différenciation entre les agents.

[88] Leamer E. et Storper M. (2001), « The Economic geographic of the Internet age », *NBER working paper* 8450.

# 3 Des interrogations sur l'évolution de la productivité et le chemin de croissance à long terme de l'économie

Parallèlement aux interrogations sur les effets des nouvelles technologies sur le volume, la structure et la localisation des emplois en France, existe aussi, bien que sur un autre plan, une interrogation sur l'évolution de la productivité, ses causes et ses effets. On assiste en effet 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 ?).

## 3.1 Les liens entre technologies et productivité au niveau de l'entreprise et au niveau macroéconomique

Au niveau de l'entreprise, les avancées technologiques peuvent permettre de développer des innovations de produit ou de procédé. Or ces deux types d'innovations n'ont *a priori* pas les mêmes effets sur la productivité. En effet, en améliorant ses procédés, l'entreprise va gagner en productivité puisque ces nouvelles méthodes ou techniques de fabrication vont lui permettre de produire plus avec moins de facteurs. En revanche, l'innovation de produit a un impact ambigu *a priori* sur la productivité au sein de l'entreprise selon la nature du nouveau produit développé.

En produisant avec moins de facteurs, les entreprises deviennent plus économes en travail, souvent par une substitution du travail par du capital (machine, robot, logiciel). La théorie économique associe ces gains de productivité à un effet négatif à court terme pour l'emploi au sein de l'entreprise si la production n'augmente pas. Si la production augmente, les effets peuvent être positifs. C'est ce que montrent les résultats d'études rétrospectives récentes qui ont cherché à évaluer les effets de cette croissance de la productivité suite à l'introduction d'une innovation de procédé au niveau microéconomique (*cf.* troisième partie, 2.1).

**Encadré 3 : La productivité du travail et la productivité globale des facteurs : définitions et indicateurs**

La productivité mesure l'efficacité de la production. Elle rend compte de la relation entre les produits et les ressources (travail et capital technique) mobilisées pour la production. Il existe des approches différentes dont la pertinence s'évalue en fonction du but de l'étude et des données disponibles. On distingue d'une part la productivité d'un facteur (capital ou travail) ou de plusieurs (combinée) et, d'autre part, la productivité par rapport à la production brute ou la valeur ajoutée.

Employé seul, le terme productivité s'applique en général à la productivité du travail. En France, l'Insee définit la productivité apparente du travail comme le ratio entre le volume de la valeur ajoutée et le volume de travail, mesuré par le nombre de travailleurs (productivité par tête) ou d'heures travaillées (productivité horaire). Cet indicateur s'applique à différentes échelles : au niveau macroéconomique (ensemble de l'économie), au niveau sectoriel, au niveau des territoires ou à celui des entreprises. Les résultats peuvent varier d'une échelle à l'autre : ainsi, seule l'échelle nationale permet d'appréhender les effets systémiques (destruction créatrice, mécanismes de compensation inter-régionaux, intersectoriels et inter-entreprises) même si les données agrégées ont aussi leurs limites.

La productivité globale des facteurs (PGF) correspond à la part de la croissance de la production qui n'est pas expliquée par l'augmentation des quantités de travail et de capital. Cet indicateur mesure un résidu, c'est-à-dire la part d'autres facteurs aux côtés ou issue de la combinaison du capital et du travail qui entrainent une hausse de la production. La littérature n'est pas unanime quant à l'identification et surtout à la mesure du poids de chaque facteur. Parmi les facteurs résiduels souvent cités, on trouve au premier rang le progrès technologique, la qualité du management ou des organisations ainsi que la qualité des institutions publiques.

Au niveau macroéconomique, les gains de productivité engendrés par l'introduction d'innovations de procédé peuvent déclencher des effets de compensation qui tirent la croissance de la production et de l'emploi (*cf.* deuxième partie, 2.2). Ainsi la croissance de la productivité du travail peut être considérée comme un moteur de la croissance économique et de l'emploi.

De fait, au-delà des modifications induites dans l'organisation du travail et les équilibres sociaux, les révolutions industrielles de la vapeur (1750-1830) puis celle de l'électricité, de l'eau courante et du moteur à combustion (1870-1900) ont entrainé une forte croissance de la productivité du travail. Elles ont aussi amélioré significativement le niveau de vie des travailleurs et permis une amélioration du bien-être global[89].

## 3.2 Le rôle débattu des technologies dans le ralentissement de la croissance de la productivité du travail depuis les années 1990 dans les pays développés

Le risque du chômage technologique, invalidé par deux siècles d'une croissance riche en emplois, est à nouveau évoqué depuis les années 1990 face au constat d'un ralentissement de la croissance de la productivité du travail[90] (graphique 7). D'une part, la majorité des pays développés – dont la France- ont cessé leur processus de rattrapage des États-Unis[91], pays occupant la position de « leader technologique »[92] depuis la deuxième guerre mondiale. D'autre part, les États-Unis connaissent également depuis le début des années 2000 ce même ralentissement[93].

[89] Gordon R. (2012), *op. cit.*

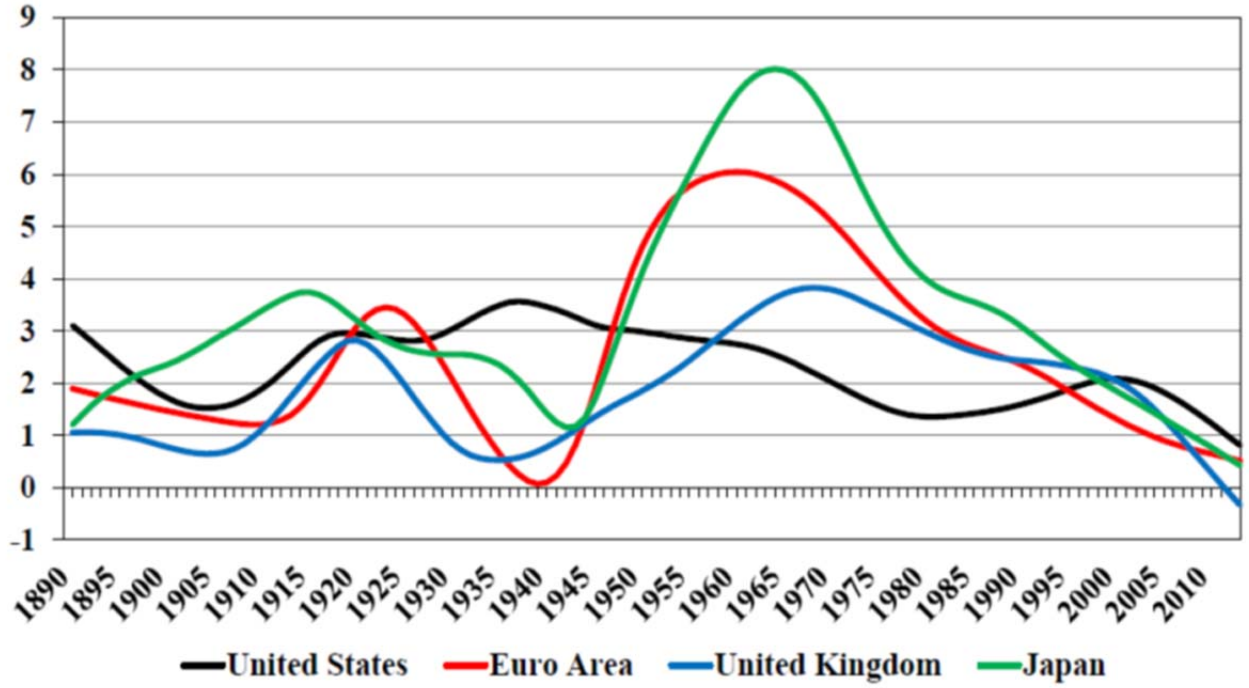
[90] Dubonneuil M et, Encaoua D. (2014), « Innovations contemporaines : contreperformances ou étape transitoire? », *Revue française d'Economie*, n°29.

[91] Jorgenson D. (2001), « Information technology and the US economy », *The American Economic Review*, Vol.91, March ; Timmer M., Inlaar R., O'Mahony M. et Van Ark B. (2011), « Productivity and Economic growth in Europe : A comparative industry perspective », *International Productivity Monitor*, n°21.

[92] Le leader technologique désigne le pays qui innove le plus et qui bénéficie de forts gains de productivité à un moment de l'histoire.

[93] Gordon R. (2012), *op.cit* ; Brynjolfsson E, McAfee A, (2014), *The Second Machine Age : Work, progress and prosperity in a time of brilliant technologies*, W. W. Norton & Company ; Byrne D., Oliner S. et Sichel D. (2013), « Is the information technology revolution? », *International productivity monitor*, n°25.

**Graphique 7 : Evolution du taux de croissance annuel de la productivité horaire du travail (%) lissée entre 1890 et 2010[94]**




*Source : Bergeaud, Cette, Lecat (2014)*

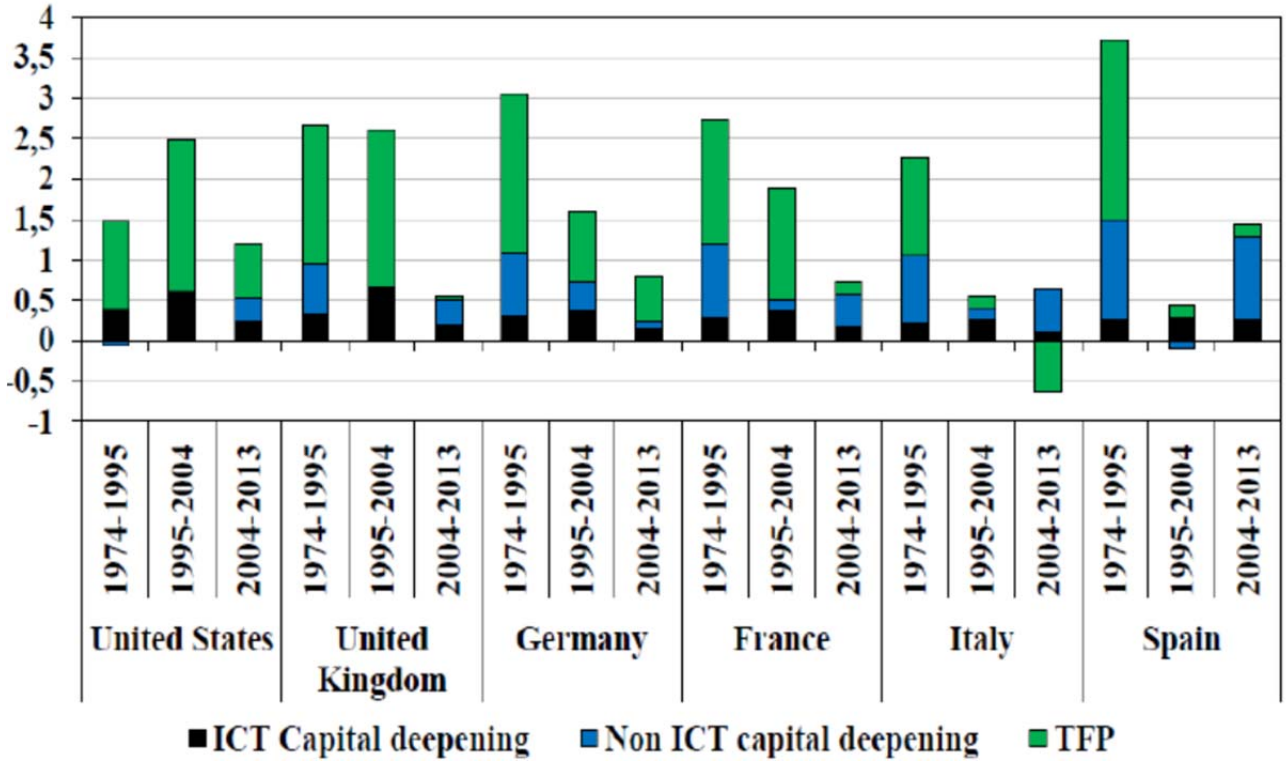
Aucun consensus n'émerge pour expliquer ces phénomènes de décrochage des « suiveurs » technologiques (zone euro et Japon) par rapport au leader américain et du ralentissement de la croissance de la productivité américaine. Plusieurs facteurs explicatifs ont été mis en avant, sans qu'aucun n'apparaisse à ce stade définitif ni déterminant : ont pu être mis en avant notamment les phénomènes de recomposition sectorielle qui tendent à limiter la place de l'industrie, la faiblesse des investissements en nouvelles technologies ou encore la difficulté de mesurer la productivité des services. Il reste que, quel que soit le niveau d'analyse, un certain nombre de facteurs pourraient être liés à la variable technologique et donc aux transformations en cours et à venir liées au numérique et à l'automatisation. La possibilité même que les innovations technologiques récentes tirent encore la productivité, puis la croissance et l'emploi a pu alors être questionnée.

Qu'il s'agisse de la contribution du capital TIC à l'évolution de la productivité horaire ou de la productivité globale des facteurs (censée représenter au moins pour partie les effets du progrès technique), ces deux composantes sont orientées à la baisse sur la période 1974-2013 (graphique 8)[95].

[94] Audition de Michel Houdebine, Chef économiste de la Direction générale du Trésor, devant le COE le 27 septembre 2016.

[95] Bergeaud A., Cette G. et Lecat R. (2014), « Productivity trends from 1890 to 2012 », *Direction générale des études et des relations internationales, Banque de France*, Document de travail, n°475. ; Cette G., Clerc C. et Bresson L. (2015), « Diffusion et contribution à la croissance des TIC aux États-Unis, dans la zone euro et au Royaume-Uni », *Banque de France.*

**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 noir) 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 de la productivité 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 : Bergeaud, Cette, Lecat (2014), Cette, Clerc, Bresson (2015)*

Pour les « techno-optimistes »[96], le ralentissement de la croissance de la productivité n'est pas imputable à la nature des récentes technologies dont le potentiel de stimulation est réel, mais à la rapidité à laquelle elles se diffusent. Les entreprises, les institutions et les travailleurs peineraient à s'ajuster assez rapidement. Ce décalage entre le rythme d'apparition des technologies et la capacité d'adaptation et d'appropriation des agents expliquerait le ralentissement – donc temporaire – de la productivité du travail. Ce ralentissement n'induit alors plus d'augmentation proportionnelle de la production via les mécanismes de compensation et donc ne tire plus la croissance économique et l'emploi. Les technologies récentes auraient donc le potentiel d'entrainer des gains de productivité importants, mais ce potentiel ne se réalise qu'à la condition que les agents s'adaptent rapidement – que ce soit les entreprises en investissant, les travailleurs en se formant ou les institutions publiques en accompagnant. A défaut, ou si la période d'ajustement prend du temps, apparaît un risque de chômage technologique.

Pour les « techno-pessimistes », les innovations numériques ne sont pas aussi puissantes que celles des deux précédentes révolutions industrielles quant à leur impact sur l'économie. Robert Gordon[97] soutient ainsi que la croissance économique qu'a connue l'humanité ces 250 dernières années pourrait bien être la seule de son his-

[96] Brynjolfsson E. et McAfee A. (2014), *op. cit.*

[97] Gordon R. (2012), *op. cit.*

toire à un niveau aussi élevé : la période contemporaine ouvrirait dès lors une ère de stagnation. Il identifie trois périodes de croissance associées à trois révolutions industrielles : la première de 1750 à 1830 (moteur à vapeur, chemins de fer) ; la deuxième de 1870 à 1900, la plus importante puisqu'elle voit l'apparition de multiples innovations – l'électricité, le moteur à combustion interne, l'eau courante ; enfin, la dernière qui débute en 1960 renvoie à l'introduction des ordinateurs, d'Internet et de la téléphonie mobile. Les innovations de la deuxième révolution industrielle sont responsables de la croissance rapide de la productivité aux États-Unis entre 1890 et 1972 (la productivité horaire du travail croit de 2,36 % par an en moyenne de 1891 à 1972). Elles ont aussi bouleversé la manière de travailler – ainsi, alors qu'en 1870, 87 % des emplois étaient considérés comme pénibles, seuls 22 % le sont encore en 2012. Un premier ralentissement des effets de cette deuxième révolution s'observe jusqu'en 1996 (la productivité horaire du travail passe à 1,38 % en 1996). La troisième prend ensuite le relai, mais les effets de la révolution des ordinateurs est beaucoup plus courte puisqu'elle cesse de tirer la productivité dès 2004 (2,54 % de 1996 à 2004 puis à 1,33 % entre 2004 et 2013).

Selon Gordon, la nature des innovations technologiques a changé : les ordinateurs, la téléphonie mobile ou internet ne permettent pas à l'humanité de faire de nouvelles choses mais de le faire de manière performante. En ce sens, elles sont accessoires en comparaison des innovations comme l'électricité ou l'eau courante qui, elles, ont infusé dans tous les secteurs de l'économie. Cela ne veut pas dire qu'il n'y aura plus d'innovations, seulement qu'elles ne tireront plus la productivité et la création de richesses comme l'ont fait les innovations des siècles passés. En outre, au-delà du seul facteur lié aux innovations technologiques, Gordon identifie également d'autres facteurs susceptibles de contribuer au ralentissement de la croissance parmi lesquels la prise en compte des questions énergétiques et environnementales.

Il n'appartient bien sûr pas au Conseil de trancher ici entre ces deux thèses mais d'en souligner les enjeux, notamment en matière de politique publique[98].

Dans le scénario « techno-optimiste », le principal enjeu est d'adapter la formation aux nouveaux besoins de l'économie, faciliter les transitions de la main-d'œuvre sur le marché du travail, et organiser une redistribution équitable des fruits de la croissance.

Le scénario « techno-pessimiste » comporte en lui le risque d'une stagnation séculaire. Il s'agirait dans ce cas de trouver les moyens pour sortir de cette « trappe à faible croissance » à travers les politiques monétaires, budgétaires et structurelles visant notamment à renforcer la formation et intensifier l'effort de R & D et d'innovation.

[98] Ces principaux enjeux ont été présentés lors de l'audition de Michel Houdebine, Chef économiste de la Direction générale du Trésor, devant le COE le 27 septembre 2016.

3

# Les effets de l’automatisation et de la numérisation sur le volume, la structure et la localisation de l’emploi

Troisième partie

# 1 Un exercice difficile qui requiert de répondre à quelques questions essentielles

Tenter d'évaluer les effets de la diffusion des technologies sur l'emploi peut se faire d'un point de vue rétrospectif, mais aussi prospectif. Dans le premier cas, il s'agit d'observer l'effet que l'utilisation de technologies par les entreprises et leur diffusion à l'économie a pu avoir sur l'emploi, et cela en mobilisant des données passées. Dans le second cas, il s'agit d'anticiper l'effet que peut avoir le déploiement des avancées technologiques en cours et à venir sur l'emploi. Dans ce second cas, l'exercice se révèle d'autant plus difficile qu'il se fonde sur la grande incertitude entourant le déplacement de la frontière technologique : on cherche à apprécier les effets futurs sur l'emploi d'évolutions technologiques que l'on appréhende à la lumière de la frontière technologique d'aujourd'hui (et donc sans savoir comment elles vont se diffuser et se combiner demain pour agir sur l'emploi).

Que l'on se place d'un point de vue rétrospectif ou prospectif, l'analyse des effets du déploiement de technologies sur le volume de l'emploi, sa structure ou sa localisation constitue un exercice difficile qui requiert de répondre à plusieurs questions essentielles :

- Comment mesurer le progrès technologique et son effet sur l'emploi ?
- Comment apprécier le risque d'automatisation de l'emploi lié au progrès technologique et identifier les emplois les plus à risque ?
- Quel niveau d'analyse (macroéconomique, sectoriel, microéconomique) retenir ?
- Comment apprécier la question de l'horizon temporel ?
- Comment résoudre les biais d'estimation potentiels des analyses prospectives ?

Dans le cas plus spécifique des études prospectives, un certain nombre de biais potentiels doivent finalement être pris en compte afin de ne pas interpréter leurs résultats de façon erronée.

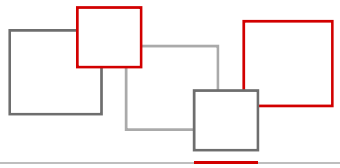
## 1.1 Comment mesurer le progrès technologique et ses effets sur l'emploi?

Mesurer le progrès technologique et ses effets sur l'emploi implique tout à la fois de pouvoir mobiliser un ou plusieurs indicateurs suffisamment pertinents pour apprécier l'utilisation par les entreprises et plus largement la diffusion à l'économie dans son ensemble des technologies en cause, mais aussi de pouvoir isoler les effets du seul progrès technologique par rapport à d'autres facteurs susceptibles d'agir aussi sur l'emploi.

### 1.1.1 Quel indicateur pertinent retenir pour mesurer le progrès technologique (et plus particulièrement pour capter l'effet des technologies liées à l'automatisation et à la numérisation) ?

Le champ des technologies ciblées peut varier selon les études. Alors que certaines s'intéressent aux effets sur l'emploi de l'ensemble des technologies, d'autres peuvent chercher à cibler certaines technologies en particulier (TIC, robots industriels, etc.) ou certains types d'innovations (de produits et de services, ou de procédé), dont les effets attendus sur l'emploi sont différents (*cf.* troisième partie, 2.1).

Quel que soit le champ des technologies retenues, se pose alors la question du choix de l'indicateur (ou du petit nombre d'indicateurs) suffisamment représentatif (permettant de cerner au plus près les technologies en cause dans la diversité de leurs aspects) et opérationnel pour l'analyse (disponibilité des données notamment).



***Le déploiement des technologies peut être appréhendé au travers d'indicateurs de mesure du progrès technologique ou de la capacité d'innovation des pays***

Le progrès technologique intervient dans un certain environnement, mobilise des ressources variées et a des effets multiples. Tenter de le mesurer renvoie donc à une batterie d'indicateurs, qui doivent être sélectionnés avec rigueur et autant que possible, harmonisés pour permettre des comparaisons.

Un tel travail a été accompli par la Commission européenne, depuis 2001, en vue de disposer d'un outil permettant d'évaluer les performances et les progrès des pays membres en termes de capacité d'innovation.

Elle a élaboré un « Tableau européen de l'innovation » qui rassemble les principaux indicateurs de l'innovation reconnus au niveau international pour cerner les différentes facettes du processus d'innovation.

La version de 2016 de ce Tableau regroupe quelques 25 indicateurs en trois grands domaines :

- un domaine intitulé **« Outils »** qui rassemble les indicateurs décrivant les principaux facilitateurs de l'innovation dans l'environnement extérieur aux entreprises, et en particulier :
    - les caractéristiques des ressources humaines du pays (par exemple : nombre de doctorants dans un pays, niveau de qualification de la population jusqu'à 34 ans etc.) ;
    - le niveau d'ouverture, d'excellence et l'attractivité des systèmes de recherche ;
    - les financements et les aides qui soutiennent l'innovation et la recherche (par exemple : le pourcentage des dépenses de R & D dans le PIB).

- un domaine **« Activité des entreprises »** qui rend compte des efforts des entreprises en matière d'innovation :
    - les investissements des entreprises en R & D ;
    - les collaborations et l'entrepreneuriat (par exemple, partenariat entre PME innovantes, innovation dans les PME, publications résultant d'un partenariat public-privé) ;
    - les actifs intellectuels (par exemple, nombre et valorisation de brevets, brevets dans les domaines tels que l'environnement et la santé etc.).

- un domaine **« Résultats »** qui rassemble des indicateurs décrivant les effets des efforts des entreprises en matière d'innovation :
    - les différents types d'innovations réalisées (par exemple, innovations émanant de PME, emploi dans les entreprises de croissance) ;
    - les effets économiques de l'innovation (en termes d'emploi, de ventes, de revenus des brevets, d'exportations etc.).

Cette classification permet de visualiser les dimensions principales autour desquelles s'articulent le progrès technologique et la capacité d'innovation d'un pays. Elle souligne de la sorte la complexité du problème de mesure des avancées technologiques et la difficulté à les résumer dans les limites étroites d'une seule variable.

Les indicateurs que la recherche académique (tableau 4) mobilise généralement pour appréhender le progrès technologique ou la capacité d'innovation des pays sont par exemple le volume des dépenses en recherche et développement des entreprises ou le nombre de brevets déposés dans une certaine période au sein d'un territoire donné. Un autre indicateur peut être utilisé pour mesurer le progrès technologique au niveau macroéconomique. Il s'agit de la productivité globale des facteurs soit la part de la croissance du Produit Intérieur Brut qui

n'est pas expliquée par une augmentation des facteurs travail et capital. Ce résidu peut être assimilé, entre autres, au progrès technologique (*cf.* deuxième partie, 3.1). Toutefois, comme l'a rappelé Jean-Yves Grenier lors de son audition devant le Conseil, même dans ce cas les difficultés demeurent : la Productivité Totale des Facteurs constitue un « résidu » qui représente plus largement toutes les sources de croissance non prises en compte par les deux facteurs de production classiques[99]. Qui plus est, comme le rappellent Askenazy et Giannella (2000)[100], il est difficile de mettre en évidence une corrélation significative entre la croissance de la productivité totale des facteurs des entreprises et leur degré d'informatisation.

En l'espèce, compte tenu de l'objet du présent rapport (qui ne cherche pas à apprécier les effets de l'innovation dans son ensemble, mais seulement les effets des technologies liées à la numérisation et à l'automatisation), il convient de retenir un ou plusieurs indicateurs moins agrégés.

*Certains indicateurs permettent de cibler certaines technologies en particulier*

Certains travaux cherchent à cibler les effets sur l'emploi de certaines technologies en particulier (TIC, robots industriels, etc.).

S'agissant des technologies de l'information et de la communication, le déploiement de ces technologies est appréhendé de façon plus ou moins directe selon les études (tableau 4). Alors que certaines études utilisent des indicateurs tels que le volume des investissements dans les TIC ou l'évolution de la contribution des TIC à la productivité totale des facteurs, d'autres utilisent la baisse du coût en capital TIC. S'agissant des robots industriels, les études qui ciblent ce type de technologies sont plus rares et peuvent se fonder par exemple sur la densité en robots industriels de l'économie.

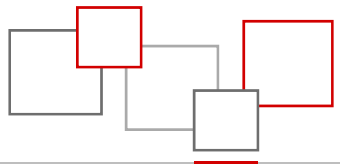
Le tableau ci-dessous donne quelques exemples d'indicateurs mentionnés ci-dessus et mobilisés dans différentes études.

**Tableau 4 : Principaux indicateurs du progrès technologique utilisés dans la littérature économique**

| | Principaux indicateurs | Etudes |
|---|---|---|
| **Indicateurs généraux** | Dépenses en R & D | Hölzl (2009) ; Bogliacino et al (2012) ; Buerger et al (2012) |
| | Productivité globale des facteurs | Modèle de Solow (1956) |
| | Brevets déposés | Van Roy et al (2015) Simonetti, Taylor et Vivarelli (2000) ; Gagliardi (2014) |

[99] Cabannes P.Y. et al. (2013), « Evaluer la productivité globale des facteurs : l'apport d'une mesure de la qualité du capital et du travail », L'économie française, *INSEE*.

[100] Askenazy P. et Giannella C. (2000), « Le paradoxe de productivité : les changements organisationnels, facteur complémentaire à l'informatisation », *Economie et statistique*, n° 339-340.



| | | |
|---|---|---|
| | Innovations de produit ou de procédé introduites par les entreprises (données d'enquête) | Harrison et al (2014) ; Lachenmeier and Rottmann (2011) ; Evangelista et Vezzani (2012) Greenan et Guellec (2000) ; Lucchese et Pianta (2012) |
| | *Techies* : part de travailleurs dans l'emploi de chaque entre-prise facilitant l'adoption et l'utilisation des nouvelles tech-nologies (techniciens, ingénieurs et cadres techniques) | Harrigan et al. (2016) |
| **Indicateurs ciblant un type de technologie** | Investissements dans les technologies de l'information et de la communication | Spiezia, Polder, Présidente, (2016) |
| | Changement annuel de la proportion de travailleurs du secteur utilisant un ordinateur au travail ; nombre d'ordinateurs par employé au niveau de l'entreprise | Autor et al. (2003), Doms et Lewis (2006) |
| | Densité en robots industriels | Graetz, Michaels (2016) |

*Source : COE*

Ces différents indicateurs, outre qu'ils ne permettent pas toujours de cerner au plus près les différents aspects d'une ou plusieurs technologies, ne décrivent de surcroit qu'imparfaitement la nature des innovations considérées (innovation de procédé ou innovation de produit). Tout au plus permettent-ils de donner des indices ou des tendances, à défaut de garantir une classification stricte. Ainsi, Conte et Vivarelli (2005)[101] montrent que les dépenses en activités de recherche et développement approximent bien l'innovation de produit, mais que leur lien est moins évident pour appréhender les innovations de procédé. Ces dernières, quant à elles, sont plutôt bien représentées par les investissements en acquisition des technologies, dont les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ne représentent qu'une sous-partie très limitée. Pour sa part, l'indicateur de brevet représente aussi bien des innovations de produit que de procédé.

Or cette distinction reste importante pour l'analyse dès lors que les effets des innovations de produit et de procédé ont des effets distincts sur l'emploi. Dans cette hypothèse, le choix d'un indicateur privilégiant l'une ou l'autre de ces innovations est alors susceptible d'influencer le résultat de la mesure.

### 1.1.2 Comment isoler l'effet propre du progrès technologique sur l'emploi ?

L'utilisation et la diffusion de technologies ne constituent pas le seul facteur qui influence le volume, la structure ou la localisation de l'emploi. D'autres facteurs tels que la mondialisation (d'ailleurs largement liée à la diffusion du progrès technique) et la financiarisation de l'économie, des évolutions sociodémographiques (vieillissement, activité féminine, hausse du niveau d'éducation, etc.), les règlementations et institutions du marché du travail, les changements organisationnels dans le fonctionnement des entreprises (certains pouvant être liés directement au progrès technique, d'autres relevant plutôt des évolutions des modes de management) peuvent également jouer. Un enjeu important est alors d'isoler les effets des technologies de ceux de ces autres facteurs.

[101] Conte A. et Vivarelli M. (2005), « One or Many Knowledge Production Functions? Mapping Innovative Activity Using Microdata », IZA Discussion Papers 1878.

Si isoler parfaitement les effets des technologies sur l'emploi constitue un exercice impossible, les travaux empiriques qui s'intéressent aux effets des technologies sur l'emploi testent pour la plupart la robustesse de leur modèle à l'introduction de variables explicatives alternatives. C'est le cas par exemple du travail de Charnoz et Orand (2016) portant sur le cas français qui valide la robustesse d'une explication de l'évolution de la structure de l'emploi par un progrès technique biaisé en introduisant des hypothèses alternatives, comme l'influence de la mondialisation et du commerce international, ou encore celle des changements démographiques. Pak et Poissonnier (2016) testent quant à eux simultanément la contribution respective des technologies, du commerce extérieur et de la consommation finale sur la variation de l'emploi total et selon le niveau de qualification en France entre 1982 et 2010.

## 1.2 Comment quantifier le risque d'automatisation de l'emploi lié au progrès technologique?

Parmi les travaux qui s'intéressent aux effets des technologies sur l'emploi, il convient de distinguer entre les travaux qui cherchent à établir une corrélation entre déploiement d'une ou d'un ensemble de technologies et l'évolution de l'emploi ; et ceux qui cherchent à appréhender plus spécifiquement le risque de substitution de l'emploi d'un être humain par une machine. Si cette dernière approche se retrouve plutôt dans le cas des travaux prospectifs, elle est également suivie par un certain nombre de travaux qui s'intéressent aux effets des technologies sur la structure de l'emploi.

On peut distinguer deux grandes familles d'études portant sur le risque d'automatisation de l'emploi : celles qui considèrent le risque d'automatisation au niveau des métiers (ce sont les métiers dans leur ensemble qui sont remplacés par des technologies) et celles qui considèrent ce risque au niveau des tâches (ce ne sont pas les métiers dans leur ensemble qui sont substitués, mais seulement certaines tâches avec une possibilité de reconfiguration de ces dernières au sein des métiers).

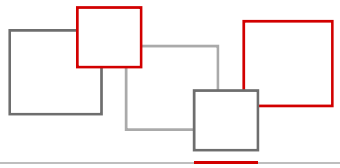
Avant de se lancer dans l'exercice de comparaison méthodologique des avantages et des inconvénients des différentes approches, il est utile de clarifier ce que recouvrent ces différentes notions.

### 1.2.1 Qu'entend-on par activité, tâche, compétence, métier ?

Comme le remarque Tourmen (2007)[102], dans le langage commun on a souvent l'habitude de confondre les concepts d'emploi, de métier, d'activité, de tâche et de compétence. Son article a le mérite de proposer des éléments de clarification à ce sujet, permettant de préciser les définitions de ces quatre concepts et leur utilisation dans le cadre des études visant à évaluer le potentiel de substituabilité des emplois.

On parle d' « **activité »** lorsque des individus réalisent individuellement ou collectivement le produit d'un travail. L'activité désigne ce qui répond à des objectifs et des procédures prescrites, ainsi que par des prescriptions en matière de performances et de qualité, qui lui donnent un cadre contraignant. Ces prescriptions sont également

[102] Tourmen, C. (2007), « Activité, tâche, poste, métier, profession : quelques pistes de clarification et de réflexion », Santé Publique (Vol. 19), p. 15-20.



appelées « **tâches** », et correspondent à la manière « canonique »[103] d'effectuer une activité de travail : une tâche, c'est ce qui est à faire et comment cela doit être fait.

On définit dès lors comme « **compétence** » la capacité d'un individu à accomplir des tâches en mobilisant les ressources appropriées parmi celles acquises au préalable lors de sa formation ou à l'occasion d'expériences précédentes : une compétence est un « savoir-faire en situation » (Le Boterf, 2000)[104].

La notion de « **métier** » est plus complexe à définir. Dans un contexte d'évolution rapide et profonde du contenu des professions, avec en parallèle l'émergence des « nouveaux métiers », il est difficile de déterminer un certain nombre de caractéristiques figées qui permettent à un ensemble d'activités d'être définies ainsi. C'est pourquoi, pour les besoins de l'analyse, Tourmen propose la définition synthétique suivante : un métier est un ensemble de tâches assignées de manière relativement stable à des individus recrutés pour les réaliser, qui se regroupent pour définir leurs rôles et tentent de stabiliser des savoir-faire spécifiques, tout en revendiquant la reconnaissance de leur identité collective.

### 1.2.2 Doit-on mesurer le risque d'automatisation des emplois par métier ou par tâche ?

Les études existantes ont adopté différentes approches de mesure des emplois automatisables.

Le fait que la substitution de l'emploi du travailleur par la machine s'opère au niveau des « tâches » fait désormais l'objet d'un consensus de plus en plus répandu dans la littérature économique : les principales études, examinées dans le cadre du présent rapport, partent en effet de ce postulat.

Néanmoins, un élément de clivage important demeure : quel est le niveau optimal pour *mesurer* le volume et la structure des emplois substituables ? En réponse à cette question, il est possible de repérer deux écoles de pensée, selon que le niveau optimal retenu est la « tâche » ou le « métier ».

#### *Mesure du risque d'automatisation par tâche*

L'article pionnier d'Autor, Levy and Murnane (2003)[105] est le premier à avoir conceptualisé un modèle théorique du risque d'automatisation de l'emploi des travailleurs. Se plaçant dans la première des écoles mentionnées ci-dessus, ils identifient une matrice de classement des tâches selon deux dimensions principales : d'une part des tâches qui sont soit manuelles, soit cognitives – analytiques ou interactives –, et d'autre part des tâches qui sont soit routinières soit non-routinières.

La question de départ est simple : quelles sont les tâches qui peuvent être effectuées par un automate ? Selon les auteurs, les tâches substituables sont les tâches **routinières**, aussi bien manuelles que cognitives, c'est-à-dire un nombre limité de tâches qui peuvent être définies avec les règles explicites d'un programme. *A contrario*, les tâches **non-routinières**, qu'elles soient également manuelles ou cognitives, sont des tâches plus complexes pour lesquelles le capital informatique se révèle être plutôt complémentaire que substituable au travailleur. Les au-

[103] Leplat, J. (1997), *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique*, Paris, PUF.

[104] Le Boterf G. (1994), *De la compétence. Essai sur un attracteur étrange*, Paris, Les Editions d'organisation, pp. 16-18.

[105] Autor D. H. et al. (2003), « The skill content of recent technological change: an empiric exploration », *The Quarterly Journal of Economics*, Novembre.

teurs s'appuient notamment sur l'argument de Polanyi (1966)[106], selon lequel « *nous connaissons plus que ce que nous pouvons exprimer. […] L'habileté d'un conducteur ne peut pas être substituée par un apprentissage, quoique minutieux, du fonctionnement théorique d'une voiture ; la connaissance que j'ai de mon propre corps diffère de la même manière de la connaissance de sa physiologie ; et les règles de la rime et de la prosodie ne parviennent pas à me communiquer ce qu'un poème m'a confié, sans que je connaisse forcément les règles à la base de sa composition.* ) ».

Le tableau ci-dessous résume les variables du *Dictionary of Occupational Titles* (DOT) du Département de Travail des Etats-Unis (version 1977) que les auteurs ont sélectionnées afin d'identifier chaque groupe de compétences et les tâches associées.

**Tableau 5 : Exemples de tâches routinières et non-routinières dans l'étude d'Autor et al. (2003)**

| Variable | Définition des compétences selon le DOT (1977) | Interprétation des tâches associées | Exemple des tâches |
|---|---|---|---|
| GED Math (MATH) | Développement éducatif général, mathématiques | Tâches analytiques **non-routinières** | *Bas niveau* : ajouter et soustraire des nombres à deux chiffres<br>*Niveau moyen* : Calculer intérêts, profits, pertes, etc.<br>*Haut niveau* : Analyse de systèmes aérodynamiques et thermodynamiques afin de déterminer le design le plus efficace d'un avion ou d'un missile. |
| Direction, Contrôle, Planning (DCP) | Adaptabilité et capacité d'accepter la responsabilité de diriger, contrôler ou planifier une activité | Tâches interactives **non-routinières** | Réaliser planimétries de résidences privées, bureaux, etc. ; appliquer les principes comptables pour des opérations de comptabilité générale |
| Coordination Œil-Main-Pied (EYE-HAND) | Capacité de déplacer main et pied de manière coordonnée avec les stimuli visuels | Tâches manuelles **non-routinières** | *Bas niveau* : garder le bétail dans un ranch<br>*Niveau moyen* : conduire des bus ou piloter des avions<br>*Haut niveau* : exécuter des mouvements de gymnastique nécessitant équilibre et habilité |
| Limites, Tolérances ou Standards (STS) | Adaptabilité à de situations demandant le respect de limites, tolérances ou standards | Tâches cognitives **routinières** | Préparer et vérifier les listes des électeurs les comparant avec les registres officiels ; calculer les cordonnées de latitude et longitude avec les outils standards de navigation |
| Dextérité digitale (FINGDEX) | Capacité de manipuler de petits objets avec les doigts, rapidement et avec soin | Tâches manuelles **routinières** | Mélanger les ingrédients d'un plat selon les indications d'une recette ; emballer des produits agricoles pour le stockage ou l'expédition |

*Source: U. S. Department of Labor, Manpower Administration, Handbook for Analyzing Jobs (Washington, DC, 1972)*

[106] Polanyi M. (1966), *The tacit dimension*, New York, NY: Doubleday Press.

Une autre étude se base également sur une approche par tâche : il s'agit de celle d'Arntz et al. (2016)[107], qui a été réalisée pour l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). S'appuyant sur les probabilités d'automatisation par métier déterminées par Frey et Osborne (2013)[108], les auteurs essaient de retracer une relation statistique entre ces probabilités et une liste de tâches réalisées par les travailleurs : l'élément intéressant de cette étude est qu'elle se base, non sur une liste de tâches prédéterminée de manière générale pour chacun des métiers, mais sur les tâches que chaque travailleur déclare effectuer dans le cadre de son métier[109]. Les auteurs contrôlent par une série de facteurs tels que les caractéristiques du travailleur (sexe, âge, niveau d'éducation), ses compétences (capacité à lire et écrire, compter, résoudre des problèmes) et les caractéristiques de l'emploi occupé (secteur, taille de l'entreprise, expérience nécessaire afin d'accéder au poste occupé).

**Tableau 6 : Les déterminants de la probabilité d'automatisation par métier selon l'étude d'Arntz et al. (2016) (*cf.* Frey et Osborne, 2013)**

| Tâches associées à une augmentation de la probabilité d'automatisation de l'emploi | Tâches associées à une réduction de la probabilité d'automatisation de l'emploi |
|---|---|
| • Vendre<br>• Utiliser ses mains ou ses doigts<br>• Echanger des informations<br>• Conseiller | • Présenter<br>• Lire des livres<br>• Influencer<br>• Utiliser le langage de la programmation<br>• Lire des publications professionnelles<br>• Ecrire des articles<br>• Former les autres<br>• Organiser les activités des autres<br>• Travailler physiquement pendant long-temps<br>• Organiser ses propres activités<br>• Utiliser un logiciel de communication<br>• Lire des instructions<br>• Faire des maths complexes ou des stat<br>• Organiser son emploi du temps<br>• Utiliser internet pour le travail<br>• Résoudre des problèmes simples<br>• Remplir des formulaires<br>• Calculer des parts et des pourcentages |

*Source: Etude d'Arntz et al. (2016)*

***Mesure du risque d'automatisation par métier***

[107] Arntz M., Gregory T. et Zierahn U. (2016), « The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis, OECD Social », Employment and Migration Working Papers n°189, *OECD Publishing*, Paris.

[108] Frey C. et Osborne M. (2013), *op. cit*.

[109] Ces informations sont obtenues grâce à l'enquête « *Program for the International Assessment of Adult Competencies* » (PIAAC) de l'OCDE.

Si l'analyse de Frey et Osborne (2013) s'inscrit dans une approche par métier, leur point de départ reste la matrice d'Autor et al. (2003), qui distingue les tâches effectuées par les travailleurs entre manuelles/cognitives et routinières/non-routinières. Toutefois, ils estiment que même des tâches non-routinières peuvent désormais être automatisées au vu des nouvelles avancées technologiques (*machine learning*, *intelligence artificielle*, *big data*, etc.). Ce qui change dans leur approche, à ce stade de l'analyse, est donc uniquement le type des tâches pour lesquelles les travailleurs sont considérés substituables avec les machines : ces avancées technologiques rendent possibles l'automatisation de tâches non-routinières.

Le point de départ de l'étude est l'identification, à l'aide d'un panel d'experts scientifiques[110], de 70 métiers pour lesquels il est possible de dire avec exactitude s'ils sont ou non automatisables[111] (en leur attribuant une valeur de probabilité d'automatisation de 1 ou 0), ainsi que celle de trois catégories de compétences qui se situent à ces goulets d'étranglement de la frontière technologique :

- **Perception et manipulation** : il s'agit de compétences mobilisées pour des tâches liées à un environnement de travail non-structuré, pour lesquelles la reconnaissance d'une pluralité d'objets irréguliers est nécessaire ou pour lesquelles la mobilité est contrainte par des espaces étroits ;
- **Intelligence créative** : ces compétences sont difficilement automatisables, l'obstacle principal à l'automatisation de la créativité étant de définir clairement les valeurs créatives pour pouvoir les coder dans un algorithme. Cet exercice est d'autant plus ardu que ces valeurs changent au fil du temps et varient entre les cultures ;
- **Intelligence sociale** : il s'agit des compétences mobilisées pour toute tâche nécessitant des capacités de négociation, de persuasion ou comportant une dimension de soin. En effet, les robots ne sont pas parvenus jusqu'ici à convaincre de leur ressemblance avec les êtres humains, principalement à cause d'un manque d'informations de « bon sens », particulièrement difficiles à articuler et qui seraient nécessaires pour que les algorithmes puissent fonctionner dans des contextes humains.

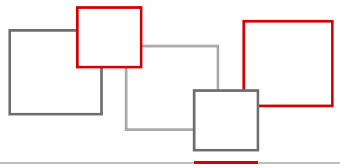
Sur ces bases, Frey et Osborne passent ensuite à une étape d'évaluation empirique de leurs conclusions. Pour cela, ils ont utilisé la version 2010 de O*NET, un service en ligne développé par le Département de Travail des Etats-Unis. Cette version contient 903 métiers, chacun d'entre eux étant associé à un ensemble de variables standardisées permettant de les classer selon les connaissances et compétences exigées pour ce métier. Dans la rubrique compétences, ils sélectionnent 9 variables qui, à leur avis, sont susceptibles de bien représenter les compétences mentionnées ci-dessus correspondant aux goulets d'étranglement technologiques.

**Tableau 7 : Goulets d'étranglement de l'automatisation selon Frey et Osborne**

| Goulets d'étranglement de l'automatisation | Variable O*NET | Description O*NET |
|---|---|---|
| Perception et manipulation | Dextérité des doigts | Capacité de faire des mouvements coordonnés des doigts pour manipuler ou assembler de petits objets |
| | Dextérité manuelle | Capacité de déplacer rapidement la main, la main et le bras ou les deux mains pour manipuler ou assembler |

[110] Il s'agit des professeurs et chercheurs du département des sciences de l'ingénieur de l'université d'Oxford.

[111] Plus précisément, les experts doivent répondre à la question suivante : « Est-ce que les tâches de ce métier peuvent être suffisamment spécifiées, en prenant en compte la disponibilité des données, pour être réalisées par un équipement contrôlé par informatique ? ».



| | | |
|---|---|---|
| | | de petits objets |
| | Contorsions nécessaires pour exercer le travail | A quelle fréquence ce métier demande de travailler en positions inconfortables ? |
| **Intelligence créative** | Originalité | Capacité de développer des idées intelligentes ou inhabituelles sur un sujet ou situation, ou des manières créatives de résoudre un problème |
| | Arts | Connaissance de la théorie et des techniques nécessaires pour composer, produire, et performer des œuvres de musique, dance, arts visuels, théâtre et sculpture |
| **Intelligence sociale** | Perceptivité sociale | Être conscient des réactions d'autrui et en saisir les raisons |
| | Négociation | Essayer de composer les divergences entre deux parties |
| | Persuasion | Persuader les autres à changer d'avis ou de comportement |
| | Assistance et soin des autres | Offrir assistance personnelle, attention médicale, support émotif ou d'autres soins personnels à collègues de travail, clients ou patients |

*Source: Etude de Frey et Osborne (2013)*

Le point substantiel de *distinguo* entre l'étude de Frey et Osborne et les études présentées précédemment intervient lors du calcul de la part d'emplois automatisables, avec le passage à une approche « par métier ». En effet, ils exploitent un algorithme qui peut être expliqué simplement : plus un métier comporte de variables prédictives du caractère non-automatisable (tableau 7), plus la probabilité d'automatisation du métier tendra vers 0, et vice versa. Ce modèle est d'abord calibré sur les 70 métiers préalablement classées pour vérifier si ces variables prédisent bien les mêmes résultats. Puisqu'il est constaté qu'il correspond bien aux résultats identifiés par les scientifiques pour ces 70 métiers, cet algorithme est ensuite étendu aux 702 métiers qui composent leur champ d'analyse[112].

### *Avantages et inconvénients de chaque approche*

L'approche « par métier » souffre de deux limites principales, qui conduisent à surestimer le risque d'automatisation :

- bien des professions auxquelles Frey et Osborne (2013) attribuent des probabilités élevées d'automatisation comportent souvent de nombreuses tâches difficilement automatisables ;
- même au sein de chaque profession, les travailleurs ne réalisent pas exactement les mêmes tâches et ne leur allouent pas nécessairement le même temps de travail

[112] Afin de mener à bien leur analyse, les auteurs doivent croiser les données de la base O*NET, relative aux connaissances et compétences des travailleurs, avec celles du Bureau of Labor Statistics (BLS), qui contient des informations sur le nombre d'emplois et la masse salariale par métier. Les deux bases de données utilisent deux classifications des métiers différentes, ce qui oblige les auteurs à agréger quelques catégories notamment de la classification O*NET (plus détaillée) afin qu'elles correspondent aux catégories du Standard Occupational Classification (SOC) exploitées par le BLS. C'est pourquoi leur champ passe de 903 à 702 métiers.

Une approche par tâche est donc préférable.

Mais, même avec une approche par tâche, le caractère changeant et pour partie imprévisible de la localisation de la frontière technologique, ainsi que les autres facteurs qui influencent le déploiement des automates rendent incertaine la capacité prédictive des études prospectives.

Et il n'existe pas de consensus scientifique sur le caractère automatisable ou non de nombreuses tâches. A titre d'exemple, la dextérité manuelle, qui pour Frey et Osborne (2013) est considérée comme un goulet d'étranglement alors qu'elle est considérée comme automatisable dans l'étude de Autor et al. (2003).

## 1.3 Quel niveau d'analyse retenir ?

Des problématiques spécifiques peuvent émerger par ailleurs en fonction du niveau d'analyse selon que l'on appréhende l'effet des technologies sur l'emploi à un niveau macroéconomique, sectoriel ou microéconomique (entreprises ou individus).

On peut distinguer quatre approches retenues jusqu'à présent dans les études en la matière, à chaque niveau étant attaché un certain nombre d'avantages ou d'inconvénients :

- une **approche macroéconomique :** son avantage est de tenir compte à la fois des effets *directs* et *indirects* de l'innovation[113]. Malgré cet aspect positif, les études qui adoptent cette approche (Sinclair, 1981[114] ; Layard et Nickell, 1985[115] ; Freeman et Soete, 1994[116] ; Machin et Van Reenen, 1998[117]) se caractérisent cependant par une certaine faiblesse des méthodes d'identification qu'elles retiennent. D'une part, il est plus difficile de trouver une approximation du changement technologique suffisamment fiable au niveau agrégé. D'autre part, les tendances de l'emploi au niveau national sont co-déterminées par une variété de facteurs institutionnels et macroéconomiques qu'il est difficile d'isoler de manière satisfaisante (Vivarelli, 2014).
- une **approche par secteur** : par définition, elle présente l'avantage de repérer les facteurs d'innovation qui jouent un rôle moteur dans l'évolution de l'emploi au sein de chaque secteur. Néanmoins, les faiblesses identifiées pour l'approche macroéconomique sont également valables pour l'approche par secteur. En outre, cette approche purement sectorielle ne permet pas d'appréhender la réallocation intersectorielle, ni l'ensemble des mécanismes de compensation.

[113] Généralement, par « effets directs de l'innovation » on désigne l'augmentation du niveau de production dans le court terme à parité d'inputs ou la réduction des quantités d'inputs à parité de niveau de production. Les « effets indirects de l'innovation » sont au contraire les effets des mécanismes de compensation du marché, ainsi que les créations d'emploi qui peuvent suivre les innovations de produit. Pour un examen plus approfondi de ces mécanismes théoriques, cf. partie 2 du présent rapport et Vivarelli, M. (2014), *Innovation, Employment and Skills in Advanced and Developing Countries: A Survey of Economic Literature*, Journal of Economic Issues, Vol. XLVIII No. 1.

[114] Sinclair P. (1981), « When Will Technical Progress Destroy Jobs? », *Oxford Economic Papers*, Vol. 31, N. 1, p. 1-18.

[115] Layard R. et Nickell S. (1985), « The Causes of British Unemployment », *National Institute Economic Review*, Vol. 111, N. 1, p. 62-85

[116] Freeman C. et Soete L. (1994), *Work for All or Mass Unemployment? Computerized Technical Change into the Twenty-First Century*, New-York: Pinter.

[117] Machin S. et Van Reenen J. (1998), « Technology and Changes in Skill Structure: Evidence from Seven OECD Countries », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 113, N. 4, p. 1215-1244.

- une **approche au niveau de l'entreprise :** l'avantage de cette approche est de permettre de relier proprement et directement les variables du changement technologique et leurs conséquences sur l'emploi dans l'entreprise considérée. L'inconvénient de cette approche est qu'elle ne prend pas en compte les mécanismes de compensation qui sont à l'œuvre à de niveaux plus agrégés que celui de l'entreprise (ce qui est donc susceptible d'engendrer un biais de surestimation du nombre d'emplois détruits).La littérature utilisant cette approche par entreprise est plus récente que celle qui utilise les autres et elle s'est développée rapidement. Parmi ces études, nous rappelons Greenan et Guellec (2000), Peters (2004), Harrison et al. (2008), Bogliacino, Piva et Vivarelli (2011).
- une **approche au niveau de l'individu**. Des études sur la base de données d'enquête au niveau individuel commencent également à être menées (par exemple, Le Ru, 2016[118] sur le cas français). L'intérêt de ce genre d'études est qu'elles prennent en compte la réalité du travail accompli par chaque individu au sein d'une même profession : elles ne partent donc pas d'un postulat théorique, élaboré à cette fin à l'aide d'un panel d'experts, mais se fondent sur ce que l'individu déclare sur son activité professionnelle. Mais ce qui constitue le grand avantage de cette méthode en est également la limite principale : il s'agit de données déclaratives, qui peuvent donc être biaisées par la perception que l'individu a de son propre travail.

**Tableau 8 : Classement des niveaux d'analyse selon deux dimensions clés**

| Validité externe (*possibilité de généralisation*) | Validité interne (*robustesse empirique*) | |
|---|---|---|
| | + | - |
| + | | Approche macroéconomique |
| - | Approches micro-économétriques | Approche par secteur |

*Source : COE*

Quel que soit le niveau retenu, la notion même d'automatisation des emplois reste d'ailleurs plus complexe qu'une simple possibilité de substitution d'un homme par une machine, poste pour poste. C'est d'abord l'environnement global de travail qui se transforme du fait des progrès de l'automatisation et de la numérisation : l'environnement de travail devient « intelligent » en cela que moins d'hommes peuvent réaliser plus de tâches, mieux et plus vite[119].

## 1.4 Quel horizon temporel prendre en compte ?

Une autre question fondamentale à prendre en compte est celle de la temporalité des effets des technologies sur l'emploi.

[118] Le Ru N. (2016), « L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait, ce qu'on ignore », *op. cit.*

[119] Selon l'analyse faite par Yves Caseau, chef de l'Agence numérique du groupe AXA.

Les études prospectives prennent souvent en considération un horizon temporel de 10 à 20 ans : c'est le cas notamment des études de Frey et Osborne (2013) et de Arntz, Gregory et Zierahn (2016). Elles partent pour l'essentiel du postulat que c'est la durée la plus probable pour que le potentiel d'automatisation existant à l'instant t se diffuse largement à la sphère productive et puisse alors jouer à plein.

Cet horizon temporel n'est pourtant pas nécessairement le plus convaincant. D'abord car il ignore la vitesse de déplacement de la frontière technologique qui peut être variable suivant la technologie concernée et la combinaison entre technologies. Ensuite car ces études prospectives ne cherchent à mesurer qu'un seul effet des technologies : le risque de substitution de l'homme par la machine. Elles ignorent donc le jeu des mécanismes de compensation qui ont leur rythme propre.

L'analyse de l'horizon temporel doit donc dépasser le seul horizon retenu par les études prospectives.

D'après l'analyse 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 (*cf.* deuxième partie, 2.2). Une question est alors celle de 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.

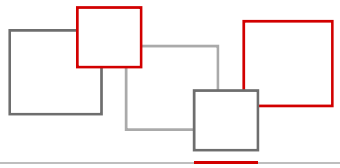
Mais les études disponibles ne permettent pas de statuer sur la durée de cette phase de transition, ni des facteurs pouvant l'influencer (à la hausse ou à la baisse), ni sur le rythme d'évolution de l'emploi à l'intérieur de cette phase de transition.

Sans permettre de répondre de façon précise à la question de la durée de la période de transition, les travaux empiriques confirment des effets différenciées de la diffusion de technologies (en particulier lorsqu'elles constituent des innovations de procédés) selon que l'on se situe à court ou à moyen terme. C'est ce qui ressort notamment d'un travail de Vincenzo Spiezia (OCDE) qui montre que l'effet de la diffusion de technologies sur l'emploi n'est pas univoque et dépend de l'horizon temporel considéré. Dans ce modèle qui repose sur un scénario d'une baisse de 5 % du prix des TIC et une hypothèse de substitution quasi-parfaite des facteurs, la baisse du coût des TIC serait associée à une réduction temporaire de l'emploi avant que l'emploi ne retrouve son niveau initial à plus long terme. L'augmentation de la productivité des entreprises en lien avec la modification de leur méthode de production entraine en effet une baisse des prix et un accroissement induit de la demande.

Il montre surtout que la durée de la période de transition n'est pas figée et que, durant cette phase de transition, les effets possibles sur l'emploi (rythme de destruction, de création et de recomposition des emplois entre secteurs) ne sont pas univoques.

De fait, la durée de cette période de transition pour les changements technologiques en cours se révèle par ailleurs d'autant plus difficile à évaluer qu'elle est largement liée 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. C'est ce qui sous-tend pour une bonne part le débat entre « techno pessimistes » et « techno optimistes » qui s'articule notamment autour de la question de savoir si les révolutions technologiques actuelles se diffuseront à la même vitesse et avec la même intensité que les révolutions passées ;



- le jeu des mécanismes de compensation qui est subordonné à un ensemble de facteurs institutionnels notamment dont dépend l'ampleur et la vitesse de réalisation de ces mécanismes.

## 1.5 Comment résoudre les biais d'estimation potentiels des analyses prospectives ?

Dans le cas des analyses prospectives, il convient de bien garder à l'esprit plusieurs biais susceptibles de conduire à une interprétation erronée des résultats.

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 concourent à engendrer ce biais dans les évaluations il est possible de relever notamment :

- les questions d'**acceptation sociale** de la substitution de l'emploi des travailleurs – On donne souvent l'exemple de la diffusion des caisses automatiques dans la distribution : bien que ces dernières soient *a priori* en mesure de se substituer à un nombre important des emplois de caissiers, le nombre de caissiers n'a diminué que d'environ 10 % depuis la mise en service effective de caisses automatiques en France (Le Ru, 2016) ;
- le **contexte institutionnel et réglementaire :** il influe sur le comportement des agents économiques et la décision des entreprises de recourir ou non à l'automatisation, et si elles y recourent sur la durée préalable à sa mise en œuvre ;
- la **rentabilité économique** : elle constitue l'un des facteurs principaux qui est susceptible d'expliquer l'écart entre potentiel d'automatisation et automatisation effective. En effet, malgré les baisses des prix des TIC ou des robots au cours des dernières décennies, ces nouvelles technologies requièrent souvent des investissements initiaux pour les entreprises. Leurs montants constituent des barrières à l'entrée significatives, ou peuvent se révéler plus onéreux que ceux des salaires versés aux travailleurs. Feng et Graetz (2016)[120] essaient de prendre en compte cela en rajoutant au critère des goulets d'étranglement de la frontière technologique, le nombre d'années nécessaires afin d'apprendre à réaliser efficacement les tâches prises en compte. De son côté, le cabinet Roland Berger a cherché à comparer l'évolution des coûts d'usage des robots industriels et du coût du travail : alors que le coût d'usage des robots était plus de 10 fois supérieur à celui du travail en 1990, les deux coûts seraient en 2015 équivalents ; à horizon 2020, le coût d'usage des robots pourrait être significativement inférieur à celui du travail[121] ;
- les **créations d'emploi** : il s'agit de la dernière « inconnue » de ces estimations. 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 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.

[120] Feng A. et Graetz G. (2016), *The Impact of Technology on the Labour Market*, Manuscrit non publié.

[121] Cabinet Roland Berger (2016), *Of robots and men – in logistics.*

Ces études ont en outre une approche statique : elles raisonnent à volume, structure et localisation de l'emploi inchangés si les nouvelles technologies n'étaient pas adoptées. Or, ne serait-ce qu'au niveau micro-économique, dans un contexte de forte concurrence nationale et internationale, si une entreprise n'adopte pas les nouvelles technologies, la référence réelle n'est pas la stabilité de l'emploi : une entreprise peut disparaître.

A l'inverse, 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[122] : les critères éloignant le risque d'automatisation dans ces études sont par exemple les capacités d'interaction sociale, la dextérité ou la créativité, soit les goulets d'étranglement de la frontière technologique actuelle. Or, ces goulets d'étranglement ne sont ni facilement identifiables, ni aisément prévisibles. Ainsi, de nombreux projets scientifiques cherchent actuellement à rendre les machines plus habiles et plus aptes à gérer des interactions avec les humains. Le fait qu'aujourd'hui, telle ou telle tâche soit impossible à automatiser ne signifie pas que, demain, cela soit encore le cas. L'exemple de la voiture autonome – le plus souvent conçue comme pratiquement impossible voici une dizaine d'années – en est une illustration, même si sa diffusion effective rencontrera nécessairement de nombreux obstacles.

## 2 Les impacts sur le volume de l'emploi : les études existantes, la nouvelle étude du Conseil

Le débat sur l'impact de l'automatisation sur l'emploi se focalise depuis peu, en particulier depuis la publication de l'étude de Frey et Osborne (2013), sur la question du volume de l'emploi concerné et des métiers qui sont les plus exposés au risque d'automatisation. Plus précisément encore, le débat tend à se centrer sur une seule approche prospective visant à estimer la part d'emplois potentiellement menacés de disparition du fait des progrès de l'automatisation.

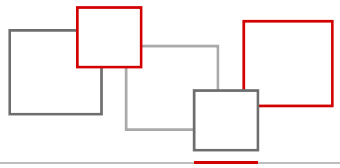
Cette approche est pourtant loin d'épuiser le débat sur les effets sur le volume de l'emploi.

D'une part, de nombreuses études empiriques ont cherché à évaluer les effets des innovations technologiques sur le volume de l'emploi au cours des trente dernières années : elles tendent à converger, malgré les différences d'approche et de méthode, pour conclure que ces effets ont été globalement favorables.

D'autre part, même en s'inscrivant dans une démarche prospective, il convient aussi de chercher à apprécier le potentiel de création d'emplois (directs et indirects) inhérents à ces nouvelles technologies.

Enfin, les études prospectives existantes méritent d'être complétées par une approche visant à apprécier non seulement les emplois menacés, mais plus largement les emplois existants susceptibles d'être profondément transformés. Pour ce faire, le Secrétariat général du Conseil d'orientation pour l'emploi a notamment réalisé une étude statistique visant à apprécier, pour la France, la part des emplois qui seraient potentiellement concernés par l'automatisation, mais aussi à la décliner par famille professionnelle.

[122] Comme l'a notamment souligné Raja Chatila, Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), lors de son audition devant le COE le 13 septembre 2016.



## 2.1 Analyse des études rétrospectives : les innovations technologiques de produit et de procédé ont été globalement favorables à l'emploi au cours des trente dernières années

### 2.1.1 Les résultats empiriques convergent malgré des différences selon le niveau d'analyse (agrégé, sectoriel ou entreprise) et les choix méthodologiques retenus

Une nouvelle vague d'études a cherché à évaluer le risque de substitution des emplois par des machines ou des logiciels. Ces études s'inscrivent le plus souvent dans une approche uniquement prospective : elles cherchent à quantifier les emplois susceptibles d'être détruits du fait des progrès liés à l'automatisation.

La littérature économique s'intéresse toutefois depuis longtemps aux liens entre technologie, innovation et emploi. La théorie économique peinant à fournir une réponse univoque et définitive quant aux effets des technologies sur l'emploi (cf Deuxième partie, 2.2), de nombreuses études empiriques se sont intéressées aux effets des innovations induites par l'émergence de nouvelles technologies sur le volume de l'emploi. Leurs résultats varient en fonction des choix méthodologiques : d'une part celui de la variable du progrès technologique (dépenses en R & D, brevets déposés, investissements en nouveaux équipements ou logiciels, introduction d'innovation de produit ou de procédé) et d'autre part du niveau d'analyse (économie nationale, sectorielle ou entreprises). En outre, ces études empiriques font face à la difficulté d'isoler les effets du progrès technologique sur le volume de l'emploi par rapport à d'autres facteurs qui lui sont pourtant très liés comme l'accélération des flux commerciaux internationaux et en particulier la concurrence des importations en provenance des pays émergents. La littérature n'est à ce jour pas en mesure de quantifier précisément le poids respectif de la technologie et du commerce sur les évolutions du volume de l'emploi. Afin de répondre à cette difficulté, ces travaux s'attachent à tester la robustesse de leurs résultats quand des variables représentant les facteurs explicatifs alternatifs sont introduites.

Ces évaluations *a posteriori* des impacts des technologies sur les trente dernières années sur l'emploi d'un point de vue quantitatif peuvent éclairer le débat sur les impacts à venir des nouvelles technologies qui élargissent *a priori* les possibilités d'automatisation sur le volume de l'emploi.

Le tableau 9 présente une synthèse des principales études rétrospectives, en indiquant les méthodologies retenues et les principaux résultats obtenus.

**Tableau 9 : Récapitulatif des principales études rétrospectives évaluant l'impact du progrès technologique sur l'emploi**

| Etude | Variable dépendante et indicateur du progrès technologique | Données | Pays et période | Résultats |
|---|---|---|---|---|
| **Niveau micro** | | | | |
| Hölzl (2009)[123] | Croissance de l'emploi et R&D | CIS 3[124] | 16 pays (1998-2000) | Effet **positif** pour les entreprises à forte croissance, dans les pays proches de la frontière technologique |
| Bogliacino et al (2012)[125] | Croissance de l'emploi et R&D | 700 grandes entreprises | Europe (1990-2008) | Effet **positif** dans les services et pour les industries high-tech |
| Coad et Rao (2011)[126] | Croissance de l'emploi et R&D et brevets | Computstat & NBER Innovation | Etats-Unis (1963-1997) | Effet **positif** pour les entreprises à forte croissance dans le high tech |
| Van Roy et al (2015)[127] | Croissance de l'emploi et brevets pondérés par les citations | Panel | Europe (2003-2012) | Effet **positif** mais seulement les entreprises manufacturières high-tech. D'après les estimations, quand une entreprise double le nombre de brevets déposés alors la demande de travail augmente de 5%. |
| Harrison et al (2014)[128] | Croissance de l'emploi et innovations de procédé et de produits | CIS 3 | Espagne, Allemagne, Royaume-Uni, France (1998-2000) | Effet **négatif** de l'innovation de procédé à production constante. Effet **positif** de l'innovation de produit. Les résultats chiffrés sont détaillés infra. |

[123] Hölzl, W. (2009), « Is the R&D behaviour of fast-growing SMEs different? Evidence from CIS III data for 16 countries », *Small Business Economics* 33 (1), 59-75.

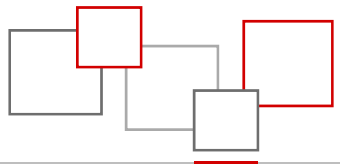
[124] L'Enquête communautaire sur l'innovation (*Community Innovation Survey*) a lieu dans toute l'Union européenne tous les deux ans. Elle rassemble des informations sur les innovations introduites par les entreprises (marchandes ou exploitantes de plus de 10 salariés), les mécanismes en jeu, les freins et les effets économiques.

[125] Bogliacino, F., M. Piva, and M. Vivarelli (2012), « R&D and employment: An application of the LSDVC estimator using European microdata », *Economics Letters* 116 (1), 56{59.

[126] Coad, A. and R. Rao (2011), The firm-level employment effects of innovations in high-tech US manufacturing industries, *Journal of Evolutionary Economics* 21 (2), 255-283.

[127] Van Roy, V., D. Vertesy, and M. Vivarelli (2015), « Innovation and employment in patenting firms: Empirical evidence from Europe», *IZA Discussion Paper No. 9147*, Institute for the Study of Labor (IZA).

[128] Harrison, R., J. Jaumandreu, J. Mairesse, and B. Peters (2014), « Does innovation stimulate employment? A firm-level analysis using comparable micro-data from four european countries », *International Journal of Industrial Organization* 35, 29-43.



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lachenmaier and Rottmann (2011)[129] | Croissance de l'emploi et innovations de procédé et de produits | Ifo Innovation Survey (panel) | Allemagne (1982-2002) | Effet **positif** de l'innovation de procédé, supérieur à l'effet de l'innovation de produit |
| Evangelista et Vezzani (2012)[130] | Croissance de l'emploi et innovations de procédé, de produits et d'organisation | CIS 4 | 6 pays européens (2002-2004) | Effet **positif** des innovations de procédé et de produit dans l'industrie et les services. Effet **négatif** de l'innovation de procédé quand elle est combinée avec de l'innovation d'organisation |
| **Niveau sectoriel** | | | | |
| Mastrostefano et Pianta (2009)[131] | Croissance de l'emploi et demande, salaires, diffusion de la technologie et innovation de produit | CIS 2-3, OCDE STAN (industrie) | 10 pays européens (1994-2001) | Effet **positif** sur la demande ; pas d'effet via les salaires, peu d'effet de la diffusion de la technologie ; effet **positif** de l'innovation de produit mais seulement pour les secteurs innovants |
| Buerger et al (2012)[132] | Croissance de l'emploi et R&D et brevets | Données régionales | Allemagne (1999-2005) | Sur les quatre secteurs examinés, les effets sont **positifs** dans l'électrique/électronique et les instruments médicaux mais **nuls** pour l'industrie chimique et pour l'industrie de l'équipement de transport. |
| Greenan et Guellec (2000)[133] | Flux de travailleurs ; croissance de l'emploi et innovations de produit et de procédé | EAE (enquête annuelle entreprise) et SUSE (Insee) | France (1986-1990) | Les effets de l'innovation de procédé sont **nuls**, alors que les effets de l'innovation de produit sont **positifs**. |
| Lucchese et Pianta (2012)[134] | Croissance de l'emploi et innovation de produit et de procédé (croissance/décroissance de l'entreprise) | CIS 2-3-4, OCDE STAN | Allemagne, France, Italie, Royaume Uni (1995-2007) | En période de croissance, effet **positif** de l'innovation de produit ; effet **négatif** de l'innovation de procédé en période de décroissance |
| **Niveau agrégé** | | | | |

[129] Lachenmaier, S. and H. Rottmann (2011), « Effects of innovation on employment: A dynamic panel Analysis», International Journal of Industrial Organization 29 (2), 210-220.

[130] Evangelista, R. and A. Vezzani (2012), « The impact of technological and organizational innovations on employment in European firms », *Industrial and Corporate Change* 21 (4), 871-899.

[131] Mastrostefano, V. and M. Pianta (2009), « Technology and jobs», *Economics of Innovation and New Technology* 18 (8), 729-741.

[132] Buerger, M., T. Broekel, and A. Coad (2012). "Regional dynamics of innovation: Investigating the coevolution of patents, research and development (R&D), and employment », *Regional Studies* 46 (5), 565-582.

[133] Greenan N., et Guellec D. (2000), « Technological innovation and employment reallocation », *Labour*, 14.

[134] Lucchese M. et Pianta M. (2012), « Innovation and employment in economic cycles », *Comparative Economic Studies* 54 (2), 341-359.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Simonetti, Taylor et Vivarelli (2000)[135] | Croissance de l'emploi et brevets | Comptes nationaux, OCDE, ILO | Etats-Unis, Italie, France, Japon (1965-1993) | Effet **négatif** de l'innovation de procédé<br>Mais **compensé** par les mécanismes de compensation par la baisse des prix et l'augmentation des revenus<br>Effet **positif** de l'innovation de produit mais seulement pour la France et les Etats-Unis (proximité à la frontière technologique) |
| Pak et Poissonnier (2016) | Décomposition comptable : contribution de la technologie (3 variables), du commerce et de la consommation aux évolutions de l'emploi | Tableaux entrée/sortie et enquête emploi | France (1983-2010) | Contribution **négative** - sauf pour l'emploi qualifié.<br>Les chiffres sont détaillés infra. |
| Spiezia, Polder, Presidente, (2016)[136] | Demande de travail estimée et baisse du coût du capital TIC<br>*NB :* l'indicateur choisi ici n'est pas du même ordre que les précédents qui sont examinés : il s'agit du coût du capital TIC | Base de données sur la productivité de l'OCDE ; STAN ; Comptes annuels nationaux, base de données sur l'éducation (EAG) de l'OCDE | 18 pays de l'OCDE dont la France (1990-2012) | Effet **nul** à long terme sur l'emploi |
| Graetz, Michaels (2016) | Croissance de l'emploi (entre autres) et densité en robots industriels dans l'économie<br>*NB* : de la même manière que l'étude ci-dessus, l'indicateur mesure l'effet d'un seul type de technologie à savoir les robots industriels | Données de la Fédération internationale de la robotique et EUKLEMS (base de données européennes sur la productivité) | 17 pays dont la France (1993-2007) | Effet **positif** sur l'emploi |
| Gregory, Salomons, Zierahn, (2016)[137] | Croissance de l'emploi local et indice de l'intensité en emplois routiniers<br>*NB :* encore une fois, l'indicateur choisi ici a pour but de représenter le progrès technologique défavorable au travail routinier, il est donc fondé sur une certaine théorie (Autor) | Enquête sur la main-d'œuvre en Europe (Eurostat), DOT , STAN | 27 pays dont la France (1999-2010) | Effet **positif** sur l'emploi |

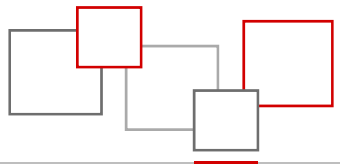
*Source : Ce tableau a été construit à partir de la synthèse réalisée par Calvino et Virgillito[138] (2016), de la revue de littérature de Vivarelli (2014)[139] ainsi que des études repérées au cours de nos travaux*

[135] Simonetti R., Taylor K., et Vivarelli M. (2000), « Modelling the Employment Impact Innovation » in *The Employment Impact of Innovation: Evidence and Policy*, p.26-43, London : Routledge.

[136] Spiezia V, Polder M., et Presidente G. (2016), « ICTs and Jobs: complements or substitutes? The effects of ICT investment on labour market demand by skills and by industry in selected OECD countries », 2016 Ministerial Meeting on the digital economy, Technical Report, *OECD Publishings ;* Audition de M. Vincenzo Spiezia, Chef d'unité à la direction de la science, de la technologie et de l'innovation à l'OCDE devant le COE le 27 septembre 2016.

[137] Gregory T., Salomons A., et Zierahn U. (2016), *op. cit.*

[138] Calvino F. et Virgillito M.-E. (2016), « The innovation employment nexus : A critical survey of theory and empirics », *Non publié.*



Les études empiriques rétrospectives sur la France au cours des trente dernières années tendent à montrer que les innovations technologiques ont eu globalement un effet positif sur l'emploi[140].

Ainsi, l'étude d'Harrison et al[141] en 2014, réalisée au niveau de l'entreprise examine le lien entre croissance de l'emploi et innovations de produit ou de procédé[142]. Elle analyse un échantillon de 20 000 entreprises de l'industrie et des services françaises, espagnoles, allemandes et britanniques sur la période 1998-2000. Elle montre que la croissance de la productivité renforcée par l'innovation de procédé est une source de destructions d'emplois quand elle n'entraine pas une augmentation de la production. Mais l'introduction de nouveaux produits ou services crée au contraire de l'emploi via les gains de parts de marchés et la création de nouveaux marchés pour les entreprises qui innovent.

Les entreprises industrielles et tertiaires qui ont introduit des innovations de procédé ont connu une croissance de leur productivité nettement plus forte que les entreprises non-innovantes. Cette croissance de la productivité n'a toutefois conduit à une augmentation de l'emploi plus importante (par rapport aux entreprises industrielles et tertiaires non-innovantes) que lorsque les ventes ont également plus augmenté. Or cette évolution des ventes diffère entre industrie et services. Parmi les 4631 entreprises industrielles françaises, celles ont qui ont introduit uniquement des innovations de procédé (7,1 % de l'échantillon), ont connu, entre 1998 et 2000, une croissance de l'emploi de 7,5 % (contre 7 % pour celles qui n'ont pas du tout innové – soit 47,7 % de l'échantillon), de leur productivité de 5,9 % (contre 4 %) et de leurs ventes de 13,4 % (contre 11 %). L'introduction de nouvelles techniques de production a donc permis à ces entreprises industrielles d'être plus productives, de vendre plus et d'embaucher plus de travailleurs que celles qui n'ont pas innové.

A l'inverse, pour les 1653 entreprises de service françaises, celles qui n'ont introduit que des innovations de procédé (8,5 % de l'échantillon) ont connu une croissance de l'emploi sur la période de 9,9 % (contre 14,2 % pour les non-innovantes soit 60,2 % de l'échantillon), de leur productivité de 6,2 % (contre 2,1 %) et de leur ventes de 16,1 % (contre 16,3 %). Dans le cas des entreprises de service, l'introduction de nouveaux procédés a permis à ces entreprises de gagner en productivité sans que ces gains ne se traduisent par une augmentation des ventes plus importante que celles qui n'ont pas introduit d'innovations. Les résultats sur les entreprises de service montrent donc que, quand l'innovation de procédé ne permet pas d'augmenter la production (16,1 % contre 16,3 %), les gains de productivité se traduisent alors par une réduction de la demande en travail (9,9 % de croissance de l'emploi pour les innovateurs de procédé contre 14,2 % pour les non-innovateurs).

Les effets sont différents quand on observe les entreprises ayant réalisé des innovations de produit : ces entreprises, qu'elles soient industrielles ou de service, ont toutes connu une croissance de leurs ventes et de l'emploi suite à l'introduction d'un nouveau produit ou service nettement plus importante que les entreprises non-innovantes. Parmi les entreprises industrielles qui ont introduit de nouveaux produits (45,2 % de l'échantillon),

---

[139] Vivarelli M. (2014), *op. cit.*

[140] Elles n'aboutissent pas nécessairement à des résultats similaires car ils dépendent du niveau d'analyse, de la variable du progrès technologique, du type de données et de la période.

[141] Harrison R. et al (2014), *op. cit.*

[142] Les informations sur l'introduction d'innovations de produit et procédé sont auto-déclarées par les entreprises dans l'Enquête communautaire sur l'innovation.

elles ont connu, sur la période, une croissance de l'emploi de 9,8 % (contre 7 % pour les non-innovantes), de la productivité de 7,5 % (contre 4 %) et de leurs ventes de 15 % (contre 11 %). Les entreprises de services qui ont introduit de nouveaux produits (31,3 % de l'échantillon), ont connu une croissance de l'emploi de 19,4 % (contre 14,2 % pour celles qui n'ont pas innové– soit 60,2 % de l'échantillon), de la productivité de 3,7 % (contre 2,1 %) et de leurs ventes de 23,1 % (contre 16,3 %). Les entreprises industrielles et de services qui introduisent de nouveaux produits ont donc tendance à augmenter significativement leur demande en travail.

Greenan et Guellec[143] (2000) essaient pour leur part d'isoler les effets de l'innovation technologique sur les dynamiques de l'emploi dans les entreprises et les secteurs. Ils étudient 15 000 entreprises françaises entre 1986 et 1990. Ils démontrent que les entreprises et les secteurs qui innovent détruisent moins d'emplois voire en créent plus qu'ils n'en détruisent**.** Toutefois, les résultats sont plus contrastés quand la distinction entre innovation de produit et de procédé est introduite. Au niveau sectoriel, les innovations de procédé ne créent pas d'emploi alors que les innovations de produit ont un effet positif significatif. Au niveau des entreprises, c'est au contraire l'innovation de procédé qui tire les créations d'emplois, alors que l'innovation de produit n'a que peu d'effet. Les auteurs expliquent ainsi que l'innovation de procédé entraine des créations d'emplois dans les entreprises qui l'utilisent, mais ce au dépend des concurrents (donc effet positif de l'innovation de procédé au niveau micro). Elle n'agrandit pas la taille du marché, elle permet des gains de parts de marché pour ceux qui l'implémentent (mais cet effet est négatif ou nul au niveau sectoriel). Au contraire, les innovations de produit augmentent les ventes de l'entreprise mais sans forcément se substituer à celles des concurrents : si l'effet de l'innovation de produit est faible au niveau de l'entreprise, il est plus important au niveau sectoriel.

D'après les estimations des auteurs, et avec le postulat de rendements d'échelle constants, une entreprise qui introduit une innovation de procédé baisse le prix de ses produits de 14 % en moyenne sur une période de 5 ans. Cette baisse des prix entraîne une augmentation de la demande de 19 %. Si la demande reste à son niveau initial et n'augmente donc pas sous l'effet des baisses de prix, alors l'entreprise réduit sa demande en travail de 14 % sous l'effet des gains de productivité. Pourtant, leurs résultats montrent que l'effet productivité et l'effet demande se compensent puisque les entreprises qui ont introduit des innovations de procédé ont connu une croissance de l'emploi de 5 % entre 1986 et 1990. Celles qui ont introduit des innovations de produit ont connu une croissance plus faible, de 1,5 % sur la période.

Dans une étude à paraître[144], Pak et Poissonier (2016) analysent, au niveau agrégé, avec une décomposition comptable le rôle du commerce, de la technologie et de la consommation dans les évolutions de la demande de travail en France entre 1983 et 2010. Leur analyse au niveau agrégé permet de prendre en compte et d'isoler les effets respectifs sur l'emploi des trois facteurs dans l'économie globale. Toutefois elle présente certaines limites. Ainsi cette méthode ne mesure que les effets sur l'emploi à relativement court terme et donc n'intègre a priori pas les effets de bouclage à long terme. En outre elle n'isole pas l'interaction entre les trois facteurs – par exemple l'effet revenu dans la consommation finale qui peut être associé à la baisse des prix grâce à l'introduction d'innovations de procédé (facteur technologie).

Les auteurs considèrent que la technologie a eu une contribution négative sur l'emploi en France sauf sur l'emploi des plus qualifiés. D'après leurs estimations, la technologie aurait contribué sur la période 1983-2010 à

[143] Greenan N. et Guellec D. (2000), *op. cit.*

[144] Audition de Sébastien Roux, chef du département des études économiques, et Olivier Simon, chef de la division des études macroéconomiques de l'INSEE, devant le COE le 4 octobre 2016.

une baisse annuelle de l'emploi de 0,9 %. Tous les travailleurs ne sont néanmoins pas affectés de la même manière par la technologie : elle aurait contribué à une croissance de l'emploi pour les qualifications élevées de 1,7 %, mais une baisse pour les qualifications des niveaux intermédiaire supérieur (–0,3 %) et inférieur (- 1,2 %) ainsi que faible (– 1,5 %).

Simonetti, Taylor et Vivarelli (2000)[145] ont mené une étude au niveau agrégé afin de tester empiriquement l'existence et l'ampleur des mécanismes de compensation identifiés par la théorie économique. Ils analysent des données américaines, françaises, italiennes et japonaises sur la période 1965-1993. Leur première conclusion est que l'innovation de procédé a un effet négatif sur l'emploi à court terme. Dans le cas français, cet effet est compensé par trois mécanismes : la baisse des prix, l'augmentation des revenus et les nouvelles machines. L'innovation de produit a un effet positif.

### 2.1.2 Les innovations technologiques ont agi sur l'emploi via des canaux différents selon la nature des innovations et le niveau considéré

Bien que les études portant sur le cas français ou sur d'autres pays n'aboutissent pas à des résultats univoques, quelques éléments de diagnostic partagés peuvent être identifiés[146] aux trois niveaux d'analyse.

Au niveau de l'entreprise, les analyses relèvent une association positive entre l'innovation mesurée par l'intensité en R & D ou les brevets et la croissance de l'emploi. Cette association est d'autant plus forte pour les entreprises à forte croissance, intensives en technologies qui opèrent dans des pays proches de la frontière technologique. Elles montrent aussi que l'innovation de produit a un impact positif sur l'emploi même lorsque l'on prend en compte le potentiel de substituabilité des anciens produits par les nouveaux. Au contraire, les effets de l'innovation de procédé sont moins univoques. Ils dépendent effectivement de l'interaction entre plusieurs forces - notamment l'effet direct de réduction de la demande de travail à production constante), et l'effet indirect positif (au travers du mécanisme de compensation par la baisse des prix des produits). Certaines études soulignent que l'effet négatif direct est souvent plus faible que l'effet indirect positif.

Au niveau sectoriel, les études soulignent un effet positif de l'innovation sur l'emploi même si les spécificités de chaque secteur et notamment les caractéristiques technologiques (orientation vers l'innovation de produit ou de procédé) pèsent sur l'ampleur de cet effet. L'innovation de produit est positivement associée à l'emploi dans un même secteur quand elle crée un nouveau marché.

Au niveau agrégé, l'innovation de produit a un effet positif sur l'emploi, à condition que les nouveaux produits ne « cannibalisent » pas les anciens. D'abord parce que la production de ces nouveaux produits et services crée de la demande en travail : c'est le mécanisme des « nouvelles machines ». En outre, ces nouveaux produits sont à l'origine d'une nouvelle demande (augmentation des dépenses de consommation). L'innovation de procédé a de son côté un effet direct plutôt négatif mais qui peut être compensé voire dépassé (création nette) par des mécanismes de compensation indirects notamment via la hausse de la demande sous l'effet de la baisse des prix ou de la hausse des revenus. L'effet total de l'innovation de procédé dépend donc de la balance entre ces deux forces contradictoires et du temps nécessaire à l'ajustement. Or, comme on l'a vu, les études empiriques ne permettent pas à ce stade d'estimer de façon robuste la durée de cette période de transition.

[145] Simonetti R., Taylor K. et Vivarelli M. (2000) *op. cit.*

[146] Ces conclusions sont tirées de l'analyse critique des études empiriques par Calvino F et Virgillito M-E (2016), *op. cit.*

**Tableau 10 : Les effets de l'innovation de produit et de procédé aux trois niveaux d'analyse** [147]

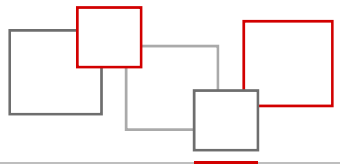
| | Innovation de produit | Innovation de procédé |
|---|---|---|
| **Au niveau micro** | Effet **positif** sur l'emploi<br>*Même quand le remplacement des anciens produits par les nouveaux est pris en compte* | Effet (direct) **négatif** sur l'emploi<br>*Quand la production est constante*<br>Effet (indirect) **positif** sur l'emploi<br>*Quand la production augmente* |
| **Au niveau sectoriel** | Effet **nul** sur l'emploi<br>*Quand l'innovation permet à une entreprise de gagner des parts de marché au dépend d'une autre au sein du même secteur (l'emploi créé compense juste l'emploi détruit)*<br>Effet **positif** sur l'emploi<br>*Quand l'innovation permet de créer un nouveau marché* | Effet (direct) **négatif** sur l'emploi<br>*Quand elle ne permet que des gains de parts de marché au sein du même secteur ou qu'elle entraine une réallocation vers d'autres secteurs*<br>Effet (indirect) **positif** sur l'emploi<br>*Dépend des secteurs* |
| **Au niveau agrégé** | Effet **positif** sur l'emploi<br>*Quand le nouveau produit ne se substitue pas à l'ancien*<br>*Dépend de la capacité de l'économie à être radicalement innovante (proximité à la frontière technologique)* | Effet **négatif** à court terme (direct) sur l'emploi<br>*Quand le capital permet de remplacer le travail à moindre coût*<br>Effet **positif** à moyen terme (indirect) sur l'emploi<br>*Compensation par la hausse de la demande (baisse des prix, hausse des revenus)*<br>Effet total **nul ou positif** à long terme<br>*Dépend de l'équilibre des effets et du temps d'ajustement nécessaire* |

*Source : Calvino F et Virgillito M-E, (2016), op. cit. Traitement COE*

### 2.1.3 Les effets passés des seules technologies numériques ou robotiques sur l'emploi sont pour l'instant peu documentés

Si l'on s'intéresse maintenant à l'impact sur le volume de l'emploi des seules technologies numériques et robotiques, quelques études récentes ont cherché à évaluer *a posteriori* les effets de certaines des technologies de la

[147] Ce tableau est repris et adapté de l'étude de Calvino F. et Virgillito M.-E. (2016), *op. cit.*



révolution numérique et robotique sur le volume de l'emploi. Ces analyses utilisent de nouveaux indicateurs du progrès technologique et montrent qu'au niveau agrégé les effets sur l'emploi sont, à moyen-long terme, nuls ou positifs.

L'OCDE a réalisé en 2016 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[148.] 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[149]) 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[150] 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[151] sur la période 1993 à 2007[152]. 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 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 »)[153]. Des données sur 238 régions de 27 pays européens sont analysées sur la période 1999-2010[154]. Selon eux, trois effets du progrès technologique peuvent influer sur le volume de l'emploi.

---

[148] Spiezia V., Polder M. et Presidente G. (2016), *op. cit.*

[149] D'après leurs estimations, le travail et le capital ont une élasticité de substitution égale à 1 sur le long terme.

[150] Graetz G. et Michaels G. (2016), « Robots at Work », *CEPR Discussion Paper*, Centre for Economic Policy Research. Non-publié, juin. Audition de Georg Graetz, Chercheur en économie, Université d'Uppsala, et Chercheur associé au Centre for economic performance de la London School of economics et à l'IZA, devant le COE le 11 octobre 2016.

[151] Données sur les robots de la Fédération internationale de la robotique (2006) et données ISO qui fournissent une description des tâches des travailleurs (et notamment des tâches qui impliquent des robots)

[152] Ils prennent les données sur l'utilisation des robots ; classifient les tâches que les robots sont capables de faire en 2007 ; prennent la description des tâches ISO de 1980 ; codent comme « remplaçable » ou automatisable toute tâche décrite en 1980 et qui peut en 2007 être faite par un robot ; mesurent ce que représente la part des heures travaillées à faire des tâches remplaçables et ils en concluent que le niveau d'automatibilité des travailleurs est corrélé à une augmentation de l'utilisation des robots mais seulement quand le prix des robots baisse.

[153] Gregory T., Salomons A. et Zierahn U. (2016), *op. cit.*

[154] Pour analyser les effets du progrès technologique qui permet la substitution croissante des tâches routinières par des technologies numériques et robotiques, les auteurs modélisent l'arbitrage des entreprises entre capital et travail. Pour ce faire, ils mobilisent des résultats issus de travaux précédents notamment de David Autor qui a calculé l'intensité en tâches routinières des métiers. Les auteurs estiment ensuite -en fonction de la composition de l'emploi par zones considérées- le degré auquel l'emploi est exposé à la substitution par du capital informatique. Enfin cela leur permet d'analyser les arbitrages faits par les entreprises dans les régions en fonction de la densité en travailleurs substituables par du capital informatique.

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

## 2.2 Analyse des études prospectives : en fonction des méthodologies retenues, les effets potentiels sur le volume de l'emploi seraient significatifs, et dans certains cas massifs

### 2.2.1 Les principales études prospectives disponibles se focalisent sur le risque de destruction d'emploi sans s'accorder sur l'ampleur de ce risque

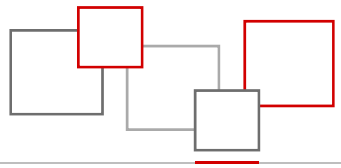
Depuis quelques années, parallèlement aux nouveaux changements induits par l'automatisation – et plus récemment par la numérisation et les avancées du *big data*, de nombreuses études économiques prospectives ont cherché à quantifier le risque de substitution du travail par le capital inhérent à l'extension des possibilités d'automatisation. Par définition, en s'attachant à tenter de quantifier les emplois potentiellement substituables, ces études ne portent que sur le risque de destruction d'emplois lié à l'automatisation et la numérisation. Elles ne prennent donc en compte ni les effets induits, ni le potentiel de créations d'emplois.

Les résultats de ces études sont loin d'être convergents. En effet, en fonction de l'approche méthodologique adoptée, les études prospectives existantes (*cf.* par exemple Frey et Osborne, 2013 ; Arntz, Gregory et Zierahn, 2016 ; Le Ru, 2016 ; McKinsey, 2016) affichent des résultats très disparates en matière de nombre d'emplois à fort risque d'automatisation.

Le Conseil a souhaité procéder ici à une analyse comparée des principales études (au vu notamment de la méthodologie utilisée et de leur prise en compte de la situation française), de manière à identifier les résultats, les différences les plus flagrantes, et à essayer de les expliquer à la lumière des méthodologies adoptées.

#### *Frey et Osborne (2013)*

Comme nous l'avons rappelé précédemment, le point de départ de l'analyse de Frey et Osborne (2013) reste la matrice d'Autor et al. (2003), qui distingue au sein des tâches effectuées par les travailleurs, les tâches manuelles/cognitives et les tâches routinières/non-routinières. Les deux cadres théoriques divergent toutefois lors-



qu'il s'agit de déterminer les tâches effectivement automatisables : en effet, Frey et Osborne (2013) estiment qu'un bon nombre de tâches non-routinières peuvent désormais être automatisées au vu des nouvelles avancées technologiques (*machine learning*, *intelligence artificielle*, *big data*, etc.). Le critère retenu afin de déterminer quelles tâches sont automatisables se fonde alors sur les « goulets d'étranglement de la frontière technologique » (perception et dextérité manuelle, intelligence créative et sociale).

Le tableau 11 présente les caractéristiques de complémentarité ou la possibilité de substitution des emplois par des automates dans la réalisation des différents types de tâches selon les deux études.

**Tableau 11 : Comparaison des caractéristiques de complémentarités/substitution des tâches**

| | Tâches routinières | Tâches non-routinières |
|---|---|---|
| **Tâches manuelles** | Substantiellement substituables<br>Substituables si objets manipulés réguliers et environnement de travail structuré | Opportunités limitées de substitution ou complémentarité<br>Substituables si objets manipulés réguliers et environnement de travail structuré |
| **Tâches cognitives (analytiques ou interactives)** | Substantiellement substituables<br>Substantiellement substituables | Complémentarité élevée<br>Substituables si elles ne font pas appel à une intelligence créative ou sociale élevée |

*Source: Etude d'Autor et al. (2003), Etude de Frey et Osborne (2013)*

C'est dans ce cadre élargi, présupposant une possibilité accrue de substitution du travail par le capital, que se fondent les analyses de cette étude sur l'impact à venir de l'automatisation sur le volume de l'emploi. Les chiffres issus de leur analyse apparaissent très importants : 47 % des emplois aux Etats-Unis et 35 % au Royaume-Uni présenteraient ainsi une probabilité élevée d'automatisation à l'horizon de vingt ans. Le cabinet Roland Berger (2014) a appliqué leur méthode au cas français[155] : il estime que 42 % des emplois en France seraient à risque.

Ces choix méthodologiques ont donc des implications fortes pour l'analyse des projections. Plus précisément, Frey et Osborne (2013) en passant d'une analyse par tâche à une approche par métier sont ainsi amenés à estimer que, non seulement tous les travailleurs occupant le même métier réalisent les mêmes tâches et dans les mêmes proportions de leur activité, mais que dès lors que plus de 70 % des tâches effectuées par les travailleurs d'un même métier sont considérées comme automatisables, l'ensemble des emplois de ce métier est appelé à disparaître. Cela conduit par exemple les auteurs à considérer que les 15 professions principales (celles qui occupent le plus de travailleurs) parmi celles qui sont considérées automatisables[156] regroupent à elles seules

[155] L'application de la méthode de Frey et Osborne (2013) de la part du cabinet Roland Berger (2014) repose sur des hypothèses supplémentaires : si Frey et Osborne (2013) appliquent leur cadre d'analyse à la structure de l'emploi en 2010, ce dernier se base sur les projections de la DARES à l'horizon 2020. Ces projections intègrent des transformations dans les modes de consommation ainsi que des variables macro-économiques (gains de productivité de 1,4% / an et PIB de 1,9% / an). Par rapport à ces hypothèses, le scénario de l'étude de Roland Berger table sur de gains de productivité nettement supérieurs à moyen terme, ce qui les induit à revoir à la hausse la part d'emplois à risque d'automatisation.

[156] Il s'agit des métiers pour lesquels la probabilité d'automatisation telle qu'elle est calculée par Frey et Osborne (2013) est égale ou supérieure à 70 %.

22 % des emplois américains en 2010. Croire que 47 % des emplois vont disparaître aux Etats Unis, c'est donc croire qu'il n'y aura plus aucun vendeur, caissier ou employé de bureau d'ici 20 ans. Carl Frey, lors de son audition le 18 octobre 2016 par le Conseil, a d'ailleurs souligné que son étude avait pour objectif d'identifier des risques possibles et non de présenter un scénario inéluctable.

**Tableau 12 : 15 principaux métiers automatisables selon Frey et Osborne (2013)**

| 15 principaux métiers automatisables par nombre d'effectifs | Effectifs US en 2010 |
|---|---|
| Vendeurs, magasin | 4 155 190 |
| Caissiers et billettistes | 3 354 170 |
| Employés de bureau, fonctions générales | 2 789 590 |
| Commis au comptoir, restauration rapide | 2 692 170 |
| Serveurs | 2 244 480 |
| Manœuvres des industries manufacturières non classés ailleurs | 2 024 180 |
| Manutentionnaires | |
| Porteurs d'eau et ramasseurs de bois de feu | |
| Secrétaires (fonctions générales) | 1 841 020 |
| Professions intermédiaires de la comptabilité | 1 675 250 |
| Aides comptables et teneurs de livres | 1 675 250 |
| Conducteurs de poids lourds et de camions | 1 466 740 |
| Représentants et techniciens commerciaux | 1 367 210 |
| Secrétaires d'administration et secrétaires exécutifs | 1 132 070 |
| Cadres comptables | 1 072 490 |

*Source: Etude de Frey et Osborne (2013), selon la Classification Internationale Type des professions*

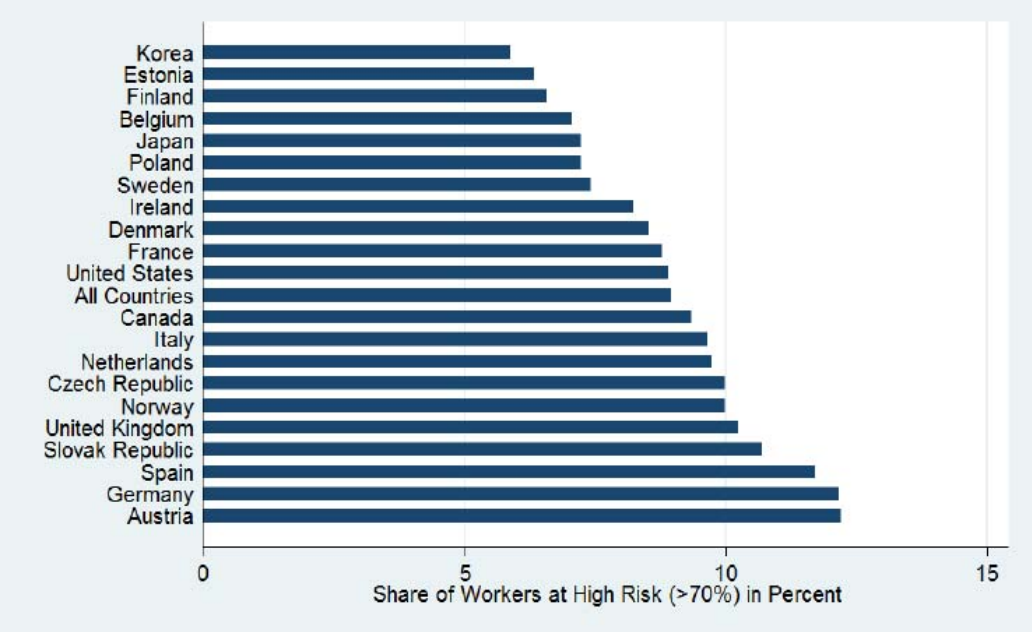
***Arntz, Gregory et Zierahn (2016)***

Cet article se positionne comme une alternative aux projections de Frey et Osborne. En effet, leur approche « par métiers » n'était pas en mesure de prendre en compte l'hétérogénéité des tâches qui les composent : les métiers considérés comme « à risque » par Frey et Osborne comportent aussi des tâches difficilement automatisables, ce qui limite alors d'autant le risque de disparition pure et simple de ces métiers dans leur globalité. En outre, les individus qui exercent le même métier ne réalisent pas forcément les mêmes tâches (et ne sont pas alors exposés au même « risque »).

Cet article s'appuie donc sur une approche strictement par tâches pour estimer la part d'emplois à risque dans 21 pays de l'OCDE. En exploitant l'enquête PIAAC, ils sont à même de prendre en compte à la fois l'hétérogénéité des tâches des travailleurs qui font le même métier, et les différences en termes de tâches effectuées au sein d'un même métier entre pays.

Ils trouvent que seulement 9 % des emplois aux Etats-Unis et en France ont un risque élevé de disparaître du fait de l'automatisation. 9 % est aussi la moyenne pour les 21 pays de l'OCDE retenus pour l'analyse.

**Graphique 9 : Part d'emplois à risque élevé d'automatisation par pays de l'OCDE**




*Lecture : En France, 9% des emplois sont considérés comme à risque élevé d'automatisation (probabilité d'automatisation supérieure à 70%). En Corée, environ 6% des emplois sont considérés comme à risque élevé d'automatisation.*

*Source: Arntz et al. (2016)*

Cette étude ne présente des résultats qu'au niveau national agrégé et n'entre pas dans le détail des métiers, ce qu'on peut regretter notamment dans une perspective de préconisation en termes de politiques publiques.

Alors même que ces projections sont déjà 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 :

- l'adoption et la diffusion des technologies est un processus lent, « ralenti par les obstacles économiques, légaux et sociaux, de telle sorte que souvent la substitution technologique ne s'effectue pas comme prévu »[157] ;
- 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 ;
- 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.

En somme, comme l'a souligné M. Ulrich Zierahn lors de son audition devant le Conseil, selon les conclusions de cet articlel'automatisation et la numérisation se traduiront avant tout par la transformation des emplois existants plutôt que par leur disparition.

[157] Audition du Docteur Ulrich Zierahn, Chercheur au Centre européen de recherche économique (ZEW) de Mannheim, devant le COE le 18 octobre 2016. .

***Nicolas Le Ru (2016)***

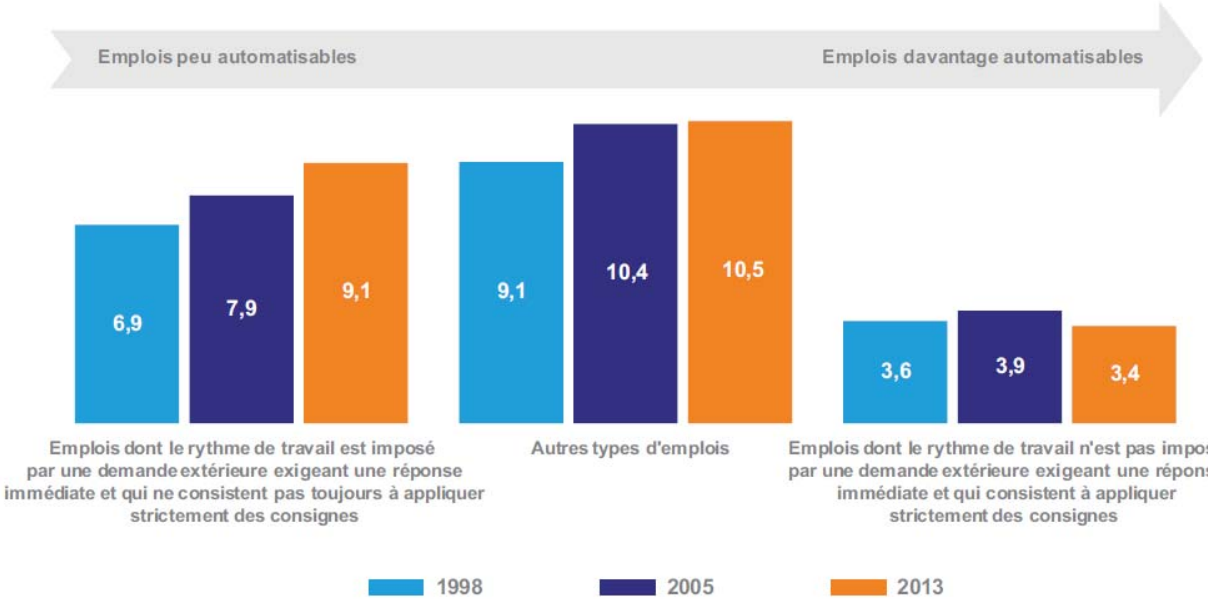
Nicolas Le Ru, pour France Stratégie (2016), a retenu une autre méthode. Il s'appuie sur un article publié par David Autor en 2015 dans le *Journal of Economic Perspectives*. Dans cet article, il est estimé que l'homme gardera un avantage comparatif par rapport aux machines dans les prochaines années pour les métiers qui demandent des capacités particulières de flexibilité, d'adaptabilité, de résolution des problèmes et d'interactions sociales. Par conséquent, Le Ru (2016) considère que les emplois qui ne font pas appel à ces quatre compétences peuvent constituer des emplois *automatisables* dans un futur proche.

Afin de pouvoir apprécier la part d'emplois automatisables correspondant à cette définition dans le cas français, l'auteur a mobilisé l'enquête Conditions de Travail de la DARES. Plus précisément, il cherche à apprécier le nombre de salariés occupant ce type d'emplois au travers de leur réponse à deux questions :

- *« Votre rythme de travail vous est-il imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate ? » - cette question est censée résumer la mobilisation de compétences telles que la capacité de tenir compte d'interactions sociales, l'adaptabilité et la flexibilité.*
- *« Vous recevez des ordres, des consignes, des modes d'emploi. Pour faire votre travail correctement, est-ce que :*
    - *vous appliquez strictement les consignes ;*
    - *dans certains cas, vous faîtes autrement ;*
    - *la plupart du temps vous faîtes autrement ;*
    - *sans objet (pas d'ordres, de consignes ou de modes d'emploi) ? » - cette question est à même de souligner l'adaptabilité et la capacité à résoudre des problèmes des travailleurs. »*

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. Le graphique 10 présente les résultats de cette étude.

**Graphique 10 : Evolution des emplois salariés en France, selon leur rythme de travail et l'application strictre de consignes, entre 1998 et 2013 (en million)**




*Lecture : Les emplois salariés dont le rythme de travail est imposé par la satisfaction immédiate de la demande des clients et qui ne consistent 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 à 9,1 millions entre 2005 et 2013.*

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

Deux résultats principaux en découlent.

D'une part, le nombre d'emplois considérés comme facilement automatisables serait de 3,1 millions. En 2013, ces emplois représentent 15 % des travailleurs du champ retenu par l'auteur[158]. A l'inverse, le nombre d'emplois *a priori* peu automatisables apparaît beaucoup plus important que ceux à risque : il s'élèverait à 9,1 millions en 2013.

D'autre part, la part respective des emplois facilement et peu automatisables a sensiblement évolué en 15 ans. De 1998 à 2013 on assiste ainsi à une augmentation des emplois *a priori* peu automatisables, qui passent de 6,9 à 9,1 millions. A l'inverse, une légère diminution des emplois plus facilement automatisables est observée dans la même période (de 3,6 à 3,4 millions). Le recentrage des métiers sur des tâches moins facilement automatisables expliquerait alors ces évolutions.

Selon l'auteur, deux *caveat* sont à prendre en considération dans l'interprétation de ces résultats. D'abord, quand on étudie les effets de l'automatisation sur l'emploi, il ne faut uniquement se borner à quantifier les tâches ou les professions qui pourraient *a priori* (grâce aux avancées technologiques) remplacer le travail humain. D'autres facteurs doivent également être gardés à l'esprit, tel le mode d'organisation du travail, l'acceptabilité sociale ou la rentabilité économique. Deuxièmement, l'effet global de la diffusion des nouvelles technologies est plus compliqué à prévoir : il dépend certes du nombre d'emplois détruits et du rythme de leur

[158] Il s'agit des travailleurs salariés résidant en France Métropolitaine.

destruction, mais également de l'importance de la transformation du contenu des métiers et de la création de nouveaux emplois. Ces considérations conduisent à interpréter le chiffre de 15 % des emplois salariés automatisables plutôt comme la borne supérieure de l'intervalle définissant la part d'emplois à risque.

**Tableau 13 : Récapitulatif des résultats des principales études prospectives sur la France**

| Etude | Détermination du degré d'exposition à l'automatisation | Niveau d'analyse retenu | Données | Horizon | Part des emplois à risque élevé |
|---|---|---|---|---|---|
| Roland Berger (2014) | Probabilités d'automatisation par métiers de Frey et Osborne (2013) | métier | Structure de l'emploi français (INSEE) | Moyen-long terme (10 à 15 ans) | 42% |
| Arntz, Gregory, Zierahn (2016) | Probabilités d'automatisation par métiers de Frey et Osborne (2013) | Individus (tâches) | PIAAC | Moyen-long terme (10-15 ans) | 9% |
| Le Ru (2016) | Avantage comparatif de l'homme par rapport aux machines selon Autor (2015) | Individus (conditions de travail) | Enquête Conditions de travail (DARES) | Futur proche | 15% |

*Source : COE*

Au total, les études qui ont cherché à quantifier les emplois à risque d'automatisation apportent des éclairages nouveaux. Elles comportent cependant un certain nombre de limites, comme le signalent d'ailleurs les auteurs eux-mêmes.

Pour une part, ces limites sont inhérentes à l'exercice prospectif de quantification du risque d'automatisation. Elles résultent ensuite de choix ou de contraintes méthodologiques. Les études présentées ci-dessus portent sur le risque potentiel de substitution des emplois par des machines tel qu'apprécié à l'instant t: elles se fondent sur des éléments anticipés à partir de la frontière technologique actuelle, qui peut par définition évoluer de façon plus ou moins importante et rapide. Elles se focalisent sur le risque de substitution de l'homme par la machine du seul point de vue technique et ne prennent en compte, ni les transformations possibles d'emplois existants, ni le potentiel de création d'emplois direct ou indirect des technologies d'automatisation[159]. Enfin, elles ne considèrent pas non plus l'ensemble des paramètres qui interviennent dans une décision de substitution d'un emploi par une machine : les freins sociaux, institutionnels mais aussi économiques susceptibles de venir ralentir la diffusion effective des techniques d'automatisation.

S'agissant des études pour le cas français, en appliquant l'approche par métier de Frey et Osborne, le travail de Roland Berger ne prend pas en compte l'hétérogénéité des tâches effectuées par des travailleurs exerçant un

[159] Ce sujet fera l'objet d'un traitement spécifique dans le point 2.2.3 de la partie 3 du rapport.

même métier, avec pour conséquence une surestimation potentielle de la part des emplois présentant un risque élevé d'automatisation. En outre, cette étude reprend par ailleurs des probabilités d'automatisation par métiers de Frey et Osborne telles que déterminées par des experts qui considéraient alors le seul cas américain. Or, la frontière technologique peut être assez variable selon les pays et rien ne dit que des métiers considérés à fort risque d'automatisation aux Etats-Unis, le seraient également dans le cas français.

L'avantage des études conduites par Arntz, Gregory et Zierahn ou encore Le Ru, est que ces auteurs ont pris en compte l'hétérogénéité des tâches réalisées par les travailleurs dans l'exercice de leur métier. Toutefois, ils ne fournissent leurs résultats que sous une forme agrégée et ne donnent pas d'indications sur les métiers les plus à risque.

### 2.2.2 Le COE a voulu, au travers d'une nouvelle étude, mieux apprécier l'exposition des emplois salariés en France

Dans ce contexte, le COE a souhaité, pour éclairer le présent rapport, disposer d'éléments d'analyse complémentaires concernant la France et permettant à la fois de mieux apprécier le volume des emplois potentiellement concernés par l'automatisation, au lieu de focaliser l'analyse sur le seul risque de destruction, mais aussi d'identifier les emplois les plus susceptibles d'évoluer du fait de certaines de leurs caractéristiques. Une étude a été réalisée en ce sens au sein du Secrétariat général à partir des données issues de l'enquête Conditions de travail, qui permettent de cerner les conditions individuelles d'exercice effectif du travail par les salariés en poste.

Cette étude cherche à palier certaines des lacunes identifiées dans les choix méthodologiques des études prospectives existantes : elle part, non d'une analyse par métiers, mais d'un recensement des conditions individuelles et effectives de travail ; elle s'intéresse, non seulement à des emplois supposés « à risque » de disparition, mais aussi à ceux susceptibles d'évoluer et elle se fonde sur des données françaises, individuelles et récentes.

Pour autant, l'approche de l'étude présentée par le Secrétariat général n'a pas pour ambition de proposer une analyse définitive de la substitution effective des travailleurs par des machines. Elle présente naturellement les limites générales propres à tout exercice prospectif sur ce thème. Elle doit avant tout être conçue comme un élément d'éclairage sur l'exposition des travailleurs aux technologies en France.

Deux éléments, qui sont propres à la méthodologie même de l'étude, doivent être présents à l'esprit dans le cadre de toute interprétation des résultats.

En premier lieu, cette étude fonde son analyse sur des données issues de l'enquête *Conditions de Travail*, principalement la vague de 2013. Réalisée par la DARES tous les sept ans depuis 1978, cette enquête recueille des informations individuelles sur les conditions effectives d'exercice du travail auprès d'un échantillon d'actifs occupés et, depuis 2013, d'employeurs. Le champ d'analyse de la présente étude se restreint aux seuls salariés résidant en France métropolitaine.

L'utilisation de ces données dans le cadre d'une recherche sur le risque d'automatisation des emplois en France présente trois limites. D'abord, les réponses, bien que majoritairement factuelles, sont néanmoins autodéclarées et donc se fondent sur les jugements que les individus portent sur leur travail et pas toujours nécessairement sa réalité. Ensuite,.nous utilisons le volet de l'enquête portant sur les salariés conçu pour appréhender

les caractéristiques du travail effectué par les travailleurs ainsi que l'environnement dans lesquels il est réalisé, non pour apprécier la nature des tâches réalisées, ni *a fortiori* la substituabilité de tout ou partie de ces tâches par une technologie. Ainsi, les informations sont parfois insuffisantes pour capter certaines des dimensions du caractère automatisable, en particulier pour évaluer le degré de complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation. Enfin, l'étude n'exploite pas les réponses des employeurs et donc leur perception sur les conditions de travail susceptibles de favoriser ou non l'automatisation de tâches.

En second lieu, cette étude repose sur la construction d'un indice d'automatisation (*cf.* encadré 4 qui expose les grandes lignes de la méthodologie de l'étude) associé à chaque emploi, et non d'une probabilité. Elle n'établit pas de corrélation entre les valeurs que peuvent prendre cet indice et le risque effectif d'automatisation présent et à venir. Les variations de cet indice permettent néanmoins de comparer les degrés d'exposition différents des emplois entre eux : ainsi un emploi dont la valeur de l'indice tend vers 1 sera plus exposé à l'automatisation qu'un emploi dont l'indice tend vers 0, sans que l'on puisse traduire ce risque en termes de destruction effective de l'emploi. Cette étude estime donc un indice de substitution potentielle des emplois par des technologies étant donné l'état des avancées technologiques aujourd'hui. En outre, il ne permet pas de prendre en compte d'autres aspects pourtant déterminants pour évaluer le risque effectif d'automatisation d'un emploi à savoir les freins liés à l'acceptation sociale, le contexte institutionnel et règlementaire, et la rentabilité économique. Ce dernier aspect, difficile à introduire de façon robuste, permettrait d'apprécier l'arbitrage financier réalisé par les employeurs entre capital et travail et donc d'évaluer plus directement le risque de destruction d'emploi.

**Encadré 4 : Les grandes lignes de la méthodologie employée dans l'étude pour le Secrétariat général du COE**

En se fondant sur les réponses des salariés interrogés dans le cadre de l'enquête *Conditions de travail*, l'étude construit, pour chaque individu, un indice d'automatisation de son emploi.

Cet indice agrège les quatre dimensions identifiées par la littérature économique récente[160] comme déterminant la vulnérabilité de l'emploi à l'automatisation dans les conditions technologiques actuelles : flexibilité ; capacité d'adaptation ; capacité à résoudre les problèmes et interactions sociales. A ces quatre dimensions, l'étude ajoute celle de la précision, identifiée comme un goulet d'étranglement important pour les métiers manuels.

Chaque dimension est définie par un ensemble de caractéristiques de l'emploi considéré, variable selon que celui-ci est exercé dans le secteur de l'industrie ou des services, et qu'il correspond à un métier manuel ou non. Chaque caractéristique correspond à une question de l'enquête *Conditions de travail*. Au total, entre 12 et 17 questions de l'enquête ont été mobilisées (tableau 14).

L'indice d'automatisation est standardisé entre 0 et 1. Plus l'emploi occupé présente au dire de la personne qui l'occupe, des caractéristiques correspondant aux quatre dimensions de vulnérabilité, plus la valeur de l'indice est élevée. Les emplois les plus exposés au risque d'automatisation sont donc ceux pour lesquels l'indice d'automatisation est proche de 1.

L'annexe 1 présente plus en détail la méthodologie retenue pour l'étude ainsi que les résultats obtenus.

[160] Notamment Autor (2015), op. cit.

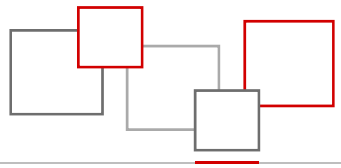


**Tableau 14 : Les variables retenues pour chaque dimension de vulnérabilité des emplois**

| | MANUFACTURE (agriculture, industrie, construction) | SERVICES (Tertiaire) |
|---|---|---|
| MANUEL | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- Déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce<br>- Cadence automatique d'une machine<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail à la chaîne<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate<br>**Pas de contrainte technique de précision demandé par son travail**<br>Nécessité d'examiner des objets très petits, des détails fins<br>Nécessité de faire attention à des signaux | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate<br><br>**Pas de contrainte technique de précision demandé par son travail**<br>Nécessité d'examiner des objets très petits, des détails fins<br>Nécessité de faire attention à des signaux visuels ou sonores brefs, imprévisibles ou |

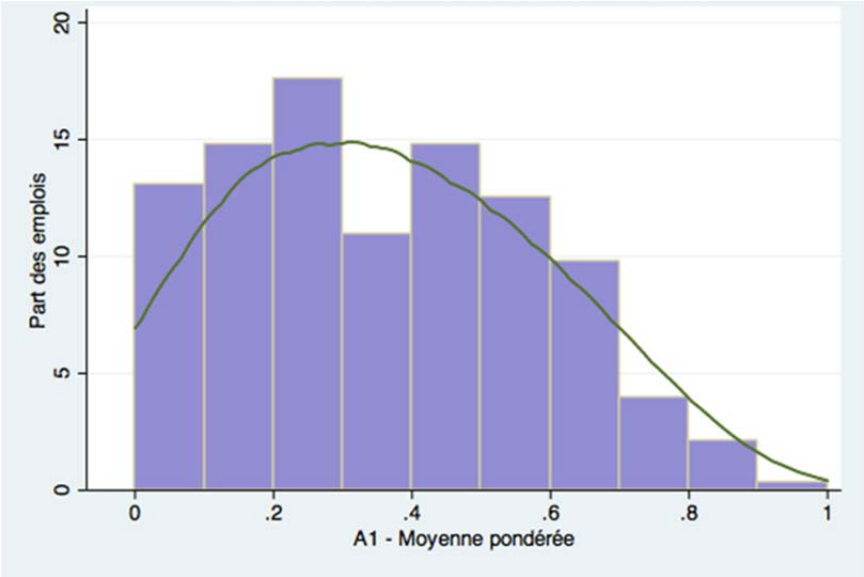
| | | |
|---|---|---|
| | visuels ou sonores brefs, imprévisibles ou difficiles à détecter | difficiles à détecter |
| **NON MANUEL** | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- Déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce<br>- Cadence automatique d'une machine<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail à la chaîne<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate |

*Source : Secrétariat général du COE*

***Peu d'emplois sont très exposés, beaucoup sont concernés par les mutations technologiques.***

Le graphique ci-dessous représente la distribution de l'indice d'automatisation dans l'échantillon de salariés considérés, représentatif de l'emploi salarié en France.

**Graphique 11 : Distribution de l'indice d'automatisation**




*Note : Le graphique se lit comme suit : environ 13 % des emplois en France ont un indice d'automatisation compris entre 0 et 0,1.*

*Source : Secrétariat général du COE*

On remarque d'abord que l'indice n'est pas distribué de manière homogène dans la population puisque la courbe atteint son maximum quand l'indice vaut 0,3. Les valeurs de l'indice les plus élevées (décrochage quand l'indice dépasse 0,7) rassemblent une part faible de la population salariée, moins de 10 % de la population.

Trois conclusions principales peuvent être tirées de la lecture de ce graphique :

- la distribution se caractérise par une absence de polarisation des effectifs. Elle se distingue en cela des conclusions de l'étude de Frey et Osborne qui met en évidence des effectifs plus importants aux deux extrémités de l'échelle ;
- seule une faible part des emplois ont un indice d'automatisation élevé : autrement dit, moins de 10 % des emplois cumulent de manière importante des caractéristiques qui les rendent vulnérables au vu des avancées technologiques actuelles. On les appellera ici les emplois «exposés ».
- une part bien plus importante des emplois est toutefois potentiellement concernée par l'automatisation : près de 50 % des emplois pourraient voir leur contenu évoluer avec le développement des technologies de la numérisation et de l'automatisation. On les appellera ici les « emplois dont le contenu est susceptible d'évoluer ».

Au vu de cette étude, le Conseil a pris le parti, à la différence d'autres études, de ne pas avancer de chiffres précis, mais de retenir plutôt des ordres de grandeur qui lui paraissent illustrer mieux ce phénomène complexe, divers et par nature incertain qu'est l'automatisation. En effet, il n'est pas possible de définir une valeur d'indice – un seuil – à partir duquel tout emploi serait automatisable, et cela d'autant que ne sont pas prises en compte,

notamment, les questions de rentabilité économique de la substitution. **C'est pourquoi l'étude conclut à ce double ordre de grandeur : moins de 10 % des emplois « exposés » et près de 50 % des emplois « dont le contenu est susceptible d'évoluer».**

Sur la base de ces données, il est possible d'essayer de regarder, à partir du degré d'exposition de chaque emploi de l'échantillon, quels sont les métiers qui sont les plus exposés et les plus concernés par l'automatisation. Cette analyse complémentaire peut prendre une double forme :

- d'abord, voir au sein des emplois « exposés » et « susceptibles d'évoluer », quels sont, en volume, les métiers les plus représentés, c'est-à-dire de regarder de quels métiers relèvent les contingents d'effectifs « exposés » et « susceptibles d'évoluer» les plus nombreux ;
- ensuite, et de façon complémentaire à cette première approche par volume, on peut chercher à identifier les principaux métiers qui sont surreprésentés au sein des emplois les plus «exposés» (ou des emplois les plus «susceptibles d'évoluer»), c'est-à-dire ceux dont la part dans les emplois les plus «exposés» (ou les plus «susceptibles d'évoluer») par les technologies d'automatisation est supérieure à leur part dans l'emploi total.

*Décomposition des emplois «exposés»*

Le tableau 15 présente la décomposition par famille professionnelle des emplois qui ont un indice d'automatisation élevé, c'est-à-dire ceux qui ont un nombre important de caractéristiques de leur travail qui les rendent a priori plus «exposés». Les métiers sont ici classés en fonction du nombre d'emplois qu'ils représentent.

Ces métiers sont divers, même si l'on peut remarquer qu'ils sont pour beaucoup peu qualifiés et manuels – ceci pouvant s'expliquer en partie par les données sur lesquelles repose l'étude, qui ne permettent de prendre en compte qu'imparfaitement la complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation.

**Tableau 15 : Décomposition des emplois les plus «exposés» : les métiers les plus importants en volume**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation d'au moins 0,7)**

| FAP 87 | Intitulé de la famille professionnelle | Nombre d'emplois exposés | % emplois exposés |
|---|---|---|---|
| T4Z | Agents d'entretien | 320215 | 21,05% |
| E1Z | Ouvriers qualifiés des industries de process | 95545 | 6,28% |
| J0Z | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 85965 | 5,65% |
| E0Z | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 83304 | 5,48% |
| T2A | Aides à domicile et aides ménagères | 76198 | 5,01% |
| S1Z | Cuisiniers | 70306 | 4,62% |
| J1Z | Ouvriers qualifiés de la manutention | 62047 | 4,08% |
| A1Z | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 49875 | 3,28% |
| J3Z | Conducteurs de véhicules | 48786 | 3,21% |
| B2Z | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 48455 | 3,19% |
| B0Z | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 46517 | 3,06% |
| S2Z | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 44362 | 2,92% |
| T1Z | Employés de maison | 43880 | 2,89% |

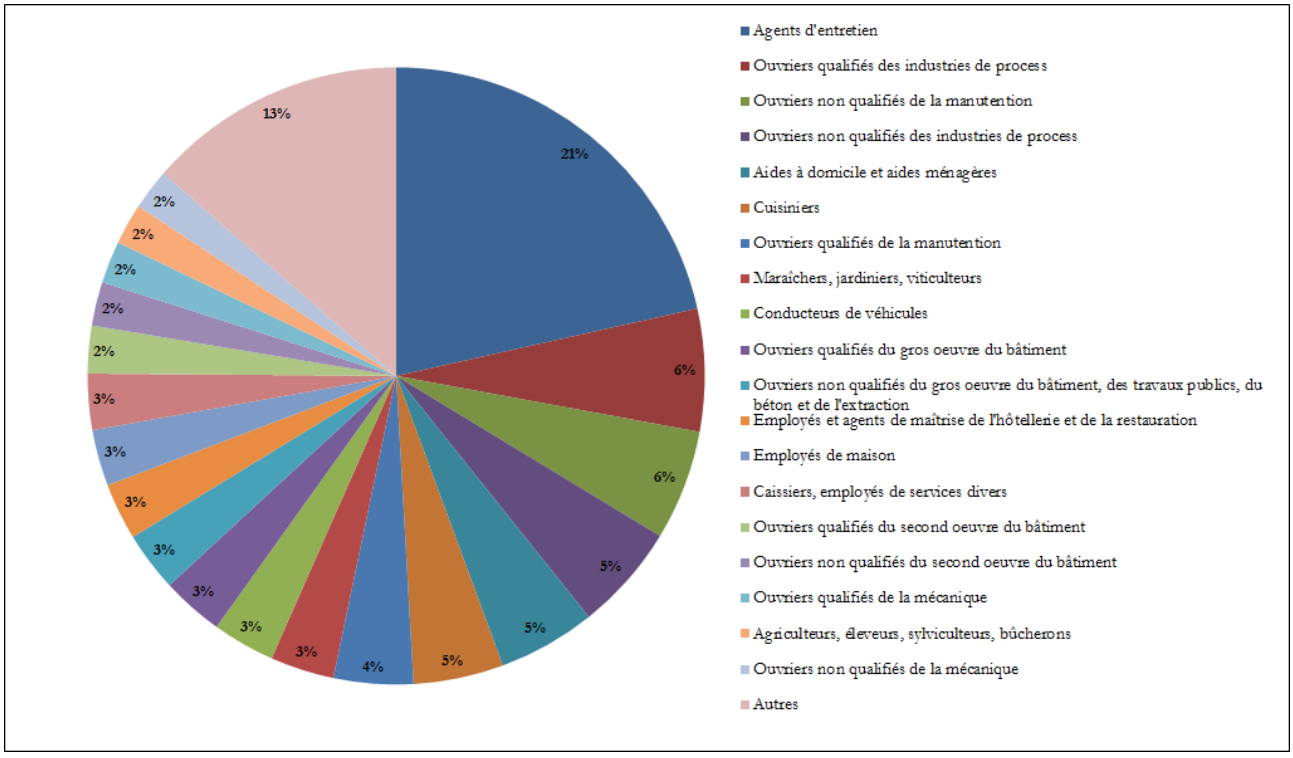
| | | | |
|---|---|---|---|
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 43770 | 2,88% |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 37156 | 2,44% |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 34226 | 2,25% |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 32899 | 2,16% |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 31985 | 2,10% |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 31732 | 2,09% |
| | Autres | 202628 | 13,32% |

*Lecture : parmi les emplois cumulant de manière importante des caractéristiques les exposant dans un contexte d'automatisation et de numérisation (l'indice d'automatisation retenu est ici d'au moins 0,7), les agents d'entretien (T4Z) représentent 21,05 % de l'ensemble des emplois «exposés» soit plus de 320 000 emplois. On ne retient ici que les seuls métiers dont la part dans l'emploi exposé est supérieure au seuil de 2 %.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses à l'Enquête Conditions de travail.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE*

**Graphique 12 : Décomposition des emplois les plus «exposés» » : les métiers les plus importants en volume**




*Source : Secrétariat général du COE*

Parmi ces emplois «exposés», 30 métiers apparaissent surreprésentés (tableau 16). On peut souligner une certaine prédominance de métiers manuels et peu qualifiés, notamment de l'industrie. C'est le cas par exemple des ouvriers non qualifiés des industries de process qui sont 5 fois plus nombreux parmi les emplois «concernés»,

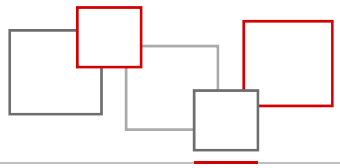
par rapport à l'emploi total. C'est le cas également des ouvriers non qualifiés de la manutention qui sont 4,1 fois plus nombreux dans les emplois «exposés» que dans l'emploi total.

La présence parmi les métiers surreprésentés au sein des emplois les plus «exposés» des emplois des employés de maison, des agriculteurs ou encore des coiffeurs est sans doute pour partie liée aux caractéristiques de l'enquête *Conditions de travail* qui ne permet que peu de prendre en compte la complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation.

**Tableau 16 : Décomposition des emplois «exposés» : les métiers surreprésentés par rapport à leur part dans l'emploi total**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation d'au moins 0,7)**

| FAP87 | Intitulé de la famille professionnelle | % salariés exerçant ce métier dans le total des emplois «exposés» | % salariés exerçant ce métier dans l'emploi total | Coefficient de sur-répresentation |
|---|---|---|---|---|
| **E0Z** | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 5,48% | 1,08% | 5,08 |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 2,10% | 0,47% | 4,46 |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 5,65% | 1,37% | 4,12 |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 2,25% | 0,55% | 4,10 |
| **T4Z** | Agents d'entretien | 21,05% | 5,44% | 3,87 |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 6,28% | 1,66% | 3,79 |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 2,16% | 0,58% | 3,75 |
| **T1Z** | Employés de maison | 2,89% | 0,78% | 3,72 |
| **B0Z** | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 3,06% | 0,89% | 3,45 |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 2,09% | 0,73% | 2,87 |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 3,28% | 1,17% | 2,80 |
| **C1Z** | Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 1,11% | 0,41% | 2,75 |
| **S1Z** | Cuisiniers | 4,62% | 1,69% | 2,74 |
| **T0Z** | Coiffeurs, esthéticiens | 0,65% | 0,24% | 2,69 |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 3,19% | 1,20% | 2,65 |
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 2,88% | 1,15% | 2,50 |
| **B1Z** | Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction | 0,74% | 0,33% | 2,22 |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 5,01% | 2,27% | 2,21 |
| **S0Z** | Bouchers, charcutiers, boulangers | 1,37% | 0,69% | 2,00 |



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 4,08% | 2,08% | 1,96 |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 2,44% | 1,26% | 1,93 |
| **F1Z** | Ouvriers qualifiés du textile et du cuir | 0,32% | 0,19% | 1,73 |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 2,92% | 1,71% | 1,70 |
| **G0A** | Ouvriers qualifiés de la maintenance | 1,13% | 0,68% | 1,65 |
| **D2Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal | 0,92% | 0,59% | 1,56 |
| **K0Z** | Artisans et ouvriers artisanaux | 0,49% | 0,32% | 1,52 |
| **B5Z** | Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics | 0,75% | 0,51% | 1,48 |
| **D1Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal | 0,60% | 0,45% | 1,34 |
| **J4Z** | Agents d'exploitation des transports | 0,68% | 0,59% | 1,16 |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 3,21% | 3,05% | 1,05 |

*Lecture : parmi les emplois cumulant de manière importante des caractéristiques les exposant dans un contexte d'automatisation et de numérisation (l'indice d'automatisation retenu est, ici, d'au moins 0.7), les ouvriers non qualifiés des industries de process (E0Z) représentent 5,48 % de l'ensemble des emplois « exposés » et 1,08 % de l'emploi total. On ne retient ici que les métiers pour lesquels le coefficient de surreprésentation est supérieur à 1.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE.*

### *Décomposition des emplois « susceptibles d'évoluer»*

Le tableau suivant présente la décomposition par famille professionnelle des emplois qui ont un indice d'automatisation significatif, c'est-à-dire ceux qui sont susceptibles d'être directement concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation. Ces métiers sont divers et on y trouve plus de métiers non-manuels comme les « cadres des services administratifs, comptables et financiers » ou les « secrétaires ».

**Tableau 17 : Décomposition des emplois les plus « susceptibles d'évoluer » : les métiers les plus importants en volume**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation compris entre 0,3 et 0,7)**

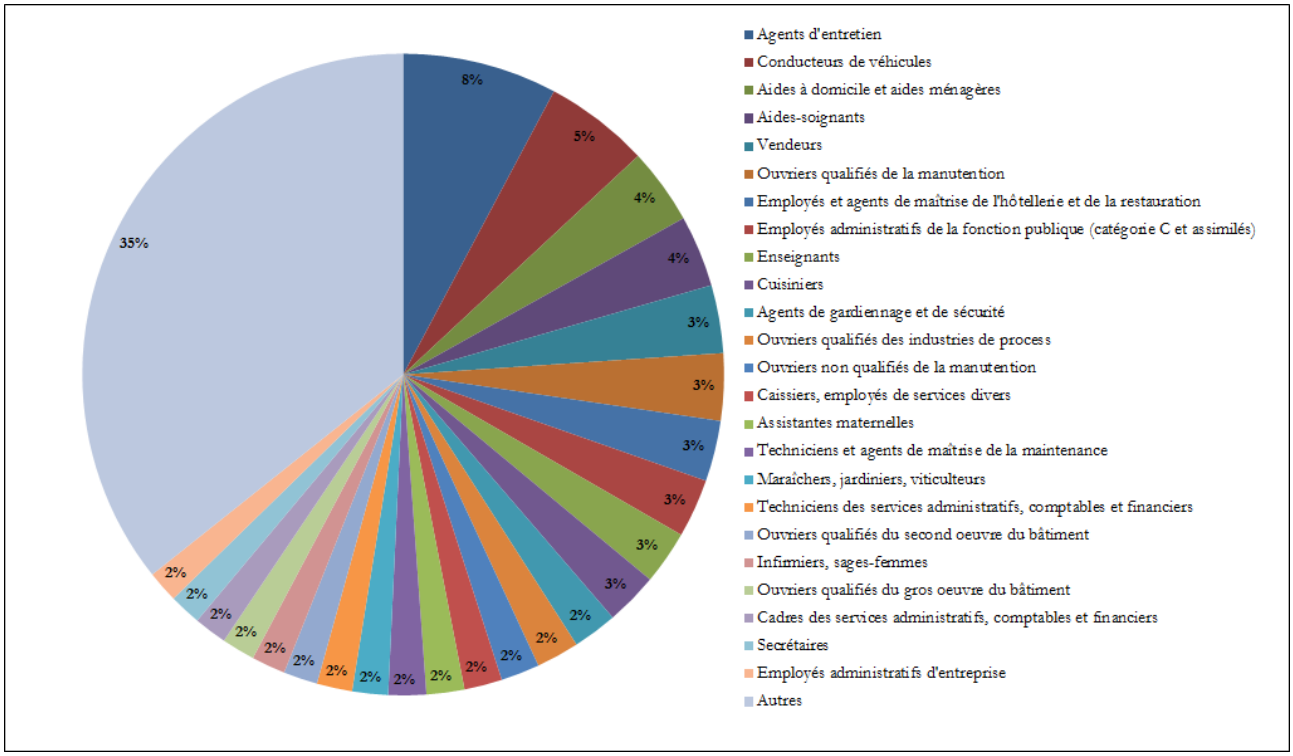
| FAP 87 | Intitulé de la famille professionnelle | Nombre d'emplois susceptibles d'évoluer | % d'emplois susceptibles d'évoluer |
|---|---|---|---|
| **T4Z** | Agents d'entretien | 814396 | 7,62% |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 552957 | 5,17% |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 399971 | 3,74% |
| **V0Z** | Aides-soignants | 377391 | 3,53% |
| **R1Z** | Vendeurs | 358255 | 3,35% |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 353433 | 3,31% |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 320223 | 3,00% |
| **P0Z** | Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés) | 308149 | 2,88% |
| **W0Z** | Enseignants | 282960 | 2,65% |
| **S1Z** | Cuisiniers | 276680 | 2,59% |
| **T3Z** | Agents de gardiennage et de sécurité | 234508 | 2,19% |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 225997 | 2,11% |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 203840 | 1,91% |
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 199930 | 1,87% |
| **T2B** | Assistantes maternelles | 199381 | 1,86% |
| **G1Z** | Techniciens et agents de maîtrise de la maintenance | 199070 | 1,86% |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 188596 | 1,76% |
| **L4Z** | Techniciens des services administratifs, comptables et financiers | 186381 | 1,74% |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 179374 | 1,68% |
| **V1Z** | Infirmiers, sages-femmes | 178709 | 1,67% |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 175432 | 1,64% |
| **L5Z** | Cadres des services administratifs, comptables et financiers | 173232 | 1,62% |
| **L0Z** | Secrétaires | 168222 | 1,57% |
| **L2Z** | Employés administratifs d'entreprise | 166162 | 1,55% |
| | Autres | 3734259 | 34,93% |

*Lecture : Parmi les emplois concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation (indice d'automatisation pour ces travailleurs compris entre 0,3 et 0,7), on trouve plus de 800 000 agents d'entretien (T4Z), soit presque 8 % de l'ensemble des emplois «susceptibles d'évoluer». On ne retient ici que les seuls métiers dont la part dans l'emploi exposé est supérieure au seuil de 1,5 %.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE*

**Graphique 13 : Décomposition par métiers des emplois «susceptibles d'évoluer» : les métiers les plus importants en volume**




Source : *Secrétariat général du COE*

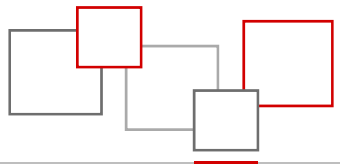
Parmi ces emplois «susceptibles d'évoluer», 34 métiers sont surreprésentés. Si les métiers manuels et peu qualifiés de l'industrie sont toujours assez représentés, on peut souligner ici la présence de davantage de métiers des services. C'est le cas par exemple des employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration qui sont 1,7 fois plus nombreux dans les emplois « susceptibles d'évoluer », par rapport à l'emploi total. C'est également le cas des aides à domicile et aides ménagères qui sont 1,6 fois plus nombreux dans les emplois «susceptibles d'évoluer», par rapport à l'emploi total.

**Tableau 18 : Décomposition des emplois «susceptibles d'évoluer» : les métiers surreprésentés par rapport à leur part dans l'emploi total**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation compris entre 0,3 et 0,7)**

| FAP87 | Intitulé de la famille professionnelle | % salariés exerçant ce métier dans le total des emplois «susceptibles d'évoluer» | % salariés exerçant ce métier dans l'emploi total | Coefficient de sur-répresentation |
|---|---|---|---|---|
| **J4Z** | Agents d'exploitation des transports | 1,03% | 0,59% | 1,75 |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 3,00% | 1,71% | 1,75 |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 5,17% | 3,05% | 1,69 |
| **S0Z** | Bouchers, charcutiers, boulangers | 1,14% | 0,69% | 1,67 |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 3,74% | 2,27% | 1,65 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **K0Z** | Artisans et ouvriers artisanaux | 0,53% | 0,32% | 1,64 |
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 1,87% | 1,15% | 1,62 |
| **T0Z** | Coiffeurs, esthéticiens | 0,39% | 0,24% | 1,61 |
| **D2Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal | 0,95% | 0,59% | 1,61 |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 3,31% | 2,08% | 1,59 |
| **B1Z** | Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'ext | 0,52% | 0,33% | 1,55 |
| **F1Z** | Ouvriers qualifiés du textile et du cuir | 0,29% | 0,19% | 1,54 |
| **S1Z** | Cuisiniers | 2,59% | 1,69% | 1,53 |
| **T3Z** | Agents de gardiennage et de sécurité | 2,19% | 1,44% | 1,52 |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 1,76% | 1,17% | 1,50 |
| **T1Z** | Employés de maison | 1,15% | 0,78% | 1,49 |
| **T4Z** | Agents d'entretien | 7,62% | 5,44% | 1,40 |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 1,91% | 1,37% | 1,39 |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 1,64% | 1,20% | 1,37 |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 0,99% | 0,73% | 1,36 |
| **B0Z** | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 1,19% | 0,89% | 1,34 |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 1,68% | 1,26% | 1,33 |
| **D1Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal | 0,60% | 0,45% | 1,33 |
| **B5Z** | Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics | 0,65% | 0,51% | 1,29 |
| **C1Z** | Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 0,52% | 0,41% | 1,29 |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 0,74% | 0,58% | 1,28 |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 2,11% | 1,66% | 1,28 |
| **G0A** | Ouvriers qualifiés de la maintenance | 0,86% | 0,68% | 1,26 |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 0,67% | 0,55% | 1,22 |
| **V0Z** | Aides-soignants | 3,53% | 2,91% | 1,21 |
| **G0B** | Ouvriers qualifiés de la réparation automobile | 0,62% | 0,52% | 1,19 |
| **E0Z** | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 1,23% | 1,08% | 1,14 |
| **P0Z** | Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés) | 2,88% | 2,55% | 1,13 |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 0,50% | 0,47% | 1,05 |



*Lecture : Parmi les emplois concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation (indice d'automatisation pour ces travailleurs compris entre 0,3 et 0,7), les agents d'exploitation des transports (J4Z) représentent 1,03 % de l'ensemble des emplois « susceptibles d'évoluer » et 0,59 % de l'emploi total. On ne retient ici que les métiers pour lesquels le coefficient de surreprésentation est supérieur à 1.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE.*

### 2.2.3 Un potentiel de créations d'emplois réel, mais dont l'ampleur est difficile à quantifier

Le potentiel de création d'emplois des nouvelles technologies est d'une double nature. Il prend d'abord la forme d'un potentiel d'emplois directs propres au développement de la technologie en cause (emplois du numérique et de la robotique, en l'occurrence, dans le cadre du présent rapport). Mais il s'agit aussi des emplois indirects créés dans l'ensemble de l'économie et induits notamment par les effets de compensation (*cf.* deuxième partie, 2.2).

En l'espèce, s'agissant du mouvement actuel de numérisation et d'automatisation, il apparaît que le potentiel de création d'emplois directs est différencié (significatif dans le numérique, plus mesuré dans la robotique) tandis que celui d'emplois indirects est bien plus difficile à mesurer.

#### *Un potentiel de création d'emplois directs différencié dans les secteurs du numérique et de la robotique*

Autant les perspectives de création d'emplois dans le secteur du numérique apparaissent significatives, autant celles envisageables dans le secteur de la robotique semblent à ce stade, toutes choses égales par ailleurs, plus limitées.

- Le secteur du numérique

On peut tenter d'apprécier le potentiel de créations d'emplois directs dans le numérique de deux manières : soit en retenant une **approche par métiers** (en identifiant les métiers du numérique : ingénieurs informaticiens, ingénieurs télécom, techniciens informatiques et télécom, employés et opérateurs en informatique, etc.), soit en se fondant sur une **approche par secteur** (dans laquelle le secteur du « numérique » regrouperait les entreprises relevant de cinq sous-secteurs : télécommunications ; programmation, conseil et autres activités informatiques ; fabrication industrielle de produits du numérique ; logiciels, traitement de données et portails internet ; commerce et réparation de produits du numérique)

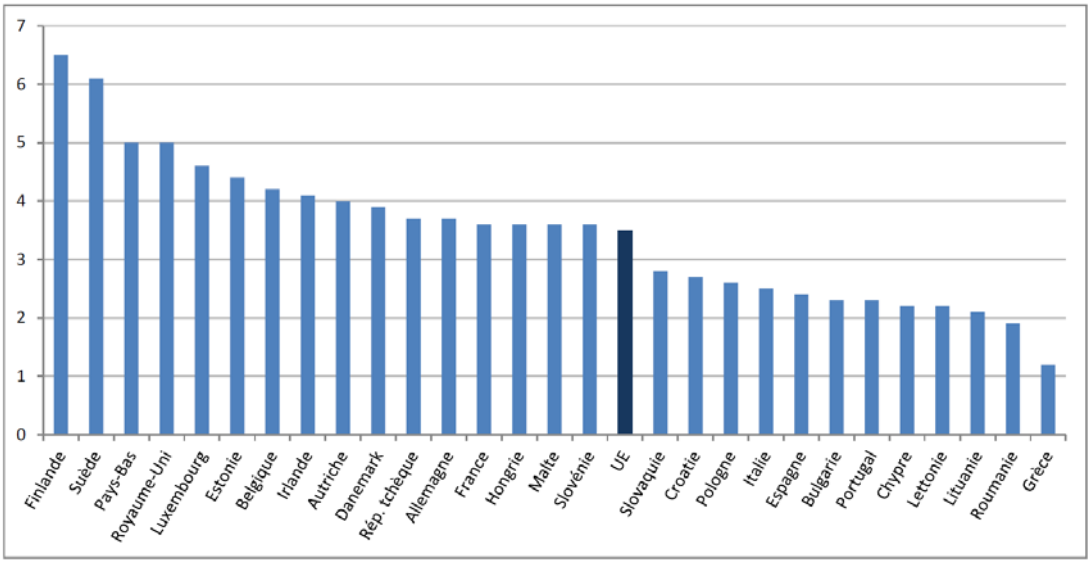
Selon les dernières données d'Eurostat[161], environ 8 millions de personnes étaient employées en 2015 comme spécialistes des technologies de l'information et de la communication[162] (TIC) dans l'Union européenne, principalement au Royaume-Uni (1,54 million), en Allemagne (1,47 million) et en France (950 000). Ces emplois repré-

[161] Les compétences numériques, communiqué de presse Eurostat n° 207/2016, 25 octobre 2016.

[162] Les spécialistes des TIC sont ici définis comme les personnes, quel que soit le secteur d'activité économique dans lequel ils sont employés, qui sont en mesure d'élaborer, de faire fonctionner et d'effectuer la maintenance des systèmes TIC, et pour qui les TIC constituent l'essentiel de leur travail (source : enquête européenne sur les forces de travail)

sentent 3,5 % de l'emploi total en Europe. Cette moyenne masque 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 1,2 % en Grèce. La France se situait en 2015 légèrement au-dessus de la moyenne européenne avec un taux de 3,6 %.

**Graphique 13 : Part des spécialistes des TIC dans les Etats membres de l'UE en 2015 (en % de l'emploi total)**




*Source : Eurostat 2016*

Il s'agit principalement d'hommes (à 84 %) et d'une population jeune (36,4 % ont moins de 35 ans) ce sont également majoritairement des personnes ayant un niveau d'études élevé : 60,5 % des spécialistes des TIC employés dans l'UE sont diplômés de l'enseignement supérieur.

La comparaison de ces chiffres (de 2015) avec ceux de l'enquête réalisée en 2011 révèle une progression très sensible de ce secteur : le nombre d'emplois du secteur des TIC est passé de 6,4 à 7, 7 millions, soit une augmentation de 21 % en cinq ans qui représente 1,34 million d'emplois supplémentaires à l'échelle de l'UE. Cette progression se mesure également en part dans l'emploi total, puisque ce ratio passe en 5 ans de 3 % à 3,5 %.

Cette évolution est particulièrement importante en France.

C'est très clairement le cas dans une approche par métier. Le nombre de personnes employées dans le secteur des TIC passe ainsi, selon l'enquête d'Eurostat de 636 000 à 950 000 entre 2011 et 2015, soit une augmentation de 49,4 %. Leur part dans l'emploi total passe de 2,5 à 3,6 %.

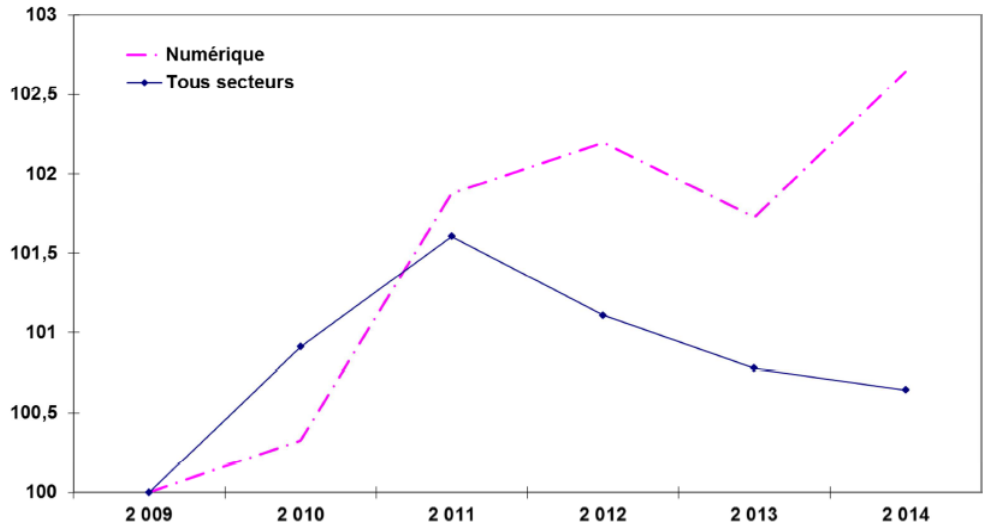
C'est également le cas quand on retient une approche par secteur163. Les statistiques de l'Acoss[164] relatives à l'emploi dans le secteur du numérique[165] confirment cette tendance : à la fin de l'année 2014, ce secteur repré-

[163] Pôle emploi, direction des statistiques, des études et des évaluations, « Le secteur du numérique et ses métiers », 12 avril 2016

[164] Dénombrements annuels des établissements employeurs et des effectifs salariés.

sentait 3,9 % de l'emploi salarié marchand non agricole. Sur la période 2009-2014, l'emploi créé dans ce secteur d'activité a crû de 2,6 %, alors qu'il n'a progressé que de 0,6 % pour l'ensemble de l'économie. Le secteur du numérique a en outre été nettement moins affecté par le retournement de 2011 que l'emploi total. A l'exception d'une légère inflexion en 2013, la croissance de l'emploi salarié dans le numérique a été continue, comme le montre le graphique ci-dessous.

**Graphique 14 : Evolution annuelle de l'emploi salarié (base 100 en 2009)**




*Source : Acoss, dénombrements annuels des établissements employeurs et des effectifs salariés*

En s'appuyant également sur une approche par secteur, McKinsey[166] 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[167], soit 2,9 % à 4,4 % de l'emploi salarié, générés par les activités numériques dans des secteurs qui fournissent des biens ou services consommés par les entreprises du secteur, notamment dans le domaine de la logistique, qui voit son activité s'accroitre fortement en raison du développement de l' « e-commerce ».

Ces emplois du secteur du numérique possèdent un certain nombre de caractéristiques particulières.

[165] Le secteur du numérique est ici défini, en retenant l'ensemble des établissements dont l'activité principale (selon la Nomenclature d'activités françaises ou NAF), relève de cinq sous-secteurs : télécommunications ; programmation, conseil et autres activités informatiques ; fabrication industrielle de produits du numérique ; logiciels, traitement de données et portails internet ; commerce et réparation de produits du numérique

[166] McKinsey France (2014), *Accélérer la mutation numérique des entreprises*.

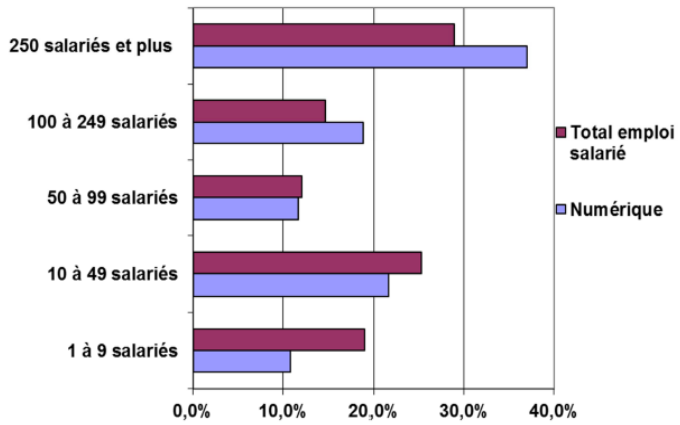
[167] Les emplois indirects sont ceux générés par les activités numériques dans des secteurs qui fournissent des biens ou services consommés par les entreprises du secteur. Les emplois induits existent quant à eux grâce à l'activité économique engendrée par les employés du secteur numérique via leurs salaires. McKinsey France estime que ces effets indirects et induits correspondent à un multiplicateur compris entre 1,8 et 2,2 pour chaque emploi direct du numérique.

Le recours aux contrats à durée déterminée est trois fois plus faible que dans l'ensemble de l'emploi salarié : ce taux y est de 3,9 % contre 10,5 % pour l'ensemble des secteurs.

La part des emplois masculins y est très élevée (70,3 %), mais l'âge moyen n'est pas sensiblement différent de la moyenne (il y est de 39,8 ans contre 40,6 ans tous secteurs confondus).

Les établissements du secteur du numérique sont principalement de petite et de moyenne taille : 72,8% emploient moins de 10 salariés contre 81,3 % pour l'ensemble des secteurs (graphique 15). Les établissements de moins de 10 salariés emploient 10,8 % des salariés du secteur (19,0% pour l'ensemble des secteurs) et les établissements de moyenne taille (10 à 49 salariés) emploient 21,6 % des salariés du secteur du numérique (25,2 % pour l'ensemble des secteurs). A l'inverse, les établissements de 250 salariés et plus, représentant 1,3 % des établissements du secteur du numérique, emploient 37,0 % des salariés de ce secteur.

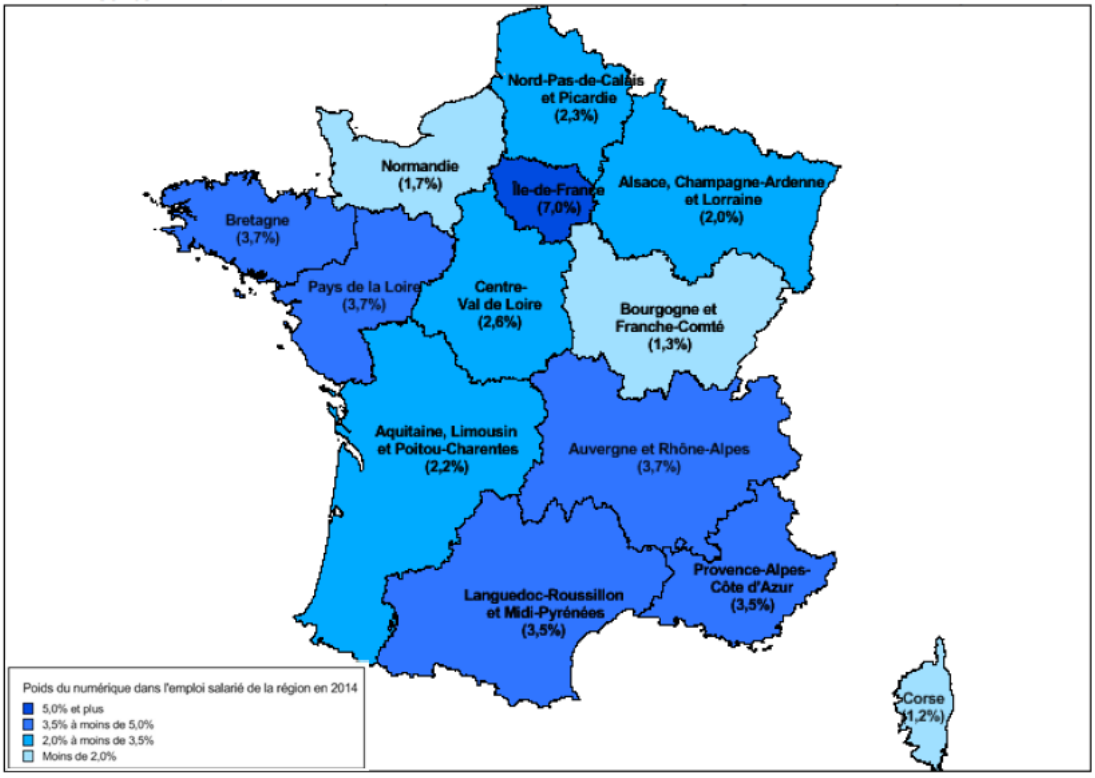
**Graphique 15 : Répartition des emplois salariés par taille d'établissement (au 31/12/2014)**




*Source : DADS, Acoss, calculs Pôle emploi – France métropolitaine*

On note également une très forte concentration géographique de l'emploi dans ce secteur : l'Ile-de-France concentre à elle seule près de la moitié (46,7 %) des emplois dans le numérique, suivie par la région Rhône-Alpes-Auvergne (11,8 %) tandis que les régions Corse, Bourgogne-Franche-Comté et Alsace-Champagne-Ardennes-Lorraine ne représentent pas plus de 1,5 %.

**Carte 1 : Poids du numérique dans l'emploi salarié de la région en 2014 (%)**




*Source : Acoss, dénombrements annuels des établissements employeurs et effectifs salariés*

Si les emplois du numérique ont augmenté de manière significative ces dernières années, cette dynamique va-t-elle se poursuivre ?

Les perspectives de créations de postes dans le secteur du numérique dans les années à venir devraient continuer à être dynamiques, même si elles restent conditionnées par un certain nombre de facteurs.

Le premier a trait au rythme de transformation numérique des entreprises. Or, comme nous l'avons vu dans la première partie de ce rapport, le dynamisme de l'adoption des outils numériques par les consommateurs contraste fortement avec le retard pris par bon nombre d'entreprises françaises en la matière. Mc Kinsey observe notamment que le taux de digitalisation varie très fortement d'un secteur à l'autre : il est très élevé dans le secteur des TIC, des médias, de la finance et de l'assurance ainsi que des services à haute valeur ajoutée, mais demeure relativement modeste dans l'industrie ou dans des secteurs tels que la santé, l'hébergement ou la restauration. Le potentiel de création d'emplois devrait donc dépendre aussi pour partie des contextes sectoriels et des effets de rattrapage.

Un second facteur conditionnant le potentiel de créations d'emploi directement lié au numérique tient à l'offre de main-d'oeuvre. Il trouve en partie son explication dans les difficultés que rencontrent les entreprises pour recruter des salariés disposant des compétences requises. Selon les données de Pôle Emploi dans l'enquête Besoins en main-d'oeuvre, les projets de recrutement dans les métiers du numérique représentent en 2016 3 % des projets de recrutement tous secteurs confondus soit 0,3 point de plus qu'en 2015 (tableau 19). Cependant, pour ces métiers 54,4 % des projets sont jugés « difficiles » par les employeurs (en hausse par rapport à 2015) alors que tous secteurs confondus ce taux est beaucoup plus faible (32,4 %). Les principales difficultés portent

sur le recrutement sur les postes d'ingénieurs et de cadres d'étude en matière de R & D en informatique, et de chefs de projets informatique où le taux de difficulté en 2016 est de 61,7 %, en progression de 4 points par rapport à 2015. A titre d'exemple le nombre de développeurs informatiques par habitant est moitié moindre en France qu'en Suède (3,6 pour 1 000 habitants contre 8,2 pour 1 000).

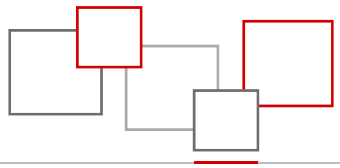
**Tableau 19 : Difficultés de recrutement dans les métiers du numérique en 2015 et 2016**

| | BMO 2016 | | BMO 2015 | |
|---|---|---|---|---|
| Métiers | Nombre de projets | Taux projet difficile | Nombre de projets | Taux projet difficile |
| Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en informatique, chefs de projets informatiques | 31 600 | 61,7% | 25 700 | 57,7% |
| Techniciens d'étude et de développement en informatique | 8 100 | 39,5% | 7 100 | 46,1% |
| Techniciens de production, d'exploitation, d'installation, et de maintenance, support et services aux utilisateurs en informatique | 7 200 | 41,6% | 6 500 | 38,9% |
| Employés et opérateurs en informatique | 4 800 | 44,0% | 4 500 | 37,3% |
| Ingénieurs et cadres d'administration, maintenance en informatique | 2 000 | 66,2% | 1 600 | 70,2% |
| Ingénieurs et cadres des télécommunications | 1 300 | 61,1% | 1 700 | 65,3% |
| **Total Numérique** | **55 000** | **54,4%** | **47 100** | **52,1%** |
| | | | | |
| **Ensemble des secteurs** | **1 827 300** | **32,4%** | **1 739 300** | **32,4%** |

*Source : Pôle emploi, enquête Besoins en main-d'œuvre*

L'une des causes de cette situation provient d'une spécificité propre à ce secteur de haute technologie, qui connaît des évolutions nettement plus rapides dans les besoins et profils de compétences que le reste de l'économie, comme le montrent les études de GPEC menées en 2014 par l'OPIIEC[168] sur l'évolution des besoins de recrutement des entreprises de ce secteur : les offres d'emplois d'analyste fonctionnel, de concepteur développeur ont progressé de plus de 5 % en 2013, la plus forte croissance étant enregistrée pour les postes d'administrateur système (+ 19 %), alors que les postes de commerciaux connaissent un repli significatif au cours de la même période (-24 %). Certains nouveaux métiers semblent bien apparaitre sous l'effet des nouvelles

[168] Observatoire paritaire des métiers du numérique, des études et du conseil et des métiers de l'évènement



technologies telles que le *Cloud Computing*, ou le *Big data* : ce type de profils ne concerne toutefois qu'un nombre relativement réduit d'emplois à haute valeur ajoutée.

Au total, les créations d'emploi dans le secteur du numérique dépendront largement de la capacité de l'ensemble des entreprises à se saisir des nouvelles technologies. Elles leur ouvrent en effet des possibilités inédites d'optimiser et d'automatiser leurs processus et leur offrent l'accès à un potentiel de gains d'efficience considérables. Mais cette évolution nécessite de profondes évolutions dans leur organisation interne, ainsi que dans la gestion des compétences, en promouvant la maîtrise des technologies numériques auprès du personnel et ce, à tous les échelons de l'entreprise (*cf*. première partie, 3.1).

Sous ces réserves, les exercices de prospective des métiers tendent à montrer que les perspectives de croissance de l'emploi dans le secteur du numérique devraient rester soutenus dans les années à venir.

Ainsi, le contrat d'études prospectives du secteur professionnel du numérique réalisé au premier semestre 2013 par Syntec Numérique a analysé les besoins en compétences et en recrutement de dix secteurs professionnels constituant le coeur de la filière numérique (Entreprises de Services Numériques, éditeurs de logiciels, Conseil en Technologies, Web, Jeux Vidéos) ou considérés comme des secteurs connexes (e-Commerce, Robotique, Domotique, Services Satellitaires, Banques et Assurances) à horizon 2018. Cette étude a évalué à près de 36 000 le nombre de créations nettes d'emplois dans ce secteur d'ici à 2018, soit une augmentation de 5 % de l'emploi global du secteur.

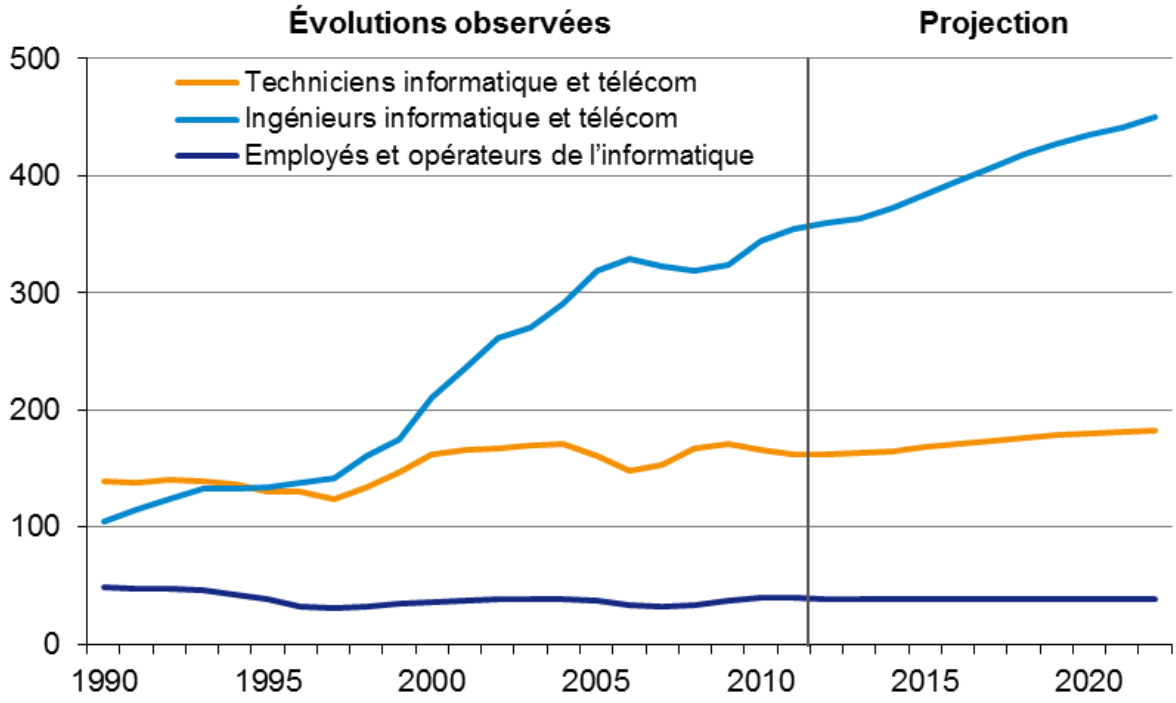
**Cette dynamique de l'emploi s'accompagnerait d'une triple particularité par rapport aux évolutions récentes :**

- la croissance des emplois numériques resterait soutenue, même si le rythme serait plus modéré que par le passé ;
- les créations nettes d'emplois se situeraient à l'avenir plus dans les secteurs connexes (+ 20 000) que dans la branche elle-même (+ 16 000) ;
- au-delà de cet aspect purement quantitatif, les métiers de l'informatique devraient fortement évoluer d'ici à 2018 (montée en puissance des systèmes ouverts, émergence du big data, déploiement du web, essor de l'informatique embarquée, offshoring) ce qui impliquera des besoins en compétences nouvelles ou fortement enrichies.

De même, la DARES et France Stratégie, dans leur exercice de prospective des métiers et des qualifications à l'horizon 2022[169], considèrent que, quel que soit le scénario macroéconomique, l'emploi dans le secteur informatique resterait dynamique. Selon le scénario macroéconomique central, les créations nettes d'emplois, dans une approche par métiers, seraient de 110 000 emplois entre 2012 et 2022 (graphique 16), soit un rythme similaire aux périodes précédentes. Ce rythme de créations d'emplois (+ 1,8 % par an) serait ainsi bien supérieur à celui de l'ensemble des métiers.

[169] Rapport du groupe Prospective des métiers et qualifications, « Les métiers en 2022 », 2015

**Graphique 16 : Évolutions de l'emploi dans le secteur informatique à l'horizon 2022 (en milliers)**




*Source : Insee, enquêtes Emploi 1990 à 2012 ; Dares, séries rétropolées 1990 à 2002, moyennes mobiles sur trois ans ; projections France Stratégie-Dares 2012 à 2022, scénario central*

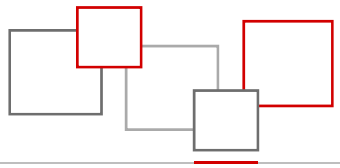
Cette croissance pourrait toutefois recouvrir des évolutions contrastées selon les familles professionnelles. « *Ainsi, les techniciens et surtout les ingénieurs de l'informatique devraient continuer à bénéficier de perspectives d'emploi favorables (respectivement + 1,1 % et + 2,3 % de créations nettes par an), compte tenu des besoins toujours croissants en fonctions d'expertise. A contrario, l'emploi des employés et opérateurs de l'informatique devrait rester stable. Dans un scénario plus favorable aux technologies de l'information et de la communication, la hausse de l'emploi dans les métiers de technicien et d'ingénieur serait encore 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* ».

- Le secteur de la robotique

Une même analyse du potentiel d'emplois directs liés au secteur de la robotique peut être réalisée. Il apparaît toutefois clairement que les créations d'emploi envisageables y sont en France nettement plus limitées compte tenu principalement de la faible taille du secteur.

Selon les chiffres de la Fédération internationale de robotique[170], le secteur de la robotique représente environ 300 000 emplois directs dans le monde : de l'ordre de 150 000 emplois industriels et de l'ordre de 150 000 emplois au titre des fonctions support et des opérateurs.

[170] IFR, « Positive Impact of Industrial Robots on Employment » (2011)



En France, la filière robotique ne représente aujourd'hui qu'une part très modeste de l'emploi. Le secteur de la robotique, qu'elle soit industrielle ou de service, reste en effet relativement peu développé. Elle regroupait en 2012 un peu plus de 7 000 emplois en France, qu'il s'agisse de la conception, de la construction, de la distribution, de la programmation et de l'intégration de robots[171].

Certes, les perspectives de ce marché apparaissent non seulement importantes quantitativement, mais aussi stratégiques. Il reste que, selon l'analyse des technologies clés 2020 effectuée par la DGE, le positionnement de la France dans la compétition internationale est considéré à ce stade comme « moyen » tant pour la cobotique, que pour la robotique de service ou l'intelligence artificielle, avec de fortes barrières à l'entrée.

Le potentiel d'emplois directs dans le secteur de la robotique apparaît dès lors mesuré. Il dépendra donc pour beaucoup du développement d'un secteur pour lequel notre pays ne bénéficie pas d'avantage compétitif majeur. Il tiendra alors largement aux politiques et mesures pouvant faciliter et accompagner la construction d'une offre industrielle pour ces technologies clés.

Dans une étude de 2012 sur les perspectives de la robotique de service en France commandée par le PIPAME, il était ainsi estimé que « *les emplois directs induits par la robotique de service à l'horizon de 5 à 10 ans sont de quelques milliers à quelques dizaines de milliers.* »[172]. Les travaux de prospective menés par le Contrat d'études prospectives du Syntec numérique en 2013 tablent pour leur part sur une croissance plus mesurée à horizon 2018 : les créations nettes d'emplois entre 2013 et 2018 pourraient être de 500, soit 7 % de l'emploi global du secteur.

***Un potentiel de créations d'emploi hors des secteurs producteurs de technologies numérique et de la robotique dont l'ampleur est plus difficile à mesurer***

Au moins trois dynamiques favorables au développement de l'emploi découlant de la diffusion de toujours plus de technologies d'automatisation peuvent d'ores et déjà être anticipées.

D'abord, les avancées réalisées dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la robotique s'inscrivent dans **un mouvement plus large d'avancées technologiques** (*cf.* première partie, 2.2) **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.**

Compte tenu des résultats des travaux empiriques portant sur données passées, les innovations de produit ou de service sont généralement associées à une évolution positive de l'emploi, en particulier lorsque ces dernières créent de nouveaux marchés et de nouvelles entreprises à condition qu'ils ne se substituent pas à des activités existantes (*cf.* troisième partie, 2.1). L'émergence de tels services est dans la continuité d'un mouvement démarré il y a déjà quelques années nommé l'économie quaternaire par Michèle Debonneuil dès 2007 qui consiste en une extension des trois secteurs traditionnels – primaire pour les matières premières, secondaire pour la fabrication et tertiaire pour les services – à un nouveau secteur dont les produits ne sont ni des biens, ni des services, « mais de nouveaux services incorporant des biens, la mise à disposition temporaire de biens, de personnes ou de combinaison de biens et de personnes ».

[171] Selon le Contrat d'études prospectives précité réalisé à la demande du Syntec numérique

[172] Erdyn Consultants, « Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France », (2012)

A chaque grande vague d'innovation de procédé ont été associées des innovations de produits ou de services et l'apparition de nouveaux marchés, dont l'ampleur des effets n'a jamais été pleinement anticipée. La diffusion des technologies numériques depuis les années 1980 n'a pas fait exception.

Il est naturellement difficile d'anticiper quels nouveaux produits ou services et marchés peuvent résulter de l'introduction d'une technologie donnée. Certaines des technologies identifiées comme clés semblent toutefois être particulièrement porteuses d'innovations de produits, qui prennent notamment la forme de nouvelles prestations de services.

C'est le cas en particulier de **l'internet des objets en lien avec les technologies de big data,** dont la diffusion à venir permet d'anticiper le développement de nouveaux services attachés directement aux objets et produits, et cela dans tous les secteurs de l'économie.

C'est le cas également de **la robotique personnelle domestique,** dont les développements récents semblent ouvrir la voie à l'émergence de nouveaux marchés à destination des particuliers. Si les robots sont considérés dans le cadre de ce rapport essentiellement comme une technologie permettant de remplacer les hommes au travail dans l'exécution de certaines tâches, certains robots et en particulier les robots compagnons ou robots de jeux sont d'une autre nature et peuvent être associés de ce fait à des innovations de produit auxquels pourraient être attachés de nouveaux marchés. Comme le souligne l'Observatoire prospectif de la métallurgie, le déploiement des robots de service passe par la création de services liés notamment à leur utilisation et à leur maintenance[173].

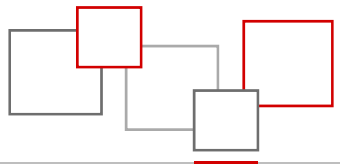
C'est le cas finalement de **l'impression 3D** qui pourrait permettre une personnalisation de masse pouvant favoriser le développement de nouveaux services et marchés, en lien notamment avec l'émergence d'espaces dédiés au sein desquelles les personnes pourraient accéder à des imprimantes 3D.

Ensuite, **la diffusion des technologies d'automatisation pourrait permettre aux secteurs exposés et notamment à l'industrie d'améliorer leur compétitivité, coût mais aussi hors coût. Plus compétitives, les entreprises industrielles françaises pourraient gagner des parts de marché à l'étranger, et donc augmenter leur production avec *in fine* des effets positifs sur l'emploi.**

Qu'il s'agisse des technologies robotiques ou numériques, tous les secteurs d'activité sont désormais potentiellement concernés par ces technologies qui pourraient être mobilisées pour améliorer leur productivité.Là encore, les résultats des études rétrospectives montrent que, si les innovations de procédé peuvent entrainer d'abord des réductions d'emplois, des créations d'emplois peuvent résulter ensuite des effets induits par l'amélioration des procédés permise par l'introduction de ces technologies. Les effets positifs sur l'emploi ont d'autant plus de chance de conduire à des créations d'emploi au niveau national, qu'elles permettent de gagner des parts de marché à l'étranger.

**Les avancées technologiques en cours font l'objet d'attentes particulièrement fortes dans le secteur industriel.** Incarnées par le concept d'Usine du futur ou d'Industrie 4.0, les innovations de procédé qui découleraient d'une meilleure appropriation des nouvelles technologies dans les processus de production constituent un levier essentiel de redressement de la compétitivité industrielle en France.

[173] Etude prospective des besoins en emplois et en compétences dans les secteurs de la mécanique et machines et équipements, synthèse avril 2016.



En permettant un pilotage plus intelligent et une optimisation de l'ensemble du processus de production, le déploiement de technologies telles que l'internet des objets, les technologies de big data, la robotique collaborative ou encore la fabrication additive constitue alors une opportunité pour les entreprises industrielles françaises d'améliorer leur productivité et gagner ainsi en compétitivité-coût. Ce regain de compétitivité coût pourrait alors permettre un rehaussement des marges des industriels qui pourraient alors investir dans des technologies et des modes d'organisation plus performants afin de favoriser le développement de produits de qualité supérieure et innovants, et regagner en compétitivité hors coût.

On peut souligner ici que la plupart des pays développés se sont lancés dans des programmes visant à soutenir la diffusion des nouvelles technologies dans le secteur industriel. Plus qu'une opportunité pour gagner des parts de marché à l'étranger avec un effet *in fine* positif sur l'emploi, la meilleure appropriation par ces dernières des technologies de l'Industrie 4.0 constitue aussi une nécessité pour ne pas voir reculer les parts de marché de l'industrie française.

Outre les effets potentiellement positifs attendus d'une amélioration de la compétitivité coût et hors coût des entreprises d'ores et déjà implantées localement, les avancées technologiques en cours et à venir seraient par ailleurs susceptibles de favoriser des phénomènes de relocalisation, avec un effet positif sur l'emploi local (*cf* Troisième partie, 4.2).

Enfin, **l'amélioration de la productivité et le regain de compétitivité dans les secteurs exposés permis par une meilleure appropriation des technologies pourraient avoir des effets d'entrainement supplémentaires dans les secteurs abrités.**

Des créations d'emplois indirectes dans le secteur des services pourraient découler d'un accroissement des salaires dans les secteurs exposés intensifs en technologies[174].

Un tel effet d'entrainement a pu être mis en évidence par un certain nombre de travaux empiriques portant sur le cas américain : on peut citer par exemple le travail fondateur de Moretti (2010) qui met en évidence que chaque emploi créé dans une zone d'emploi donnée dans un secteur intensif en technologie tel que les technologies numériques ou les machines et appareils électriques, de l'ordre de 4,9 nouveaux emplois sont créés localement. Des travaux mettent en évidence des évolutions comparables dans les cas européens et français (*cf.* troisième partie, 3.). Comme le souligne *la Fabrique de l'industrie*, ce n'est évidemment pas la valeur exacte du multiplicateur qu'il faut retenir, puisqu'elle est évidemment entourée d'une part d'incertitude, mais l'idée essentielle qu'un accroissement des emplois exposés a un impact fort sur les emplois abrités.

# 3 Les impacts sur la structure des emplois et le contenu des métiers

Depuis les années 1980, on assiste en France à une évolution de la structure de l'emploi qui semble avoir surtout profité aux plus qualifiés. Dans d'autres pays comme les Etats-Unis, la croissance de l'emploi des plus qualifiés

[174] Des travaux mettent en évidence un avantage salarial substantiel pour les personnes employées dans des secteurs intensifs en technologie, qui est le reflet à la fois de la forte demande pour ces travailleurs mais aussi celui de la valeur économique qu'ils créent : les technologies complètent les travailleurs dans la réalisation de leur travail ce qui accroit leur productivité au travail.

s'est accompagnée d'une progression de l'emploi peu qualifié, aux dépends des qualifications intermédiaires : c'est ce qu'on appelle une polarisation de l'emploi. Elle est moins nette en France.

Si la majorité des études ont porté sur le cas des Etats-Unis, un faisceau de preuves semble démontrer dans le cas français que cette déformation de la structure de l'emploi a pour partie été tirée par la diffusion de technologies nouvelles.

Au cours des dernières décennies, les technologies numériques semblent également avoir contribué à modifier le contenu en tâches et en compétences des métiers. Plusieurs travaux rendent ainsi compte d'une relative complexification des métiers en lien notamment avec la diffusion de technologies nouvelles, marquée pour partie par un essor des compétences analytiques et relationnelles.

Les travaux prospectifs disponibles semblent annoncer la poursuite d'une modification de la structure de l'emploi et du contenu en tâches et en compétences des métiers qui continuerait à bénéficier en priorité aux plus qualifiés. Moins d'emplois seraient alors accessibles aux moins qualifiés, ce qui soulève un certain nombre de défis.

## 3.1 La structure de l'emploi a été profondément modifiée depuis les années 1980, en partie en lien avec la diffusion de technologies numériques

### 3.1.1 Une modification de la structure de l'emploi depuis les années 1980, qui semble avoir surtout profité aux plus qualifiés en France

***Un phénomène de polarisation de l'emploi variable par son ampleur et par sa forme selon les pays, mais aussi selon la mesure utilisée pour estimer le niveau de qualification.***

On appelle polarisation de l'emploi le phénomène de diminution des emplois associés à des niveaux de qualifications intermédiaires allant de pair avec une augmentation du poids des emplois à haut et à bas niveaux de qualification[175]. Ce phénomène est souvent représenté par une courbe « en U » décrivant l'évolution de la part de l'emploi selon le niveau de qualification. Dans la plupart des études disponibles – notamment dans le cas des études anglo-saxonnes et européennes –, le niveau de qualification est estimé à partir du salaire médian ou moyen à une date donnée (souvent en début de période). On peut souligner que si cette méthode d'estimation de la qualification à partir de la rémunération est simple à mettre en œuvre, notamment pour réaliser des comparaisons internationales, elle présente un certain nombre de limites[176]. Le salaire dépendant de multiples facteurs (âge, ancienneté dans l'entreprise, sexe, etc.), le fait d'estimer le niveau de qualification avec le seul salaire moyen peut dès lors conduire à considérer un métier comme plus qualifié parce que la moyenne d'âge y est par

[175] Audition au COE de Gregory Verdugo, Centre d'Economie de la Sorbonne, OFCE, devant le COE le 5 octobre 2016.

[176] Voir notamment et Joly C. (2015), La polarisation des emplois : une réalité américaine plus qu'européenne?, France stratégie, Document de travail, n°2015-04 et Ast D. (2015), En 30 ans, forte progression de l'emploi dans les métiers qualifiés et dans certains métiers peu qualifiés de services, Dares Analyses, N°028, avril pour une vision plus complète des différentes limites attachées à la méthode de mesure de la qualification à l'aide du salaire.

exemple plus élevée[177]. Une autre limite importante a trait au choix des seuils à partir desquels on estime qu'un métier est qualifié ou non, qui comporte nécessairement une part d'arbitraire et dont les résultats dépendent largement[178].

Particulièrement bien documenté dans le cas américain[179], le phénomène de polarisation de l'emploi semble constituer un phénomène relativement généralisé (en tout cas lorsque le niveau de qualification est estimé à partir du salaire). Des travaux sur les cas anglais[180] et allemand[181] convergent aussi pour mettre en évidence une polarisation de l'emploi. Dans le cadre d'un travail qui étudie 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, Goos et Manning (2014) montrent que le phénomène de polarisation concerne une large majorité des pays entre 1993 et 2010 [182].

Comme l'illustre le graphique 17 portant sur les Etats-Unis, l'ampleur et la forme de la polarisation peut toutefois varier selon les périodes considérées [183]. Alors que les périodes 1979-1989 et 1989-1999 sont marquées d'abord par une progression des emplois les plus qualifiés, cette tendance s'inverse au cours de la décennie suivante qui est caractérisée par une croissance particulièrement importante des emplois peu qualifiés.

La hausse de la part de l'emploi à bas niveaux de qualification aux Etats-Unis a été tirée, en tout cas jusqu'au milieu des années 2000, par une progression rapide de l'emploi dans les métiers de service[184]. La part des heures travaillées dans les métiers de services associés à des bas niveaux d'éducation et de rémunération a en effet augmenté de 30 % entre 1980 et 2005, tandis que celle des métiers à niveau d'éducation et de rémunération similaires de la production, de l'artisanat ou dans le domaine agricole diminuait au cours de la même période.

[177] On peut souligner qu'il est possible d'élaborer une mesure de la qualification à partir des écarts de salaire « corrigés » de certains effets supposés non liés à la qualification (âge, travail de nuit, ancienneté dans l'entreprise, etc.).

[178] Joly C. (2015), « La polarisation des emplois : une réalité américaine plus qu'européenne ? », *France stratégie*, Document de travail, N°2015-04.

[179] Voir notamment Autor D., Katz et Kearney (2006, 2008) et Autor D. et Dorn D. (2013a), « The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market », American Economic Review, 103(5): 1553-1597.

[180] Voir notamment Goos et Manning (2007), *op. cit.* et McIntosh S. (2013), Hollowing out and the futur of the labour market, BIS Research Paper Number 134, October.

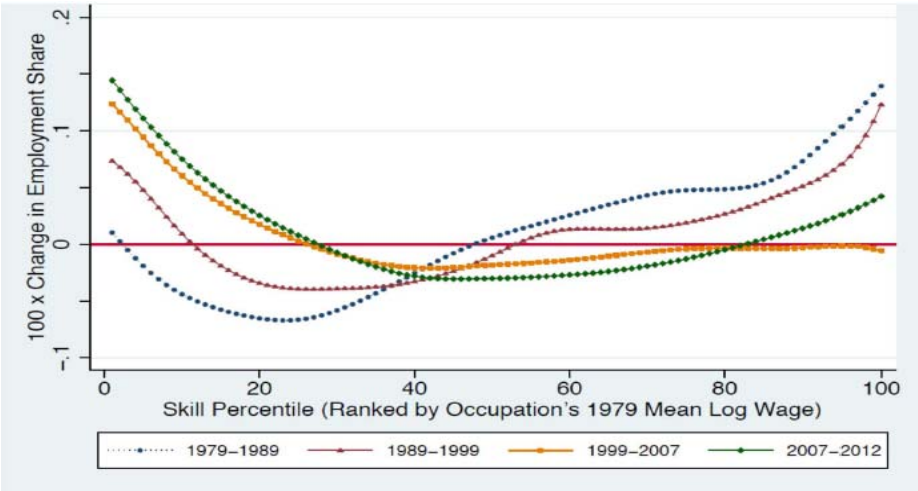
[181] Voir notamment Spitz-Oener A. (2006), « Technical change, job tasks, and rising educationnal demands : looking oustide the wage structure », *Journal of Labour Economics* Vol. 24, N° 2, pp. 235-270.et Dustmann, Ludsteck et Schönber (2009). « Revisiting the German wage structure », *The Quarterly Journal of Economics* (2009) 124 (2): 843-881.

[182] Goos M., Manning A. et Salomons A. (2014), « Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring », *The American Economic Review*.

[183] Autor D. et Dorn D. (2014), « Polany's Paradox and the Shape of Employment Growth », *Federal Reserve Bank of St. Louis : Economic Policy Proceedings, Reevaluating Labor Market Dynamics*, 129–177.

[184] Autor D. et Dorn D. (2013a), *op. cit.*

**Graphique 17 : Part de l'emploi selon le niveau de qualification aux États-Unis entre 1980 et 2012**




*Lecture : Chacune des courbes représentent 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 points de pourcentage), et plus importante entre 2007 et 2012 (environ 1,5 point de pourcentage).*

*Source : Autor (2014)*

**Le phénomène de polarisation de l'emploi est toutefois variable selon les pays par son ampleur et par sa « forme ».** La déformation de la structure de l'emploi pouvant se faire davantage au profit des moins qualifiés ou au contraire des plus qualifiés. C'est ce qui ressort notamment d'un travail qui s'est intéressé à l'évolution de la structure de l'emploi selon le niveau de qualification mesurée à partir du salaire moyen en Europe entre 1994 et 2010 (graphique 18)[185]. Très nette en Europe du Nord, la déformation de la structure de l'emploi au profit des emplois très et peu qualifiés est également visible dans les pays nordiques. Dans les pays d'Europe du Sud, l'emploi des peu qualifiés a cru mais de façon relativement modérée au regard du dynamisme de l'emploi observé pour les plus hauts niveaux de qualification.

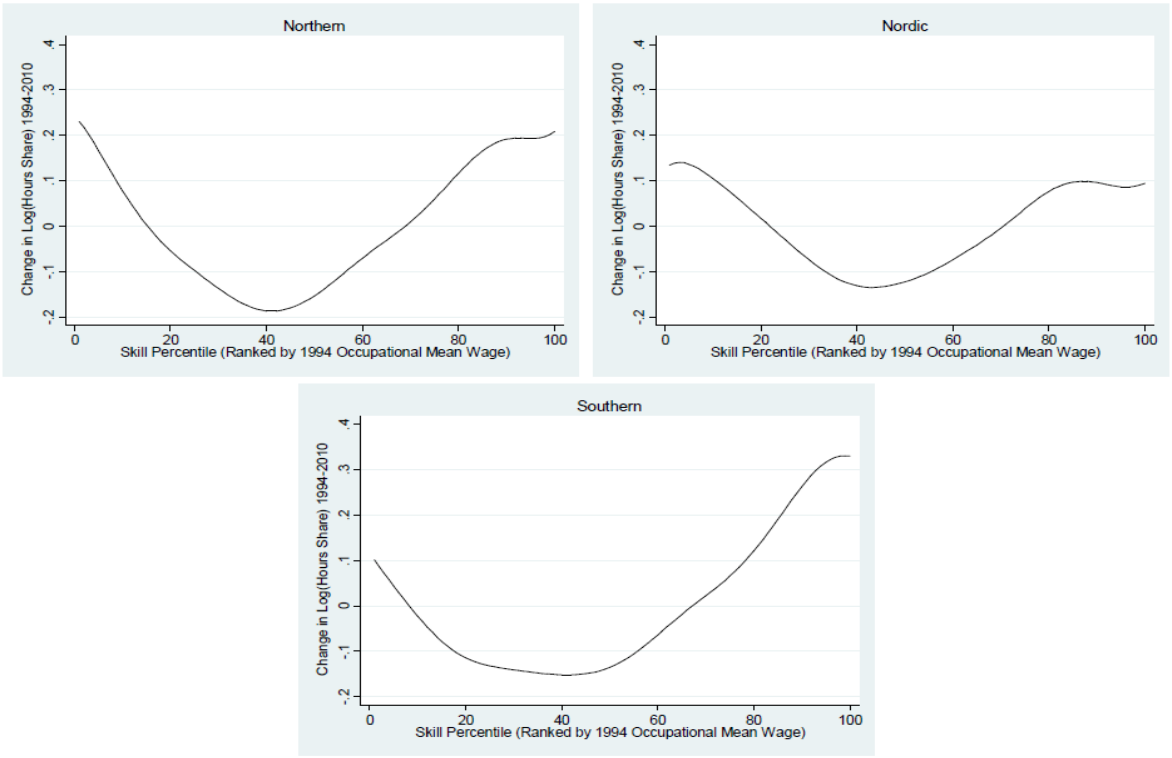
**Ce phénomène semble par ailleurs bien moins net lorsque la qualification est estimée à partir d'indicateurs non pécuniaires**. Un travail d'Eurofound montre ainsi que, si une hausse de l'emploi qualifié est observée dans tous les pays et cela quel que soit l'indicateur retenu pour mesurer la qualification (niveau d'éducation, qualité de l'emploi[186] et salaire), les résultats sont moins clairs s'agissant des emplois peu qualifiés[187]. Une augmentation de la part de ces derniers n'est perceptible – et encore, pas dans tous les pays - que lorsque le niveau de qualification est apprécié à l'aide du salaire, et décroit dans tous les pays lorsqu'elle est estimée à partir du niveau d'éducation ou de la qualité de l'emploi.

[185] Lindley J. et Machin S. (2013), « Labour Market Polarization, Urbanization and Skill-Biased Consumption », *Preliminary draft*, august. Les groupes de pays sont formés de la façon suivante: Europe du Nord: Autriche, Belgique, France, Irlande, Luxembourg, Pays-Bas, Suisse, Royaume-Uni ; pays Nordiques: Danemark, Finlande, Suède ; Europe du Sud: Grèce, Italie, Espagne, Portugal.

[186] Il s'agit d'un indicateur qui agrège plusieurs informations sur des caractéristiques non-pécuniaires des emplois associés dans la littérature en sciences sociales au bien-être du travailleur.

[187] Hurley J., Fernandez-Macias E. et Storries D. (2013), Employment Polarization and Job Quality in the Crisis, Eurofound, European Jobs Monitor.

**Graphique 18 : Part de l'emploi selon le niveau de qualification dans plusieurs groupes de pays européen entre 1994 et 2010**




*Lecture : Chacune des courbes représente les évolutions du logarithme des heures travaillées selon le niveau de qualification (estimé d'après les salaires moyens en 1994) sur la période 1994-2010. Par exemple, la part des emplois les moins qualifiés (correspondant à la valeur 0 selon l'échelle des abscisses) augmente de façon différenciée selon le groupe de pays retenus : l'augmentation est plus importante pour les pays du Nord de l'Europe, tandis qu'elle est plutôt faible pour les pays du Sud.*

*Source : Lindley et Machin (2013)*

### *Dans le cas français, si les travaux convergent pour mettre en évidence un accroissement de la part des emplois les plus qualifiés, l'évolution de l'emploi en bas de l'échelle de la distribution des qualifications est moins claire*

Plusieurs travaux mettent en évidence l'existence, en France, d'une polarisation de l'emploi au profit des emplois aux extrêmes de la distribution en termes de qualification à partir des années 1990. C'est notamment le cas du travail de Goos et Manning (2014)[188] qui met en évidence dans le cas français une diminution de la part de l'emploi de niveau de qualification intermédiaire (-9 points de pourcentage), et une augmentation de la part de l'emploi très qualifié (+4) et peu qualifié (+4) entre 1993 et 2010. Une autre étude de Harrigan, Reshef et Toubal (2015) menée à partir de données administratives au niveau des entreprises met en évidence une polarisation de l'emploi selon le niveau de qualification (estimé à partir des professions et catégories socioprofessionnelles) entre 1994 et 2007, mais seulement dans le secteur non-manufacturier[189]. Le secteur manufacturier connait quant à lui plutôt une hausse de la part des plus qualifiés qui découle à la fois d'une substitution des emplois peu

[188] Goos M., Manning A. et Salomons A. (2014), *op. cit.*

[189] Harrigan J., Reshef A. et Toubal F. (2015), *op. cit.*

qualifiés par des emplois qualifiés au sein des entreprises, et d'une croissance plus forte des entreprises où la part des emplois qualifiés était initialement la plus importante (effet de structure).

Une étude récente portant sur une période plus longue semble toutefois atténuer ce constat d'une polarisation de l'emploi en France, pour mettre plutôt en évidence une élévation générale du niveau de qualification, variable toutefois selon les secteurs. Menée par la Dares en 2015, cette étude s'intéresse à l'évolution entre 1982-1984 et 2010-2012 de la part dans l'emploi des différentes familles professionnelles classées selon le salaire horaire moyen en 1990-1992. Alors que l'emploi dans les professions qualifiées a augmenté tout au long de la période considérée, les métiers de qualification moyenne (salaire horaire moyen compris entre 5,5 et 6,8 euros) mais aussi les métiers à faible niveau de qualification (salaire horaire moyen inférieur à 5,5 euros) ont plutôt eu tendance à diminuer[190]. La part de l'emploi par niveau de qualification ne suit alors pas la courbe « en U » représentative du phénomène de polarisation (graphique 20).

Cette élévation de la part des plus qualifiés en France est confirmée par l'étude d'Eurofound de 2013[191] qui met par ailleurs en évidence dans le cas français une relative stagnation de la part de l'emploi peu qualifié lorsque le niveau de qualification est mesuré à partir des salaires, et une diminution de cette part lorsqu'il est mesuré à partir du niveau d'éducation ou de la qualité de l'emploi entre 1995 et 2010.

Est également mise en évidence dans ce travail une évolution de la structure de l'emploi par qualification, variable selon les secteurs. Ainsi, au sein des grands domaines de l'agriculture, de l'industrie et du bâtiment et des travaux publics, la part de l'emploi qualifié a eu tendance à augmenter, tandis que les emplois les moins qualifiés ont diminué. Les évolutions de l'emploi dans le tertiaire sont quelque peu différentes puisqu'on y observe à la fois une hausse de l'emploi dans les métiers les plus qualifiés et certains métiers peu qualifiés (aide à domicile, aide-ménagère et garde d'enfants notamment), alors que l'emploi dans plusieurs métiers de niveau de qualification intermédiaire diminue. Au total, c'est le tertiaire qui semblerait avoir connu une certaine forme de polarisation au cours des trente dernières années. Ce phénomène est particulièrement net dans le courant des années 1990, période où l'emploi a sensiblement augmenté dans la majorité des emplois les moins qualifiés.

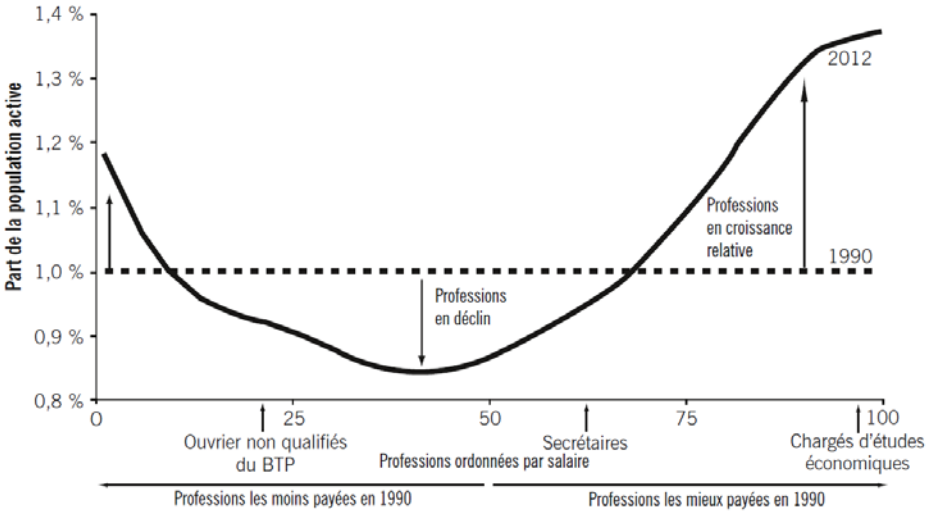
Une étude de Catherine, Landier et Thesmar (2015) conclut de son côté à une polarisation de l'emploi entre 1990 et 2012 (graphique 19). Cette étude se fonde toutefois sur une méthode légèrement différente puisqu'elle s'intéresse à l'évolution du poids de chaque catégorie socio-professionnelle dans la population active qui regroupe les personnes en emploi ainsi que les chômeurs[192]. Dès lors, la déformation de la structure de la courbe au profit des moins qualifiés (le niveau de qualification étant estimé à partir du niveau de rémunération moyen en 1990) pourrait s'expliquer en partie par une surreprésentation des personnes au chômage à ce niveau de qualification.

[190] Joly C. (2015), *op. cit.*

[191] Hurley J., Fernandez-Macias E. et Storries D. (2013), *op.cit.*

[192] Catherine S., Landier A. et Thesmar D. (2015), *Marché du travail : la grande fracture*, Institut Montaigne, février.

**Graphique 19 : Évolution du poids de chaque catégorie socio-professionnelle dans la population active entre 1990 et 2012**




*Note : La discontinuité dans la nomenclature des professions en 2003 est traitée en supposant que la répartition statistique des anciennes professions (PCS 1982) dans les nouvelles (PCS 2003), telle qu'observée dans l'enquête 2003, est stable.*

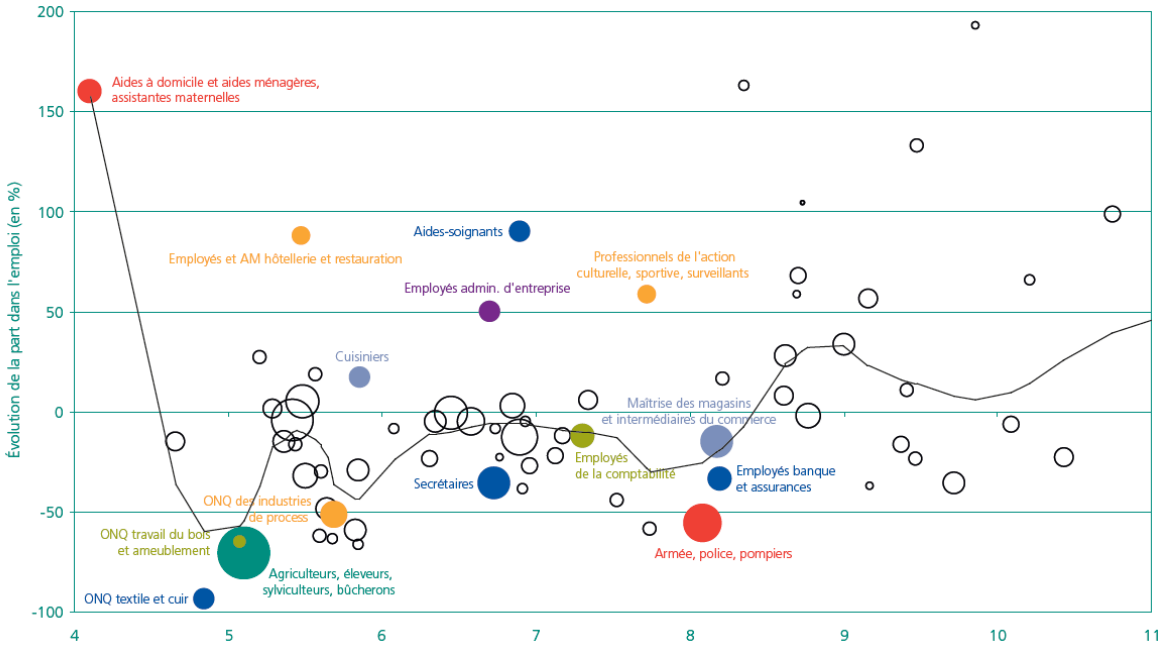
*Lecture : Les professions sont classées, de gauche à droite, selon le salaire moyen en 1990.*

*Source : Catherine S., Landier A. et Thesmar D. (2015), à partir de l'Enquête Emploi, INSEE.*

La France se caractérise par une difficulté à créer des emplois pour les personnes peu qualifiées : la moitié de la différence entre le taux d'emploi aux Etats-Unis et en France s'explique ainsi par un déficit d'emploi dans le commerce et l'hôtellerie-restauration, secteurs intensifs en main-d'œuvre peu qualifiée[193].

[193] Colin N., Landier A., Mohnen P. et Perrot A. (2015), *op. cit.*

**Graphique 20 : Evolution de l'emploi par qualifications entre 1982-1984 et 2010-2012 au regard du salaire horaire moyen en 1990-1992 (en euros)**




*Lecture : La part dans l'emploi des aides à domicile, aides ménagères et assistantes maternelles est passée de 2 % en 1992-1994 à 3 % en 1999-2001, soit une augmentation de 50 %.*

*Note : La taille des bulles est proportionnelle à la part de chacune des familles professionnelles dans l'emploi en 1992-1994. La courbe correspond à une courbe de tendance.*

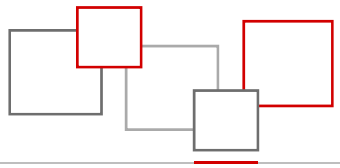
*Source : Dares (2015)*

### 3.1.2 La diffusion des technologies, notamment numériques, constitue l'un des moteurs de la modification de la structure de l'emploi

***La théorie du « progrès technologique biaisé » : d'un progrès technologique favorable aux plus qualifiés à un progrès technologique défavorable aux tâches routinières***

Parmi les grandes explications avancées pour expliquer la modification de la structure de l'emploi observée depuis les années 1980 figure le progrès technique, qui serait alors « biaisé » en faveur de certains types d'emplois ou de tâches. Les technologies favoriseraient les emplois ou les tâches qui ne seraient pas substituables par des machines mais qui leur seraient complémentaires, autrement dit ceux où l'homme garderait un avantage comparatif par rapport aux machines. On peut souligner ici que la littérature existante s'est surtout concentrée sur les effets des technologies numériques comprises au sens large (ordinateurs, algorithmes, etc.), délaissant quelque peu les effets potentiellement 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 identifié ce jour, dont les résultats sont présentés *infra*[194].

[194] Graetz G. et Michaels G. (2015), « Robots at work », Discussion paper n°8938, IZA, mars.



Dans la littérature économique des années 1990, l'hypothèse d'un progrès technique favorable aux plus qualifiés est dominante. Cette hypothèse a été développée en réponse aux interrogations soulevées par le creusement rapide des inégalités salariales observées entre les travailleurs diplômés du supérieur et les moins diplômés observé dans plusieurs pays développés et notamment aux Etats-Unis[195]. Elle repose sur l'idée que les technologies sont complémentaires aux plus qualifiés : d'une part, 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'information, susceptible d'accroître la productivité des personnes capables de les maîtriser. D'autre part, le développement et la diffusion de ces technologies requièrent des personnes ayant 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 emplois les moins qualifiés pourraient au contraire voir leurs emplois se faire remplacer pour tout ou partie par les technologies pour l'exécution de tâches simples.

Si cette hypothèse est cohérente avec la hausse de la demande de main-d'œuvre qualifiée, elle ne permet pas d'expliquer le phénomène de polarisation de l'emploi observé notamment aux Etats-Unis. Dans une étude de référence, Autor, Levy et Murnane (2003) ont alors formulé **une hypothèse plus sophistiquée pour expliquer l'effet de l'adoption de technologies sur la structure de l'emploi : l'hypothèse d'un changement technique défavorable aux tâches dites « routinières »[196].** Suivant cette hypothèse, l'impact des technologies sur l'emploi n'est pas fonction du niveau de qualification, mais du type de tâches associées à chaque poste de travail. Ce postulat repose sur l'idée que les nouvelles technologies et notamment les technologies numériques possèdent des qualités et des défauts distincts par rapport à l'homme : bien appropriées pour réaliser des tâches qui suivent un ordre procédural bien défini (on parle de tâches « routinières »), elles le sont beaucoup moins lors qu'il s'agit de tâches qui impliquent de résoudre des problèmes, de faire preuve de créativité ou de leadership ou encore qui nécessitent une certaine dextérité (on parle de tâches « non-routinières). Les nouvelles technologies seraient alors substituables aux travailleurs dans l'exécution de tâches manuelles et cognitives « routinières », tandis qu'elles seraient complémentaires s'agissant de l'exécution de tâches cognitives « non-routinières ». Aucune complémentarité ou substituabilité particulière n'existerait en revanche s'agissant des tâches manuelles « non-routinières » : les technologies ne peuvent automatiser ces tâches qui requièrent trop de dextérité, de communication interpersonnelle et de proximité physique directe, mais il n'y a pas non plus de gains de productivité liés aux nouvelles technologies.

Quand le prix des technologies numériques diminue, le modèle par les tâches prédit un accroissement de la demande d'emplois intensifs en tâches cognitives « non-routinières » (qui se situent plutôt en haut de l'échelle de distribution des salaires) et une diminution au contraire de la demande d'emplois intensives en tâches « routinières » (qui se situent plutôt au milieu de l'échelle de distribution des salaires).

Autor et Dorn (2013a) précisent les implications de l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « non-routinières » sur la part des emplois intensifs en tâches manuelles : dans un contexte de hausse de la demande de services à faible qualification, les travailleurs exécutant des tâches « routinières » auraient tendance à se diriger vers les emplois manuels « non-routiniers » (qui se situent plutôt en bas de l'échelle de distribution

[195] Dorn D. (2016), « La montée en puissance des machines : comment l'ordinateur a changé le travail », Revue française des affaires sociales 2016/1 (n°5), p. 35-63.

[196] Autor D. H., Levy F. et Murnane R. J. (2003), op. cit.

des salaires)[197]. L'évolution de la structure de l'emploi prévue par ce modèle est alors cohérente avec le phénomène de polarisation de l'emploi.

Dans le cadre du modèle d'Autor, Levy et Murnane (2003), le progrès technologique est considéré comme exogène. Autrement dit, il est considéré comme une donnée par les entreprises qui l'intègrent automatiquement pour remplacer les emplois intensifs en tâches « routinières » et cela sans prendre en considération la rentabilité économique d'une telle décision**.** C'est cette lacune que cherche à combler **un modèle développé par Feng et Graetz (2016) qui intègre l'arbitrage réalisé par les entreprises au moment de choisir d'automatiser ou non un emploi entre coût d'automatisation et coût du travail**[198]**.** Pour ce faire, il distingue les tâches, non plus selon leur caractère automatisable (car « routiniers ») ou non (car « non-routiniers »), mais selon leur degré de complexité du point de vue de l'ingénieur qui souhaiterait les automatiser et les exigences de formation auxquelles devraient répondre un travailleur pour les exécuter lui-même**.** Quand deux tâches ont le même niveau de complexité (autrement dit, le même coût d'automatisation), les firmes choisiront dans ce cadre de substituer par des technologies numériques ou par une machine les tâches qui requièrent le plus de formation (autrement dit, celles pour lesquelles le coût du travail est le plus élevé). A l'instar du modèle développé par Autor, Levy et Murmane, ce modèle prédit une polarisation de l'emploi. Si l'on compare la situation des emplois peu qualifiés avec celle des emplois à niveaux de qualification intermédiaire, les premiers sont associés à des tâches plus complexes à automatiser et à un niveau de formation (pour ce type de tâche) nulle ou faible tandis que les seconds sont associés à des tâches plus facilement automatisables et à un niveau de formation intermédiaire. Dans le cadre du modèle proposé par Feng et Graetz, les entreprises auront alors tendance à automatiser plutôt les emplois intermédiaires. S'agissant des emplois qualifiés, ces derniers sont associés à un coût du travail élevé mais sont protégés en raison de la grande complexité des tâches qu'ils réalisent.

***Si le sujet a surtout été traité aux Etats-Unis, un faisceau de preuves semble étayer dans le cas français l'hypothèse d'un progrès technique favorable aux emplois les plus qualifiés jusque dans les années 1990, et en défaveur des tâches « routinières » à partir des années 1990***

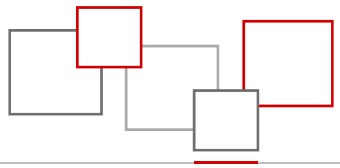
De nombreuses études quantitatives et études de cas mettent en évidence une relation forte entre l'adoption de technologies numériques et informatiques et la hausse du niveau d'éducation des travailleurs[199]. Observée dans plusieurs pays et notamment aux Etats-Unis, cette relation est souvent interprétée comme la preuve d'un changement technologique favorable aux emplois plus qualifiés[200]. L'hypothèse d'un progrès technique qui privilégierait les emplois les plus qualifiés **par rapport aux peu qualifiés est confirmée dans le cas français par plu-**

[197] Autor D. et Dorn D. (2013a), *op. cit.*

[198] Feng A. et Graetz G. (2016), *op.cit.* Ce modèle repose sur l'idée que ce qui est complexe du point de vue de l'ingénieur ne l'est pas forcément pour les humains, et inversement (Moravec, 1988). A titre d'illustration les métiers de serveur, de chauffeur de taxi ou de femme de ménage qui reposent notamment sur des capacités de vision, de mouvement et de communication importantes sont très complexes à automatiser, alors qu'ils ne requièrent qu'un investissement très faible en formation. A l'inverse, le métier de comptable requière une bonne maîtrise de l'arithmétique qui implique de nombreuses années de formation, alors qu'il s'agit d'un domaine pour lequel les technologies numériques sont relativement performantes.

[199] Peut ainsi être cité un travail de Caselli et Coleman (2001) portant sur plusieurs pays qui montre que les ordinateurs ont été plus souvent adoptés dans les pays avec une main-d'œuvre qualifiée abondante. Beaudry et al. (2010) montrent quant à eux qu'au sein d'un pays, les zones urbaines avec la part la plus importante de diplômés du supérieurs on adoptés plus rapidement des technologies numériques.

[200] Autor D. et al. (2003), « The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration », *Quarterly Journal of Economics*, 118(4), November, 1279-1334.



**sieurs études, la plupart des travaux disponibles portant sur la période allant jusqu'aux années 1990**[201]. C'est le cas notamment d'une étude de Duguet et Greenan (1997) réalisé au niveau des entreprises, pour le seul secteur manufacturier. Les auteurs mettent en évidence l'existence d'un biais technologique qui favorise le personnel de conception entre 1986-1991, correspondant à la main-d'œuvre la plus qualifiée[202]. Si Goux et Morin (2000) soulignent la prédominance d'autres facteurs d'explication (faiblesse de la demande pour les secteurs plus intensifs en personnel peu qualifié, hausse du niveau d'éducation), ils établissent toutefois un lien entre la diffusion de technologies nouvelles et la baisse de la part des travailleurs peu qualifiés (dont le niveau de diplôme est inférieur au bac) dans l'emploi total observée au niveau national entre 1970 et 1993[203].

En ce qui concerne l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières », cette dernière est étayée par de nombreux travaux portant sur le cas américain. C'est le cas notamment du travail d'Autor, Levy et Murnane (2003) qui valident une des premières implications de leur modèle : l'intensité des tâches « routinières » des secteurs en 1960 est un bon indicateur de leur adoption en technologies informatiques entre 1960 et 1998. Ils mettent par ailleurs en évidence que les secteurs qui ont le plus investi dans les technologies numériques sont ceux qui ont connu les pertes d'emploi associés à des tâches cognitives et manuelles « routinières » les plus importantes, tandis que la part des emplois associés à des tâches cognitives « non-routinières » a crû. De tels changements dans la structure de l'emploi ont été mineurs avant 1960, c'est-à-dire avant l'avènement des technologies numériques, et ont accéléré à partir des années 1970. En outre, ces changements ont été observés quels que soient le genre, le niveau d'éducation et le groupe professionnel.

On peut citer également un travail d'Autor et Dorn (2013a) qui montre que les marchés de l'emploi locaux qui avaient la part d'emplois « routiniers » la plus élevée en 1980 sont ceux qui ont le plus investi dans les technologies numériques et qui ont été les plus concernés par une polarisation de l'emploi. Ce travail valide par ailleurs la prédiction d'une augmentation de la part de l'emploi dans les services à la personne dans les zones où l'emploi routinier était initialement le plus important.

Un autre travail d'Autor et Dorn (2013b) met en évidence des effets différenciés des technologies numériques pour les fonctions support et production : parmi les métiers « routiniers », ce sont d'abord les emplois liés à la chaîne de production qui disparaissent, puis ceux liés aux fonctions support (qui correspondent essentiellement à des tâches de traitement de l'information)[204].

On peut finalement souligner ici que, à partir de données disponibles pour les Etats-Unis entre 1980 et 2008, Feng et Graetz (2016) valident la pertinence d'une prise en compte des questions de rentabilité économique pour comprendre les effets des technologies numériques sur la structure de l'emploi. Ils démontrent en effet

[201] Charnoz P. et Orand M. (2016), « Qualification, progrès technique et marchés du travail locaux en France, 1990-2011 ». Insee, non-publié.

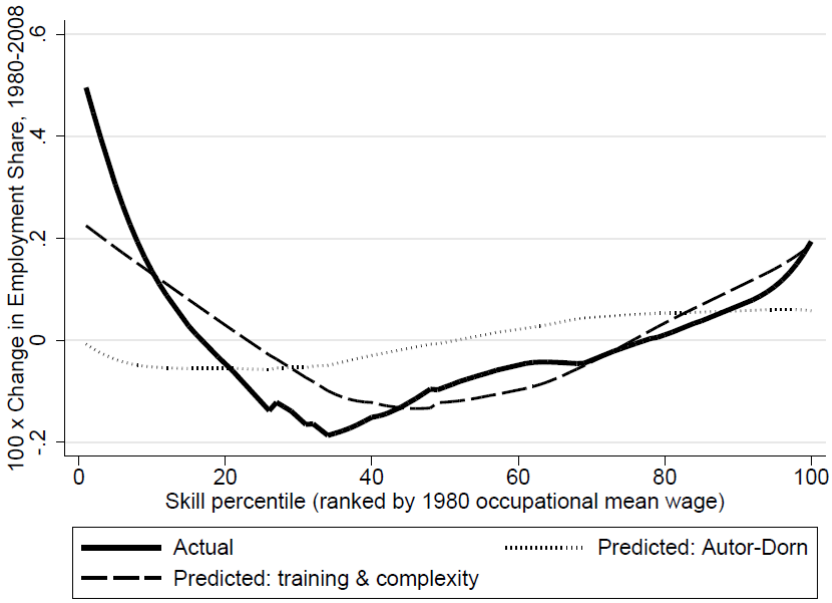
[202] Duguet E. et Greenan N. (1997), « Le biais technologique : une analyse économétrique sur données individuelles », *Revue économique*, vol. 48, n°5. On peut souligner la mise en évidence dans le cadre de cette étude d'effets différenciés en fonction des types d'innovation (innovations de produits vs. innovations de procédés et innovations incrémentales vs. innovations radicales) : par exemple, alors que la main d'œuvre de conception est favorisée lorsque l'entreprise met en œuvre des innovations incrémentales de procédés, elle est défavorisée lorsqu'elles sont radicales. Le résultat global sur la structure par qualification de l'emploi dépend ainsi aussi de la façon dont les entreprises innovent.

[203] Goux D. et Morin E. (2000), « The Decline in Demand for Unskilled labor: an Empirical Analysis Method and Its Application to France », *The Review of Economics and Statistics*, 82, 596-607.

[204] Autor et Dorn (2013b), « Untangling Trade and Technology: Evidence from local Labor Markets *», NBER Working Papers* 18938.

que la capacité prédictive de leur modèle est supérieure à celle du modèle développé par Autor et Dorn (2013a) (graphique 21).

**Graphique 21 : Evolution effective et évolution prédite de la part de l'emploi selon le niveau de qualification aux Etats-Unis entre 1980 et 2006**




*Lecture : Les courbes représentent les évolutions de la part de l'emploi selon le niveau de qualification (estimé d'après les salaires moyens en 1980) sur la période 1980-2008. La courbe en gras correspond à l'évolution effective de la part de l'emploi, tandis que les deux autres montrent, sur la même période, les évolutions prédites par les deux modèles examinés.*

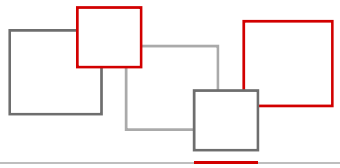
*Source : Audition au COE le 11 octobre 2011 de Georg Graetz*

Si l'existence d'une polarisation est moins évidente dans le cas français, cela ne signifie pas pour autant que l'hypothèse d'un progrès technique qui désavantagerait les emplois associés à des tâches répétitives n'est pas pertinente[205]. **Quelques travaux semblent ainsi valider l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières » en France à partir des années 1990.** Peut être cité, d'abord, le travail de Goos et Manning (2014)[206] qui valide l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières » et son implication sur la polarisation de l'emploi observée dans plusieurs pays de l'OCDE et notamment la France. Michaels, Natraj et Van Reenen (2014), dans le cadre d'une étude portant sur les Etats-Unis, le Japon et 9 pays européens (dont la France), mettent quant à eux en évidence un lien entre investissement en capital TIC et polarisation de l'emploi selon le niveau d'éducation entre 1980 et 2004[207].

[205] Charnoz P. et Orand M. (2016), *op.cit.*

[206] Goos M. et Manning A. (2014), « Explaining Job Polarization: Routine Biased Technological Change and Offshoring », *American Economic Review*, 104(8), p. 2509-2526.

[207] Michaels G., Natraj A. et Van Reenen J. V. (2014), « Has ICT polarized skill demand ? Evidence from eleven countries over 25 years », *Review of Economics and Statistics*, 96(1), pp. 60-77.



Deux autres études fondées sur des méthodes et des données distinctes portant plus spécifiquement sur le cas français ont également été réalisées en 2016.

La première, conduite par Charnoz et Orand (2016), teste la validité des prédictions d'Autor et Dorn (2013) pour la France[208]. A partir des données de recensement de la population, cette étude met notamment en évidence une diminution plus importante entre 1990 et 2011 de la part des métiers « routiniers » dans les zones d'emplois où cette part était plus élevée en 1982. La part des métiers routiniers est également corrélée positivement et significativement avec l'évolution de la part des métiers très qualifiés, ainsi que l'évolution de la part des métiers des services entre 1990 et 2011. L'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières » est donc bien validée dans le cas français, ainsi que celle d'une redirection des travailleurs exécutant initialement des tâches « routinières » vers les emplois des services. Au-delà des prédictions formulées par Autor et Dorn, les auteurs testent et valident par ailleurs un éventuel lien entre la part initiale des empois « routiniers » et le taux de chômage. Selon les auteurs, dans un contexte français caractérisé par un salaire minimum élevé et un fort taux de chômage, quand les emplois « routiniers » disparaissent, ils ne sont remplacés qu'en partie par des emplois de service. Une part grandissante des travailleurs les moins qualifiés se retrouverait alors au chômage. On peut souligner que l'effet de la part des métiers routiniers peut être différencié entre fonctions de support ou de production. La part des métiers de service a ainsi augmenté plus fortement dans les zones où la part des emplois « routiniers » de support était la plus élevée.

En utilisant une méthode distincte[209], Harrigan, Reshef et Toubal (2016) mettent également en évidence un effet de la technologie sur la structure de l'emploi entre 1994 et 2007, cohérent avec l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières ». Leur étude a pour intérêt notamment de chercher à isoler les effets de la technologie au sein des entreprises, qui constituent le niveau où sont prises les décisions d'automatisation.

S'agissant du secteur non-manufacturier, la diffusion des technologies est plutôt associée à une progression des emplois les plus qualifiés au sein des entreprises. Dans ce secteur, une diffusion plus importante des nouvelles technologies est en effet corrélée de façon positive et significative avec l'évolution de la part de l'emploi des cadres supérieurs et, bien que dans une moindre mesure, avec l'évolution de la part des cadres intermédiaires. La part des employés et des vendeurs croit quant à elle de façon beaucoup plus lente dans les entreprises où les technologies se sont le plus diffusées.

Au sein des entreprises du secteur manufacturier, la diffusion des technologies est associée à une polarisation des qualifications. Une diffusion importante des technologies y est notamment associée à une hausse plus importante de l'emploi des cadres supérieurs et à une progression beaucoup plus faible des emplois de bureau. Les vendeurs et les employés des secteurs manufacturiers et non manufacturiers correspondant plutôt à des emplois intensifs en tâches « routinières », ces résultats sont cohérents avec l'hypothèse d'un progrès technique défavorable aux tâches « routinières ».

[208] Autor D. et Dorn D. (2013), *op. cit.*

[209] Harrigan J., Reshef A. et Toubal F. (2015), *op. cit.* Ce papier a développé une stratégie originale pour appréhender l'effet du changement technologique sur la structure de l'emploi en France entre 1994 et 2007. Le postulat de départ de ce travail est que l'adoption des technologies numériques comprises au sens large dans une entreprise repose sur la présence de managers et de techniciens qualifiés appelés dans le cadre de cette étude les « techies ». Le papier a pour intérêt notamment de chercher à isoler les effets de la technologie estimée par la part des « techies » en 2002, au sein des entreprises. Des effets différenciés de la technologie sont notamment mis en évidence selon les secteurs.

Ce résultat ne semble a priori pas cohérent avec l'étude de Graetz et Michaels (2015) qui examine l'impact économique des robots industriels dans 17 pays, dont la France, entre 1993 et 2007. A partir d'un modèle économique simple permettant de comprendre la décision d'une entreprise d'investir dans une machine, les auteurs montrent que l'investissement en robots est associé à une diminution du nombre d'heures travaillées des travailleurs à niveau de qualification intermédiaire et faible[210].

Des travaux supplémentaires seraient sans doute nécessaires pour comprendre, d'une part les effets différenciés des technologies selon que l'on se situe dans le secteur manufacturier ou le secteur des services, ou selon que l'on considère les fonctions de production ou les fonctions supports. Des travaux supplémentaires sont sans doute également nécessaires pour clarifier et comprendre les effets potentiellement spécifiques que peuvent avoir les différents types d'innovations (procédés ou produits, incrémentales ou radicales) ou types de technologies (technologies de l'information et de la communication ou robots par exemple).

*D'autres facteurs contribuent à l'évolution de la structure de l'emploi*

Si l'hypothèse d'un progrès technologique non neutre sur la structure de l'emploi est validée par plusieurs travaux, d'autres facteurs concomitants peuvent également contribuer à expliquer les évolutions observées depuis les années 1980. **La mondialisation – qui est étroitement liée à la diffusion des technologies numériques – constitue la seconde grande explication généralement avancée par la littérature économique.**

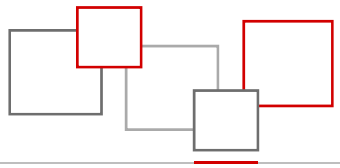
Parmi les autres facteurs généralement avancés pour expliquer les évolutions de la structure de l'emploi figurent également :

- **les changements sociodémographiques** : hausse du niveau d'éducation, vieillissement de la population, augmentation du taux d'activité des femmes ou encore l'immigration constituent autant de tendances structurelles affectant l'offre de travail. Le vieillissement de la population et la hausse de l'activité des femmes ont également pour effet d'accroitre la demande de soins pour les personnes âgées ou de services réalisés auparavant par les femmes comme le ménage ou la garde d'enfants. De tels changements des modes de consommation des ménages ont également pu être reliés dans la littérature à une croissance des inégalités[211] ;
- **les réglementations et institutions du marché du travail** : l'existence d'un salaire minimum ou de politiques cherchant au contraire à diminuer le coût du travail pour certains types d'emploi (politiques de soutien des services à la personne, exonérations de cotisations sociales sur les bas salaires, etc.) ne sont pas neutres sur les arbitrages réalisés par les entreprises entre embauches de salarié nationaux, automatisation ou encore délocalisation et donc sur la structure de l'emploi ;
- **les changements organisationnels** : certaines organisations du travail peuvent favoriser une hausse de la qualification (ou au contraire une déqualification des travailleurs), comme mis en évidence par Caroli et Van Reenen (2001) en France et au Royaume-Unis[212].

[210] Graetz G. et Michaels G. (2015), *op. cit.*

[211] Voir notamment Autor et Dorn (2013), *op. cit*., Lindley J. and Machin S. (2013), *op. cit.*

[212] Caroli E. et Van Reenen J.-V. (2001), « Skill-Biased Organizational Change? Evidence from A Panel of British and French Establishments », The Quarterly Journal of Economics (2001) 116 (4): 1449-1492.



Les travaux qui se sont intéressés aux effets des technologies sur la structure de l'emploi ont souvent cherché à prendre en compte certaines de ces explications alternatives, en particulier les effets du commerce international.

C'est le cas du travail de Charnoz et Orand (2016) portant sur le cas français qui valide la robustesse d'une explication de l'évolution de la structure de l'emploi par un progrès technique biaisé en introduisant des hypothèses alternatives, comme l'influence de la mondialisation et du commerce international, ou encore celle des changements démographiques[213]. C'est le cas également de Harrigan, Reshef et Toubal (2016) qui intègrent dans leur modèle les effets du commerce international (importations et exportations) qui apparaissent favorables à l'emploi qualifié et défavorables à l'emploi moins qualifié[214]. Si des effets importants des technologies et du commerce international sont mis en évidence, une part des évolutions observées de l'emploi reste toutefois inexpliquée par ces variables.

## 3.2 La diffusion des nouvelles technologies a également contribué à une profonde évolution des métiers, marquée notamment par une complexification généralisée et un essor des compétences analytiques et relationnelles

### 3.2.1 Une complexification généralisée des métiers, marquée notamment par un essor des compétences analytiques et relationnelles, en lien avec la diffusion des nouvelles technologies

La diffusion des technologies ne s'est pas seulement traduite par une modification de la structure de l'emploi mais également par une recomposition des compétences exercées au sein des différents métiers, et cela quel que soit le niveau de qualification ou d'éducation. Il en découle une modification des compétences recherchées sur le marché du travail, qui est également tirée par l'émergence de nouveaux métiers en lien avec les technologies numériques et auxquels sont attachées des tâches nouvelles et plus complexes (Encadré 5).

Des travaux portant notamment sur les cas européen et américain ont ainsi mis en évidence une complexification générale des métiers marquée par un essor des compétences analytiques et interactives exigées au travail, en lien avec la diffusion des technologies numériques. C'est le cas notamment d'un travail de Spitz-Oener (2006) qui s'intéresse à l'évolution des compétences exigées au travail en Allemagne à partir de la composition en tâches des métiers entre 1979 et 1999[215]. L'étude met en évidence l'essor de deux types de compétences cognitives « non-routinières » depuis la fin des années 1970 : les compétences analytiques exigées pour réaliser des tâches telles que la recherche, la planification ou l'évaluation et les compétences interactives nécessaires pour des tâches telles que la vente, la coordination ou la délégation de travail. Cette recomposition des tâches et des compétences a par ailleurs eu lieu essentiellement au sein des métiers, et cela quel que soit le sexe, l'âge ou le niveau d'éducation (graphique 22). A l'aide d'un modèle de régression simple qui contrôle notamment les effets de l'accroissement du niveau d'éducation, cette étude montre par ailleurs que la diffusion des technologies nu-

[213] Charnoz P. et Orand M. (2016), *op.cit.*

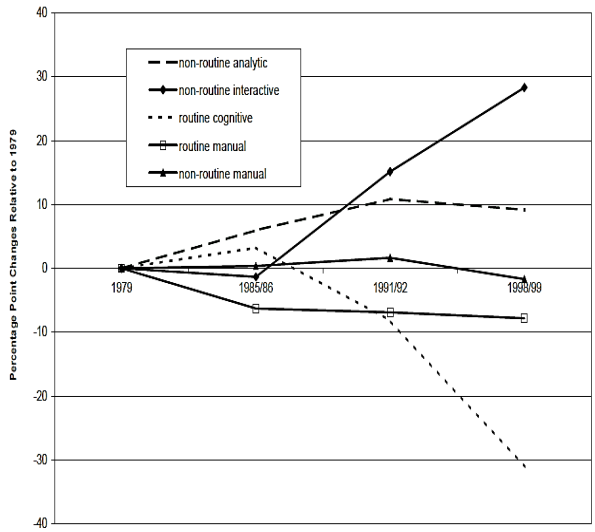
[214] Harrigan J., Reshef A. et Toubal F. (2015), *op. cit.*

[215] Spitz-Oener A. (2006), *op. cit.*

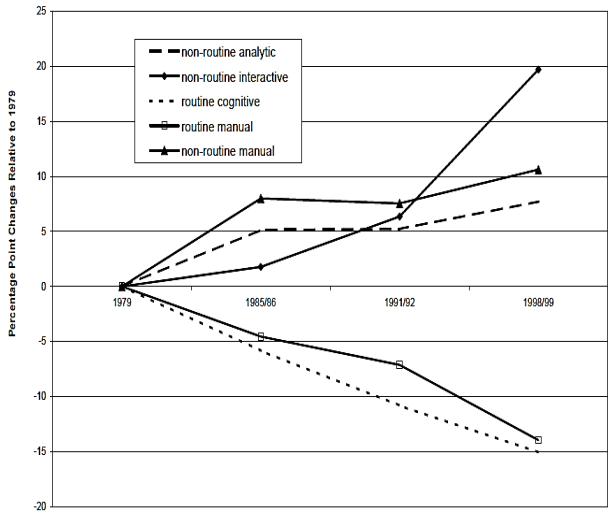
mériques a intensifié ces changements, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'un progrès technologique défavorable aux tâches « routinières ». L'analyse suggère finalement que la recomposition des tâches et des compétences exigées au travail explique une part significative de la hausse du niveau d'éducation observée au cours des dernières décennies. Un autre travail réalisé par Arntz, Gregory, Jansen und Zierahn (2016) montre que les entreprises allemandes anticipent un accroissement des tâches abstraites d'autant plus fort qu'elles ont investi dans des technologies d'automatisation au cours des cinq dernières années. Ce constat est vrai à la fois dans les activités de bureau et de production.

**Graphique 22 : Evolutions des types de tâches selon le niveau d'éducation entre 1979 et 1989-1999**

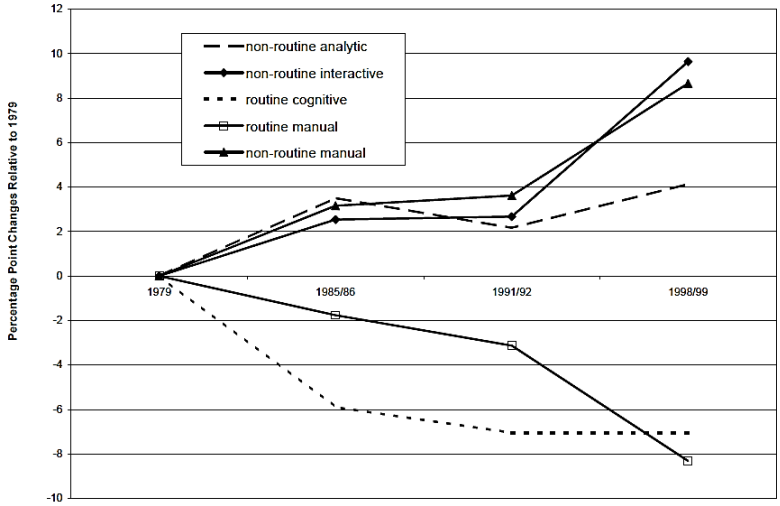
a. niveau d'éducation élevé




b. niveau d'éducation intermédiaire

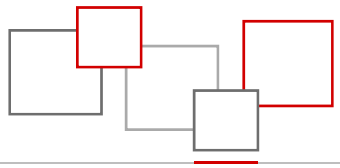



c. niveau d'éducation faible




*Lecture : Ces graphiques montrent l'évolution entre 1979 et 1999 du contenu en tâches des emplois selon le niveau d'éducation.*

*Source : Spitz-Oener (2006)*



Ces résultats sont cohérents avec plusieurs autres travaux portant sur le cas américain. Berger et Frey (2016a) montrent ainsi que les emplois apparus après 1980 sont devenus beaucoup plus abstraits, ce qui a accru la demande de compétences analytiques et interactives[216]. Les auteurs montrent que ces évolutions sont intimement liées à la révolution numérique : les nouveaux emplois sont apparus principalement dans les métiers et les industries qui ont le plus adopté les technologies numériques. Dans un autre travail plus qualitatif, Berger et Frey (2016b) ont analysé quelques exemples de nouvelles tâches qui ont émergé au cours des deux dernières années. Cette analyse suggère que ces nouvelles tâches sont souvent associées à l'arrivée de technologies digitales et tendent à nécessiter des compétences d'analyse et d'interactivité[217].

**Tableau 20 : Exemples de nouvelles tâches associées à l'arrivée de technologies digitales**

| Métier | Nouvelle tâche |
|---|---|
| **Ingénieur aérospatial** | Développer des logiciels pour les systèmes aérospatiaux |
| **Spécialiste des relations publiques** | Publier et mettre à jour les contenus sur le site de l'entreprise et les réseaux sociaux |
| **Ingénieur agronome** | Réaliser des expériences pour analyser les mécanismes impliqués dans la croissance des plantes et leur évolution dans un environnement |
| **Technicien-cartographe** | Estimer les coûts prévisionnels de projets de cartographie |

*Source : Berger et Frey (2016a), à partir de O*NET*

Ce constat d'un accroissement des compétences analytiques et interactives n'implique pas pour autant une disparition des compétences techniques qui restent centrales dans de nombreux métiers, et qu'elles complètent. C'est ce qui ressort notamment du travail de Berger et Frey (2016b) qui s'appuie sur des descriptions d'emplois du secteur du numérique. Ces derniers associent des tâches qui requièrent un mélange entre des fortes capacités analytiques et une large palette de compétences sociales telles que le management ou le sens du service, mais également des compétences techniques telles que la programmation. Ce constat peut être élargi à l'ensemble des secteurs de l'économie, avec notamment des besoins croissants de compétences génériques et de compétences techniques spécifiques liées aux TIC en lien avec la diffusion d'internet et des technologies numériques[218].

**Tableau 21 : Exemples de nouvelles compétences requises dans des métiers nouveaux ou émergents**

| Compétence | Description |
|---|---|
| **Résolution de problèmes complexes** | Identifier des problèmes complexes et recenser les informations pertinentes pour développer et évaluer les différentes options et mettre en œuvre les solutions. |
| **Réflexion critique** | Mobiliser une réflexion logique et critique pour |

[216] Berger T. et Frey C. F. (2016a), « Did the Computer Revolution shift the fortunes of U.S. cities? Technology shocks and the geography of new jobs », *Regional Science and Urban Economics* 57(2016) 38-45.

[217] Berger T. et Frey C. F. (2016b), « Structural Transformation in the OECD: Digitalisation, Deindustrialisation and the Future of Work », *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, N° 193.

[218] OCDE (2014), « Skills and Jobs in the Internet Economy », OECD Digital Economy Papers, N°. 242, *OECD Publishing.*

| | |
|---|---|
| | identifier les forces et les faiblesses de solutions alternatives ou d'approches à des problèmes. |
| **Apprentissage continu autonome** | Comprendre les implications de nouvelles informations pour la résolution de problèmes ou la prise de décision actuelles et futures. |
| **Evaluation et prise de décision** | Prendre en compte les coûts et les bénéficies des actions potentielles pour choisir la plus appropriée. |
| **Enseignement** | Apprendre aux autres comment réaliser une tâche. |
| **Programmation** | Coder des programmes informatiques pour des applications variées. |
| **Compréhension de l'environnement social** | Être conscient des réactions des autres et comprendre pour ils réagissent ainsi. |
| **Gestion des ressources humaines** | Motiver, accompagner et diriger une équipe et identifier les meilleurs candidats pour des postes. |
| **Evaluation des systèmes** | Identifier les indicateurs de performance d'un système et les actions nécessaires pour l'améliorer selon les objectifs. |

*Source : Berger et Frey (2016a), à partir de O*NET*

**Même en l'absence de travaux académiques équivalents dans le cas français, certains indices confirment une évolution générale similaire des métiers, marquée notamment par l'essor des compétences analytiques et interactives exigées au travail.**

Quelques travaux se sont intéressés au contenu en compétences des emplois, et cela parfois en lien avec la diffusion des technologies numériques.

Un travail réalisé par la DARES permet tout d'abord d'avoir une photographie relativement récente des compétences mobilisées au travail en France[219]. A partir de l'enquête PIAAC de 2012, les auteurs ont construit 11 groupes de compétences à partir de ce que les individus déclarent réaliser concrètement dans l'exercice de leurs fonctions[220]. Parmi les individus en emploi ou en ayant eu un au cours des 12 derniers mois, on peut observer une importance relative des compétences relationnelles - « travail en équipe » (69 % des personnes interrogées déclarent l'utiliser régulièrement) et « persuasion et négociation » (35 %) - et analytiques - « organisation et planification » (57 %) et « résolution des problèmes » (50 %). Ce travail met par ailleurs en évidence une complexité généralisée des emplois en termes de tâches et donc de compétences mobilisées au travail. Si les cadres et les professions intermédiaires utilisent le plus de compétences (respectivement 30 et 26 compétences utilisées régulièrement en moyenne), les employés et les ouvriers non qualifiés (respectivement 13 et 11) mobilisent des compétences plus variées et de façon plus intense que pourrait le laisser penser la dénomination de la catégorie socio-professionnelle à laquelle ils appartiennent. Un travail de Bittarello, Kramarz et Maitre (2016) met

[219] Branche-Seigeot A. (2015), « Compétences individuelles et compétences utilisées en situation de travail : Quels constats ? Quelle valorisation salariale ? », *DARES*, Document d'études, Numéro 193, septembre.

[220] L'enquête PIAAC interroge les individus sur leur fréquence d'utilisation de 40 compétences au travail. Ces compétences ont été regroupées dans le cadre de l'étude de la DARES en 11 catégories de compétences : travail en équipe, enseignement et présentations orale, vente et conseil, organisation et planification, persuasion et négociation, résolution des problèmes, aptitudes physiques, dexterité manuelle, littératie, numératie, informatique et internet. Trois niveaux d'usage des compétences ont été retenu en fonction du score d'utilisation de chaque compétences : jamais, usage limité, usage régulier.

par ailleurs en évidence une hausse importante des tâches cognitives entre 1990 et 2010 pour les personnes en bas de l'échelle de la distribution en termes de qualification[221].

Si ces études ne fournissent pas d'indication quant à la façon dont la diffusion des nouvelles technologies a influé sur les compétences utilisées au travail, elle peut toutefois être reliée à un travail de Bigi, Greenan, Hamon-Cholet et Lanfranchi (2011). Il a été réalisé à partir de l'enquête Changements organisationnels et Informatisation (COI) qui permet de mesurer les changements organisationnels entre 2003 et 2006-2007 et leurs effets sur les salariés dans les secteurs privé et public[222]. Il montre que les changements liés à l'adoption de TIC engendrent, pour les salariés, une hausse du sentiment d'utiliser d'avantage leurs compétences dans le secteur privé, ce sentiment étant d'autant plus fort que des changements dans les modes de gestion de l'entreprise accompagnent les changements informatiques. Un effet positif mais faiblement significatif des changements d'équipements en TIC sur l'apprentissage de choses nouvelles est mis en évidence, renforcé par un effet de complémentarité avec les outils de gestion de l'activité[223].

**Le constat d'une complexification des métiers en lien notamment avec les technologies numériques est confirmé, concernant les cadres, par l'APEC qui met en évidence une augmentation des principales compétences exigées pour les métiers en transformation**[224]. Parmi les nouvelles compétences exigées, beaucoup sont liées aux technologies numériques. C'est le cas par exemple de l'ingénieur d'affaire qui doit maîtriser actuellement 8 compétences principales, contre 4 en 2000. Parmi les 5 nouvelles compétences exigées, 2 sont en lien avec les technologies numériques ou avec l'innovation (figure 4a). Si on considère le métier de responsable de recrutement, les compétences principales attachées à ce métier sont passées de 5 en 2000 à 9 en 2016. 3 des 4 nouvelles compétences exigées sont en lien avec les technologies numériques (figure 4b). Peut être également cité le cas du responsable de marque, dont le métier s'est transformé sous l'effet notamment de la transformation numérique.

**On assiste par ailleurs à une mobilisation généralisée des compétences transverses – gestion de projet, capacité à travailler au sein d'équipe pluridisciplinaire, capacité à développer un réseau ou à communiquer (avec des collègues ou des clients), bonne compréhension de la stratégie d'entreprise, prise en compte des enjeux commerciaux notamment**[225]. Si cette tendance semble s'expliquer en partie par la diffusion des technologies numériques, il ne s'agit pas du seul facteur d'évolution des compétences et de transformation des métiers (cf. troisième partie, 3.1).

---

[221] Audition au COE de Francis Kramarz, Directeur du Centre de recherche en économie et statistique (Crest), devant le COE le 18 octobre 2016.

[222] Bigi M., Greenan N., Hamon-Cholet S. et Lanfranchi J. (2012), « Changements organisationnels et évolution du vécu au travail : une comparaison entre secteur privée et fonction publique d'Etat », *Centre d'études de l'emploi*, Rapport de recherche, N° 75. 2012, juin.

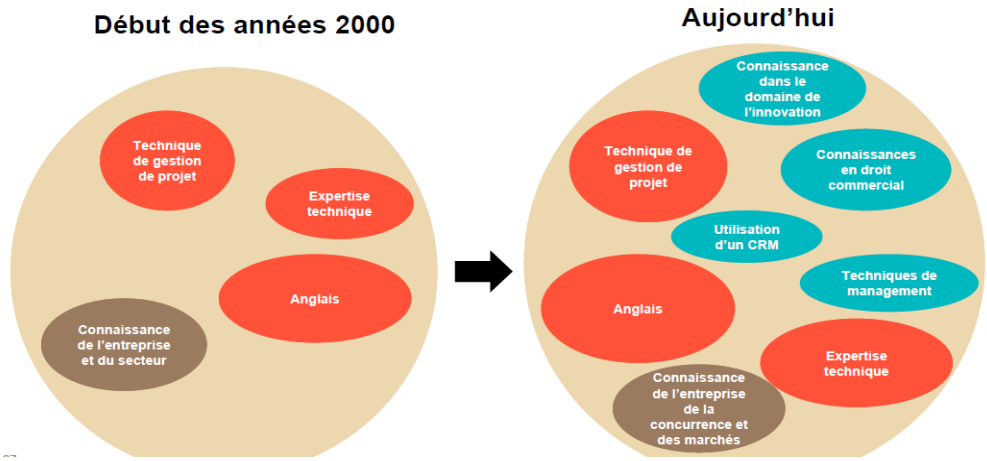
[223] Treize outils de gestion sont considérés ici : Engagement contractuel à fournir un produit ou un service ou SAV dans un délai limité, Relations de long terme avec ses fournisseurs, Obligation pour les fournisseurs de respecter des délais limités, Certification Qualité (ISO 9001), Enquêtes de satisfaction auprès de la clientèle, Equipes ou groupes de travail autonomes, Outils de traçabilité du produit ou du service, Outils de labellisation des biens et des services (NF), Centres d'appel ou de contact, Gestion de la production en juste à temps, Méthodes de résolution de problèmes (AMDEC), Gestion informatique intégrée de la relation client (CRM), Certification environnementale (ISO 14001) ou éthique.

[224] Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016.

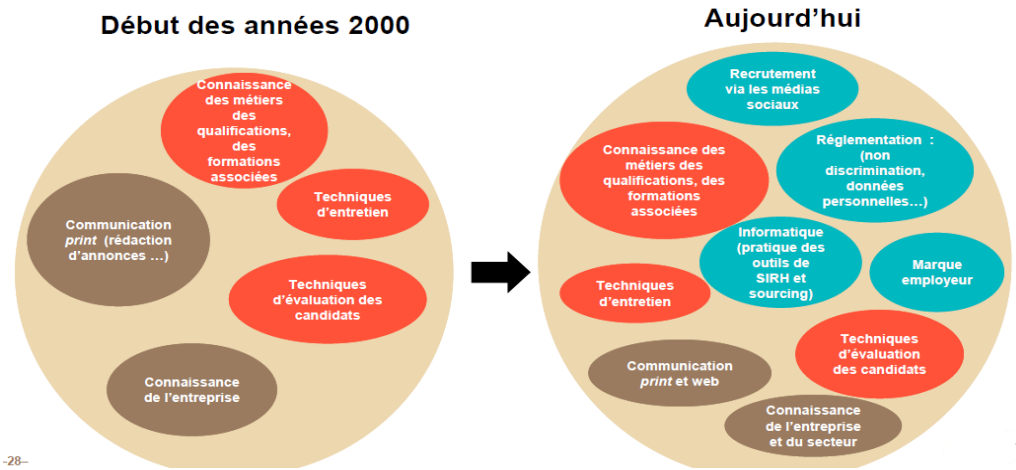
[225] Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016.

**Figure 4 : Evolution des compétences**

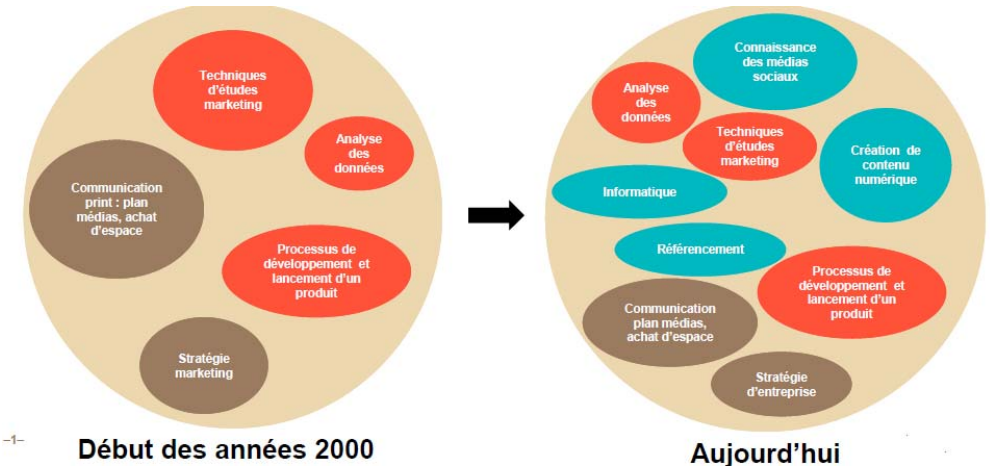
**a. chez les ingénieurs d'affaire**




**b. chez les chargés de recrutement**



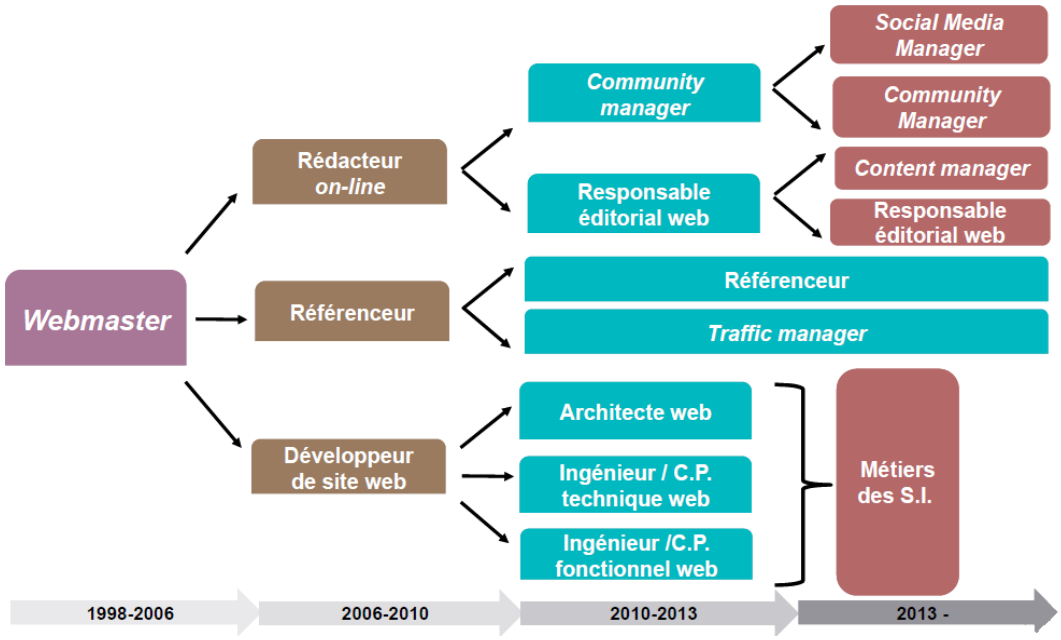

**c. chez le responsable de marque**




*Source : Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016*

Dans certain cas, la complexification des métiers peut être telle qu'elle conduit à leur fragmentation. L'exemple du métier de web master est emblématique d'un tel phénomène (figure 5).

**Figure 5 : Une fragmentation du métier de web master**




*Source : Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016*

La complexification des métiers en lien avec le changement technologique a été également pointée par plusieurs travaux dans le cas des peu qualifiés. Santelman écrivait ainsi en 2004 que *« les emplois qui étaient initialement en bas de l'échelle sont en voie de transformation et laissent la place à des métiers marqués par plusieurs phénomènes convergents », parmi lesquels « une culture technique et technologique plus large »*[226]. Dans le cadre d'un travail du Céreq portant sur la « non qualification », Rose (2009) met également en avant « *une complexification des contenus d'activités et une combinaison de savoirs* »[227]. Parmi les différents déterminants des évolutions du travail non qualifié figurent notamment les « technologies mises en œuvre qui exigent de nouvelles qualités et rendent possible un contrôle du travail d'une autre nature ».

**Encadré 5 : De nouveaux métiers en lien avec la diffusion des technologies notamment numériques**

Plusieurs travaux mettent en évidence l'émergence de nouveaux métiers, en lien avec la diffusion des nouvelles technologies et notamment des technologies numériques.

C'est ce qui ressort notamment d'une analyse des évolutions de la nomenclature ROME de Pôle emploi depuis 2010. Parmi les 149 nouveaux métiers qui ont été intégrés à la nomenclature ROME, 105 appartiennent au domaine du numérique. Ces nouveaux métiers sont re-

[226] Santelman P. (2004), « Construction de diplômes professionnels et notion d'emploi non qualifié », in D. Méda et F. Vennat [dir.], *Le travail non qualifié*, Permanences et Paradoxes, La Découverte, pp. 323-342.

[227] Rose J. (2009), « La « non qualification ». Question de formation, d'emploi ou de travail ? », Net.doc, n°53, *Céreq*, juin.

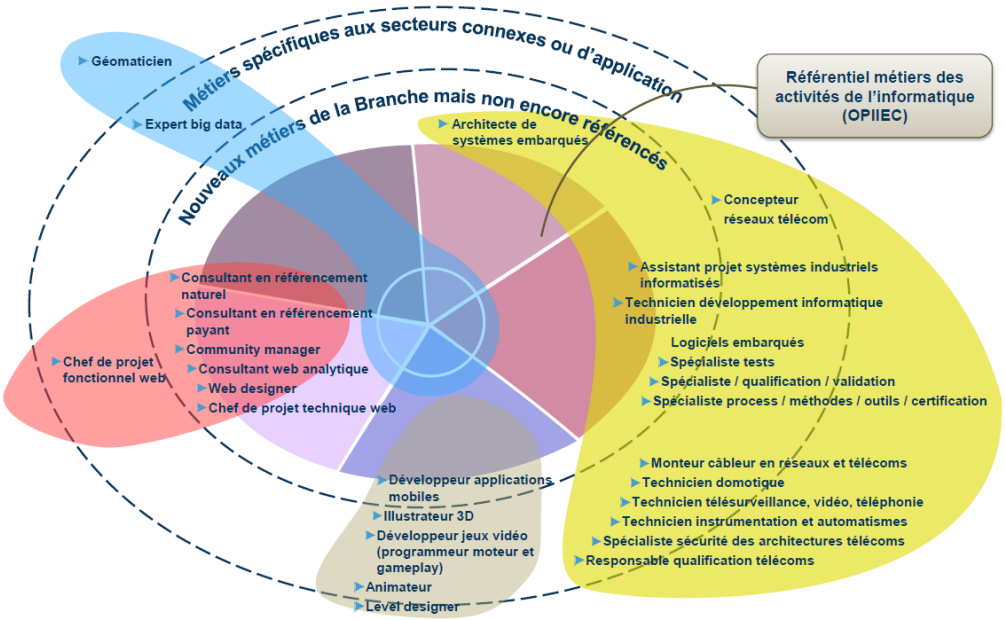
présentatifs de nouveaux besoins des entreprises, impliquant de nouvelles compétences et spécialisations.

On peut citer également un travail de l'APEC qui, à partir d'une analyse des offres d'emplois collectés sur son site, liste un certain nombre de métiers en développement en lien avec la transformation numérique[228]. Il s'agit de métiers arrivés à maturité et reconnus par des formations, avec des volumes d'offres significatifs. Parmi les métiers en développement identifiés, on peut distinguer ceux qui concernent :

- les cadres informatiques : ingénieur cloud et virtualisation, architecte fonctionnel, data scientist, ingénieur sécurité/ RSSI, architecte infrastructures ;
- et les autres métiers cadres : traffic manager, social media manager, content manager, responsable stratégie digitale, responsable e-commerce, webmarketer, yield manager, médecin DIM, géomaticien.

De nouveaux métiers ont par ailleurs été identifiés au sein de la filière numérique dans le cadre d'un Contrat d'étude prospective (CEP) réalisé entre février et juin 2013. Plus précisément, ce travail a cherché à identifier les besoins en compétences et en recrutement à horizon 2018 de dix secteurs professionnels constituant le cœur de la filière du numérique (Entreprises de Services Numériques, éditeurs de logiciels, Conseil en Technologies, Web, Jeux Vidéos) ou étant considérés comme des secteurs connexes (e-Commerce, Robotique, Domotique, Services Satellitaires, Banques - Assurances). De nouveaux métiers ont été identifiés pour chacun des secteurs professionnels considérés.

**Figure 6 : Cartographie consolidée des métiers du numérique**




Source : Contrat d'études prospectives du secteur professionnel du numérique, rapport final, aout 2013

[228] APEC (2015), Les métiers en émergence au travers des offres d'emploi APEC, Les études de l'emploi cadre, n°2015-02.

### 3.2.2 Réglementations croissantes, mondialisation, exigences nouvelles des consommateurs ou encore transition énergétique ont également contribué à modifier le contenu des métiers en tâches et en compétences

Si la recomposition des compétences mobilisées au sein des différents métiers peut être reliée à la diffusion des technologies, d'autres facteurs concomitants - qui ne recoupent que partiellement ceux qui affectent le plus la structure de l'emploi - peuvent également contribuer à expliquer les évolutions observées depuis les années 1980.

La multiplication des règlementations et la mise en place croissante de normes constitue l'une des explications souvent mises en avant pour expliquer la complexification du travail observée au cours des dernières années. Elle a ainsi pu contribuer à l'intensification de l'utilisation de l'écriture et de la lecture dans le monde professionnel, qui est observée quel que soit la catégorie socio-professionnelle[229]. Plus généralement, l'APEC montre également dans son étude sur les métiers en émergence et en transformation que l'essor des réglementations dans le cadre de leur activité a conduit les cadres des études et recherche, des ressources humaines, des services techniques ou encore du marketing commerciale à développer de nouvelles compétences[230].

Plusieurs autres facteurs – qui sont pour la plupart complémentaires de la diffusion des technologies numériques – contribuent à modifier le contenu des métiers dans le sens d'une plus grande complexification :

- **les évolutions des modes de consommation et des usages** : des exigences accrues de réactivité, de personnalisation ou encore un accès plus important des consommateurs à l'information sur les produits rendu possible par internet, sont susceptibles d'accroître les compétences demandées. Ainsi, les vendeurs doivent être en mesure de s'adapter toujours plus vite à l'évolution des produits et de fournir une information toujours plus pointue aux clients ;
- **la transition énergétique** : l'évolution vers un nouveau modèle économique et social de développement durable transforme les façons de produire et de travailler, avec des retombées importantes notamment dans les secteurs de l'énergie, des transports et du bâtiment. Ces évolutions conduisent à l'émergence de compétences nouvelles chez les cadres[231], mais aussi dans des professions à plus bas niveaux de qualification. C'est le cas notamment du secteur du bâtiment qui fait face à une évolution progressive des compétences (maîtrise des techniques d'amélioration énergétique des bâtiments, etc.) pour l'ensemble des corps de métiers, de l'architecte à l'ouvrier de chantier, en lien avec la transition énergétique[232] ;
- **les changements organisationnels** : à l'instar de la structure de l'emploi, les changements organisationnels ne sont pas neutres sur la composition des compétences requises au travail. Plusieurs travaux mettent en évidence la grande complémentarité entre ces changements et l'introduction de nouvelles technologies. Bigi et al. (2011) mettent notamment en évidence que les compétences sont d'autant plus sollicitées que les changements organisationnels accompagnent les changements informatiques[233] ;

[229] Moatty F. et Rouard F. (2009), « Lecture et écriture au travail : les enjeux en termes de formation et de conditions de travail », Formation emploi, 106 | 2009, 59-73.

[230] Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016

[231] Audition de Pierre Lamblin, Directeur du département études et recherche de l'APEC, devant le COE le 22 novembre 2016

[232] L'actualisation du ROME Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois, Pôle emploi, version du 20 juin 2016.

[233] Bigi M., Greenan N., Hamon-Cholet S. et Lanfranchi J. (2012), op. cit.

- **la mondialisation et notamment l'internationalisation des chaînes de valeur** qui requiert une maîtrise de l'anglais même à des postes faiblement qualifiés.

## 3.3 Que peut-on anticiper?

### 3.3.1 Si des emplois dits qualifiés peuvent également faire partie des emplois à risque d'automatisation, les avancées technologiques en cours et à venir menaceraient d'abord les emplois les moins qualifiés

La plupart des travaux prospectifs qui ont cherché à chiffrer le nombre d'emplois à risque d'automatisation au regard des avancées technologiques en cours et à venir se sont intéressés aux effets des nouvelles technologies sur la structure de l'emploi. Quelle que soit la méthode utilisée, les emplois les moins qualifiés sont ceux qui courent le plus grand risque de voir leurs emplois remplacés par des robots ou par des programmes informatiques à un horizon de 10 à 15 ans.

C'est la conclusion, pour le cas américain, de l'étude de Frey et Osborne (2013) qui établit une relation négative forte entre le niveau d'éducation ou le niveau de salaire et le risque d'automatisation. **Si cela se réalisait, on assisterait alors, en tout cas dans le cas américain, à une rupture par rapport à la tendance à la polarisation de l'emploi observée depuis les années 1980.** Plutôt que de contribuer à réduire la demande de travail de niveau de qualification intermédiaire, les technologies conduiraient plutôt à une réduction de la demande de travail peu qualifié et à une hausse de la demande de travail très qualifié.

**Lorsqu'on s'intéresse au risque d'automatisation par groupes professionnels**, les vendeurs, les fonctions supports et administratives ainsi que les services constituent la majeure partie du volume des emplois les plus à risque (graphique 23). Les métiers du transport et de la logistique et ceux de la production sont également anticipés dans ce cadre comme étant à fort risque d'automatisation.

S'il peut être contre-intuitif de trouver parmi les groupes professionnels les plus à risque des métiers dans les domaines des services ou de la vente, ces évolutions sont toutefois cohérentes avec les avancées technologiques en cours et à venir. S'agissant des services, ce résultat peut paraître cohérent avec la hausse observée du marché des robots personnels et domestiques[234]. On assiste par ailleurs à une diminution graduelle de l'avantage comparatif des hommes par rapport aux machines dans la réalisation de tâches qui requièrent de la mobilité et de la dextérité[235]. S'agissant de la vente, ce groupe professionnel inclut les caissiers, les télévendeurs ou les employés de guichet. Bien que ces métiers impliquent des tâches interactives, elles ne nécessitent pas dans tous les cas un degré élevé d'adaptation liée à des relations sociales. Pour les auteurs, le modèle sur lequel se fonde leur analyse semble être bien capable de distinguer les spécificités des différents métiers inclus dans un groupe professionnel[236].

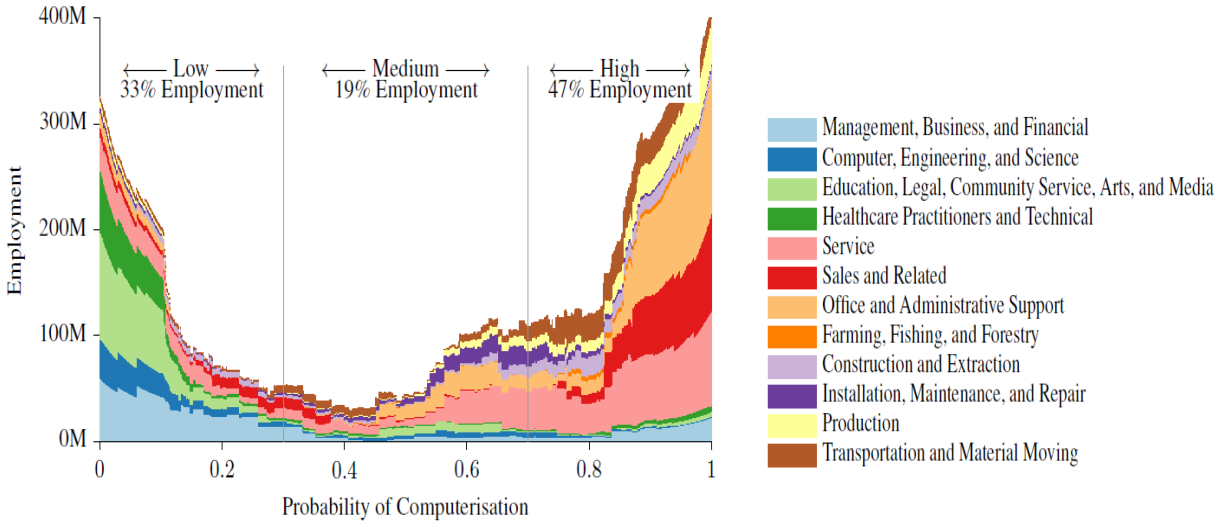
[234] McKinsey Global Institue (2013), *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*.

[235] Robotics-VO (2013), A Roadmap for US Robotics, From Internet to Robotics, 2013 Edition, Robotics in the United States of America.

[236] Frey C. B. et Osborne M. A. (2013), op. cit.

Si les emplois les moins qualifiés sont les plus à risque, les progrès attendus dans les domaines de l'intelligence artificielle notamment sont également susceptibles de repousser les limites de l'automatisation de tâches non-routinières. Des avancées dans des sous-domaines de l'intelligence artificielle tels que l'apprentissage automatique doivent en effet permettre de transformer de plus en plus de tâches dont la codification formelle est complexe en des problèmes toujours plus clairement définis. Si les volumes d'emplois concernés restent plus faibles, des emplois considérés comme qualifiés peuvent donc ainsi également faire partie des emplois à risque élevé d'automatisation.

**Graphique 23 : Répartition du risque d'automatisation dans l'emploi total et selon la famille professionnelle**




*Lecture : La répartition du risque d'automatisation dans l'emploi total américain se lit comme suit : environ 80 000 emplois ont une probabilité d'automatisation de 0,2. La répartition du risque d'automatisation selon la famille professionnelle : les emplois dans le secteur de la vente (rouge) représentent une part faible des emplois dits à risque faible d'automatisation (entre 0 et 0,3), mais une part importante des emplois dits à risque élevé d'automatisation (entre 0,7 et 1).*

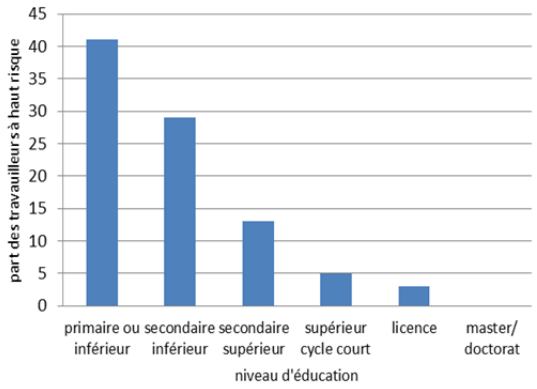
*Source : Frey et Osborne (2013)*

Le travail mené pour le compte de l'OCDE avec une méthode permettant de prendre en compte les différences individuelles pouvant exister au sein d'un même métier confirme la plus grande vulnérabilité des moins qualifiés, dans le cas français notamment. Si plus 40 % des travailleurs avec le niveau d'instruction le plus faible occupent un emploi ayant un fort risque d'automatisation, moins de 5 % des travailleurs diplômés de l'enseignement supérieur sont dans le même cas (graphique 24). On peut souligner qu'il ressort également du travail réalisé par l'OCDE que les travailleurs dont le niveau d'éducation est le plus faible mais plus âgés semblent plus difficilement remplaçables : ils exercent des tâches où l'expérience compte plus (savoirs implicites, indirects)[237]. Or, on peut souligner que les personnes les plus âgées sont plutôt surreprésentées parmi les personnes les moins diplômées, pour lesquelles le risque d'automatisation est le plus fort. L'expérience constituerait alors une façon de compenser le risque d'automatisation liée à la faiblesse du niveau de diplôme.

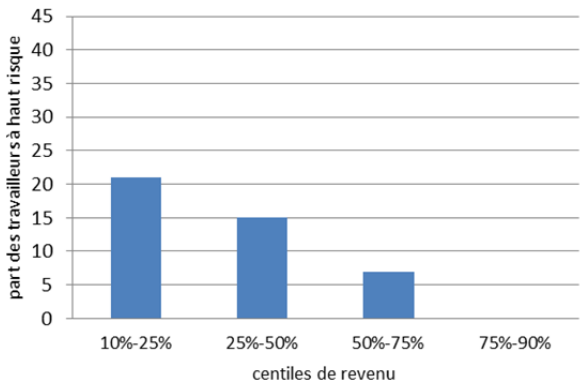
[237] Audition de Ulrich Zierahn, Chercheur au Centre européen de recherche économique (ZEW) de Mannheim, devant le COE le 20 septembre 2016.

**Graphique 24 : La part des travailleurs français à risque d'automatisation**

a. selon le niveau d'éducation




b. selon le niveau de rémunération




*Source : Arntz et al. (2016)*

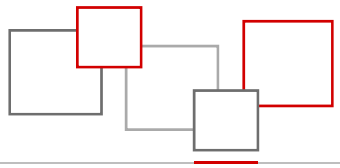
### 3.3.2 Le seul point de vue technologique ne suffit pas pour anticiper l'évolution de la structure de l'emploi, qui dépendra surtout de la façon dont les postes s'ajustent et se réorganisent en termes de tâches et de compétences

A l'instar du volume de l'emploi, les résultats des travaux prospectifs doivent être interprétés avec prudence. En effet, les approches prospectives se fondent sur les seules anticipations des experts sur les progrès qui pourraient être faits à moyen-long terme dans les domaines de la robotique et de l'intelligence artificielle. Si une telle approche est utile pour identifier les catégories de travailleurs dont l'emploi sera le plus concerné par l'automatisation, elle doit toutefois être considérée avec précaution.

Outre un risque de surestimation par les experts des progrès à attendre des technologies, la diffusion de ces dernières peut être freinée pour des raisons de rentabilité économique, des raisons institutionnelles ou encore d'acceptabilité sociale.

Surtout, même si les technologies se diffusent effectivement, leur effet sur la structure de l'emploi dépend également de la façon dont les postes de travail s'ajustent et se réorganisent autour de ces technologies. Les travailleurs peuvent en effet s'adapter en réalisant des tâches nouvelles et plus complémentaires aux technologies qui sont intégrées. Si l'on reprend l'analyse d'Autor, Levy et Murnane, les technologies n'automatisent pas des métiers mais des tâches. Un salarié confronté à l'automatisation d'une des tâches qu'il réalise au travail sera alors amené à en réaliser une nouvelle à la place[238].

[238] Bidet-Mayer T. et Toubal L. (2016), « Travail industriel à l'ère du numérique. Se former aux compétences de demain », La Fabrique de l'Industrie, *Les notes de la Fabrique*.



Si un tel phénomène de recomposition des tâches réalisées au travail - et donc des compétences requises pour les réaliser - a effectivement été observée en réaction à l'introduction de nouvelles technologies, un tel mouvement dépend :

- des changements organisationnels qui sont réalisées de façon concomitante au sein des entreprises ;
- de la mise en capacité des salariés, et notamment des moins qualifiés, à maîtriser de nouvelles tâches et à acquérir des compétences telles qu'ils conservent toujours une valeur ajoutée par rapport à des machines et à des programmes informatiques toujours plus performants.

### 3.3.3 La complexification des métiers observés au cours des dernières décennies devrait se poursuivre

Un certain nombre d'éléments sur les tâches qui seront réalisées demain et sur les compétences qui seront requises peuvent être mis en avant.

Des travaux prospectifs sont réalisés notamment au niveau des branches ou au niveau des territoires pour anticiper les évolutions en termes d'emploi et de compétences, et cela afin notamment de fournir les informations utiles à la définition des politiques de formation initiale et continue.

Plusieurs de ces travaux prévoient le développement d'un certain nombre de tâches, auxquelles sont associées des compétences spécifiques et parfois nouvelles, en lien avec la diffusion de nouvelles technologies et notamment des technologies numériques.

L'évolution des tâches et compétences anticipées s'inscrit dans la continuité des tendances identifiés au cours des dernières décennies. **La diffusion des nouvelles technologies et notamment des technologies numériques devrait ainsi continuer de complexifier les métiers avec un essor à la fois de compétences cognitives transversales – travail en mode projet, compétences analytiques et interactives - et de compétences techniques nouvelles.**

A cet égard, l'examen plus détaillé de ces travaux prospectifs – et notamment des contrats d'études prospectives (CEP) portés par la DGEFP et négociés avec les branches professionnelles– apporte d'utiles éclairages.

C'est le cas par exemple pour la filière numérique. Dans le cadre d'un Contrat d'étude prospective réalisé en 2013, les besoins en compétences et en recrutement à horizon 2018 de dix secteurs professionnels constituant le cœur de la filière du numérique (Entreprises de Services Numériques, éditeurs de logiciels, Conseil en Technologies, Web, Jeux Vidéos) ou étant considérés comme des secteurs connexes (e-Commerce, Robotique, Domotique, Services Satellitaires, Banques - Assurances), ont été analysés[239]. Sont notamment mis en évidence des besoins de profils pluridisciplinaires alliant à la fois des capacités à communiquer et à piloter des projets, ainsi qu'une maîtrise d'aspects techniques. S'agissant des besoins en compétences techniques, des besoins émergents de spécialistes de la sécurisation des données, de chefs de projets expérimentés architectes capables de maîtriser la complexité grandissante des réseaux ou encore une maîtrise des technologies internet (Java/J2EE et Dotnet, PHP, Drupal, etc.), cloud et applications mobiles sont par exemple mis en évidence pour les entreprises

[239] FAFIEC (2013), Réalisation d'une prestation d'étude dans le cadre du projet : « contrat d'études prospectives du secteur professionnel du numérique », Rapport final, aout.

de Services Numériques. Dans l'ingénierie et le conseil en technologie, de gros besoins en cyber sécurité sont notamment signalés.

Des éléments intéressants ressortent également du CEP relatif aux métiers du e-commerce[240]. Ce travail a pour intérêt de chercher notamment à isoler l'effet du changement technologique sur les différentes familles professionnelles du secteur. Là encore, les évolutions technologiques contribuent à complexifier les compétences demandées avec à la fois une demande de maîtrise de technologies en constante évolution, mais aussi une capacité à développer des modes de contacts innovants et plus personnalisés des consommateurs, tout en prenant en compte des questions de rentabilité (tableau 22).

**Tableau 22 : Les évolutions par familles professionnelles en lien avec les changements technologiques**

| Famille professionnelle | Description des changements technologiques | Impacts sur les métiers |
|---|---|---|
| **Communication et marketing** | Les technologies et les outils de web-marketing mais aussi des interfaces sont en constante évolution.<br>Les terminaux portables vont de plus en plus intégrer le paiement.<br>Les outils du web collaboratif et les réseaux sociaux décuplent la « viralité » des informations diffusées. | Une veille technologique est nécessaire et la mise à jour des connaissances technologiques est fondamentale.<br>L'offre sera de plus en plus « customisée » et en conséquence l'évolution et la spécialisation des applicatifs seront nécessaires.<br>Les mesures de performance et de rentabilité de ces investissements en terme de vente (ROI : Return On Investment - Retour Sur Investissement) devront être faites.<br>La maîtrise des outils du web collaboratif (blogs, forums regroupant des communautés) et l'animation dans le cadre de réseaux sociaux constituent un enjeu majeur.<br>L'innovation dans le mode de contact de nouveaux clients potentiels est importante.<br>Des métiers émergents comme le Community manager vont se structurer afin que l'enseigne puisse maîtriser sa e-réputation. |
| **Conception, Interface et création numérique** | Les technologies, les systèmes de communication et d'identification se multiplient et doivent être utilisés à bon escient en évaluant les coûts et les risques associés. | La complémentarité des technologies web doit être maîtrisée pour offrir une approche du e-commerce la plus intégrée possible pour le consommateur. Ces techniques doivent être intégrées tout en développant les qualités ergonomiques et la facilité d'usage.<br>La pertinence des choix techniques doit se faire en évaluant les coûts, la fiabilité et la compatibilité des solutions proposées. |
| **Production et gestion de contenu** | Le multimédia et les interfaces par l'internet mobile se développent.<br>Les évolutions des techniques permettent une présentation de l'offre ani- | Une veille est à organiser en matière de connaissances techniques, langages de programmation web, outils de développement, outils de traitement de l'image et d'interfaces multimédia. |

[240] Observatoire prospectif du commerce (2013), Contrat d'étude prospective des métiers du e-commerce, juin.

| | | |
|---|---|---|
| | mée. | Les interfaces sont de plus en plus graphiques et intègrent du multimédia tout en développant leur ergonomie et leur facilité d'usage.<br>Les nouvelles possibilités permises par les nouveaux supports (smart phones, tablettes,…) démultiplient les possibilités de développement d'interfaces multimédia interactives.<br>Ces outils doivent être maîtrisés par le webmaster. La conception de pages se fait avec des contenus dynamiques. |

*Source : Contrat d'étude prospective des métiers du e-commerce, Juin 2013*

Des analyses similaires ont également été faites dans le secteur industriel. C'est ce qui ressort notamment des travaux prospectifs réalisé par l'Observatoire prospectif des métiers de la métallurgie qui mettent en évidence un élargissement des compétences demandées, techniques comme transversales, et cela pour les techniciens comme pour les ingénieurs[241]. Le développement d'usines de plus en plus connectées amène notamment les industriels à anticiper un accroissement et une complexification des tâches de contrôle et de maintenance des machines. La multiplication des capteurs qui suivent et enregistrent l'exécution des opérations de production contribuera à modifier en profondeur le métier des techniciens de maintenance. Ces derniers ne seront plus cantonnés à des tâches de maintenance pure, mais devront être capables d'analyser de grandes quantités de données ce qui leur permettra de réaliser des diagnostiques à distance, voire d'anticiper d'éventuelles pannes. Les techniciens de maintenance auront pour cela à mobiliser des outils de programmation ou de gestion des données collectées, ce qui suppose de développer des capacités d'abstraction, de représentation, d'anticipation des problèmes, etc.[242]. C'est également le cas pour les métiers de production, comme mis en évidence dans le cadre des travaux prospectifs du secteur de la plasturgie, avec une nécessaire montée en compétences pour accompagner les évolutions technologiques (figure 7)

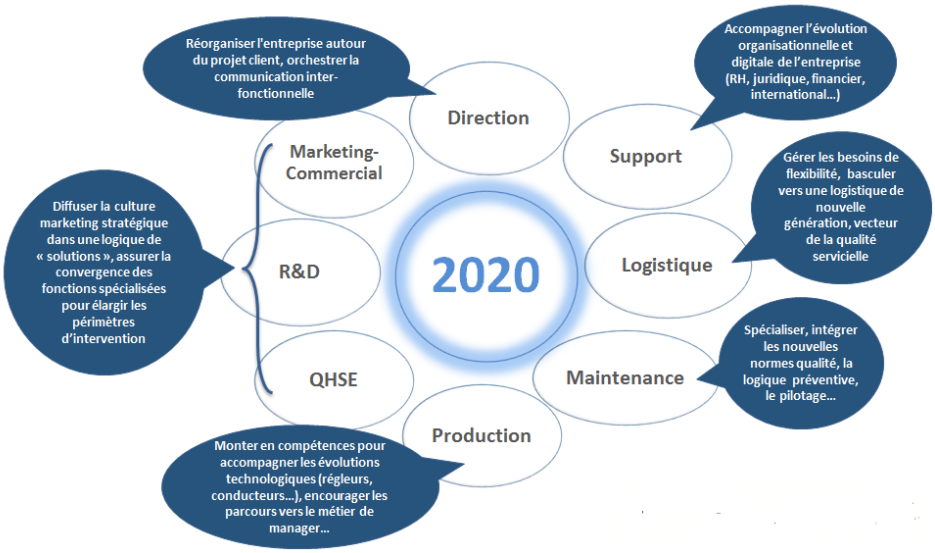
Au-delà des seuls métiers de maintenance et de production, le déploiement des technologies de l'usine du futur impactera l'ensemble des fonctions des entreprises. Plus connectés, les différentes fonctions devront travailler davantage ensemble, ce qui requiert des compétences transversales renforcées (travail collaboratif, connaissances pluridisciplinaires, etc.). A titre d'illustration, la collecte de données après-vente constitue une manne d'informations qui devra être mobilisée au moment de la conception et de la fabrication. Cela suppose alors une diffusion de la culture du marketing stratégique aux fonctions de R & D qui n'y était jusqu'à présent que peu sensibilisé. La multiplication de données portant sur l'activité de production renforcera par ailleurs les compétences techniques en cybersécurité[243].

[241] Voir notamment : Observatoire prospectif de la métallurgie : étude prospective des besoins en emplois et en compétences dans les secteurs de la mécanique et machines et équipements, synthèse avril 2016.

[242] Bidet-Mayer T. et Toubal L. (2016), *op. cit.*

[243] Audition de Françoise Diard, chef du service emploi à l'UIMM, coordinatrice de l'Observatoire de la métallurgie, devant le COE le 22 novembre 2016.

**Figure 7 : Les perspectives compétences dans la plasturgie**




*Source : Audition de Florence Bonnet-Touré, Délégué générale adjointe de la Fédération plasturgie et composites, devant le COE le 25 octobre 2016*

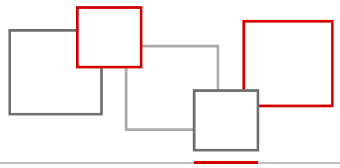
De telles évolutions ont finalement pu être anticipées dans le secteur des services. C'est le cas notamment du secteur de la grande distribution, comme l'illustre un Contrat d'étude prospective relatif au commerce de détail et de gros à prédominance alimentaire[244]. Bien que datant de 2008, l'étude qui en découle a pour intérêt de comporter un volet portant directement sur l'impact du contexte technologique sur les métiers, les compétences et les qualifications. Plus précisément, il anticipe les effets de l'introduction de caisses automatiques sur les activités des hôtes et hôtesses de caisse. Alors que les deux principales compétences demandées aux caissiers traditionnels étaient la gestion technique des caisses et un aspect commercial, les compétences clés des assistants de caisses automatiques deviennent principalement relationnelles : assistance au client, capacité à le renseigner, posture proactive dans la relation au client, etc. L'arrivée des progiciels de gestion intégrée et des méthodes d'optimisation des stocks tend également à complexifier les compétences demandées aux manageurs de rayons ou de secteurs : ces méthodes leur permettant des gains de temps pour l'exécution des tâches simples ; leur temps est ainsi réalloué dans l'animation de rayon et le management.

Ces quelques exemples sectoriels permettent de souligner qu'une telle évolution des métiers se profile quel que soit le secteur ou le métier.

Au total, alors que l'essor du fordisme avait pu contribuer à une déqualification du travail dans l'industrie notamment[245], les avancées technologiques en cours et à venir pourraient au contraire permettre une revalorisa-

[244] Geste & Crédoc (2008), Contrats d'étude prospective commerce de détail et de gros à prédominance alimentaire, Rapport final validé lors du Comité de pilotage du 3 avril 2008, version 1.

[245] Audition de Jean-Yves Grenier, Professeur d'histoire économique, directeur d'études à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, devant le COE le 6 septembre 2016.



tion du travail à tous les niveaux de qualification. Cela implique toutefois que les personnes acquièrent les compétences nécessaires, mais aussi que l'organisation du travail s'adapte.

# 4 Les impacts sur la localisation de l'emploi

Les avancées technologiques élargissant *a priori* le spectre de l'automatisation ont un impact sur le volume, la structure des emplois et le contenu des métiers. Mais elles sont également de nature à influer sur la localisation des emplois, qu'il s'agisse de leur répartition sur le territoire national ou de leur effet en termes de délocalisations ou de relocalisations internationales.

L'économie géographique[246] s'est intéressée aux effets des technologies passées sur la répartition des activités économiques dans l'espace.

Au cours des derniers siècles, les transformations des économies impulsées et accompagnées par les technologies se sont traduites dans l'espace par deux mouvements inverses aux échelles internationale et nationale. Le premier est un phénomène de concentration des activités économiques et des travailleurs dans certains pôles géographiques : l'industrialisation se traduit et se fonde sur l'urbanisation. Le second prend la forme de phénomènes de dispersion, en lien par exemple avec un besoin de proximité des ressources naturelles ou en conséquence d'externalités négatives issues de la concentration urbaine.

Les technologies développées dans les années 1970-1980, au premier rang desquelles les technologies de l'information et de la communication, ont également entrainé des mouvements d'agglomération et de dispersion de grande ampleur caractérisés par :

- à l'échelle internationale, des transferts d'activités des économies développées vers les pays émergents[247]. En réduisant les coûts de coordination entre des acteurs éloignés géographiquement, elles ont en effet favorisé une fragmentation des chaînes de valeur[248], pouvant brouiller les frontières de l'entreprise. Des entreprises industrielles, puis de services des pays développés ont pu externaliser certaines de leurs activités les plus intensives en main d'œuvre vers des pays où celle-ci était moins chère dans le cadre de stratégies d'externalisation internationale ;
- à l'échelle nationale, par une tendance à la concentration des activités et de l'emploi, notamment qualifié, autour de grandes aires urbaines.

La question est désormais de savoir si la nouvelle vague d'innovations autour du numérique et de l'automatisation est de nature à modifier ou non ces tendances.

## 4.1 Avancées technologiques, délocalisations et relocalisations de l'emploi

[246] Leamer E. et Storper M. (2001), *op. cit.*

[247] Leamer E. et Storper M. (2001), *op. cit.*

[248] Grossman G. et Rossi-Hansberg E. (2008) « Trading tasks: a simple theory of offshoring », *American Economic Review*, 98:5.

Les actuelles avancées technologiques sont-elles de nature à modifier les facteurs expliquant la localisation des activités et de l'emploi entre pays développés, dont la France, et pays émergents ? Peuvent-elles favoriser une relocalisation de l'activité et des emplois en France ou pourraient-elles plutôt conduire à localiser des emplois, existants ou nouveaux, hors du territoire national ?

Pour décisives qu'elles soient, ces questions –au moins autant que celles portant sur le volume et la structure des emplois- restent encore largement débattues.

Les réflexions engagées depuis les années 2000 sur les effets des technologies récentes sur le volume et la structure de l'emploi ont leur pendant en matière de localisation. D'une part, la thèse d'un progrès technologique en défaveur des tâches « routinières » a été reprise pour évaluer le risque de délocalisation des emplois[249]. D'autre part, certains travaux ont cherché à identifier les effets différenciés de la technologie et du commerce international sur l'emploi dans les marchés du travail locaux[250]. Par ailleurs, des chercheurs en économie géographique se sont interrogés sur la possibilité que les technologies récentes affectent les déterminants de localisation des activités économiques dans un sens opposé aux tendances à la délocalisation constatées au cours des dernières décennies[251].

On analysera ici, d'abord les déterminants de localisation des activités économiques pour ensuite évaluer les changements induits par les nouvelles technologies, avant d'examiner les retombées éventuelles en termes d'emploi.

### 4.1.1 Les technologies récentes, combinées à des transformations de la demande et du contexte macroéconomique international, sont susceptibles d'avoir un impact sur les décisions de localisation des entreprises

*Facteurs de localisation des activités économiques et impact des technologies*

**Le choix d'implantation d'une entreprise ou d'une activité est motivé par plusieurs déterminants dont la pondération est variable et dépend des caractéristiques de l'activité**. La littérature[252] identifie notamment la taille et la croissance du marché local et régional, les coûts salariaux et plus largement les coûts de production, les aspects institutionnels (politiques publiques, fiscalité, protection des contrats et de la propriété intellectuelle), la disponibilité des ressources, le capital humain, la présence de fournisseurs et d'infrastructures scientifiques ainsi que l'écosystème régional (concurrence ou économies d'agglomération). L'arbitrage ne dépend donc pas uniquement, loin s'en faut, des seuls coûts de production.

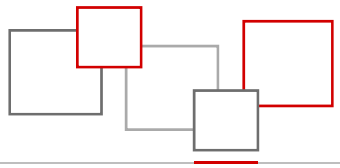
Les technologies peuvent affecter le poids de chacun des facteurs précédemment identifiés. Elles interviennent dans deux domaines de l'activité des entreprises : celui des procédés internes à l'entreprise (automatisation des

[249] Blinder A. (2007), *op. cit.*

[250] Autor D., Dorn D. et Hanson G. (2013), *op. cit.*

[251] De Backer K. et al. (2016), « La Relocalisation : Mythe ou réalité ? », *Éditions OCDE*, Paris.

[252] La liste suivante a été construite en mobilisant deux études : De Backer K. et al. (2016), *op. cit*. et Mouhoud E.M. (2013) « Déterminants, logiques et théories des relocalisations dans l'industrie et les services » dans « Relocalisations d'activités industrielles en France », Revue de littérature, *Pipame*, décembre.



chaines de production, de la distribution, etc.), mais aussi celui des relations entre l'entreprise et ses partenaires (filiales, fournisseurs, clients).

Dans le premier domaine, les technologies peuvent entraîner une réévaluation de la répartition entre capital et travail ou changer la demande de travail pour certains types de travailleurs (plus ou moins qualifiés). Dans le second, les technologies influent sur « l'importance relative de la distance » : elles permettent par exemple de réduire les coûts de transport et peuvent rendre possible une dispersion accrue des activités.

**Il n'y a donc pas un effet unique de la technologie sur la localisation des activités, facilement identifiable et valable pour toutes les activités**. Le poids de chaque déterminant de localisation (les coûts, l'environnement institutionnel, l'écosystème, la taille et la croissance du marché local) dépend en effet du secteur, de la taille de l'organisation, de la partie de la chaîne de valeur concernée ainsi que de la stratégie de l'entreprise (externalisation sous la forme d'une sous-traitance ou internalisation internationale dans l'ambition de conquérir un nouveau marché).

Mouhoud[253] distingue ainsi trois types d'entreprises, dont les caractéristiques induisent des logiques de localisation différentes.

La première catégorie est celle des firmes tayloriennes flexibles. Opérant dans des secteurs à faibles barrières à l'entrée où l'exigence de compétitivité-prix est essentielle, elles ont pour objectif principal de minimiser les coûts de production de chaque segment. Elles recherchent donc avant tout des territoires combinant faibles coûts de main d'œuvre et des infrastructures de transport et de communication efficaces. La seconde est celle des firmes donnant la priorité aux effets de proximité (celles qui produisent des produits pondéreux, chers à transporter). Enfin on trouve des firmes cognitives, dans les secteurs de l'économie de la connaissance, qui cherchent avant tout à s'insérer dans des écosystèmes créatifs favorables à l'innovation. Cela induirait, d'un côté une tendance à la dispersion, pour les secteurs à faible barrière à l'entrée, et de l'autre une tendance à l'agglomération, pour les secteurs intensifs en recherche et développement et pour les secteurs contraints par la proximité au marché final

Leamer et Storper[254] soutiennent pour leur part que la localisation d'une activité dépend aussi de son caractère « codifiable » ou « complexe ». En ce sens, les dernières technologies peuvent permettre d'une part d'automatiser des tâches, de l'autre de les faire réaliser loin du centre de commande. Mais elles peuvent aussi induire l'apparition de nouvelles tâches dont le caractère émergent fait qu'elles sont loin d'être codifiées ou routinisées. L'analyse est ici dynamique : les activités routinisées peuvent être localisées là où les coûts de production sont plus faibles et où le critère du prix est déterminant pour l'entreprise ; les activités complexes, qui nécessitent de l'interaction, ont peu de choix de localisation parce que la réussite de l'entreprise dépend de sa capacité à s'insérer dans ces réseaux denses que sont les villes, voire les quartiers spécialisés, où elles pourront partager des services de haut niveau avec d'autres entreprises, bénéficier de la proximité de la recherche, de la présence d'une main d'œuvre qualifiée, etc.

Ces différents déterminants peuvent expliquer des décisions de délocalisation, ils peuvent aussi contribuer à fonder des relocalisations.

---

[253] Mouhoud E.M. (2013), *op. cit.*

[254] Leamer E. et Storper M. (2001), *op. cit.*

*Les motifs de relocalisations*

**Quatre facteurs principaux sont susceptibles de motiver une décision de relocalisation[255] : les évolutions de la demande, la hausse des coûts de transport, la hausse des coûts salariaux dans les pays émergents à croissance rapide et l'automatisation de la production.**

Les facteurs liés à la demande renvoient à la gestion de la différenciation croissante des préférences des consommateurs (individualisation), au raccourcissement des cycles de vie des produits (3-4 semaines pour l'habillement par exemple) et à la prise en compte des risques de baisse de la qualité des produits dont la production a été délocalisée (mauvais calcul ou sous-estimation du « coût total » avec la présence de coûts cachés). Ces éléments peuvent contribuer à re-concentrer les activités de production au plus près des activités de recherche et d'innovation (*spillovers*) et des marchés finaux (flexibilité)[256].

Les facteurs en relation avec les coûts de transport, les règlementations sur l'énergie et l'environnement, peuvent également peser : « *si les coûts de coordination et de transport pour rapatrier le produit final dont les morceaux sont délocalisés dans les pays à bas salaires l'emportent sur les gains liés à l'exploitation des faibles coûts salariaux, alors cela peut encourager le rapatriement des activités au plus près de leur marché final.* »[257]

Enfin, des facteurs liés à l'érosion de l'avantage comparatif des pays en développement dont la Chine, sont également à l'œuvre. Depuis 2002[258], le coût salarial horaire en Chine ainsi qu'en Inde, au Vietnam, au Bangladesh et en Thaïlande est à la hausse. Cette hausse est plus importante dans le cas chinois : le salaire horaire moyen est ainsi passé de 0,70€ de l'heure en 2005 à 1,35€ en 2010. Selon le rapport sur les salaires de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) (2012), les salaires en Asie ont doublé entre 2000 et 2011 alors que sur la même période, ils n'ont augmenté que de 5% dans les pays développés.

**La diffusion des technologies (intelligence artificielle, big data, cloud, impression 3D etc.) combinée aux facteurs identifiés précédemment (demande, coûts de transports, avantages comparatifs), pourraient introduire une nouvelle pondération des différents déterminants de localisation des activités en faveur des pays développés.**

Les avancées technologiques récentes permettent d'envisager un élargissement du potentiel de substitution du travail peu qualifié -tâches routinières manuelles ou cognitives- par des machines ou des robots, et donc une réduction de l'importance relative des coûts salariaux dans les choix de localisation. Ce potentiel est *a priori* variable selon la nature de l'activité, Mouhoud[259] estimant qu' il est plus élevé dans les secteurs comme la mécanique, l'automobile ou l'électronique, qui produisent et utilisent des matériaux lourds et rencontrent moins d'obstacles techniques à la robotisation que dans des secteurs comme le textile ou la chaussure pour lesquels les matières manipulées sont plus souples et où l'activité est encore très intensive en travail.

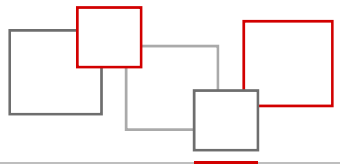
[255] Mouhoud E.M (2013), *op. cit.*

[256] « L'usine du futur : un retour vers l'urbain », (2016) Note rapide n°726*, Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France*, septembre.

[257] Mouhoud E.M. (2013), *op. cit.*

[258] Natixis, calculs S.Dupuch et E.M. Mouhoud, (2012)

[259] Mouhoud E.M. (2008), « Mondialisation et délocalisation des entreprises », Repères, *La Découverte.*



L'intensification de la numérisation dans les économies de l'OCDE pourrait se traduire par une baisse de l'importance relative des coûts de main d'œuvre dans la détermination des avantages comparatifs dans un certain nombre de secteurs manufacturiers. Il pourrait alors s'établir une corrélation négative entre l'utilisation des robots et la délocalisation.

Même si ces technologies ne sont pas encore matures pour bien des secteurs d'activité, la fabrication additive pourrait pour sa part avoir un impact sur les déterminants de localisation liés à la demande : en permettant de produire des pièces individualisées rapidement et à faible coût[260], elles pourraient contribuer à une meilleure adaptation de la production aux évolutions de la demande (différenciation des préférences des consommateurs, qualité) et renforcer la proximité entre fournisseurs, producteurs et consommateurs. Sous réserve naturellement que ces technologies progressent, que les matières premières soient disponibles, que les machines correspondantes soient accessibles à un coût raisonnable et que des processus de normalisation/certification se développent, l'impression 3D pourrait également rendre plus facile, plus rapide et plus durable la possibilité d'acquérir des pièces détachées pour des produits ou objets fabriqués ailleurs ou il y a longtemps.

**Tableau 23: Les effets possibles des tendances récentes sur l'importance relative de chaque facteur sur la localisation des activités (sans prise en compte des caractéristiques de chaque entreprise)**

| Déterminants / Tendances | Coûts salariaux | Coûts de transport | Aspects institutionnels | Capital humain | Ecosystème régional |
|---|---|---|---|---|---|
| **Demande :**<br>Individualisation des préférences<br>Raccourcissement des cycles de vie<br>Exigence de qualité<br>Protection propriété intellectuelle | Baisse de l'importance des coûts salariaux | Logistique (réactivité) et proximité (flexibilité) | Garantie de qualité et de protection de l'innovation | Recherche de travailleurs qualifiés | Recherche de synergies |
| **Transport :**<br>Hausse (règlementations environnementales)<br>Complexité et vulnérabilité des chaînes de valeur mondiales | Intéressant seulement si les économies faites sur les salaires compensent le coût du transport | Logistique | Règlementations plus fortes | - | Proximité |
| **Pays émergents :**<br>Hausse des coûts de production (énergie et matières premières) | Baisse de l'avantage comparatif | Plus important | Manque de protection | Manque de capital humain | Distance à la frontière technologique |

[260] Petrick I. et Simpson T. (2013) « 3D printing disrupts manufacturing : how economies of one create new rules of competition », *Research Technology management*, 56:6.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Hausse des salaires | | | | | |
| **Automatisation / numérisation** | Baisse de l'importance car potentiel de substitution | Baisse de l'importance parce que proximité / production puis exportation / ou standardisation | Oui pour protéger innovation | Oui parce que complémentarité des plus qualifiés avec nouvelles technologies | Economies d'agglomération |

*Source : COE*

### 4.1.2 Les cas de relocalisation en France semblent, pour l'instant, limités

Si les nouvelles technologies du numérique augmentant les possibilités d'automatisation peuvent contribuer à modifier le poids respectif des facteurs expliquant la localisation des activités, il reste que celles-ci ne semblent pas être à ce stade à l'origine d'un mouvement de relocalisation de grande ampleur.

***Un phénomène difficile à définir et à mesurer mais qui semble de faible ampleur***

La notion de relocalisation englobe à la fois le non-départ d'activités et le retour d'activités précédemment délocalisées[261]. Il existe différentes terminologies qui renvoient à ce phénomène[262] : la relocalisation (*reshoring*), le rapatriement (*backshoring*), la relocalisation de voisinage (*nearshoring*) et enfin la relocalisation de proximité (*onshoring*). Ce qui réunit ces différents concepts est qu'ils sont tous l'inverse de la délocalisation, qui correspond notamment à l'externalisation internationale (activités confiées à des prestataires indépendants à l'étranger) ou à l'internalisation internationale (transfert d'une partie des activités de l'entreprise vers une société affiliée à l'étranger).

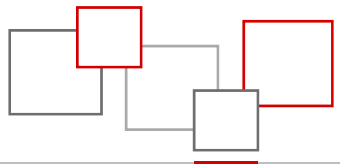
A la difficulté de conceptualiser le phénomène de relocalisation s'ajoute la faiblesse des données disponibles. Il existe encore peu de données empiriques européennes ou françaises permettant de quantifier précisément le phénomène dans toutes ses formes : l'on ne peut pour l'instant se fonder, principalement, que sur des données d'enquête. Encore moins de données sont disponibles pour apprécier les motivations des choix de relocalisation.

Plusieurs méthodes peuvent être retenues pour identifier les relocalisations à partir des données disponibles[263] : celles du commerce international et celles des entreprises.

[261] Mouhoud E.M. (2013), *op. cit.*

[262] De Backer K. et al. (2016), *op. cit.*

[263] « Re-shoring in Europe : trends and policy issues », (2015), *ILO Research Department Briefing*, September.



Les données sur le commerce international permettent un examen de l'évolution du commerce de biens intermédiaires, avec l'hypothèse que la baisse de ce commerce depuis 2008 serait le signe d'un ralentissement des délocalisations et au contraire d'une augmentation des relocalisations. Elles permettent aussi une analyse des investissements directs à l'étranger[264], avec l'idée que la baisse des flux sortants des pays de l'OCDE depuis 2008 pourrait – même si tout flux n'est pas un investissement réel- aussi soutenir l'hypothèse d'une tendance à la relocalisation.

Pour leur part, les données d'entreprises ouvrent la voie à deux approches. La première s'intéresse au ratio entre la part des actifs domestiques par rapport aux actifs totaux des entreprises (à partir de la base de données *Factset*), ratio qui a tendance à augmenter, et qui, conjugué avec une baisse des IDE sortants, peut aussi être un signe de relocalisations. Ces derniers sont dits sortants quand ils sont au départ de l'économie de référence. Au contraire ils sont dits entrants quand ils viennent de pays étrangers.

Deux approches alternatives peuvent être mobilisées [265] pour estimer à la fois l'ampleur et les effets des relocalisations sur l'économie domestique. La première passe par la demande intérieure : si la part de la demande intérieure satisfaite par les importations diminue par rapport à celle satisfaite par la production intérieure, alors cela laisse penser qu'il y a effectivement des relocalisations importantes. Les données françaises indiquent toutefois sur la période 2005-2014 une hausse de la part de la demande satisfaite par les importations. La deuxième approche se fonde sur l'analyse de la répartition géographique des ressources productives des multinationales : si la relocalisation était un phénomène important, alors on devrait observer une augmentation des ressources en main d'œuvre et en capital dans le pays d'origine. En France, comme dans la majorité des pays européens, la part du pays d'origine dans l'emploi des multinationales est plutôt stable sur la période 2005-2014 alors qu'aux Etats-Unis par exemple, on observe une augmentation de l'emploi domestique des multinationales.

D'autres auteurs ont utilisé des données d'enquêtes.

Au niveau européen, Dachs et Zanker[266]ont cherché à quantifier le phénomène de relocalisation[267] en mobilisant des données du *European Manufacturing Survey* pour 11 pays européens sur la période 2010-mi-2012. Ils montrent que la relocalisation est encore minoritaire : seuls 4 % des entreprises ont relocalisé (au sens strict c'est-à-dire ayant délocalisé et qui reviennent dans leur pays d'origine). Ce chiffre contraste avec les 17 % d'entreprises qui ont délocalisé dans ces mêmes pays entre 2000 et 2010. Sur la période analysée, pour chaque entreprise qui relocalise, plus de trois délocalisent.

Au niveau national, certaines études aboutissent à des résultats un peu plus encourageants. Au Royaume-Uni, une étude réalisée à partir d'une enquête auprès de 500 entreprises par le *Manufacturing Advisory Service* en 2013, montre que cette année-là, 11 % des entreprises ont relocalisé alors que 4 % ont délocalisé. Une autre étude conduite par l'organisation britannique des industriels (l'EEF), montre qu'entre 2011 et 2014, une entre-

[264] Les investissements directs à l'étranger (IDE) désignent les investissements par lesquels des entités résidentes d'une économie de référence acquièrent ou ont acquis un intérêt durable dans une entité résidente d'une économie étrangère.

[265] De Backer K. et al. (2016), *op. cit.*

[266] Dachs B. et Zanker C. (2015) « Backshoring of production activities in European manufacturing », *MPRA Paper* No. 63868, April. Cette étude utilise les données du *European Manufacturing Survey* (enquête annuelle qui existe depuis 2001 menée par un consortium d'acteurs publics de la recherche et d'acteurs privés sous la direction de *l'Institut Fraunhofer)*.

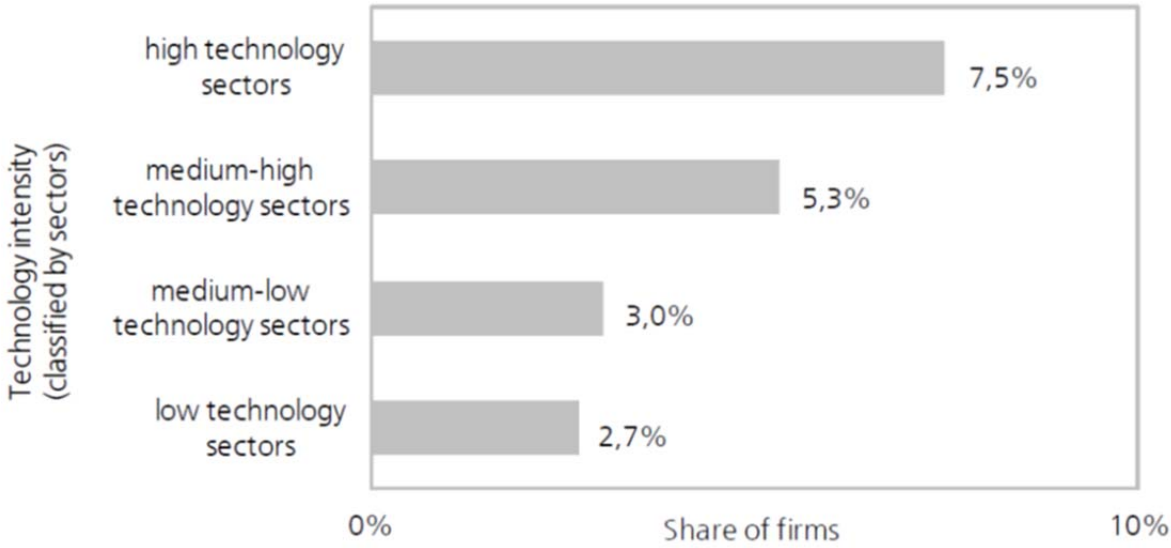
[267] Dachs B. et Zanker C. (2015), *op. cit.*

prise britannique sur six auraient relocalisé. Enfin, une étude de Kinkel[268] sur données allemandestrouve des résultats plus proches de ceux obtenus par Dachs et Zanker au niveau européen, avec 3 % des entreprises qui ont relocalisé entre 2006 et 2009 et seulement 9 % qui ont délocalisé (contre 15 % entre 2004 et 2006).

*L'automatisation parmi les motifs de relocalisations ?*

L'étude menée au niveau européen a par ailleurs cherché à préciser à la fois les caractéristiques (taille, secteur, stratégie) des entreprises qui relocalisent et les raisons concourant à la relocalisation. Elle montre ainsi que la relocalisation est plus fréquente pour les entreprises de plus de 150 salariés et qu'elle est aussi plus fréquente dans les secteurs à haute intensité technologique.

**Graphique 25 : Relocalisation et intensité en technologie selon les secteurs entre 2010 et mi 2012**



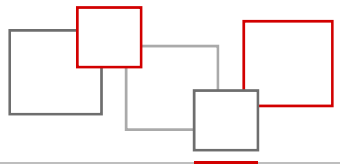

*Lecture : Parmi les entreprises industrielles du champ de l'EMS, 7,5 % des entreprises des secteurs high-tech (comme l'équipement électronique ou l'informatique) ont relocalisé, contre 2,7 % des entreprises des secteurs faiblement intensifs en technologie (comme le textile ou le bois).*

*Source : Dachs B. et Zanker C.(2015) données du European Manufacturing Survey*

La première raison citée pour la relocalisation concerne des difficultés liées à la qualité des produits (65 %) ainsi qu'à une perte de flexibilité (56 %), les coûts salariaux (augmentation des salaires dans les pays émergents notamment la Chine) n'étant cités que par 10 % des entreprises ayant relocalisé. La meilleure utilisation des capacités (41 %) peut renvoyer à des investissements d'automatisation des chaînes de production. Enfin, la provenance des activités relocalisées importe aussi : plus de la moitié des relocalisations ont lieu entre pays européens, seulement 30 % à des rapatriements depuis des pays émergents (Inde, Chine).

**En France, il n'existe que peu d'études ayant cherché à quantifier et analyser les phénomènes de relocalisation et *a fortiori* le poids du facteur technologique dans celles-ci.**

[268] Kinkel S. (2012) « Trends in production relocation and backshoring activities: Changing patterns in the course of the global economic crisis », *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 32 Iss: 6, pp.696 - 720



Le Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame), rattaché à la Direction générale des entreprises du ministère en charge de l'économie, a cependant procédé à une étude de 107 cas de relocalisations identifiés jusqu'en 2013. Tout en précisant que les chiffres qui en résultent méritent d'être pris avec précaution, notamment au vu des divergences terminologiques et la difficulté d'accès à des données exhaustives, l'étude estime que **«** *le mouvement de relocalisation, sans être massif, n'est pas marginal, et il peut même être considéré comme prometteur*. **»**[269]**.**

Une analyse des motifs possibles de relocalisation peut être effectuée au travers de l'outil Colbert 2.0, lancé à l'été 2013 qui vise à permettre aux PME d'évaluer la pertinence d'une décision de relocalisation. En 2016, 800 diagnostics avaient été réalisés donnant lieu à 70 demandes de contacts auprès des référents uniques à l'investissement (un dans chaque région qui accompagne l'entreprise).

Les cas de relocalisation identifiés relèvent avant tout de TPE/PME et concernent différents secteurs d'activités. Les TPE et les PME représentent 63 % des cas de relocalisations identifiés sur 2013-2016, dynamique similaire à celle observée précédemment. Les autres cas de relocalisation relèvent des grandes entreprises (31 %) et des ETI (7 %). Les secteurs d'activités les plus représentées parmi les cas de relocalisation sur 2013-2016 sont : la métallurgie et la fabrication de produits métalliques (25 %), les industries agro-alimentaires (14 %), la fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques (12 ), le textile, l'habillement et les chaussures (12 %), et la fabrication de machines et d'équipements (8 %).

Une autre étude de la DGE a examiné 30 cas de relocalisation d'activités[270] et identifie les huit premiers motifs de relocalisation (tableau 24) des entreprises françaises (données récoltées par enquête auprès des entreprises) :

**Tableau 24 : Les motifs de relocalisation**

| Motifs de relocalisation | en % |
|---|---|
| Logistique | 67 |
| Image/Marketing | 53 |
| Qualité des produits | 53 |
| Recherche de synergies | 40 |
| Proximité client/fournisseur | 30 |
| Développer des innovations de produit | 30 |
| Qualification main-d'œuvre | 27 |
| Économies d'échelle | 27 |

*Note : Logistique : délais et coûts de transport ; Image/marketing : réactivité par rapport aux clients et SAV ; Made in France et label (écologie, DD) ; Qualité des produits : réduction des défauts de fabrication ; Synergies : rapprochement conception/fabrication ;*

[269] Pipame (2013), « Relocalisations d'activités industrielles en France » Synthèse, p.11, décembre.

[270] Dgcis (2014), *op. cit.*

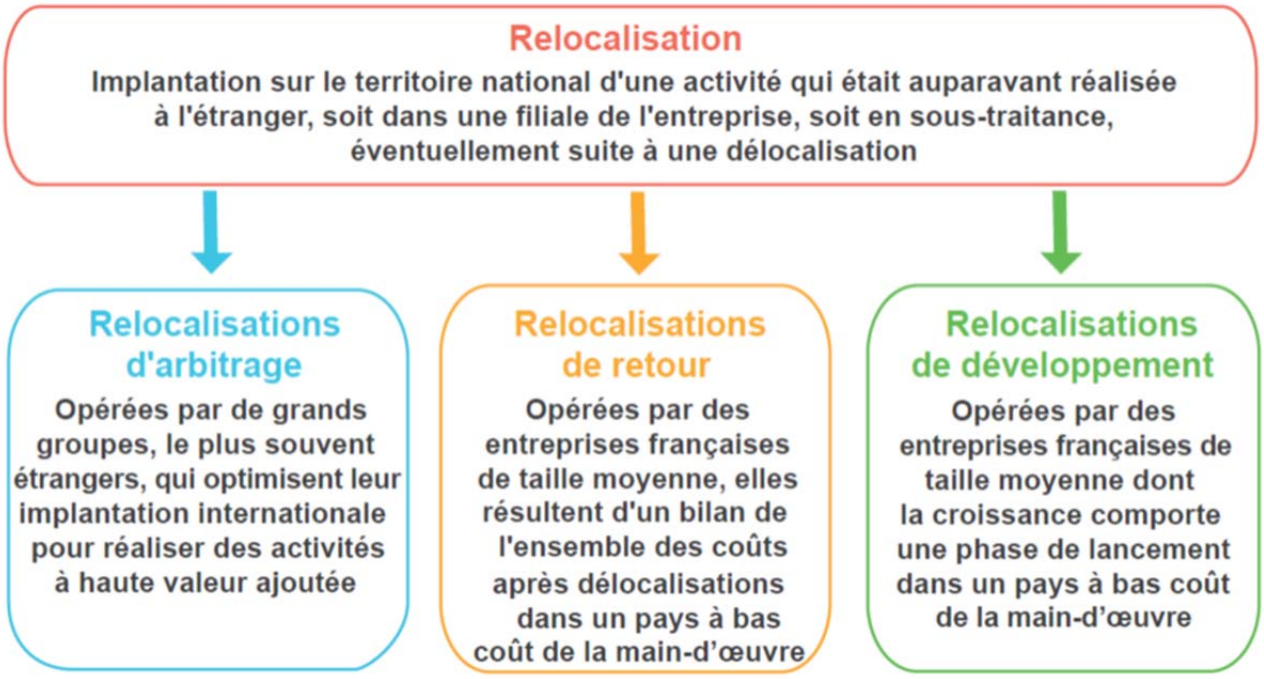
*Proximité client/fournisseur ; Innovations de produit : montée en gamme, nouveaux produits ; Qualification et économies d'échelle : augmentation des taux d'utilisation des sites existants, savoir-faire français*

*Source : Dgcis, Datar ; Calculs : Dgcis*

Si l'automatisation n'est pas directement isolée parmi les motifs de relocalisation, elle apparaît en filigrane dans certains motifs, comme la recherche de réduction des défauts de fabrication (les machines sont plus précises et efficaces pour certaines tâches répétitives) ou celui d'innovations de produit et de montée en gamme (produits plus complexes, complémentarité des technologies).

Les motifs précédemment identifiés se combinent selon trois logiques[271] (figure 8) une relocalisation d'arbitrage, de retour ou de développement.

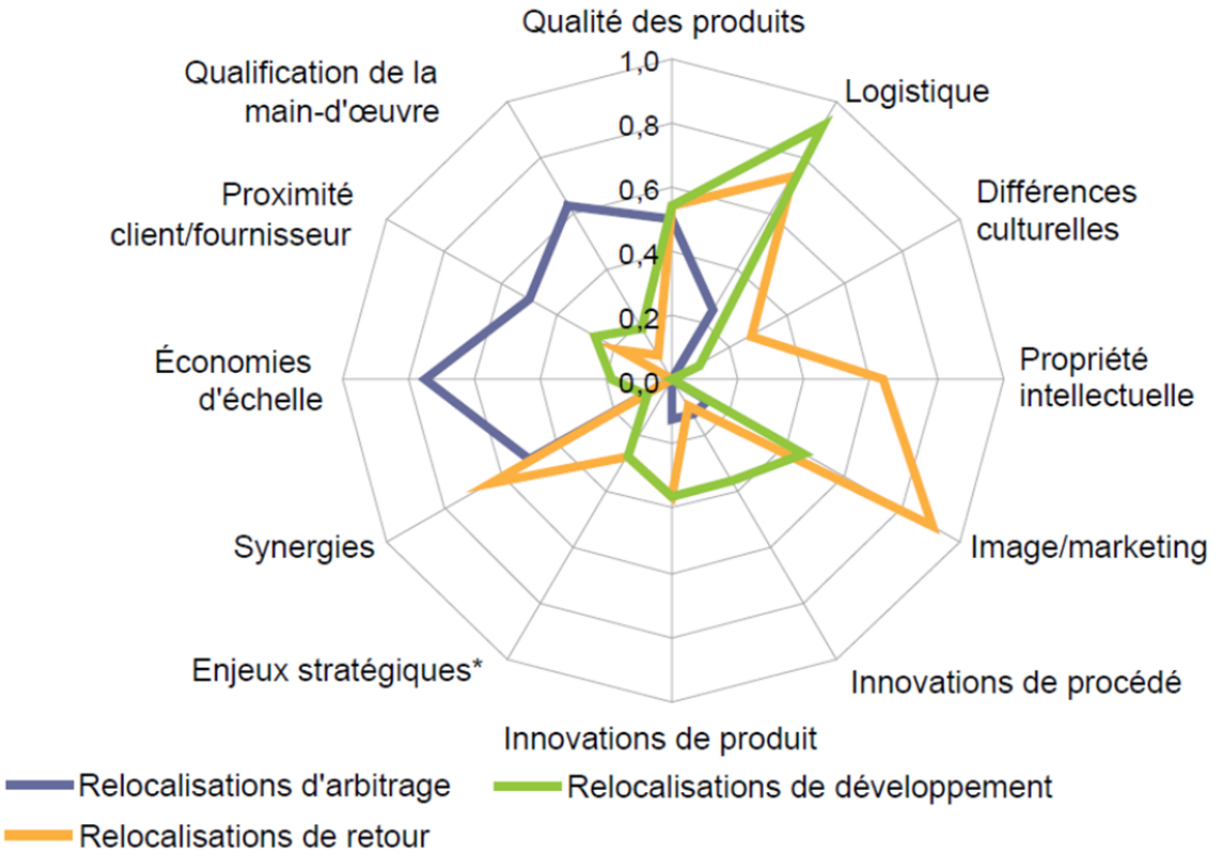
**Figure 8 : Les trois logiques de relocalisation**




*Source : Dgcis*

[271] Dgcis (2014), *op. cit.*

**Figure 9 : Les motifs de relocalisation en France**




Lecture : Parmi les 30 cas étudiés, 91 % des relocalisations de retour ont été réalisées pour des raisons de marketing.

*Source : Dgics, Datar ; Calculs : Dgcis*

Selon l'analyse des examens de relocalisation issue de Colbert 2.0, l'automatisation aurait tendance à peser plus comme motif de relocalisation sur la période récente (2013-2016). « *Sur la période 2013-2016, l'amélioration des processus de production en France constitue le 2ème motif de relocalisation (28 % des cas). Elle repose sur des investissements de productivité - automatisation des lignes de production notamment - qui permettent une réduction conséquente des coûts de production en France en comparaison des coûts de production à l'étranger, notamment pour des sites délocalisés en Asie (Chine, Taïwan, Thaïlande).* »[272]

### 4.1.3 Les effets des délocalisations et des relocalisations sur l'emploi en France (volume et structure)

Si les technologies peuvent pour partie affecter les déterminants de localisation des activités au niveau international (délocalisation et relocalisation), il reste difficile d'apprécier les effets des choix de localisation des entreprises sur l'emploi domestique.

[272] Audition de Grégoire Postel-Vinay, Chef de la Mission Stratégie, Direction générale des entreprises, Ministère de l'Economie et des Finances, devant le COE le 15 novembre 2016.

*Le rôle des technologies dans les délocalisations d'emplois*

La littérature économique s'est intéressée aux effets des délocalisations sur l'emploi d'un point de vue macroéconomique et régional mais aussi en mesurant le caractère délocalisable des métiers ou des emplois selon leur contenu en tâches[273].

Compte tenu de leur caractère largement concomitant, le développement du commerce international et les avancées technologiques des dernières décennies ont fait l'objet de travaux cherchant à évaluer leurs effets respectifs sur l'emploi : les emplois qui sont soumis au risque de délocalisation à cause de la concurrence des pays à faible coût de main d'œuvre et ceux qui font face au risque de substitution grâce aux nouvelles technologies sont-ils les mêmes ?

Dans l'analyse des effets de la mondialisation, le risque sur l'emploi domestique est celui de la substitution d'un travailleur local par un travailleur d'un autre pays alors que dans l'examen des effets du progrès technologique, le risque sur l'emploi est celui du remplacement du travailleur par une machine ou un logiciel. Ces deux risques de destruction d'emplois domestiques sont certes de nature différente mais leur évaluation peut se fonder sur un même critère à savoir le caractère plus ou moins routinier. En effet, le risque de *délocalisabilité* d'un emploi dépend de la capacité à faire réaliser à distance, par un travailleur étranger, un ensemble de tâches dont l'exécution dépend de règles explicites et codifiées. De la même manière, le risque *d'automatisation* d'un emploi dépend de la possibilité de traduire des tâches en actions compréhensibles et réalisables par une machine ou un logiciel.

Une étude de 2013[274] cherche ainsi à identifier les effets des importations chinoises et des technologies sur l'emploi dans les marchés du travail américains entre 1990 et 2007. Elle montre que les territoires les plus exposés aux importations chinoises ont connu des destructions d'emplois en particulier dans l'industrie et parmi les moins qualifiés. Les territoires plus intensifs en activités composées de tâches routinières (et donc plus soumis au risque de substitution par les technologies) n'ont pas connu de baisse du volume d'emploi mais une modification de sa structure marquée par une polarisation dans l'industrie et les services. Ces résultats empiriques soulignent que le commerce international et le progrès technologique ont des effets différents sur le volume et le type d'emplois domestiques considérés comme à risque.

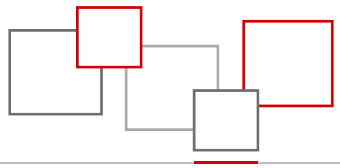
Blinder dans son article de 2007, qui porte sur le risque de délocalisation des emplois dans les services aux Etats-Unis, cherche à compléter la grille d'évaluation du risque de délocalisabilité des emplois pour dépasser le seul critère du routinier. Il distingue d'un côté les services qui exigent de la proximité physique et de l'interaction *de visu* entre le prestataire et le client, qui concernent autant des métiers du service à la personne que le métier d'avocat ou de chirurgien par exemple et de l'autre les services impersonnels où le service peut être réalisé à distance sans que la qualité du service ne soit dégradée.

**Les technologies sont assez largement désignées comme un facteur qui permet une accélération et un élargissement des types d'emplois délocalisables. La quantification de l'ampleur des emplois détruits à cause de la délocalisation et du potentiel futur est toutefois source de divergences[275].**

[273] Blinder A. (2007), *op. cit.*

[274] Autor D., Dorn D. et Hanso, G. (2013), *op. cit.*

[275] Blinder fait référence dans son article de 2007 à cinq estimations différentes pour les Etats-Unis.



**Les effets des délocalisations sur l'emploi sont surtout quantifiables au niveau des bassins d'emploi locaux[276].** Une étude menée sur le Royaume-Uni[277] analyse les effets des délocalisations sur les emplois domestiques. Les différences dans le tissu industriel britannique (plus ou moins grande spécialisation dans des industries traditionnelles caractérisées par une plus grande part de travail routinier) expliquent des effets différents sur les territoires. Il en ressort notamment deux conclusions: les flux d'IDE sortants (vers les pays développés ou émergents) sont associés à des destructions d'emplois domestiques routiniers (manuels ou cognitifs) et, quand les IDE sont à destination des pays émergents, ils sont associés à des créations d'emplois non-routiniers souvent qualifiés dans le pays d'origine (relocalisation ou recentrage sur des activités à haute valeur ajoutée).

En France, plusieurs études ont cherché à quantifier les destructions d'emplois induites par les délocalisations. L'une d'entre elles montre ainsi qu'« *entre 2009 et 2011, 4,2 % des sociétés marchandes non financières de 50 salariés ou plus implantées en France ont délocalisé des activités et 3,1 % l'ont envisagé sans le faire. L'industrie manufacturière et les services de l'information et de la communication sont les secteurs les plus concernés.* » [278]

Les auteurs estiment à 20 000 le nombre de suppressions directes de postes en France dues aux délocalisations sur la période 2009-2011. L'interprétation de ce chiffrage, doit, selon les auteurs, se faire avec prudence et ce pour au moins deux raisons. L'estimation, faite à partir de déclarations des employés, ne prend en compte que les suppressions directes sans mesurer celles induites (positives ou négatives) chez les sous-traitants. La délocalisation d'une partie de l'activité étant une stratégie visant la compétitivité pour l'entreprise, il faut aussi se demander si les emplois détruits ne l'auraient pas aussi été si l'entreprise ne délocalisait pas. Plusieurs études sur le cas français trouvent des résultats du même ordre de grandeur[279].

### *Les effets des relocalisations sur l'emploi*

Si l'automatisation semble être un facteur susceptible de rapatrier des activités économiques précédemment délocalisées sur le territoire français**,** peu études ont cherché à évaluer l'impact des relocalisations sur l'emploi. L'exercice se heurte en effet à des difficultés méthodologiques tenant tant à l'ambiguïté du périmètre du concept de relocalisation (il peut englober le rapatriement d'activités délocalisées dans le pays d'origine, mais aussi dans certains cas le non-départ d'activités qui devaient être délocalisées) qu'au volume et au type d'emplois relocalisables (d'autant que si les logiques de relocalisation reposent sur une réduction du coût de production grâce à l'automatisation, alors leur mode de production sera moins intensif en travail et donc les créations d'emplois seront moindres).

Quelques études réalisées par des cabinets de conseil sur les Etats-Unis et le Royaume Uni ont cherché à évaluer le potentiel d'emplois relocalisables à l'avenir. Elles considèrent que les relocalisations seront associées à des créations nettes d'emplois (BCG sur les Etats-Unis, 2013 ; PWC sur le Royaume Uni 2014). Une étude de 2015 du cabinet Ernst & Young[280] estime ainsi que les relocalisations pourraient créer jusqu'à 315 000 emplois au

[276] Mouhoud E.M (2008), *op. cit.*

[277] Gagliardi L., Iammarino S., et Rodríguez-Pose A. (2015) « Offshoring and the Geography of Jobs in Great Britain » *CEPR* Discussion Paper No. DP10855, September.

[278] Fontagné L., et D'Isanto A. (2013), « Chaînes d'activités mondiales : des délocalisations d'abord vers l'Union européenne », *INSEE première*, juin.

[279] Boulhol H., et Fontagné L. (2006), « Deindustrialisation and the Fear of Relocations in the Industry », CEPII Working paper ; Aubert.P, Sillard P, (2005) "Délocalisations et réductions d'effectifs dans l'industrie française », INSEE.

[280] Ernst & Young (2015), « Reshoring manufacturing – time to seize the opportunity », February.

Royaume-Uni. Ils identifient un fort potentiel de relocalisation mais cantonné à certains secteurs intensifs en capital, dont le marché final est européen, où la qualité et la marque importent beaucoup et qui emploient des travailleurs qualifiés. Pour arriver à ce chiffre, ils utilisent les 15 cas identifiés par l'agence gouvernementale « *Reshore UK* » et construisent d'après cette analyse un potentiel de relocalisation. Cette estimation leur permet de faire des projections sur les effets sur l'emploi. Ils différencient trois types d'impacts : les impacts directs (impact directement dans le secteur qui relocalise) ; impacts indirects (impact sur les secteurs en lien avec la logistique des secteurs qui relocalisent), impacts induits (demande soutenue par les dépenses des travailleurs d'activités relocalisées).

En France, peu d'études cherchent à quantifier l'impact des relocalisations sur l'emploi (volume et type). Dans l'étude précitée sur les trente cas d'entreprises ayant relocalisé[281], les emplois créés s'élèvent à 800. Le caractère lacunaire des études disponibles sur le potentiel de créations d'emplois liées aux relocalisations facilitées par le progrès technologique ne doit pas pour autant conduire à sous-estimer l'enjeu qu'il représente.

Les nouvelles technologies du numérique ont donc dans un premier temps facilité la délocalisation de certaines fonctions de l'entreprise et de tout ou partie des emplois correspondants. 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.

## 4.2 Les avancées technologiques récentes pourraient toutes choses égales par ailleurs, accentuer les écarts entre les régions en fonction de la composition des économies locales

Les avancées technologiques sont susceptibles d'influer sur la localisation des activités et de l'emploi à l'échelle internationale. C'est également le cas à l'échelle nationale.

La répartition de l'emploi sur le territoire national -à la fois en volume et en types d'emploi- dépend des évolutions de la structure de l'économie. Dès lors, analyser les effets potentiels des technologies récentes sur la localisation de l'emploi sur le territoire français passe nécessairement par une analyse des effets de ces dernières sur la composition de l'économie par secteurs, mais aussi par fonctions : l'impact sur le territoire dépendra alors largement des caractéristiques propres à l'emploi (secteurs, qualifications) sur le territoire considéré dans la mesure où l'automatisation et la numérisation affectent les secteurs et les travailleurs (qualifications) de façon différente.

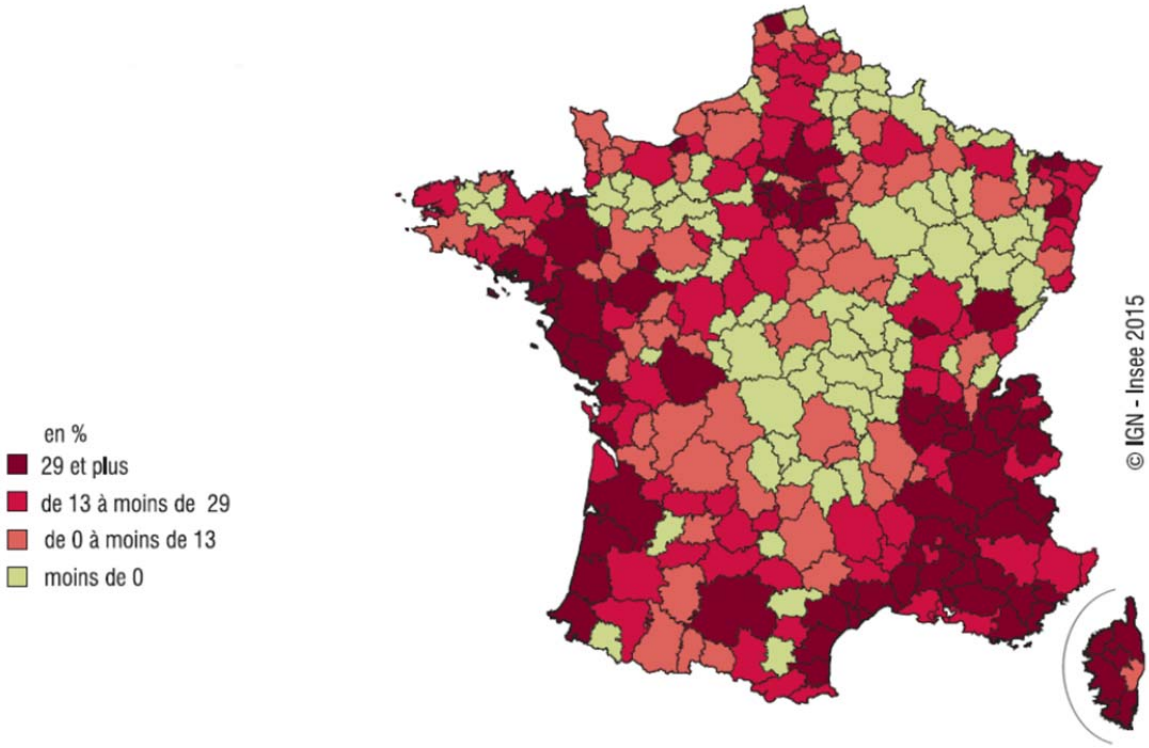
[281] Dgcis (2014), *op. cit.*

### 4.2.1 Rappel des déterminants de la localisation de l'emploi au sein d'un pays et rôle possible des déterminants technologiques

*Evolution de la répartition de l'emploi sur le territoire français*

La répartition des emplois sur le territoire national a profondément évolué depuis 30 ans, non seulement en termes de secteurs, mais aussi de fonctions.[282]

**Carte 2 : Variation de l'emploi total en France entre 1982 et 2011 par zone d'emploi**




*Lecture : Les territoires qui ont perdu de l'emploi sur la période (en vert) correspondent à des territoires spécialisés dans les activités industrielles et agricoles en recul sur les 30 dernières années. Les territoires qui ont gagné des emplois (en rouge et bordeaux) sont a contrario ceux spécialisés dans l'économie de la connaissance et les services à la population.*

*Source : INSEE.*

L'analyse par fonction souligne une distinction, au sein de l'économie, entre sphère productive et sphère présentielle avec l'idée qu'elles ont des localisations différentes[283]. La sphère présentielle renvoie aux activités « *mises en œuvres localement pour la production de biens et de services visant la satisfaction des besoins de personnes présentes dans la zone, qu'elles soient résidentes ou touristes* ». La sphère productive fait référence *a contrario* aux « *activités qui produisent des biens majoritairement consommés hors de la zone et des activités de services*

[282] Reynard R., Vialette P. et Gass C. (2015) « Trente ans de mutations fonctionnelles de l'emploi dans les territoires », *INSEE Première*, N°1538, février.

[283] Reynard R., Vialette P. et Gass C, (2015) *op. cit.*

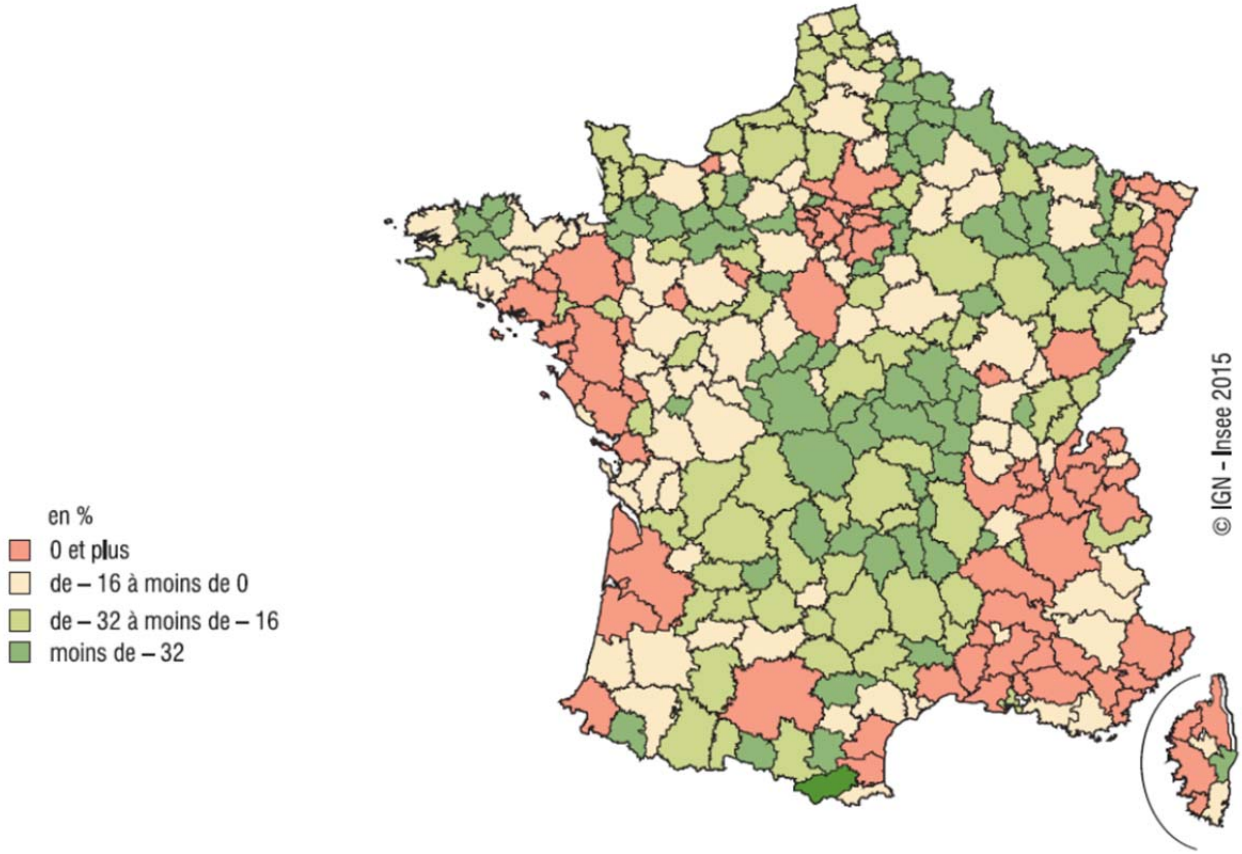
*tournées principalement vers les entreprises de cette sphère* ». Cette distinction permet de lier les évolutions de l'économie nationale aux effets sur l'emploi au niveau territorial.

**Tableau 25 : Localisation des sphères productive et présentielle**

| | Sphère productive | Sphère présentielle |
|---|---|---|
| **Définitions** | Activités potentiellement exportatrices de biens et de services | Activités tournées vers la satisfaction des besoins des personnes présentes (résidentes ou touristes) |
| **Activités** | - Production « concrète » : agriculture et industrie<br>- Production « abstraite » (tertiaire productif) : commerce de gros et services aux entreprises | Commerce de détail, santé, action sociale, éducation, services aux particuliers, administration et construction |
| **Localisation** | Ouverte à la concurrence internationale, elle sert des besoins au-delà de la zone, l'ancrage territorial est plus ténu. | Elle correspond à une demande locale et à des activités nécessitant une proximité forte avec la population |
| **Evolution 1982-2011** | Réduction des effectifs de 6% sur la période : baisse des fonctions de la production concrète (30% contre 56% en 1982) et croissance la production abstraite | Augmentation des effectifs de 42% sur la période. Elles représentent en 2011 65% de l'emploi total. |

*Source : INSEE*

**Carte 3 : Variation de l'emploi en France dans la sphère productive 1982-2011 par zone d'emploi**

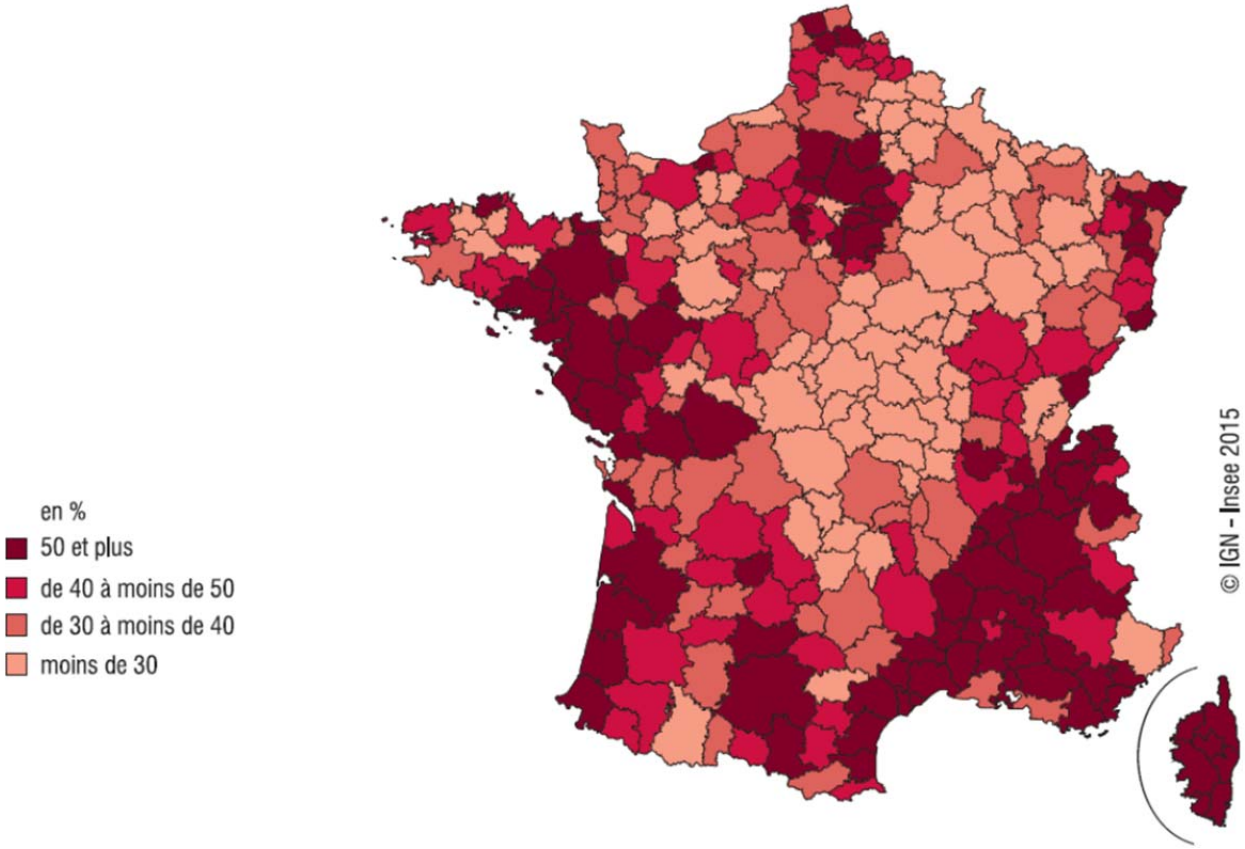



*Source : INSEE*

*Les zones qui ont le plus perdu (vert foncé) sont celles où il y avait une forte proportion d'emplois dans la production concrète (agriculture et industrie). Les effectifs (pour beaucoup des travailleurs peu qualifiés) ont été divisés par deux : ils représentent 30 % de la sphère productive en 2011 contre 56 % en 1982. Ces chiffres sont à mettre en lien très largement avec l'automatisation et la mondialisation (délocalisations entre autres).*

*Les zones qui ont le plus gagné (en rose saumon) sont celles qui ont vu la croissance des effectifs des fonctions de production abstraite (conception-recherche, prestations intellectuelles, production culturelle) et des fonctions de gestion et d'intermédiation (+ 47 %). Ces fonctions font appel à des travailleurs plus qualifiés que pour la production concrète. Leur développement est le signe du passage de l'économie productive française vers l'économie de la connaissance, de l'information et de la production immatérielles. Elles se localisent surtout dans l'agglomération parisienne et les métropoles régionales.*

**Carte 4 : Variation de l'emploi en France dans la sphère présentielle 1982-2011 par zone d'emploi**




*Lecture : Les effectifs d'emplois présentiels ont augmenté partout :*

- *Mais plus fortement dans les zones qui ont connu une forte croissante démographique (en bordeaux) grâce à l'essor des fonctions de la production abstraite*
- *Moins dans celles qui ont perdu de la population (en rose saumon) à cause de la réduction des fonctions de la production concrète*

*Cette progression est surtout liée à l'essor de trois fonctions : l'administration publique, la santé et l'action sociale et les services de proximité. Dans les zones qui ont connu des destructions d'emploi sur la période : ces fonctions comptent pour 80 % de la croissance de l'emploi présentiel.*

*Source : INSEE.*

En 2012 l'économiste géographe Laurent Davezies[284] a présenté une analyse similaire autour de « 4 France » : les territoires « marchands dynamiques » (36 % de la population), les territoires « non marchands dynamiques » (44 %), les territoires « marchands en difficulté » (8 %) et les territoires non marchands en difficulté (12 %).

Pierre-Noël Giraud[285] propose pour sa part deux autres distinctions : la première entre emplois exposés et emplois abrités, la seconde entre emplois nomades et sédentaires. En réalité il y a deux couples : les emplois exposés sont les emplois nomades, ceux de l'économie des biens et des services qui peuvent être consommés ailleurs que là où ils sont produits ; les emplois abrités sont les emplois sédentaires qui sont ceux de l'économie

[284] Davezies L. (2012) « La crise qui vient, la nouvelle fracture territoriale », La République des Idées, *Seuil*.

[285] Frocrain P. et Giraud P-N. (2016), « Les emplois exposés et abrités en France », *Les Synthèses de la Fabrique*, N°9, septembre ; Giraud P-N, « Une autre grille d'interprétation : nomades, sédentaires et « désindustrialisation » de l'Europe », blog.

satisfaite par une demande domestique voire locale. Cette distinction est proche de celle entre sphère productive et présentielle.

Les emplois exposés sont en concurrence avec des emplois localisés dans d'autres pays alors que pour les emplois abrités, un emploi détruit sera recréé parce que la demande est stable. Ces éléments se traduisent dans les logiques de localisation des emplois. Les services exposés n'ont pas besoin d'être proche de leur marché final, ils se localisent donc en ville, pour profiter des économies d'échelle et des économies d'agglomération. A l'inverse les emplois abrités sont obligés d'être localisés à proximité de leur consommateur. L'emploi exposé recule entre 1999 et 2013 et se tertiarise alors que l'emploi abrité augmente. Le recul de l'emploi exposé est dû à la réduction des emplois dans la production agricole (-219 000 sur la période) et la fabrication industrielle (-755 000 sur la période) ; l'emploi tertiaire exposé croit (+780 000).

Ces emplois ne sont pas répartis également sur le territoire : les emplois exposés tertiaires sont surtout situés dans les grandes villes[286] alors que les emplois agricoles et industriels sont plus dispersés. Les emplois exposés sont plus productifs et mieux rémunérés en particulier les services. Les différences de qualifications sont par contre faibles entre emplois exposés et abrités.

***Le poids des facteurs technologiques***

La technologie peut avoir plusieurs effets sur l'emploi qui se répercutent ensuite sur les territoires en fonction de leur catégorisation en tant qu'emplois abrités ou exposés : la création de nouveaux secteurs (production et services autour de cette technologie), la croissance de secteurs existants grâce aux gains de productivité permis par cette technologie ou au contraire le déclin de secteurs ou d'entreprises qui perdent en compétitivité et enfin la manière dont elle peut affecter les relations entre les acteurs économiques (évaluation de la distance).

L'analyse sur les effets potentiels des technologies sur la localisation des activités décrit pour l'échelle internationale vaut aussi dans le cadre national. Les logiques de localisation des emplois exposés peuvent ainsi évoluer pour s'orienter vers des territoires qui sauront proposer la meilleure combinaison entre coûts salariaux, coûts de transport, aspects institutionnels (locaux), capital humain et écosystème régional.

A cet égard, la capacité des territoires à attirer des entreprises et donc de l'emploi dépend de plus en plus de différents déterminants parmi lesquels l'insertion dans des réseaux de télécommunications. Or les territoires français sont encore inégalement connectés notamment en matière d'accès à l'internet très haut débit. Or il est devenu un enjeu stratégique pour les entreprises pour communiquer avec leurs partenaires, externaliser certaines fonctions ou encore développer leur stratégie de vente et de communication. Le Plan France Très Haut débit, lancé en 2013, qui prévoit un investissement de 20 milliards d'euros en dix ans pour couvrir l'ensemble du territoire d'un accès à internet très haut débit, doit ainsi permettre de rétablir une certaine égalité des chances entre territoires.

[286] Borzic M., et Le Jeannic T. (2014), « En matière d'emploi, les métropoles ont davantage résisté à la crise », *INSEE Première*, N°1503, juin ; Van Puymbreck C., et Reynard R. (2010), « Répartition géographique des emplois – Les grandes villes concentrent les fonctions intellectuelles, de gestion et de décision. », *INSEE*, N°1278, février.

### 4.2.2 L'impact territorial des technologies sur l'emploi dépend d'abord de la spécialisation des territoires dans certains secteurs, des métiers ou qualifications soumis à un risque élevé d'automatisation ou affectés par la numérisation

Plusieurs études ont essayé d'isoler les effets du progrès technologique sur l'emploi au niveau territorial en analysant notamment comment les technologies peuvent affecter les évolutions de la demande de travail entre les différents territoires.

*Les effets différenciés de la technologie sur l'emploi dans les territoires*

Evaluer les effets du changement technologique sur les zones d'emploi implique de définir au préalable une méthode de mesure de ce changement. Trois approches peuvent ici être retenues : une première approche analyse les effets du progrès technologique sur un marché de l'emploi local en fonction de la spécialisation industrielle de l'économie locale[287], une deuxième approche observe les effets de la numérisation au regard de la composition historique en qualifications[288], la dernière approche se fonde sur la composition par métiers[289].

Une étude de 2014[290] évalue l'impact du progrès technologique (mesuré par les brevets) sur les marchés de l'emploi locaux (*Travel to Work Areas*, TTWAs) au Royaume Uni en utilisant des données de 2000-2007. Elle montre que les taux d'emploi sont plus faibles dans les territoires qui sont plus exposés aux chocs technologiques en fonction de leur spécialisation industrielle. L'importance de cet effet négatif varie en fonction des territoires et de la typologie de travailleurs (qualifications). Les territoires les plus touchés sont ceux qui ont de faibles économies d'agglomération (donc très spécialisés dans un seul secteur) et une spécialisation dans les industries traditionnelles, et une grande part des travailleurs intermédiaires employés pour des tâches routinières. Selon ces conclusions, plus un territoire a une grande part d'entreprises high-tech (qui ont en général un plus haut niveau de dépenses en R & D et d'efforts d'innovation), plus il a les capacités de réagir au changement technologique ; inversement, moins un territoire a d'entreprises high-tech, et plus d'entreprises low tech ou spécialisées dans des industries traditionnelles, plus il y a une baisse du taux d'emploi.

L'approche par la composition en métiers au sein d'une économie locale est très liée à la littérature sur le progrès technologique favorable aux plus qualifiés[291] et à celle, complémentaire, d'un progrès technologique défavorable aux tâches « routinières »[292].

---

[287] Gagliardi L. (2014), « Employment and Technological Change : on the geography of labour market adjustements », *SERC* Discussion Paper 165, October ; Audition de Luisa Gagliardi, Professeure en économie à l'Université de Genève, Chercheure associée au Spatial Economics Research Centre (CEP-SERC) de la London School of Economics et au Research Centre for Regional Economics, Transports and Tourism (CERTeT) de l'université Bocconi, devant le COE le 11 octobre 2016.

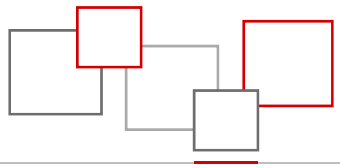
[288] Beaudry P., Doms M. et Lewis E. (2010), « Should the PC be considered a technological revolution ? Evidence from US metropolitan areas », May ; Moretti E. (2012), *The New Geography of Jobs*, Mariner Books ; Berger T., et Frey C.B. (2016), « Technology Shocks and urban evolutions : did the computer revolution shift the fortunes of U.S, cities? », *Non-publié.*

[289] Autor D., Dorn D. et Hanson, G. (2013), *op. cit*. ; Charnoz P., et Orand M. (2016), « Qualification, progrès technique et marchés du travail locaux en France, 1990-2011 », audition de Michael Orand, co-auteur de l'étude à paraître de l'INSEE« Qualification, progrès technique et marchés du travail locaux en France, 1990-2011 », devant le COE le 20 septembre 2016

[290] Gagliardi L. (2014), *op. cit.*

[291] Autor D.H., Levy F. et Murnane R. (2003), *op. cit.*

[292] Autor D.H., et Dorn D. (2013), « The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market », *American Economic Review*.



Une étude menée sur le cas français[293] reprend ainsi l'approche développée par Autor et Dorn en 2013 sur les marchés d'emplois locaux américains et cherche à évaluer l'applicabilité des résultats obtenus dans le cas américain. Cette étude vise donc à tester l'hypothèse que la transformation de la demande de travail en France en faveur des plus qualifiés au cours des vingt dernières années est attribuable aux technologies de l'information et de la communication, qui feraient disparaître les métiers composés de tâches routinières en les automatisant et favoriserait les métiers peu qualifiés des services et les métiers très qualifiés. Elle conclut que, là où la part initiale (en 1982) d'emplois routiniers dans les métiers de production et support est importante, on observe une diminution de l'emploi dans ces métiers plus importante ainsi qu'une augmentation des emplois des métiers très qualifiés et des métiers de services employant des peu diplômés.

L'étude met aussi en exergue l'effet de la spécialisation fonctionnelle des territoires (distinction entre métiers de la production et métiers de support) : une part importante de métiers routiniers de support est associée à une croissance de l'emploi pour les métiers très qualifiés, ce qui ne se vérifie pas pour les métiers routiniers de production. Il n'y a en revanche pas de transfert suffisant des métiers routiniers vers les services : l'augmentation du chômage est plus forte là où la part d'emplois routiniers est importante et surtout quand il s'agit de métiers routiniers de support.

La dernière approche se fonde sur la dotation des territoires en qualifications (« *skills* ») comme facteur déterminant des effets des technologies sur le bassin d'emploi. L'idée centrale est celle développée par Lin en 2009[294], à savoir que la capacité d'adaptation d'une ville aux nouvelles technologies dépend de la composition initiale en qualifications. Le destin des territoires dépendrait donc de la densité en diplômés (même si la diversité industrielle est aussi prise en compte). Berger et Frey (2016)[295] reprennent ce postulat et montrent comment les différences de capacité d'adaptation aux chocs technologiques des années 1980 ont affecté le développement des villes américaines. Selon eux, les technologies informatiques ont contribué au développement de nouvelles tâches cognitives non-routinières à partir des années 1980 complémentaires avec des travailleurs cognitifs. Les villes spécialisées dans ces activités ont ainsi connu un fort développement alors que celles qui avaient un poids plus important d'activités routinières ont régressé. La divergence des villes américaines dans les 30 dernières années dépend donc du degré de complémentarité entre les nouvelles technologies et le stock de compétences initiales des travailleurs présents *ab initio* sur le territoire.

#### *Les territoires français les plus fragilisés par l'automatisation et la numérisation*

Que ce soit l'approche par spécialisation industrielle, par métiers ou par qualifications, les bassins d'emploi sont inégalement exposés aux effets des technologies. Ces études, sur données passées, permettent bien sûr d'entrevoir ce que les technologies les plus récentes pourraient signifier pour les territoires selon qu'ils soient plus ou moins spécialisés, dans quels secteurs, dans quels métiers et qu'ils disposent ou non de qualifications complémentaires de ces technologies. Toutefois aucune étude n'a, à notre connaissance, essayé de mener un travail plus prospectif sur les effets de l'automatisation et de la numérisation sur le volume et le type d'emploi à risque par zone d'emploi.

---

[293] Charnoz P., Orand M (2016), *op. cit.*

[294] Lin J. (2009), « Technological adaptation, cities, new work », *Research Department, Federal Reserve Bank of Philadelphia*, Working Paper 07-25, July.

[295] Berger T., et Frey C.B. (2016), *op. cit.*

A défaut, il n'est pas impossible de faire des hypothèses sur les destins des territoires en mobilisant les éléments mentionnés ci-dessus ainsi que le corpus présenté au début du rapport sur le risque d'automatisation par secteur et par métier**.** Les territoires qui seraient le plus exposés au risque de destructions d'emploi sous l'effet de l'introduction des technologies récentes seraient alors **:**

- les zones d'emploi où les secteurs industriels « traditionnels » faiblement intensifs en technologie représentent une grande part de l'emploi local (et *a fortiori* si l'économie locale est très spécialisée dans ces secteurs) ;
- Les zones d'emploi caractérisées par une forte densité en faibles qualifications
- Les zones d'emploi les plus exposées où les métiers routiniers pèsent plus dans l'emploi local.

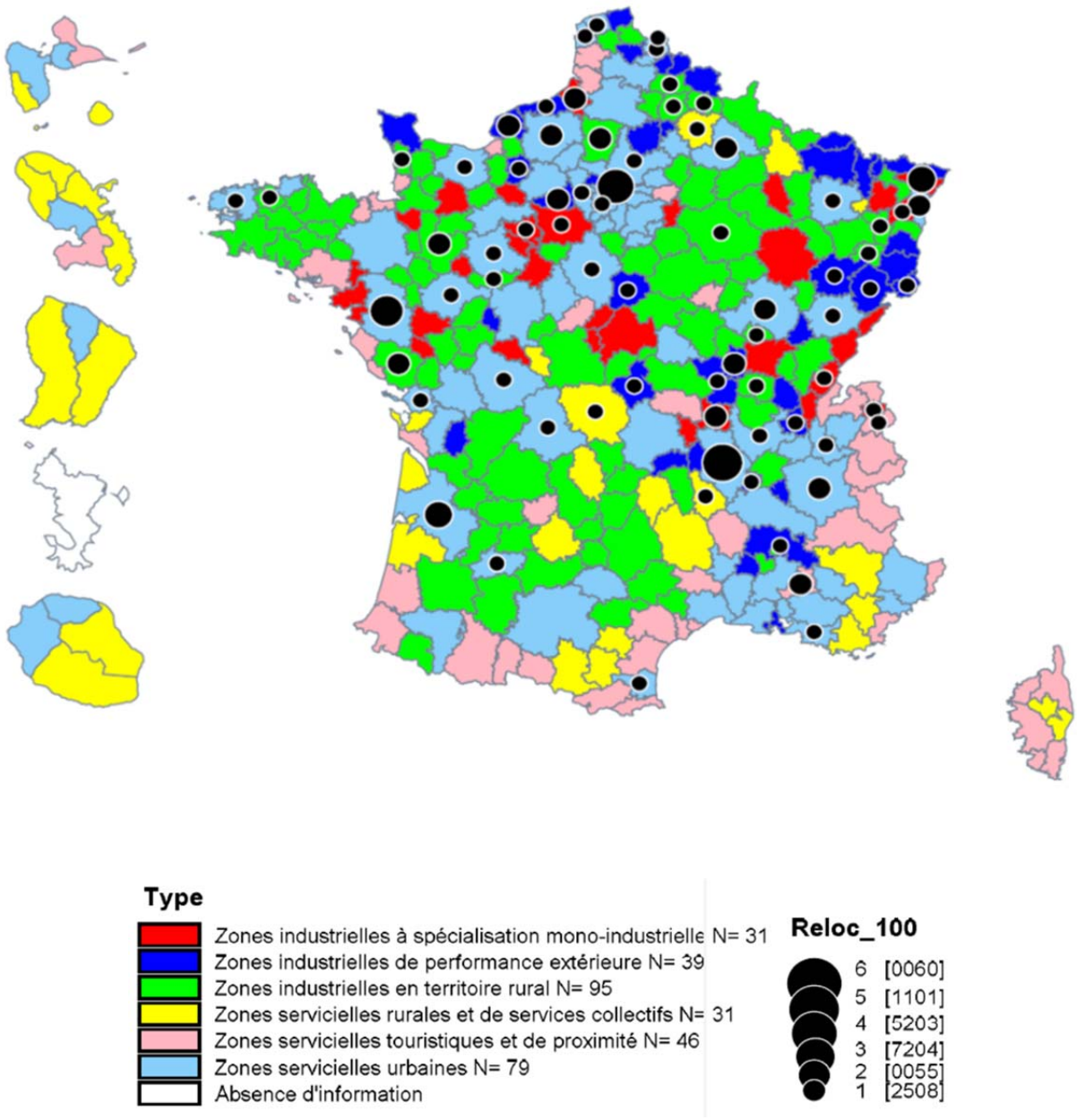
### 4.2.3 Les créations d'emploi liées aux nouvelles technologies devraient bénéficier diversement aux territoires

La possibilité pour les territoires de bénéficier des technologies pour développer l'emploi dépend de la présence *a priori* sur les territoires de la combinaison des facteurs répondant aux attentes nouvelles des entreprises industrielles. La géographie des secteurs dont la croissance est portée par les nouvelles technologies concerne d'abord les zones métropolitaines où les entreprises peuvent bénéficier d'économies d'agglomération et puiser dans un vivier de talents dont les compétences sont complémentaires de ces technologies.

***Les technologies comme levier de créations d'emplois industriels pour certains territoires.***

Pour tenter d'apprécier la capacité d'un territoire à développer l'emploi du fait des nouvelles technologies, on peut tenter de croiser la nature des zones d'emploi et les relocalisations d'activités qui y ont eu lieu (qui permet en ce sens d'évaluer l'attractivité d'un territoire).

Dans le cadre des travaux sur le potentiel de relocalisations industrielles en France, le Pipame a cherché à évaluer l'exposition des territoires aux délocalisations et aux relocalisations en fonction de leur composition industrielle (carte 5). La synthèse distingue d'abord quatre types de secteurs industriels en fonction de l'importance de leur ancrage territorial : les secteurs domestiques peu délocalisables (sphère présentielle), les secteurs exportateurs peu délocalisables (activités à haute valeur ajoutée insérées dans des écosystèmes denses), les secteurs à délocalisations défensives (secteurs tayloriens, les délocalisations sont envisageables mais plutôt sur une petite partie de la chaîne et temporaires), les secteurs à délocalisations offensives (repositionnement, montée en gamme).




*Source : Pipame (2013)*

La part respective de ces secteurs dans la composition des zones d'emploi permet d'aboutir à un indice d'exposition des territoires. L'étude distingue ainsi six catégories de zones d'emploi en fonction de cet indice : les zones industrielles mono-spécialisées, les zones industrielles de performance extérieure et les zones industrielles en territoire rural, et les zones servicielles rurales et de de services collectifs, les zones servicielles touristiques et de proximité et les zones servicielles urbaines.

Les zones d'emploi industrielles (rouge, bleu foncé et vert) attirent 45% des relocalisations.Ceci peut s'expliquer ainsi : les zones industrielles en territoires ruraux disposent d'un tissu industriel solide tout en étant bien connectées aux autres territoires dotés en services cognitifs alors que les zones industrielles de performance extérieure attirent par leur spécialisation en industries déjà fortement exportatrices et par leur écosystème ; les

zones industrielles mono-spécialisées attirent le moins. Seules les zones servicielles urbaines (bleu clair) attirent beaucoup de de relocalisations (48 %) parmi les zones servicielles. Elles sont spécialisées dans l'économie de la connaissance et fournissent en services les zones industrielles d'exportation.

***Les technologies numériques devraient contribuer à poursuivre la tendance à la concentration de l'emploi dans les villes et les métropoles***

Si les nouvelles technologies peuvent représenter une opportunité pour certains territoires industriels ruraux, les études empiriques soulignent toutefois que ce sont les villes qui concentrent les secteurs ou fonctions « favorisés » par les nouvelles technologies (nouveaux secteurs ou secteurs qui connaissent des gains de productivité). En France, les 15 plus grandes aires urbaines auraient ainsi concentré 75 % de la croissance entre 2000 et 2010, part bien supérieure à la moyenne de l'OCDE (60 %). Et ces métropoles ont représenté plus de 70 % des créations nettes d'emplois privés entre 2007 et 2014[296].

La thèse fondatrice qui identifie les villes comme des espaces plus à même de s'adapter aux nouvelles technologies est celle de Jane Jacobs[297]. Dans la même perspective, Lucas (1988)[298] soutient qu'en concentrant les connaissances et les compétences d'un côté, la production et la consommation de l'autre, les villes disposent à la fois des facteurs et des marchés pour tirer profit des nouvelles technologies. Ces thèses sont reprises par Jeffrey Lin[299] (2009) qui part du constat que certaines villes américaines semblent plus à même d'attirer ou de créer de nouveaux emplois (« *new work* ») quand de nouvelles technologies émergent. Il définit ainsi ces nouveaux emplois comme ceux qui nécessitent de nouvelles combinaisons d'activités ou de techniques qui ont émergé sur le marché du travail en réponse à de nouvelles informations, technologies ou « recettes » de production.

Deux études empiriques américaines ont ainsi souligné que ce sont les villes spécialisées dans l'économie de la connaissance qui ont connu la plus forte croissance (entre 1970 et 2000) et que les nouveaux secteurs liés aux nouvelles technologies se localisent (lors de leur naissance et de leur développement) dans les zones urbaines les plus dotées en travailleurs hautement qualifiés (entre 2000 et 2010).

Reprenant l'approche développée par Lin (2009), une première étude de Berger et Frey[300] (étude distincte de leur analyse prospective sur le risque d'automatisation présentée au 2 de la présente partie) part du postulat suivant : les tâches complexes de demain naissent là où les nouvelles technologies sont complémentaires avec les qualifications des travailleurs. Les deux chercheurs montrent, sur des données américaines, que depuis la révolution informatique dans les années 1980, le contenu en tâches du changement technologique est devenu de plus en plus complémentaire avec les travailleurs qui ont des compétences cognitives. Ainsi les villes qui se sont spécialisées dans l'économie de la connaissance ont connu une plus forte croissance. En outre, les auteurs concluent que les technologies du *big data* vont probablement encore plus valoriser les compétences cognitives et notamment la créativité et l'interaction sociale.

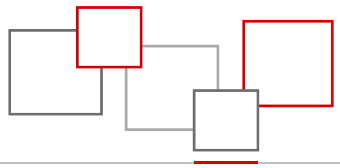
[296] Davezies L. et Estèbe P. (2015) *Les nouveaux territoires de la croissance : vers un retournement historique de la géographie économique ?* Rapport d'étude, Observatoire de l'économie et des institutions locales, novembre

[297] Jacobs J. (1969), *The Economy of cities.*

[298] Lucas R. (1988), « On the mechanics of economic development », *Journal of Monetary Economics*, 22.

[299] Lin J. (2009), *op. cit.*

[300] Berger T., Frey C.B. (2016), *op. cit.*



Dans un second article[301], ces deux mêmes auteurs, analysent l'apparition de nouveaux secteurs aux Etats-Unis entre 2000 et 2010 liée aux avancées technologiques. Cette analyse s'intéresse aux lieux où ces nouveaux secteurs apparaissent et montre qu'ils naissent là où il y avait déjà une dotation en travailleurs qualifiés et spécialisés dans des industries qui demandaient des compétences techniques similaires. Ils montrent que les innovations technologiques récentes suscitent la création de nouveaux secteurs même si ces derniers ne représentent qu'une part faible des créations d'emploi. en 2010, environ 0,5 % des travailleurs américains travaillaient dans ces nouveaux secteurs (apparus sur les 10 dernières années) même s'il y a de grosses variations territoriales - à San José (Silicon Vallée) ce pourcentage s'élevait à 1,8 %. Ce lien entre présence de capital humain et apparition de nouveaux secteurs se prête à deux interprétations : soit ce sont les villes qui savent plus se réinventer[302] et tirer avantage des technologies (appliquer l'innovation extérieure), soit elles sont plus innovantes (innovation locale). En analysant la provenance de l'innovation (où a été déposé le brevet), ils montrent que l'avantage des villes n'est pas lié au fait que c'est en leur sein que sont déposés le plus de brevets mais qu'elles savent tirer avantage des innovations d'ailleurs (utilisation de brevets déposés autre part), ils aboutissent à la conclusion que ce sont les travailleurs de ces villes qui savent capter et utiliser les innovations extérieures.

Plusieurs travaux de l'Insee confirment l'idée selon laquelle les technologies seraient favorable aux activités à haute valeur ajoutée et aux travailleurs les plus qualifiés et les mieux rémunérés qui se trouvent dans les villes et surtout les plus grandes[303].

**Les technologies numériques ont non seulement soutenu la croissance de secteurs d'activités déjà urbains mais elles sont aussi à l'origine d'une économie numérique encore plus concentrée géographiquement dans les métropoles.** Une étude de l'Insee de 2016[304] montre ainsi que l'économie numérique est particulièrement concentrée en Ile-de-France (512 600 emplois en 2012 ce qui correspond à la moitié des actifs du secteur en France). Elle représente 9 % de l'emploi francilien contre seulement 3 % en province.

Les emplois de l'économie numérique se répartissent entre les emplois dans les TIC (services aux entreprises, vente et fabrication), les contenus et supports culturels mais aussi des emplois associés comme ceux de la publicité et de la communication ou des industries connexes aux TIC (par exemple la fabrication d'équipements d'aide à la navigation, l'instrumentation et matériels optiques).

Les cadres sont surreprésentés dans ces emplois puisqu'ils représentent 58 % des emplois du numérique, contre 29 % tous secteurs confondus. Plus de la moitié des actifs du numérique est diplômée du 2e ou 3e cycle universitaire, en Ile-de-France (51 %), en 2012. C'est plus qu'en France dans le numérique (42 %) et qu'en Ile-de-France tous secteurs confondus (30 %). « *Parmi les actifs des TIC, les trois quarts sont diplômés de l'enseignement supérieur et les deux tiers sont cadres. Ils sont majoritairement ingénieurs, chefs de projet informatique, chercheurs. Les contenus et supports culturels emploient 56 % de cadres, notamment des journalistes, des cadres artistiques, des responsables de programmation et de production de l'audiovisuel et des spectacles. Le domaine de la publicité-communication accueille davantage de professions intermédiaires (34 %) : ce sont des graphistes, des stylistes, des assistants de la publicité, des photographes* ».

[301] Berger T. et Frey C.B, (2015), « Industrial renewal in the 21st century : Evidence from US cities, 2016 », *Regional Studies.*

[302] Glaeser E. et Saiz A, (2003), « The rise of the skilled city », *NBER* Working Paper n° 10191, December.

[303] Borzic M. et Le Jeannic T. (2014) *op. cit.* ; Van Puymbreck C. et Reynard R. (2010), *op. cit.*

[304] Godonou C., Renouvel S., Roger S., Camors C., Soulard O. et Dezenaire F. (2016), « Economie numérique en Ile-de-France : une dynamique d'emploi portée par les non-salariés », *INSEE Analyses,* n°31, mars.

Les emplois de cette économie numérique sont même concentrés dans des zones très précises. 70% des actifs franciliens travaillent à Paris ou dans les Hauts-de-Seine. « *Cette localisation des emplois s'explique par les avantages de la centralité et l'accès aux compétences et aux talents, à la densité des réseaux professionnels, aux marchés (donneurs d'ordre, consommateurs, etc.)* ».

### 4.2.4 La possibilité d'un « trickle-down » ou d'un multiplicateur technologique au niveau local en France

Le développement de secteurs soutenus par les nouvelles technologies peut en outre avoir des effets plus indirects sur l'emploi au niveau local, en favorisant le développement d'emplois induits.

Un courant de recherche principalement américain, autour d'Enrico Moretti, a essayé de quantifier ce potentiel de créations d'emplois induits, partant du principe que la création d'un nouvel emploi dans le secteur marchand induit la création d'autres emplois dans les services au sein de la même économie locale. Ce mécanisme, dénommé « l'effet multiplicateur local »[305], est utile pour l'analyse, même s'il se heurte à certaines difficultés méthodologiques[306]. Ce multiplicateur serait d'autant plus élevé pour des emplois hautement qualifiés et pour les secteurs industriels *high-tech*[307]. Il proviendrait d'une augmentation de la demande en services locaux générée par l'accroissement des revenus disponibles dans le secteur marchand. En termes simples, cela renvoie au fait que s'il y a plus de travailleurs et qui plus est mieux rémunérés dans un territoire (dans cette thèse, c'est un mécanisme avant tout urbain), ces travailleurs vont augmenter la demande locale en services (comme des salons de coiffure, des restaurants) donc pour les emplois de service. Ce multiplicateur a été évalué d'abord sur des données américaines (Moretti, 2010) : un emploi dans le secteur high-tech aboutirait à la création de cinq emplois dans les services (dont deux qualifiés et trois peu qualifiés). La même méthode a été appliquée sur des données suédoises (Moretti, Thulin, 2013) et le mécanisme, bien que de plus faible ampleur est aussi identifié : un emploi hautement qualifié induit la création de trois emplois dans les services et un emploi dans le secteur high-tech ne se traduit que par la création d'un emploi dans les services peu qualifiés.

La thèse de Moretti a été reprise et appliquée à des données européennes dans deux études[308]. Une première étude de 2013 se fonde sur les tendances sur l'emploi et les salaires dans le high-tech[309] pour les pays de l'Union européenne entre 2000 et 2011 et évalue, que pour chaque emploi créé dans le high-tech, plus de quatre nouveaux emplois sont créés dans le secteur non-high-tech dans la même région. Dans cette analyse, deux nou-

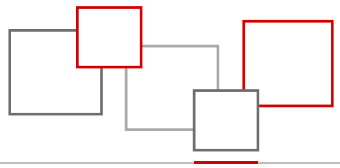
[305] Moretti E. (2010), « Local multipliers », *American Economic Review* : Papers & Proceedings, May.

[306] Certains problèmes d'ordre méthodologique apparaissent quant à l'évaluation des effets des activités productives sur les activités présentielles. Elles sont de deux ordres : la première concerne la difficulté de discerner sans ambiguïté ce qui relève des emplois de la sphère « marchande » et de celle « non-marchande » ; la deuxième renvoie aux choix de la variable utilisée pour mesurer l'activité économique des deux sphères (emploi, salaires, valeur ajoutée, PIB régional) et de l'échelle (région, département, zone d'emploi).

[307] Moretti E. et Thulin P. (2013), « Local multipliers and human capital in the United States and Sweden », *Industrial and Corporate Change*, Volume 22, n°1.

[308] Goos M., Hathaway I., Konings J. et Vandeweyer M, (2013), « High-technology employment in the European Union », *Vives*, Discussion paper 41 ; Goos M, Konings, J. et Vandeweyer M. (2015) « Employment Growth in Europe : The roles of innovation, local job multipliers and institutions », *U.S.E*, Discussion Paper series n°15-10.

[309] Les emplois dans le high-tech englobent les emplois de l'industrie numérique mais aussi les métiers STEM (sciences, technologie, ingénierie, mathématiques). Ils représentent 22 millions d'emplois en 2011 soit 10 % de l'emploi total dans l'Union européenne. L'emploi dans ces secteurs a cru deux fois plus vite que l'emploi dans les autres secteurs sur la période.



veautés sont à noter par rapport à la thèse de Moretti : les secteurs concernés par les créations d'emplois ne sont pas uniquement les services locaux mais l'ensemble des secteurs (avocats, serveurs, chauffeurs de taxi, etc.), l'échelle n'est plus uniquement urbaine mais régionale (NUTS).Une analyse de 2015 aboutit à des conclusions similaires : la création d'un emploi dans le high-tech induit la création de cinq emplois dans les services locaux.

D'un point de vue plus général, allant au-delà de l'effet multiplicateur des seuls emplois *high tech,* plusieurs études s'accordent sur l'existence d'une interdépendance, en France, entre les sphères productive et présentielle[310]: dans les territoires français qui ont connu une croissance de l'emploi dans les 30 dernières années, les deux sphères ont progressé. Une étude de *La Fabrique de l'industrie*[311] sur les emplois abrités et exposés propose une estimation du multiplicateur d'emploi local : *« lorsque 100 emplois exposés apparaissent dans une zone d'emploi de France métropolitaine, 64 emplois abrités supplémentaires sont créés au sein de cette même zone.* ». Les auteurs rappellent toutefois que ces résultats sont « entourés d'une part d'incertitude » mais qu'il y a effectivement un impact puissant de l'emploi exposé sur l'emploi abrité.

Une autre approche examine l'existence d'un multiplicateur entre la création d'un emploi hautement qualifié (favorisés par les nouvelles technologies) et les créations d'emplois peu qualifiés. Les territoires qui attirent le plus de travailleurs qualifiés peuvent aussi être ceux qui fournissent le plus d'opportunités pour les travailleurs les moins qualifiés. Cette idée est en écho avec l'hypothèse de Moretti. Elle permet d'envisager un scénario où les emplois détruits par l'automatisation, pourraient se déverser dans les services locaux employant des travailleurs peu qualifiés. Dans leur étude, P. Charnoz et M. Orand[312], montrent toutefois que dans le cas français, « *quand les emplois routiniers disparaissent, ils ne sont pas entièrement, mais seulement en partie remplacés par des emplois de services, ce qui explique qu'une part grandissante des travailleurs les moins qualifiés soient au chômage* ».

[310] Reynard R., Vialette P. et Gass C. (2015), *op. cit.*

[311] Frocrain P. et Giraud P-N. (2016), *op. cit.*

[312] Charnoz P. et Orand M. (2016), *op. cit.*

# Conclusions

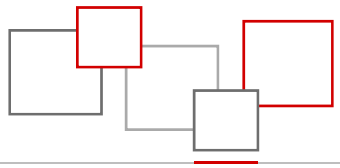
**L'histoire économique montre qu'au cours des deux derniers siècles, l'emploi, s'il s'est beaucoup transformé, a continué à augmenter au fil des révolutions technologiques.** Le lien plutôt favorable entre l'emploi et les nouvelles technologies a également été confirmé au cours des trois dernières décennies.

1. La nature et l'ampleur inédite des progrès liés au numérique et à l'automatisation ainsi que le ralentissement récent de la productivité, remettent aujourd'hui la question de l'évolution de l'emploi au cœur du débat public. Dans un contexte marqué par de grandes incertitudes sur les avancées technologiques à venir et leur rythme de diffusion dans l'économie, **le Conseil a souhaité, pour éclairer le débat public et l'élaboration des politiques publiques, aborder la question dans sa globalité. Trop souvent en effet, les analyses sont partielles, ce qui peut fausser les conclusions.** Tantôt elles s'intéressent aux seules destructions d'emploi quand il faudrait aussi prendre en considération les créations d'emploi, plus difficiles bien sûr à concevoir et à chiffrer. Tantôt elles considèrent la question d'un point de vue purement quantitatif en omettant la dimension qualitative : la transformation du contenu des emplois et du travail.

2. **Les leçons de l'analyse économique récente invitent à considérer, au-delà de la vitesse de déplacement de la frontière technologique, les enjeux de temporalité.** En effet, l'introduction de nouvelles technologies ne se traduit pas seulement par la substitution de l'homme par la machine, par le fait de produire plus avec moins, avec à la clé des destructions d'emploi. Les gains de productivité associés à des « innovations de procédé » qui permettent de produire avec des effectifs réduits, sont également susceptibles de favoriser des gains de parts de marché, notamment à l'exportation. A côté ou à la suite de ces « innovations de procédé », des « innovations de produit » peuvent apparaître, avec des effets positifs sur l'emploi – à condition bien sûr que les nouveaux produits ne se substituent pas aux anciens-. Par ailleurs, à plus ou moins brève échéance, des mécanismes de compensation – ou effets de bouclage macroéconomique – contribuent à l'augmentation de l'emploi, directement – *via* l'emploi nécessaire à la mise en œuvre des nouvelles technologies – ou indirectement – *via* notamment l'augmentation de la demande. **Deux questions sont dès lors cruciales : faire en sorte que ces mécanismes de compensation puissent intervenir dans les meilleures conditions et les plus brefs délais et bien gérer la période de transition.**

3. **Une économie ne peut s'abstraire ni même se tenir provisoirement à l'écart des progrès technologiques au risque d'un décrochage** : le progrès technologique n'est pas une option et la rapidité d'adaptation est aussi un critère de succès dans un contexte de mondialisation accrue.

4. **La diffusion des nouvelles technologies et par conséquent leur impact sur l'emploi et l'emploi national en particulier n'est pas pour autant une route toute tracée :** à frontière technologique donnée, **les scénarios peuvent être très différents selon les choix opérés par les acteurs économiques** – les créateurs d'entreprises et des investisseurs –, mais aussi ceux résultant de leur environnement. Ainsi, **les normes éthiques et sociales**, ainsi que **les choix de politiques publiques** sont-ils déterminants. Et ce qu'il s'agisse par exemple de soutien à l'innovation et à la R & D publique et privée, d'édiction de normes techniques, d'application du droit de la concurrence (oligopoles), d'éducation, de formation et d'emploi. Tous concernent le pacte social et le soutien à l'offre et à la demande globale. L'ampleur et le caractère crucial des choix à opérer exigent un diagnostic le plus étoffé possible et de bien apprécier toutes les éventualités, pour se mettre en état de mieux décider en contexte d'incertitude.



5. Pour établir ce diagnostic prospectif, il faut retenir le bon cadre d'analyse. Les études empiriques analysées par le Conseil mettent clairement en évidence que, **lorsqu'une machine se substitue à une activité humaine, elle se substitue à une ou plusieurs « tâches » – c'est-à-dire la manière d'effectuer une activité de travail en mobilisant certaines compétences, non à des « métiers ».** D'une part, tous les individus accomplissant le même « métier » n'accomplissent pas les mêmes tâches, d'autre part le contenu en tâches d'un même métier peut évoluer avec, notamment, le progrès technologique.

6. Dès lors, mieux vaut donc se baser sur des données individuelles, décrivant la réalité des emplois en France, en prenant en compte la complexité de leur contenu. **L'étude réalisée au sein du Secrétariat général du Conseil** sur le champ de l'emploi salarié en France à partir des données issues de l'enquête Conditions de travail montre que :

- ✓ **moins de 10 % des emplois existants présentent un cumul de vulnérabilités susceptibles de menacer leur existence dans un contexte d'automatisation et de numérisation ;**

- ✓ **mais la moitié des emplois existants est susceptible d'évoluer, dans leur contenu, de façon significative à très importante ;**

- ✓ **le progrès technologique continuerait à favoriser plutôt l'emploi qualifié et très qualifié :** parmi les emplois susceptibles d'être vulnérables, les métiers surreprésentés, en volume ou au regard de leur part dans l'emploi total, sont souvent des métiers pas ou peu qualifiés.

7. **La perspective d'une disparition massive des emplois existants, que laissent entendre certaines études soulignant que près de 50 % des emplois seraient exposés à un risque élevé d'automatisation, n'est donc pas la plus probable. En revanche, il est clair que les évolutions en cours vont être à l'origine d'une profonde transformation des emplois existants**, y compris dans des secteurs et métiers qui ne semblaient pas jusqu'à présent les plus directement concernés.

8. Les nouvelles technologies du numérique ont dans un premier temps facilité la délocalisation de certaines fonctions de l'entreprise et de tout ou partie des emplois correspondants. **Le mouvement d'automatisation et de numérisation pourrait à terme contribuer à favoriser des relocalisations d'activité, même si à ce stade les exemples sont encore modestes.**

9. **L'importance d'un diagnostic prenant en compte une part d'incertitude sur les effets des nouvelles technologies de la numérisation et de l'automatisation est cruciale :** c'est sur cette base que doivent s'appuyer les évolutions des politiques publiques et des régulations à mettre en œuvre. Elles ne sont ni de la même ampleur, ni de la même nature selon que les transformations sont lentes ou brutales, mineures ou massives, et concentrées ou non sur certaines compétences, certaines zones géographiques, certaines catégories d'emploi. Dans un second tome du présent rapport, le COE va s'attacher à étudier**, sur la base de ces différents scénarios**, les enjeux précis en termes d'évolution des compétences, de mobilités professionnelles, d'organisation et temps de travail et de modes de management, de conditions de travail ou encore de soutien à l'innovation. Il y formulera également des préconisations de politiques publiques sur l'ensemble des champs de l'emploi et du travail.

# Annexe 1 : L'exposition des emplois salariés à l'automatisation en France

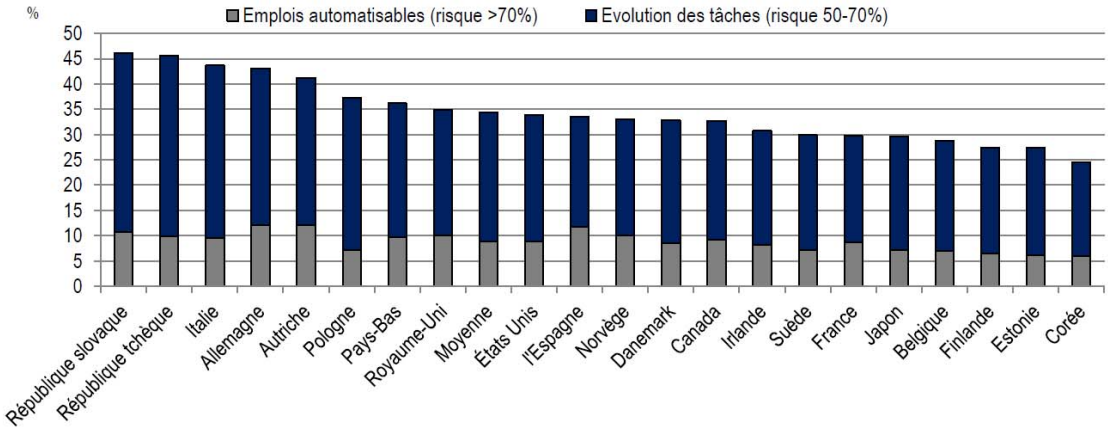
## Étude réalisée par Carmelo Zizzo au sein du Secrétariat général du COE

### Objectifs :

Cette étude s'inscrit dans le cadre des travaux du COE pour le présent rapport avec deux objectifs principaux :

- **Elargir les approches des études existantes** sur le cas français. En effet, les effets de l'automatisation sur l'emploi ne se mesurent pas seulement en termes d'emplois détruits, mais aussi en prenant en compte les emplois qui sont susceptibles d'être concernés par de profondes transformations en termes de contenus, méthodes et modes d'organisation. Seule l'étude d'Arntz et al. pour l'OCDE (2016) aborde ce sujet, qui mérite d'être approfondi.

**Graphique 1 : Pourcentage de travailleurs occupant un emploi à risque élevé d'automatisation**




*Note : Les données relatives au Royaume-Uni englobent l'Angleterre et l'Irlande du Nord. Les données relatives à la Belgique correspondent à la Communauté flamande.*

*Source: Arntz, M., T. Gregory et U. Zierahn (2016), « The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis », Documents de travail de l'OCDE sur les affaires sociales, l'emploi et les migrations, n° 189, Éditions OCDE, Paris.*

- **Obtenir la part d'emplois exposés au risque supposé d'automatisation, ainsi que la part d'emplois dont le contenu est susceptible d'évoluer, pour chaque famille professionnelle**. Dans le cadre d'une approche par tâche, il est non seulement possible d'apprécier le volume des emplois potentiellement exposés, mais aussi un autre aspect souvent absent des études prospectives menées sur le sujet : le volume des emplois susceptibles d'évoluer du fait de leurs caractéristiques.

L'article de Frey et Osborne (2013) adopte une approche par métiers, en estimant que pour tous les métiers dont la probabilité d'automatisation dépasse 70 % les emplois associés à ces métiers sont à risque de disparition. Cette approche, appliquée au cas français par le Cabinet Roland Berger (2014) et le think-tank Bruegel (2015), souffre de deux limites principales. *In primis*, bien des professions auxquelles Frey et Osborne (2013) attribuent des probabilités élevées d'automatisation comportent souvent de nombreuses tâches difficilement automatisables. Qui plus est, même au sein de chaque profession, les travailleurs ne réalisent souvent pas les mêmes tâches.

En termes d'emplois à risque par métier. Cela relève d'une part du faible nombre d'observations de l'enquête PIAAC, qui ne permet pas de descendre à un niveau d'analyse aussi fin que celui des familles professionnelles.

*In fine*, ces résultats n'ont pas non plus été présentés dans la note d'analyse de Nicolas Le Ru pour France Stratégie (2016).

La présente étude cherche donc à palier certaines des lacunes identifiées dans les choix méthodologiques des études prospectives existantes : elle part, non d'une analyse par métiers, mais d'un recensement des dimensions de vulnérabilité des emplois, cernées à partir des conditions effectives de travail ; elle s'intéresse, non seulement à des emplois supposés « à risque » de disparition, mais aussi à ceux susceptibles d'évoluer et elle se fonde sur des données françaises, individuelles et récentes.

Pour autant, l'approche adoptée n'a pas pour ambition de proposer une analyse définitive de la substitution effective des travailleurs par des machines. Elle présente naturellement les limites générales propres à tout exercice prospectif sur ce thème. Elle doit avant tout être conçue comme un élément d'éclairage sur l'exposition des travailleurs aux technologies en France.

## Cadre Théorique :

Notre hypothèse est que la vulnérabilité potentielle d'un emploi à l'automatisation dépend de trois facteurs principaux :

- **Avantage comparatif** de l'homme par rapport aux machines. Selon Autor (2015), quatre dimensions principales, doivent être prises en compte comme suit :
    - Deux ***caractéristiques de l'emploi*** : flexibilité dans l'exercice de son travail, nécessité d'entretenir des interactions sociales plus ou moins marquées ;
    - Deux ***compétences du travailleur*** : adaptabilité, capacité de résoudre les problèmes.

Dans l'analyse qui suit, nous faisons l'hypothèse que la dimension cruciale pour appréhender le degré d'exposition de chaque emploi dans les métiers des services est celle des interactions sociales, puisque dans ces métiers elles diminuent le risque pour un emploi d'être automatisé : il suffit de penser aux métiers des services à la personne, que la littérature existante indique univoquement comme à l'abri d'un risque élevé d'automatisation. *A contrario*, nous estimons qu'en ce qui concerne les métiers non manuels de la manufacture, des emplois pour lesquels les conditions de travail sont associées à une certaine flexibilité peuvent échapper davantage au risque d'automatisation[313].

- **Goulets d'étranglement** de la frontière technologique (facteur le plus étudié par la littérature)
    - Le critère de la ***perception*** visuelle ou sonore a été retenu ici comme le plus à même de cerner les difficultés d'automatisation pour les métiers manuels. En effet, comme la partie 1 du présent rapport le rappelle, la capacité d'un système d'intelligence artificielle à détecter une

[313] Cf. la section de méthode pour comprendre comment cela a été pris en compte dans la construction de l'indice de risque d'automatisation.

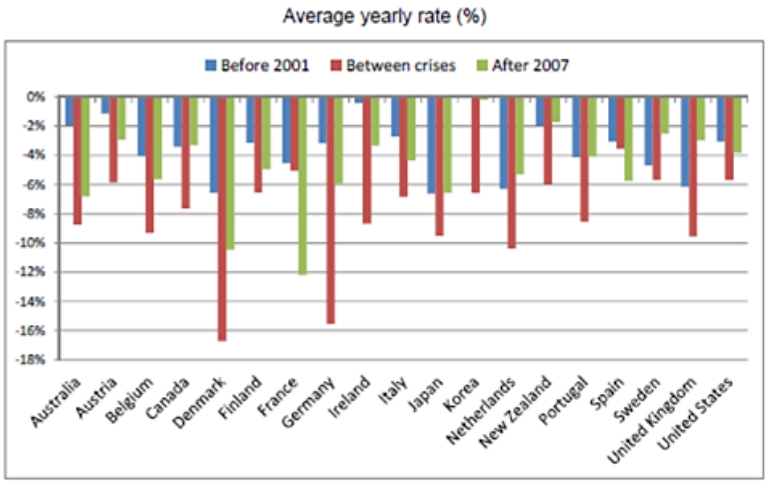
voix dans le bruit, ou à interpréter des situations évolutives complexes et prendre des décisions dans de telles situations, demeure très limitée.

- **Rentabilité économique** de l'automatisation d'un poste de travail. A notre connaissance, à l'exception de l'étude de Feng et Graetz (2016), aucune analyse ne semble avoir essayé de tenir compte de ce facteur qui est très difficile à appréhender de façon satisfaisante. Pourtant, la prise en compte de ce critère est essentielle pour apprécier le potentiel d'automatisation effectif. Il existe en effet un risque de surestimation des emplois à risque lorsque la substitution d'un travailleur par une machine est possible d'un point de vue technique, mais n'est pas rentable économiquement.

Dans l'idéal, il serait souhaitable de comparer les prix des technologies disponibles et le salaire des travailleurs pondéré par le temps qu'ils passent à effectuer une tâche automatisable. Cela est impossible pour plusieurs raisons principales. D'abord, il est difficile d'accéder aux prix de toutes les technologies existantes qui pourraient se substituer à un travailleur dans la réalisation d'une tâche. Qui plus est, étant donné que la frontière technologique évolue rapidement, les prix de ces technologies ne cessent de varier, souvent à la baisse (cf. graphique 2). Par ailleurs, les enquêtes existantes qui permettent de connaître le temps employé par chaque travailleur pour effectuer chaque tâche ne sont pas satisfaisantes pour analyser l'exposition des travailleurs à l'automatisation.

D'autres facteurs sont susceptibles d'introduire des *biais de surestimation* potentiels des emplois à risque : les questions d'acceptation sociale, le contexte institutionnel et réglementaire et les créations d'emplois. En effet, 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. Il convient de garder ces éléments à l'esprit pour interpréter les résultats de notre étude.

**Graphique 2 : Changements dans le coût d'usage du capital TIC entre 1990 et 2012 pour 19 pays OCDE**




*Lecture : le coût d'usage du capital TIC baisse en France de plus de 4,2 points de pourcentage entre 1990 et 2001, de 5 points de pourcentage entre 2001 et 2007, et de 12 points de pourcentage entre 2007 et 2012.*

*Source : OCDE, basé sur la base de données de l'OCDE sur la productivité, 4 septembre 2014, http://www.oecd.ord/std/productivity-stats/*

## Méthode :

Afin de mener à bien notre étude, nous exploitons la vague 2013 de l'enquête Conditions de Travail. Tous les sept ans depuis 1978, l'enquête *Conditions de Travail* est réalisée par la DARES auprès des actifs occupés et, depuis 2013, des employeurs, visant à cerner au plus près le caractère réel du travail. C'est la seule enquête sur les conditions de travail de cette ampleur et portant sur l'ensemble des actifs occupés en France.

Le grand avantage de cette enquête est qu'elle permet d'apprécier la variabilité du contenu et des méthodes de travail entre individus exerçant le même métier. Toutefois, l'utilisation de ces données dans le cadre d'une recherche sur le risque d'automatisation des emplois en France présente deux limites. D'abord, les réponses, bien que majoritairement factuelles, sont néanmoins auto-déclarées et donc se fondent sur les jugements que les individus portent sur leur travail et pas toujours nécessairement sa réalité. Ensuite, cette enquête a été conçue pour appréhender les caractéristiques du travail effectué par les travailleurs ainsi que l'environnement dans lequel il est réalisé, non pour apprécier la nature des tâches réalisées, ni *a fortiori* la substituabilité de tout ou partie de ces tâches par une technologie. Ainsi, les informations sont parfois insuffisantes pour capter certaines des dimensions du caractère automatisable, en particulier pour évaluer le degré de complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation. Enfin, l'étude n'exploite pas les réponses des employeurs et donc leur perception sur les conditions de travail susceptibles de favoriser ou non l'automatisation de tâches.

## Critères de définition du champ :

Le champ retenu est composé par les employés salariés, résidant en France Métropolitaine et ayant la variable « dernier diplôme obtenu » renseignée[314]. En 2013, 26 044 individus répondent à ces critères.

Notre échantillon est plus restreint : il compte 25 032 travailleurs, soit quelques 1000 de moins que le champ. Cette différence s'explique par le fait que nous avons retenu uniquement les individus qui répondent à toutes les questions mobilisées pour l'étude. Ce choix ne va pas avoir un impact considérable sur la significativité de nos résultats, puisque le test du $\chi^2$ d'homogénéité (cf. tableau 1 en annexe) semble rejeter l'hypothèse d'une différence statistiquement importante entre les deux distributions[315].

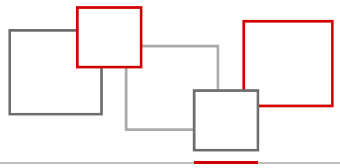
- **Méthode de construction des indices intermédiaires**

Afin de construire les indices intermédiaires visant à donner un score au travailleur pour chacune des dimensions de vulnérabilité de l'emploi que nous avons mentionnées ci-dessus, nous faisons référence à une méthodologie répandue dans la littérature en la matière (cf. par exemple Spitz-Oener, 2006 ou Bittarello, Kramarz et Maître, 2013) :

$$Dimension_{ij} = \frac{nombre\ des\ caractéristiques\ du\ groupe\ \text{j}\ concernant\ le\ travailleur\ \text{i}}{nombre\ des\ caractéristiques\ appartenant\ au\ groupe\ \text{j}}$$

[314] Il s'agit d'un critère pour éliminer la non-réponse partielle.

[315] Qui plus est, les plus importantes pertes d'individus se vérifient en correspondance des familles professionnelles que nous excluons lors de l'analyse par métier, qui sera donc encore moins affectée par ce biais de sélection éventuel.



Le risque principal de ce choix méthodologique est que la valeur de ces indices pour chaque individu dépendra de manière mécanique de la taille de chaque groupe. Il sera donc nécessaire d'interpréter de manière ordinale les estimations qui en ressortent : les valeurs précises qu'assument ces indices sont peu indicatives, et il faut plutôt prendre en compte le classement des travailleurs selon chacune des dimensions.

Une autre source de biais possible découle du fait que les réponses aux questions sont corrélées entre elles de manière différente au sein de chaque groupe.

Malgré ces défauts, et gardant à l'esprit les tests de robustesse qui peuvent être effectués, nous estimons que ces indices intermédiaires peuvent fournir une première estimation des différentes dimensions de la vulnérabilité d'un emploi vis-à-vis du risque potentiel d'automatisation.

- **Les variables retenues pour l'analyse**

Afin de choisir les variables à employer dans notre analyse, nous avons réparti les familles professionnelles[316] en quatre groupes, selon une matrice 2x2 définie comme suit : d'une part, par rapport au secteur (manufacture ou service) et d'autre part par rapport au type de métier (manuel ou non manuel). Cela permet de prendre en compte les spécificités des groupes de métiers ainsi définis, afin de capter au mieux des dimensions différentes de vulnérabilité selon les métiers : la dimension de la flexibilité telle que renseignée par les variables existantes au sein de l'enquête Conditions de travail est plus opérante pour les métiers de la manufacture que pour les métiers des services. Par ailleurs, la dimension de la *précision* est retenue uniquement pour cerner la vulnérabilité à l'automatisation des emplois des métiers manuels.

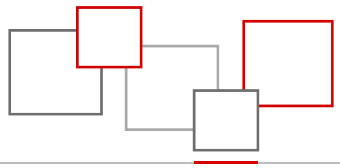
A chaque dimension est donc associé un ensemble de caractéristiques de l'emploi considéré. Chaque caractéristique correspond à une question de l'enquête *Conditions de travail*. Par exemple, dans le cas d'un métier manuel de l'industrie, l'absence de capacité d'adaptation est signalée par le fait de ne pas devoir interrompre une tâche en cours d'exécution pour en effectuer une autre non prévue ou par le fait de devoir suivre de manière stricte des ordres, consignes ou modes d'emploi pour accomplir son travail.

**Tableau 1 : Les variables retenues pour chaque dimension de vulnérabilité des emplois**

| | MANUFACTURE (agriculture, industrie, construction) | SERVICES (Tertiaire) |
|---|---|---|
| MANUEL | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- Déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce<br>- Cadence automatique d'une machine<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail à la chaîne<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre |

[316] La classification retenue est FAP87, qui permet de descendre dans les détails tout en évitant de perdre trop de métiers du fait que les cases n'ont pas un nombre suffisant d'observations.

| | | |
|---|---|---|
| | **Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate<br>**Pas de contrainte technique de précision demandé par son travail**<br>Nécessité d'examiner des objets très petits, des détails fins<br>Nécessité de faire attention à des signaux visuels ou sonores brefs, imprévisibles ou difficiles à détecter | non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate<br><br>**Pas de contrainte technique de précision demandé par son travail**<br>Nécessité d'examiner des objets très petits, des détails fins<br>Nécessité de faire attention à des signaux visuels ou sonores brefs, imprévisibles ou difficiles à détecter |
| **NON MANUEL** | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- Déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce<br>- Cadence automatique d'une machine<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail à la chaîne<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations | **Manque de flexibilité**<br>Rythme de travail imposé par :<br>- D'autres contraintes techniques<br>- Normes de production ou délais à respecter en une heure au plus<br>Travail consistant à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations<br><br>**Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue |



| | | |
|---|---|---|
| | **Manque de capacité d'adaptation**<br>Pas de nécessité d'interrompre une tâche en train d'exécution pour en effectuer une autre non prévue<br>Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate | Application stricte d'ordres, consignes ou modes d'emploi pour effectuer correctement le travail<br>Impossibilité d'interrompre son travail quand le travailleur le souhaite sans que cela nécessite de se faire remplacer (*cette question combine les variables INTERUP et REMPLAS de l'enquête CT*)<br><br>**Faible capacité de résoudre les problèmes**<br>Lorsqu'au travail il se produit quelque chose d'anormale, le travailleur fait généralement appel à d'autres (supérieur, collègue, service spécialisé)<br>Les supérieurs hiérarchiques indiquent non seulement ce qu'il faut faire, mais aussi comment<br><br>**Des interactions sociales rares**<br>Pas en contact avec le public (usagers, patients, élèves, voyageurs, clients, fournisseurs)<br>En contact *routinier* avec le public<br>Rythme de travail non imposé par une demande extérieure (clients, public) obligeant à une réponse immédiate |

*Note : Après standardisation, la réponse à chaque question est binaire : la variable vaut 0 si le caractère n'augmente pas la vulnérabilité de l'emploi au risque d'automatisation, selon la dimension en question ; et vice versa si la variable vaut 1. Par exemple si le travailleur n'a pas de nécessité d'interrompre une tâche pour en effectuer une autre non prévue, la variable vaut 1 puisque ce caractère rend plus facile l'automatisation selon la dimension de l'adaptabilité.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Standardisation effectuée par l'auteur.*

- **Méthodes de construction de l'indice d'exposition à l'automatisation**

Afin de classer les emplois par degré d'exposition à l'automatisation et à la numérisation, nous utilisons une **moyenne pondérée** des indices intermédiaires, standardisée entre 0 et 1. En particulier, nous donnons plus de poids aux dimensions que nous considérons être cruciales pour l'automatisation des emplois de chaque type de métiers (entre parenthèse en italique ci-dessous), selon l'hypothèse avancée dans la section relative au cadre théorique.

Métiers manuels (*perception*) des services (*interactions sociales*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i}{3} + prec_i + intsoc_i}{3}$$

Métiers manuels (*perception*) de la manufacture

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{4} + prec_i}{2}$$

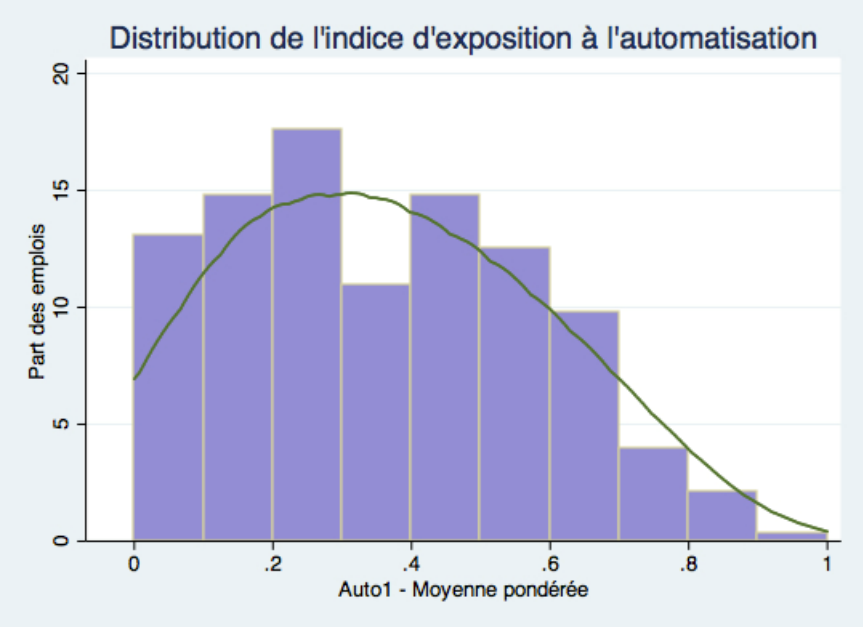
Métiers non manuels des services (*interactions sociales*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{flex_i + adapt_i + prslv_i}{3} + intsoc_i}{2}$$

Métiers non manuels de la manufacture (*flexibilité*)

$$Auto_{1i} = \frac{\frac{adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{3} + flex_i}{2}$$

**Graphique 3 : Part des emplois par intervalle de valeurs de l'indice d'automatisation**

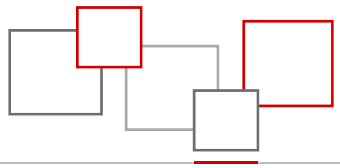



*Note : Densité de distribution estimée par noyau de type Epanchenikov. Valeur du paramètre de lissage : 0,1.*

*Lecture : Environ 13 % des emplois salariés en France ont un indice d'automatisation compris entre 0 et 0,1.*

*Source : Secrétariat général du COE*

Même si une interprétation cardinale des valeurs de cet indice serait trompeuse, les différentes valeurs de cet indice permettent néanmoins de comparer les degrés d'exposition différents des emplois entre eux : ainsi un



emploi dont la valeur de l'indice tend vers 1 sera plus exposé à l'automatisation qu'un emploi dont l'indice tend vers 0.

La limite principale de cette étude est qu'elle se fonde sur la construction d'indices pour lesquels le choix des variables et des poids relève toujours d'un exercice qui, quoique réfléchi, n'est pas exempt d'une part d'arbitraire. Afin de limiter ce risque, nous avons retenu, en guise de tests de robustesse, deux autres méthodes de construction de l'indice final d'exposition à l'automatisation.

1. **Moyenne simple**, standardisée entre 0 et 1.

Pour les métiers manuels :

$$Auto_{2i} = \frac{flex_i + adapt_i + prslv_i + intsoc_i + prec_i}{5}$$

Pour les métiers non manuels :

$$Auto_{2i} = \frac{flex_i + adapt_i + prslv_i + intsoc_i}{4}$$

2. La dernière méthode retenue part de deux **Analyses en Composantes Principales** (l'une pour les métiers non manuels, l'autre pour les métiers manuels) afin d'obtenir les poids à utiliser pour chacune des dimensions de vulnérabilité à l'automatisation. En particulier, on a retenu pour les poids de cette spécification la corrélation du vecteur de la variable avec la première composante (expliquant respectivement 67 et 60 % de l'inertie totale du système dans les deux ACP). L'hypothèse sous-jacente est que le degré d'exposition d'un emploi à l'automatisation est la raison principale conduisant les emplois à se différencier sur les quatre ou cinq dimensions retenues. Standardisé entre 0 et 1.

Pour les métiers manuels :

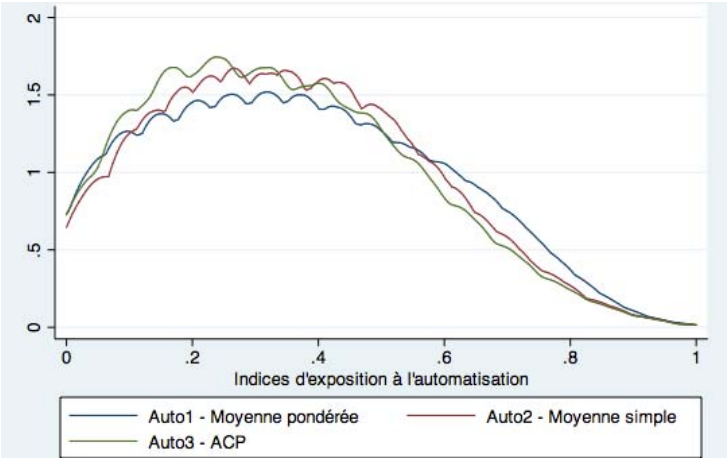
$$Auto_{3i} = w_{flex} \cdot flex_i + w_{adapt} \cdot adapt_i + w_{prslv} \cdot prslv_i + w_{intsoc} \cdot intsoc_i + w_{prec} \cdot prec_i$$

Pour les métiers non manuels :

$$Auto_{3i} = w_{flex} \cdot flex_i + w_{adapt} \cdot adapt_i + w_{prslv} \cdot prslv_i + w_{intsoc} \cdot intsoc_i$$

La comparaison entre la densité de distribution de l'indice retenu (Auto1) et celles des indices Auto2 et Auto3 montre bien qu'il n'y a pas de différence flagrante entre les trois indices. En particulier, la courbe de l'indice Auto1 est légèrement plus plate, en raison de la pondération attribuée aux différentes dimensions que nous considérons être cruciales pour l'automatisation des emplois de chaque type de métiers.

**Graphique 4 : Distribution des trois indices d'exposition à l'automatisation**




*Note : Distributions estimées par noyau de type Epanchenikov. Valeur du paramètre de lissage : 0,05.*

*Source : Secrétariat général du COE*

➢ **Eléments de caractérisation de la relation entre l'indice et l'exposition à l'automatisation**

Les études prospectives visant à estimer le volume d'emplois exposés à l'automatisation et à la numérisation sont toutes confrontées à la même difficulté principale : comment mesurer la diffusion des automates et la part d'emplois remplacés par ce biais dans l'économie ? Idéalement, si il avait été possible de déterminer les effets de la diffusion des technologies d'automatisation sur l'emploi à partir de la vague 2005 de l'enquête Conditions de travail, et si celles-ci étaient à même de prédire les variations en termes d'occupation dues à l'automatisation entre 2005 et 2013, nous aurions pu vérifier la capacité prédictive de notre modèle.

Néanmoins, il est possible d'introduire des éléments descriptifs de caractérisation de la relation entre notre indice et l'exposition à l'automatisation. Pour ce faire, nous avons exploité deux autres variables de l'enquête Conditions de Travail, à savoir l'existence de craintes de la part du travailleur vis-à-vis de son emploi pour l'année qui vient, et le temps par semaine (mesuré en minutes) d'utilisation d'un ensemble de moyens informatiques à des fins professionnelles[317].

Notre idée est simple : au fur et à mesure que l'indice augmente, les travailleurs devraient ressentir une crainte plus importante pour leur emploi, puisque celui-ci est davantage exposé à l'automatisation. Cela présuppose naturellement que le travailleur soit informé ou ait conscience des évolutions potentielles de son emploi. C'est une hypothèse forte, qui pourrait par exemple être moins valide pour les travailleurs les moins qualifiés ; qui plus est, la crainte pour son futur professionnel pourrait relever de bien d'autres facteurs que le risque d'automatisation. Néanmoins, nous estimons que, compte tenu des difficultés pour appréhender ce risque, cette

[317] A savoir : un ordinateur fixe, un ordinateur portable, une boîte à lettres électronique, Internet en dehors de la messagerie, un Intranet ou un réseau de communication interne. Il faut préciser que ces estimations risquent d'être biaisées par l'interprétation que le travailleur a confiée à la question relative au temps moyen par semaine d'utilisation de ces dispositifs. En effet, dans la vague 2013 la question « Utilisez-vous un téléphone portable ou un appareil de téléphonie mobile pour des besoins professionnels » est posée aux enquêtés *avant* la question sur le temps par semaine et non pas après : cela pourrait avoir amené le travailleur à inclure le temps d'utilisation du téléphone portable dans ces estimations. En conséquence, nous ne conférons à cette analyse qu'une valeur purement descriptive.

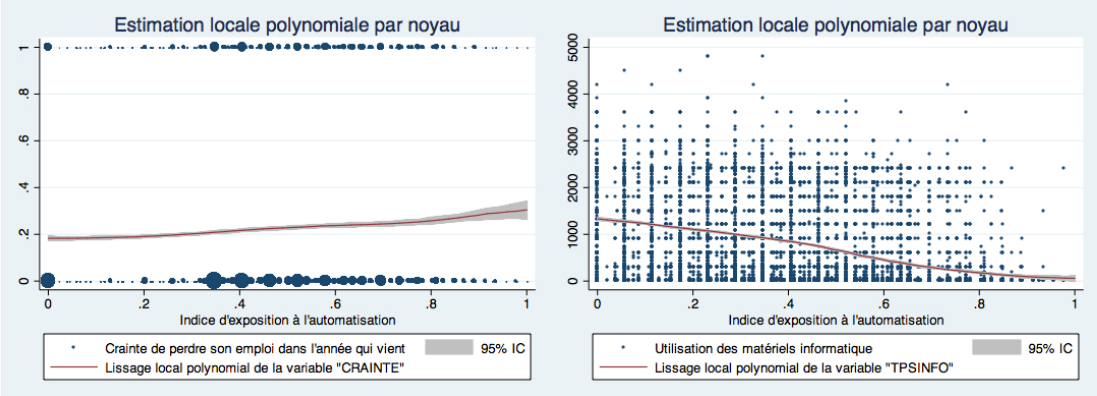
comparaison purement descriptive peut aider à caractériser la relation entre l'indice Auto1 et l'exposition effective à l'automatisation.

De façon symétrique, le raisonnement est valide également pour le temps par semaine d'utilisation de moyens informatiques. En effet, à des valeurs plus faibles de l'indice devrait correspondre un temps d'utilisation plus élevé, pour la simple raison que les emplois qui ne semblent pas être particulièrement concernés par l'automatisation, sont les emplois dont le contenu et les méthodes d'organisation ont déjà sensiblement changé de ce fait.

Afin d'apprécier ces relations descriptives entre les deux variables et notre indice, nous exploitons des régressions locales. Nous retenons cette méthode pour deux raisons : d'une part, il s'agit d'une classe de régressions non-paramétriques, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas associées à une équation définie au préalable. Cela a l'avantage de ne pas imposer une fonction globale pour ajuster un modèle à l'ensemble des données de l'échantillon. D'autre part, elle permet d'effectuer une régression par les moindres carrés pondérés au voisinage de chaque point du jeu de données, en donnant un poids décroissant à chaque valeur assumée par la variable en fonction de la distance du point dont la réponse est estimée. Cette dernière caractéristique est d'autant plus intéressante que l'indice agrégé ne se distribue pas de manière continue sur son support (cf. figure 2) : le lissage des valeurs de l'indice lors des régressions effectuées par cette méthode permet de prendre en compte cette discontinuité.

Comme prédit de façon concordante avec les postulats présentés ci-dessus, ces relations s'avèrent être pour la première (crainte de perdre un emploi) positive, et pour la seconde (temps d'utilisation des moyens informatiques) négative (cf. figure 4). Si ces résultats ne valident pas l'existence d'une relation quantifiable entre l'indice d'exposition à l'automatisation et les variables ci-mentionnées, ils sont néanmoins à même de conforter la robustesse de l'analyse.

**Graphique 5 : Relation entre les variables CRAINTE et TPSINFO et l'indice d'exposition à l'automatisation**




*Note : Densité de distribution estimée par noyau de type Epanchenikov. Valeur du paramètre de lissage : 0,1. Dans le premier graphique, la taille des points reflète le nombre de travailleurs pour lesquelles les valeurs de l'indice et de la variable « CRAINTE » sont x et y. Ainsi, par exemple, parmi les travailleurs pour lesquels l'indice vaut 0 il y en un nombre plus élevé de ceux qui n'ont pas de crainte de perdre leur emploi.*

*Lecture : A des valeurs plus élevées de l'indice d'exposition à l'automatisation correspondent respectivement des valeurs plus élevées pour la variable « CRAINTE » et des valeurs moins élevées pour la variable « TPSINFO ».*

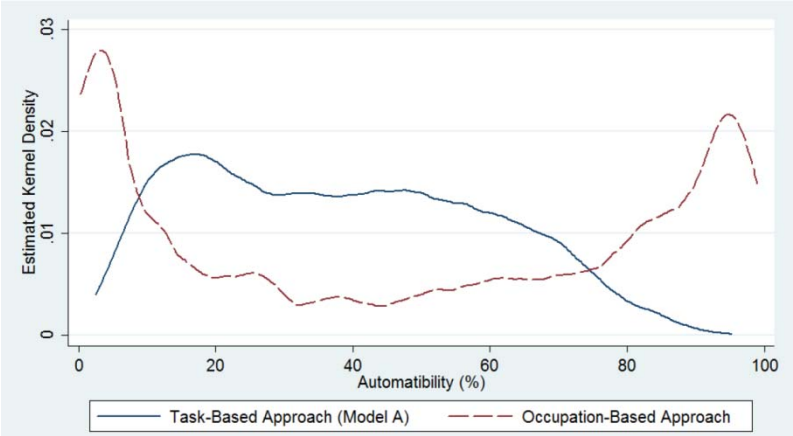
*Source : Secrétariat général du COE*

**Résultats :**

La figure 2 présente la distribution de l'indice d'exposition à l'automatisation. On remarque d'abord que l'indice n'est pas distribué de manière homogène dans la population puisque la courbe atteint son maximum quand l'indice vaut 0,3. Les valeurs de l'indice les plus élevées rassemblent une part faible de la population salariée.

La distribution se caractérise par une absence de polarisation des effectifs. Elle se distingue en cela des conclusions de l'étude de Frey et Osborne qui met en évidence des effectifs plus importants aux deux extrémités de l'échelle, et se rapproche davantage des conclusions de l'étude de l'OCDE. La figure 5 reprend l'un des graphiques de cette dernière étude qui comparait notamment les distributions des probabilités d'automatisation estimées par noyau dans les deux études.

**Graphique 6 : Comparaisons des distributions de la probabilité d'automatisation (F&O et OCDE)**




*Lecture : Le modèle « par métier » de F&O aboutit à une polarisation des effectifs en correspondance des valeurs extrêmes de la probabilité d'automatisation. Ce n'est pas le cas selon les résultats de l'approche « par tâche » de l'OCDE.*

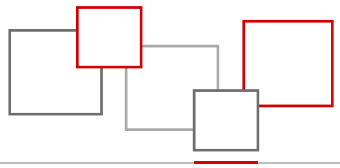
*Source : OCDE (2016).*

Deux conclusions principales peuvent être tirées de l'analyse des résultats :

Seule une faible part des emplois ont un indice d'automatisation élevé : moins de 10 % des emplois cumulent de manière importante des caractéristiques qui les rendent vulnérables au vu des avancées technologiques actuelles. On les appellera ici les emplois «exposés ».

Une part bien plus importante des emplois est toutefois potentiellement concernée par l'automatisation : près de 50 % des emplois pourraient voir leur contenu évoluer avec le développement des technologies de la numérisation et de l'automatisation. On les appellera ici les « emplois dont le contenu est susceptible d'évoluer ».

Cette étude a pris le parti, à la différence d'autres études, de ne pas avancer de chiffres précis, mais de retenir plutôt des ordres de grandeur qui lui paraissent illustrer mieux ce phénomène complexe, divers et par nature incertain qu'est l'automatisation. En effet, il n'est pas possible de définir une valeur d'indice – un seuil – à partir duquel tout emploi serait automatisable, et cela d'autant que ne sont pas prises en compte, notamment, les questions de rentabilité économique de la substitution. C'est pourquoi l'étude conclut à ce double ordre de



grandeur : moins de 10 % des emplois « exposés » et près de 50 % des emplois « dont le contenu est susceptible d'évoluer».

Sur la base de ces données, il est possible d'essayer de regarder, à partir du degré d'exposition de chaque emploi de l'échantillon, quels sont les métiers qui sont les plus exposés et les plus concernés par l'automatisation. Cette analyse complémentaire peut prendre une double forme :

- D'abord, voir au sein des emplois « exposés » et « susceptibles d'évoluer », quels sont, en volume, les métiers les plus représentés, c'est-à-dire de regarder de quels métiers relèvent les contingents d'effectifs « exposés » et « susceptibles d'évoluer» les plus nombreux ;
- Ensuite, et de façon complémentaire à cette première approche par volume, on peut chercher à identifier les principaux métiers qui sont surreprésentés au sein des emplois les plus «exposés» (ou des emplois les plus «susceptibles d'évoluer»), c'est à dire ceux dont la part dans les emplois les plus «exposés» (ou les plus «susceptibles d'évoluer») par les technologies d'automatisation est supérieure à leur part dans l'emploi total.

**Décomposition des emplois «exposés»**

Le tableau 2 présente la décomposition par famille professionnelle des emplois qui ont un indice d'automatisation élevé, c'est-à-dire ceux qui ont un nombre important de caractéristiques de leur travail qui les rendent a priori plus «exposés». Les métiers sont ici classés en fonction du nombre d'emplois qu'ils représentent.

Ces métiers sont divers, même si l'on peut remarquer qu'ils sont pour beaucoup peu qualifiés et manuels – ceci pouvant s'expliquer en partie par les données sur lesquelles repose l'étude, qui ne permettent de prendre en compte qu'imparfaitement la complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation.

**Tableau 2 : Décomposition des emplois les plus «exposés» : les métiers les plus importants en volume**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation d'au moins 0,7)**

| FAP 87 | Intitulé de la famille professionnelle | Nombre d'emplois exposés | % emplois exposés |
|---|---|---|---|
| T4Z | Agents d'entretien | 320215 | 21,05% |
| E1Z | Ouvriers qualifiés des industries de process | 95545 | 6,28% |
| J0Z | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 85965 | 5,65% |
| E0Z | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 83304 | 5,48% |
| T2A | Aides à domicile et aides ménagères | 76198 | 5,01% |
| S1Z | Cuisiniers | 70306 | 4,62% |
| J1Z | Ouvriers qualifiés de la manutention | 62047 | 4,08% |
| A1Z | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 49875 | 3,28% |
| J3Z | Conducteurs de véhicules | 48786 | 3,21% |
| B2Z | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 48455 | 3,19% |
| B0Z | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 46517 | 3,06% |
| S2Z | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 44362 | 2,92% |
| T1Z | Employés de maison | 43880 | 2,89% |
| R0Z | Caissiers, employés de services divers | 43770 | 2,88% |

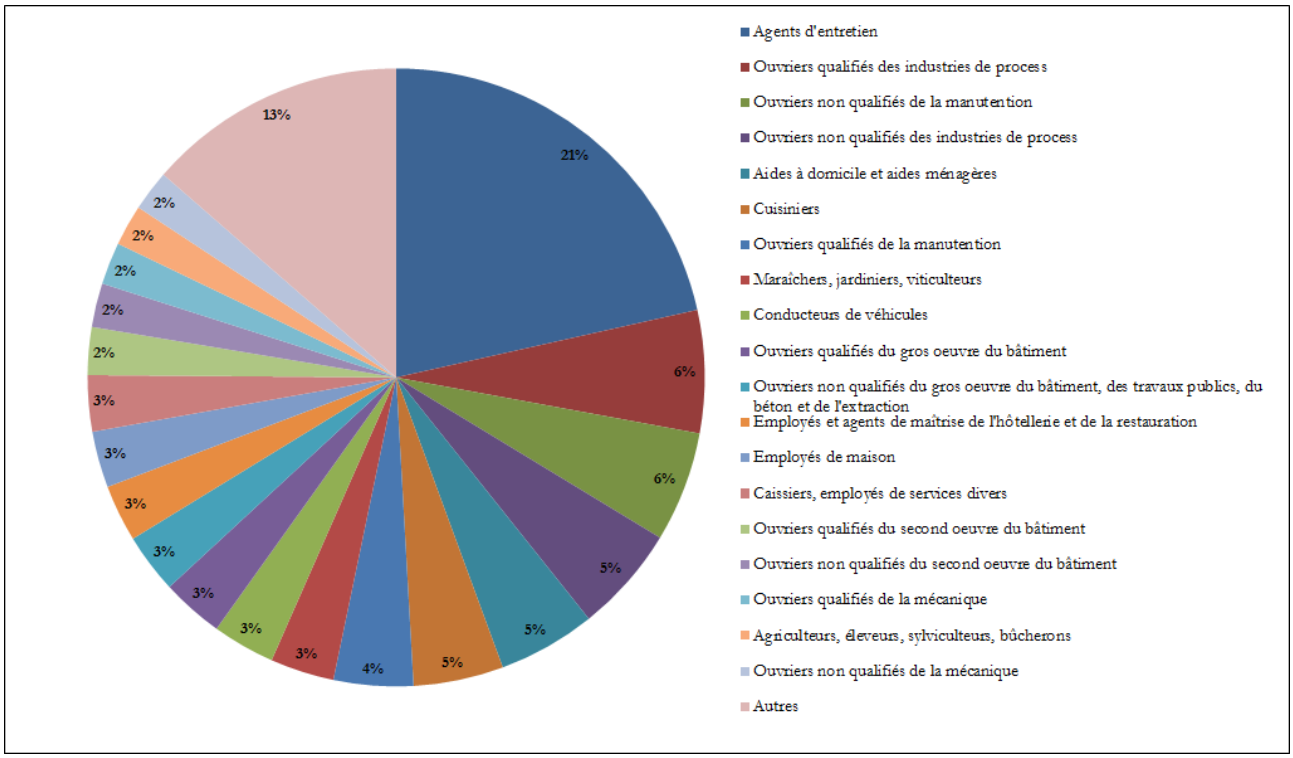
| | | | |
|---|---|---|---|
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 37156 | 2,44% |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 34226 | 2,25% |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 32899 | 2,16% |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 31985 | 2,10% |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 31732 | 2,09% |
| | Autres | 202628 | 13,32% |

*Lecture : parmi les emplois cumulant de manière importante des caractéristiques les exposant dans un contexte d'automatisation et de numérisation (l'indice d'automatisation retenu est ici d'au moins 0,7), les agents d'entretien (T4Z) représentent 21,05 % de l'ensemble des emplois «exposés» soit plus de 320 000 emplois. On ne retient ici que les seuls métiers dont la part dans l'emploi exposé est supérieure au seuil de 2%.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses à l'Enquête Conditions de travail.*

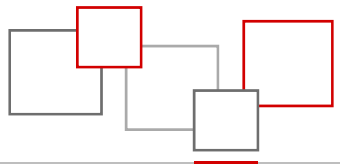
*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE*

**Graphique 7 : Décomposition des emplois les plus «exposés» » : les métiers les plus importants en volume**




*Source : Secrétariat général du COE*

Parmi ces emplois «exposés», 30 métiers apparaissent surreprésentés (tableau 3). On peut souligner une certaine prédominance de métiers manuels et peu qualifiés, notamment de l'industrie. C'est le cas par exemple des ouvriers non qualifiés des industries de process qui sont 5 fois plus nombreux parmi les emplois «concernés», par rapport à l'emploi total. C'est le cas également des ouvriers non qualifiés de la manutention qui sont 4,1 fois plus nombreux dans les emplois «exposés» que dans l'emploi total.



La présence parmi les métiers surreprésentés au sein des emplois les plus «exposés» des emplois des employés de maison, des agriculteurs ou encore des coiffeurs est sans doute pour partie liée aux caractéristiques de l'enquête *Conditions de travail* qui ne permet que peu de prendre en compte la complexité des tâches exigeant des capacités de perception et de manipulation.

**Tableau 3 : Décomposition des emplois «exposés» : les métiers surreprésentés par rapport à leur part dans l'emploi total**

| FAP87 | Intitulé de la famille professionnelle | % salariés exerçant ce métier dans le total des emplois «exposés» | % salariés exerçant ce métier dans l'emploi total | Coefficient de sur-répresentation |
|---|---|---|---|---|
| **E0Z** | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 5,48% | 1,08% | 5,08 |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 2,10% | 0,47% | 4,46 |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 5,65% | 1,37% | 4,12 |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 2,25% | 0,55% | 4,10 |
| **T4Z** | Agents d'entretien | 21,05% | 5,44% | 3,87 |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 6,28% | 1,66% | 3,79 |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 2,16% | 0,58% | 3,75 |
| **T1Z** | Employés de maison | 2,89% | 0,78% | 3,72 |
| **B0Z** | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 3,06% | 0,89% | 3,45 |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 2,09% | 0,73% | 2,87 |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 3,28% | 1,17% | 2,80 |
| **C1Z** | Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 1,11% | 0,41% | 2,75 |
| **S1Z** | Cuisiniers | 4,62% | 1,69% | 2,74 |
| **T0Z** | Coiffeurs, esthéticiens | 0,65% | 0,24% | 2,69 |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 3,19% | 1,20% | 2,65 |
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 2,88% | 1,15% | 2,50 |
| **B1Z** | Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction | 0,74% | 0,33% | 2,22 |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 5,01% | 2,27% | 2,21 |
| **S0Z** | Bouchers, charcutiers, boulangers | 1,37% | 0,69% | 2,00 |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 4,08% | 2,08% | 1,96 |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 2,44% | 1,26% | 1,93 |
| **F1Z** | Ouvriers qualifiés du textile et du cuir | 0,32% | 0,19% | 1,73 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 2,92% | 1,71% | 1,70 |
| **G0A** | Ouvriers qualifiés de la maintenance | 1,13% | 0,68% | 1,65 |
| **D2Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal | 0,92% | 0,59% | 1,56 |
| **K0Z** | Artisans et ouvriers artisanaux | 0,49% | 0,32% | 1,52 |
| **B5Z** | Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics | 0,75% | 0,51% | 1,48 |
| **D1Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal | 0,60% | 0,45% | 1,34 |
| **J4Z** | Agents d'exploitation des transports | 0,68% | 0,59% | 1,16 |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 3,21% | 3,05% | 1,05 |

*Lecture : parmi les emplois cumulant de manière importante des caractéristiques les exposant dans un contexte d'automatisation et de numérisation (l'indice d'automatisation retenu est, ici, d'au moins 0.7), les ouvriers non qualifiés des industries de process (E0Z) représentent 5.48% de l'ensemble des emplois « exposés » et 1.08% de l'emploi total. On ne retient ici que les métiers pour lesquels le coefficient de surreprésentation est supérieur à 1.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE.*

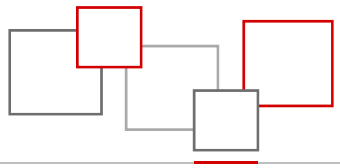
**Décomposition des emplois « susceptibles d'évoluer»**

Ce tableau présente la décomposition par famille professionnelle des emplois qui ont un indice d'automatisation significatif, c'est-à-dire ceux qui sont susceptibles d'être directement concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation. Ces métiers sont divers, bien qu'on y trouve plus de métiers non-manuels comme les « cadres des services administratifs, comptables et financiers » ou les « secrétaires ».

**Tableau 4 : Décomposition des emplois les plus «susceptibles d'évoluer» : les métiers les plus importants en volume**

**(dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation compris entre 0,3 et 0,7)**

| FAP 87 | Intitulé de la famille professionnelle | Nombre d'emplois susceptibles d'évoluer | % d'emplois susceptibles d'évoluer |
|---|---|---|---|
| **T4Z** | Agents d'entretien | 814396 | 7,62% |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 552957 | 5,17% |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 399971 | 3,74% |
| **V0Z** | Aides-soignants | 377391 | 3,53% |
| **R1Z** | Vendeurs | 358255 | 3,35% |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 353433 | 3,31% |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 320223 | 3,00% |



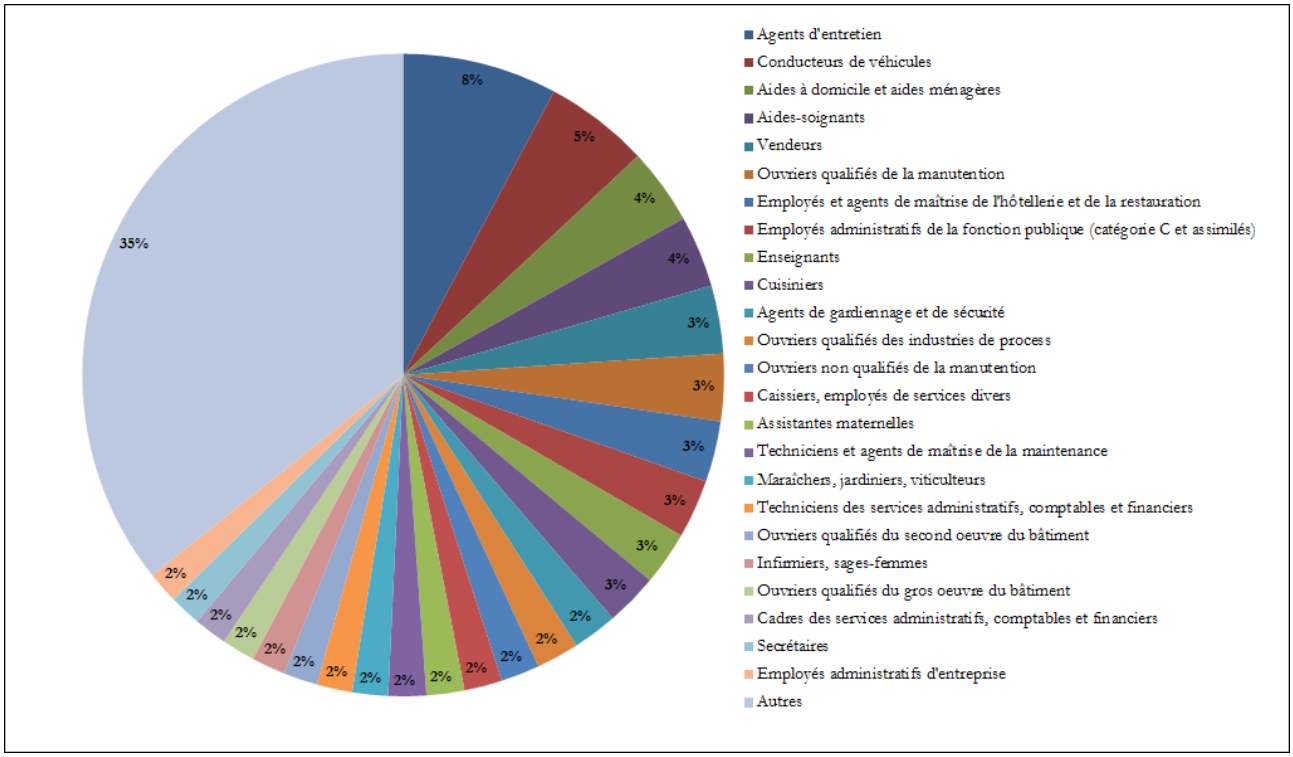
| | | | |
|---|---|---|---|
| **P0Z** | Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés) | 308149 | 2,88% |
| **W0Z** | Enseignants | 282960 | 2,65% |
| **S1Z** | Cuisiniers | 276680 | 2,59% |
| **T3Z** | Agents de gardiennage et de sécurité | 234508 | 2,19% |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 225997 | 2,11% |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 203840 | 1,91% |
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 199930 | 1,87% |
| **T2B** | Assistantes maternelles | 199381 | 1,86% |
| **G1Z** | Techniciens et agents de maîtrise de la maintenance | 199070 | 1,86% |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 188596 | 1,76% |
| **L4Z** | Techniciens des services administratifs, comptables et financiers | 186381 | 1,74% |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 179374 | 1,68% |
| **V1Z** | Infirmiers, sages-femmes | 178709 | 1,67% |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 175432 | 1,64% |
| **L5Z** | Cadres des services administratifs, comptables et financiers | 173232 | 1,62% |
| **L0Z** | Secrétaires | 168222 | 1,57% |
| **L2Z** | Employés administratifs d'entreprise | 166162 | 1,55% |
| | Autres | 3734259 | 34,93% |

*Lecture : Parmi les emplois concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation (indice d'automatisation pour ces travailleurs compris entre 0,3 et 0,7), on trouve plus de 800 000 agents d'entretien (T4Z), soit presque 8 % de l'ensemble des emplois «susceptibles d'évoluer». On ne retient ici que les seuls métiers dont la part dans l'emploi exposé est supérieure au seuil de 1,5%.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE.*

**Figure 7 : Décomposition par métiers des emplois «susceptibles d'évoluer»**

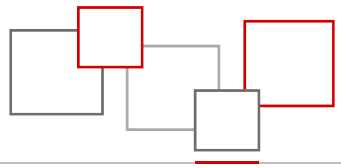



*Source : Secrétariat général du COE*

Parmi ces emplois «susceptibles d'évoluer», 34 métiers sont surreprésentés. Si les métiers manuels et peu qualifiés de l'industrie sont toujours assez présents, on peut souligner ici la présence de davantage de métiers des services. C'est le cas par exemple des employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration qui sont 1,7 fois plus nombreux dans les emplois «concernés», par rapport à l'emploi total. C'est également le cas des aides à domicile et aides ménagères qui sont 1,6 fois plus nombreux dans les emplois «susceptibles d'évoluer», par rapport à l'emploi total.

**Tableau 5 : Décomposition des emplois «susceptibles d'évoluer» : les métiers surreprésentés par rapport à leur part dans l'emploi total**

| FAP87 | Intitulé de la famille professionnelle | % salariés exerçant ce métier dans le total des emplois «susceptibles d'évoluer» | % salariés exerçant ce métier dans l'emploi total | Coefficient de sur-répresentation |
|---|---|---|---|---|
| **J4Z** | Agents d'exploitation des transports | 1,03% | 0,59% | 1,75 |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 3,00% | 1,71% | 1,75 |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 5,17% | 3,05% | 1,69 |
| **S0Z** | Bouchers, charcutiers, boulangers | 1,14% | 0,69% | 1,67 |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 3,74% | 2,27% | 1,65 |
| **K0Z** | Artisans et ouvriers artisanaux | 0,53% | 0,32% | 1,64 |



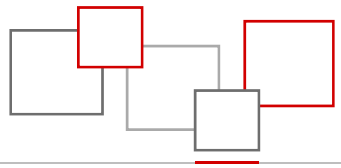
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **R0Z** | Caissiers, employés de services divers | 1,87% | 1,15% | 1,62 |
| **T0Z** | Coiffeurs, esthéticiens | 0,39% | 0,24% | 1,61 |
| **D2Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal | 0,95% | 0,59% | 1,61 |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 3,31% | 2,08% | 1,59 |
| **B1Z** | Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'ext | 0,52% | 0,33% | 1,55 |
| **F1Z** | Ouvriers qualifiés du textile et du cuir | 0,29% | 0,19% | 1,54 |
| **S1Z** | Cuisiniers | 2,59% | 1,69% | 1,53 |
| **T3Z** | Agents de gardiennage et de sécurité | 2,19% | 1,44% | 1,52 |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 1,76% | 1,17% | 1,50 |
| **T1Z** | Employés de maison | 1,15% | 0,78% | 1,49 |
| **T4Z** | Agents d'entretien | 7,62% | 5,44% | 1,40 |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 1,91% | 1,37% | 1,39 |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment | 1,64% | 1,20% | 1,37 |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 0,99% | 0,73% | 1,36 |
| **B0Z** | Ouvriers non qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 1,19% | 0,89% | 1,34 |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 1,68% | 1,26% | 1,33 |
| **D1Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal | 0,60% | 0,45% | 1,33 |
| **B5Z** | Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics | 0,65% | 0,51% | 1,29 |
| **C1Z** | Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 0,52% | 0,41% | 1,29 |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 0,74% | 0,58% | 1,28 |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 2,11% | 1,66% | 1,28 |
| **G0A** | Ouvriers qualifiés de la maintenance | 0,86% | 0,68% | 1,26 |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second oeuvre du bâtiment | 0,67% | 0,55% | 1,22 |
| **V0Z** | Aides-soignants | 3,53% | 2,91% | 1,21 |
| **G0B** | Ouvriers qualifiés de la réparation automobile | 0,62% | 0,52% | 1,19 |
| **E0Z** | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 1,23% | 1,08% | 1,14 |
| **P0Z** | Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés) | 2,88% | 2,55% | 1,13 |
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 0,50% | 0,47% | 1,05 |

*Lecture : Parmi les emplois concernés par une reconfiguration des contenus et des méthodes de leur travail du fait de l'automatisation (indice d'automatisation pour ces travailleurs compris entre 0,3 et 0,7), les agents d'exploitation des transports*

*(J4Z) représentent 1,03%de l'ensemble des emplois « susceptibles d'évoluer » et 0,59% de l'emploi total. On ne retient ici que les métiers pour lesquels le coefficient de surreprésentation est supérieur à 1.*

*Note : Parmi les 87 familles professionnelles de la classification retenue, ne figurent pas dans ce tableau les métiers pour lesquels les résultats ne sont pas exploitables du fait du faible nombre de réponses.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013. Estimations du Secrétariat général du COE.*

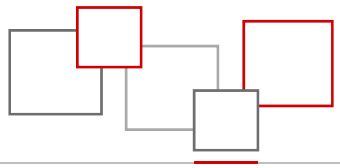


**ANNEXE**

**Tableau 1 : La distribution des observations dans l'échantillon et dans le champ retenu**

| FAP87 | INTITULE DU METIER | ECHANTILLON ($E_j$) | CHAMP ($C_j$) | PERTE % | $\frac{(C_j - E_j)^2}{E_j}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **A0Z** | Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons | 104 | 108 | -3,70% | 0,15 |
| **A1Z** | Maraîchers, jardiniers, viticulteurs | 222 | 227 | -2,20% | 0,11 |
| **A2Z** | Techniciens et cadres de l'agriculture | 60 | 65 | -7,69% | 0,42 |
| **A3Z** | Marins, pêcheurs, aquaculteurs | 15 | 15 | 0,00% | 0,00 |
| **B0Z** | Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction | 171 | 182 | -6,04% | 0,71 |
| **B1Z** | Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction | 69 | 69 | 0,00% | 0,00 |
| **B2Z** | Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment | 204 | 211 | -3,32% | 0,24 |
| **B3Z** | Ouvriers non qualifiés du second œuvre du bâtiment | 113 | 115 | -1,74% | 0,04 |
| **B4Z** | Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment | 271 | 281 | -3,56% | 0,37 |
| **B5Z** | Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics | 74 | 77 | -3,90% | 0,12 |
| **B6Z** | Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics | 282 | 287 | -1,74% | 0,09 |
| **B7Z** | Cadres du bâtiment et des travaux publics | 79 | 81 | -2,47% | 0,05 |
| **C0Z** | Ouvriers non qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 19 | 20 | -5,00% | 0,05 |
| **C1Z** | Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique | 65 | 65 | 0,00% | 0,00 |
| **C2Z** | Techniciens et agents de maîtrise de l'électricité et de l'électronique | 124 | 130 | -4,62% | 0,29 |
| **D0Z** | Ouvriers non qualifiés travaillant par enlèvement ou formage de métal | 25 | 27 | -7,41% | 0,16 |
| **D1Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal | 82 | 82 | 0,00% | 0,00 |
| **D2Z** | Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal | 99 | 105 | -5,71% | 0,36 |
| **D3Z** | Ouvriers non qualifiés de la mécanique | 119 | 126 | -5,56% | 0,41 |
| **D4Z** | Ouvriers qualifiés de la mécanique | 128 | 134 | -4,48% | 0,28 |
| **D6Z** | Techniciens et agents de maîtrise des industries mécaniques | 172 | 184 | -6,52% | 0,84 |
| **E0Z** | Ouvriers non qualifiés des industries de process | 218 | 229 | -4,80% | 0,56 |
| **E1Z** | Ouvriers qualifiés des industries de process | 398 | 410 | -2,93% | 0,36 |
| **E2Z** | Techniciens et agents de maîtrise des industries de process | 209 | 216 | -3,24% | 0,23 |
| **F0Z** | Ouvriers non qualifiés du textile et du cuir | 27 | 27 | 0,00% | 0,00 |
| **F1Z** | Ouvriers qualifiés du textile et du cuir | 53 | 56 | -5,36% | 0,17 |
| **F2Z** | Ouvriers non qualifiés du travail du | 15 | 17 | -11,76% | 0,27 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | bois et de l'ameublement | | | | |
| **F3Z** | Ouvriers qualifiés du travail du bois et de l'ameublement | 34 | 34 | 0,00% | 0,00 |
| **F4Z** | Ouvriers des industries graphiques | 35 | 38 | -7,89% | 0,26 |
| **F5Z** | Techniciens et agents de maîtrise des matériaux souples, du | 36 | 38 | -5,26% | 0,11 |
| **G0A** | Ouvriers qualifiés de la maintenance | 193 | 202 | -4,46% | 0,42 |
| **G0B** | Ouvriers qualifiés de la réparation automobile | 103 | 107 | -3,74% | 0,16 |
| **G1Z** | Techniciens et agents de maîtrise de la maintenance | 493 | 506 | -2,57% | 0,34 |
| **H0Z** | Ingénieurs et cadres techniques de l'industrie | 306 | 319 | -4,08% | 0,55 |
| **J0Z** | Ouvriers non qualifiés de la manutention | 255 | 264 | -3,41% | 0,32 |
| **J1Z** | Ouvriers qualifiés de la manutention | 403 | 412 | -2,18% | 0,20 |
| **J3Z** | Conducteurs de véhicules | 584 | 604 | -3,31% | 0,68 |
| **J4Z** | Agents d'exploitation des transports | 116 | 119 | -2,52% | 0,08 |
| **J5Z** | Agents administratifs et commerciaux des transports et du tourisme | 125 | 131 | -4,58% | 0,29 |
| **J6Z** | Cadres des transports, de la logistique et navigants de l'aviation | 73 | 76 | -3,95% | 0,12 |
| **K0Z** | Artisans et ouvriers artisanaux | 64 | 70 | -8,57% | 0,56 |
| **L0Z** | Secrétaires | 471 | 486 | -3,09% | 0,48 |
| **L1Z** | Employés de la comptabilité | 276 | 284 | -2,82% | 0,23 |
| **L2Z** | Employés administratifs d'entreprise | 376 | 386 | -2,59% | 0,27 |
| **L3Z** | Secrétaires de direction | 156 | 159 | -1,89% | 0,06 |
| **L4Z** | Techniciens des services administratifs, comptables et financiers | 426 | 434 | -1,84% | 0,15 |
| **L5Z** | Cadres des services administratifs, comptables et financiers | 546 | 574 | -4,88% | 1,44 |
| **L6Z** | Dirigeants d'entreprises | 41 | 47 | -12,77% | 0,88 |
| **M0Z** | Employés et opérateurs de l'informatique | 37 | 39 | -5,13% | 0,11 |
| **M1Z** | Techniciens de l'informatique | 135 | 137 | -1,46% | 0,03 |
| **M2Z** | Ingénieurs de l'informatique | 220 | 228 | -3,51% | 0,29 |
| **N0Z** | Personnels d'études et de recherche | 248 | 258 | -3,88% | 0,40 |
| **P0Z** | Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés) | 1143 | 1174 | -2,64% | 0,84 |
| **P1Z** | Professions intermédiaires administratives de la fonction publique (catégorie B et assimilés) | 864 | 896 | -3,57% | 1,19 |
| **P2Z** | Cadres de la fonction publique (catégorie A et assimilés) | 734 | 764 | -3,93% | 1,23 |
| **P3Z** | Professionnels du droit (hors juristes en entreprise) | 28 | 31 | -9,68% | 0,32 |
| **P4Z** | Armée, police, pompiers | 447 | 467 | -4,28% | 0,89 |
| **Q0Z** | Employés de la banque et des assurances | 148 | 148 | 0,00% | 0,00 |
| **Q1Z** | Techniciens de la banque et des assurances | 136 | 141 | -3,55% | 0,18 |
| **Q2Z** | Cadres de la banque et des assurances | 149 | 154 | -3,25% | 0,17 |
| **R0Z** | Caissiers, employés de libre-service | 233 | 238 | -2,10% | 0,11 |
| **R1Z** | Vendeurs | 667 | 693 | -3,75% | 1,01 |
| **R2Z** | Attachés commerciaux et | 383 | 398 | -3,77% | 0,59 |

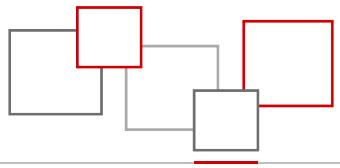


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | représentants | | | | |
| **R3Z** | Maîtrise des magasins et intermédiaires du commerce | 220 | 226 | -2,65% | 0,16 |
| **R4Z** | Cadres commerciaux et technico-commerciaux | 396 | 410 | -3,41% | 0,49 |
| **S0Z** | Bouchers, charcutiers, boulangers | 115 | 116 | -0,86% | 0,01 |
| **S1Z** | Cuisiniers | 388 | 400 | -3,00% | 0,37 |
| **S2Z** | Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration | 255 | 263 | -3,04% | 0,25 |
| **S3Z** | Patrons et cadres d'hôtels, cafés, restaurants | 44 | 49 | -10,20% | 0,57 |
| **T0Z** | Coiffeurs, esthéticiens | 75 | 78 | -3,85% | 0,12 |
| **T1Z** | Employés de maison | 137 | 149 | -8,05% | 1,05 |
| **T2A** | Aides à domicile et aides ménagères | 503 | 539 | -6,68% | 2,58 |
| **T2B** | Assistantes maternelles | 403 | 435 | -7,36% | 2,54 |
| **T3Z** | Agents de gardiennage et de sécurité | 206 | 212 | -2,83% | 0,17 |
| **T4Z** | Agents d'entretien | 1857 | 1940 | -4,28% | 3,71 |
| **T6Z** | Employés des services divers | 16 | 16 | 0,00% | 0,00 |
| **U0Z** | Professionnels de la communication et de l'information | 109 | 112 | -2,68% | 0,08 |
| **U1Z** | Professionnels des arts et des spectacles | 221 | 235 | -5,96% | 0,89 |
| **V0Z** | Aides-soignants | 1358 | 1400 | -3,00% | 1,30 |
| **V1Z** | Infirmiers, sages-femmes | 1449 | 1517 | -4,48% | 3,19 |
| **V2Z** | Médecins et assimilés | 361 | 385 | -6,23% | 1,60 |
| **V3Z** | Professions paramédicales | 429 | 459 | -6,54% | 2,10 |
| **V4Z** | Professionnels de l'action sociale et de l'orientation | 375 | 397 | -5,54% | 1,29 |
| **V5Z** | Professionnels de l'action culturelle, sportive et surveillants | 390 | 405 | -3,70% | 0,58 |
| **W0Z** | Enseignants | 1374 | 1431 | -3,98% | 2,36 |
| **W1Z** | Formateurs | 103 | 107 | -3,74% | 0,16 |
| **X0Z** | Professionnels de la politique et clergé | 14 | 16 | -12,50% | 0,29 |
| **ZZZ** | Autre FAP2009, non renseignée | 133 | 145 | -8,28% | 1,08 |
| | | | | □ ² | **48,17** |
| | | | | *p-value* | ***99,98 %*** |

*Lecture : Il y a 104 agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons (A0Z) dans l'échantillon, à front de 108 dans le champ. La perte d'individus correspond en pourcentage aux 3,70 % du total.*

*Note : Champ : 26 044 travailleurs salariés, résidant en Île-de-France et ayant la variable « dernier diplôme obtenu » renseignée. Echantillon : 25 032 individus respectant les mêmes critères du champ, et répondant à toutes les questions mobilisées pour l'analyse.*

*Source : Enquête Conditions de Travail, Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques (DARES) du Ministère du Travail. Vague 2013.*



# Annexe 2

## Liste des auditions

*Jeudi 7 juillet, séance plénière*

- Judith Herzog et François Levin, Rapporteurs du rapport "Travail, Emploi, Numérique, les nouvelles trajectoires", janvier 2016, Conseil National du Numérique (CNN)
- Christophe Degryse, Chercheur senior, European Trade Union Institute (ETUI).

*Mardi 6 septembre, réunion de travail*

- Jean-Yves Grenier, Professeur d'histoire économique, directeur d'études à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS)
- Grégoire Postel-Vinay, Chef de la Mission Stratégie, Direction générale des entreprises, Ministère de l'Economie et des Finances.

*Mardi 13 septembre, réunion de travail*

- Raja Chatila, Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique(ISIR)
- Marco Vivarelli, Directeur de l'Institut de politique économique, professeur à l'Università Cattolica del Sacro Cuore deMilan.

*Mardi 20 septembre, séance plénière*

- Ulrich Zierahn, Chercheur au Centre européen de recherche économique (ZEW) de Mannheim, co-auteur de l'étude «le risque d'automatisation des emplois dans les pays de l'OCDE : analyse comparative» pour l'OCDE
- Sébastien Roux, Chef du département des études économiques de l'INSE, et Michael Orand, Co-auteur de l'étude INSEE, « Qualification, progrès technique et marchés du travail locaux en France », 1990-2011 ».

*Mardi 27 septembre, réunion de travail*

- Francis Jutand, Directeur général adjoint de l'Institut Mines-Télécom
- Michel Houdebine, Chef économiste de la Direction générale du Trésor
- Vicenzo Spiezia, Chef d'unité à la Direction de la science, de la technologie et de l'innovation, OCDE.

*Mardi 4 octobre, réunion de travail*

- Nicolas Le Ru, Chargé de mission, Département Travail, Emploi et Compétences, France stratégie
- Sébastien Roux, Chef du Département, et Olivier Simon, Chef de la division Etudes Macroéconomiques, Département des Études Économiques à la Direction des Études et Synthèses Économiques de l'INSEE
- Gregory VERDUGO, Maître de conférences en économie à l'université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Chercheur au Centre d'Economie de la Sorbonne

*Mardi 11 octobre, réunion de travail*

- Luisa Gagliardi, Professeure en économie à l'Université de Genève, Chercheure associée au Spatial Economics Research Centre (CEP-SERC) de la London School of Economics et au Research Centre for Regional Economics, Transports and Tourism (CERTeT) de l'université Bocconi
- Georg Graetz, Chercheur en économie, Université d'Uppsala, et Chercheur associé au Centre for economic performance de la London School of economics et à l'IZA
- Ariell Reshef, Directeur de Recherche au Centre d'Économie de la Sorbonne, et Farid Toubal, Professeur de Sciences économiques à l'ENS Cachan, Chercheurs associés à l'Ecole d'économie de Paris et conseillers scientifiques du CEPII.

*Mardi 18 octobre, séance plénière*

- Francis Kramarz, Directeur du Centre de recherche en économie et statistique (CREST), Professeur associé à l'Ecole Polytechnique
- Carl Benedikt Frey, Co-directeur du Oxford Martin Programme on Technology and Employment at the Oxford Martin School, and Economics Associate of Nuffield College, Université d'Oxford.

*Mardi 25 octobre, réunion de travail*

- Philippe Dole, Directeur général du Fonds Paritaire de Sécurisation des Parcours Professionnels (FPSPP)
- Florence Bonnet-Touré, Déléguée générale adjointe de la Fédération de la plasturgie et des composites
- Béatrice Layan, Responsable de l'Observatoire des métiers de la banque
- Kathleen Agbo, Cheffe de la mission «anticipation et développement de l'emploi», DGEFP.

*Mardi 8 novembre, réunion de travail*

- Eric Labaye, Président du Mc Kinsey Global Institute
- Sandrine Aboudabra-Pauly, Chef de projet « Prospective, Métiers et Qualifications », et Cécile Jolly, Chef de projet "projections sectorielles d'emploi", Département Travail-Emploi-Compétences, France stratégie.

*Mardi 15 novembre, séance plénière*

- Carine Chevrier, Déléguée générale à l'emploi et à la formation professionnelle, Ministère du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social
- Grégoire Postel-Vinay, Chef de la Mission Stratégie, Direction générale des entreprises, Ministère de l'Economie et des Finances.

*Mardi 22 novembre, réunion de travail*

- Françoise Diard, Chef du service emploi à l'UIMM, Coordinatrice de l'Observatoire de la métallurgie
- Pierre Lamblin, Directeur du Département études et recherche, APEC.

*Jeudi 15 décembre, séance plénière*

- Hervé LANOUZIERE, Directeur général de l'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (Anact).