

Le futur de l'emploi :
Les prédictions « alarmantes » de Frey & Osborne
sont-elles crédibles ou l'œuvre de « faussaires scientifiques » ?

Jacques Liouville

Professeur en Sciences de Gestion

à l'université de Strasbourg et chercheur à HuManiS

Juin 2019

Résumé

En septembre 2013, une étude a produit l'effet d'une « bombe » dans la sphère socio-économique, sachant que cette étude prédisait que par rapport à la situation prévalant sur le marché du travail en 2010, près d'un emploi sur deux (soit précisément 47% des emplois) était susceptible de disparaître à l'horizon 2030 sous l'effet du progrès technique dans les technologies de la robotique et de l'intelligence artificielle. Par ailleurs, les auteurs de cette étude spéculaient sur le fait que les emplois en question étaient susceptibles de disparaître en deux vagues ; le sommet de la première vague se situant (approximativement) à l'horizon 2022/2023. Or, alors que ce terme approche, la catastrophe annoncée n'est (heureusement) pas encore amorcée. Par conséquent, il est possible de s'interroger sur le fait de savoir si la réalisation de la prophétie formulée par les deux auteurs, Frey & Osborne, est simplement retardée, ou si au contraire elle va demeurer à l'état de fiction, notamment en raison d'un manque de rigueur manifeste dans l'approche mise en application par ces deux auteurs pour effectuer leurs prédictions ? L'analyse exposée ci-après propose de faire le point relativement à cette question. C'est ainsi qu'il sera démontré que l'étude de Frey & Osborne repose sur de nombreuses approximations très subjectives et improbables, relevant plus de l'œuvre de « magiciens » (ou d'alchimistes), que de scientifiques soucieux d'objectivité. Postérieurement à l'examen de ce point, l'analyse se poursuit en exposant les résultats de recherches beaucoup plus sérieuses, dont les conclusions sont nettement plus encourageantes que celles de Frey & Osborne. Enfin, l'analyse se termine en effectuant des recommandations destinées à permettre de tirer profit des opportunités offertes sur le marché du travail par le phénomène de la « destruction créatrice », selon la célèbre expression de Schumpeter.

Introduction

En septembre 2013, il y a donc six ans, la diffusion d'une étude produite par deux professeurs attachés à l'université d'Oxford (Carl Benedikt FREY & Michael OSBORNE) a produit l'effet d'un « tsunami » d'abord auprès des organisations ayant vocation à traiter des questions relevant des perspectives d'évolution des emplois et plus généralement du marché du travail, avant que l'onde de choc ne se propage rapidement au sein de l'ensemble de la sphère socio-économique.

En effet, en fonction des estimations calculées par ces deux auteurs, il apparaissait que par rapport à la situation qui prévalait en 2010, quasiment un emploi sur deux (précisément 47% des emplois) aurait disparu à l'horizon 2030, c'est-à-dire en l'espace de moins de deux décennies.

Par ailleurs, un facteur ayant contribué à la forte médiatisation de l'étude de FREY & OSBORNE est qu'elle se distinguait d'autres recherches de même nature par le fait qu'elle ne s'apparentait pas à une simple prophétie aléatoire. Au contraire, selon ces deux auteurs leurs estimations pouvaient être assimilées à des certitudes, dans la mesure où ils avaient pris la précaution d'affecter leurs résultats de probabilités calculées à partir d'outils mathématiques très sophistiqués, ce qui impressionnait les experts habitués à des résultats plus flous en matière de prospective, même si les probabilités en question étaient purement « virtuelles » et n'étaient pas extrapolées à partir de données historiques, comme cela est en général le cas en matière de prévision et de calcul de risques.

La crainte de la destruction massive d'emplois et donc de l'explosion du taux de chômage dans un horizon temporel peu éloigné a induit des réactions très variées. Par exemple, des politiciens ont estimé que face à l'ampleur du problème posé à la société par cette estimation calamiteuse, la seule solution envisageable consistait à créer un « revenu universel » complètement déconnecté de l'engagement dans une activité professionnelle.

Aujourd'hui, sans nier le fait que le progrès technique conduit inévitablement à la destruction d'emplois, il est permis d'affirmer que les inquiétudes engendrées par l'étude de FREY & OSBORNE ont été exagérées. Plus précisément, si avant la diffusion des résultats de cette étude celle-ci avait été soumise au processus académique classique d'évaluation des connaissances prétendant à une reconnaissance scientifique, alors dans un premier temps les résultats de FREY & OSBORNE auraient dû demeurer à l'état confidentiel. Ce constat est très important et n'est pas à considérer comme une simple volonté de polémiquer sur le plan philosophique.

En effet, le respect de l'éthique scientifique implique qu'en principe de nouveaux résultats ne doivent pas être diffusés tant qu'ils n'ont pas été soumis à l'analyse critique des « pairs ». Or, les développements qui vont suivre permettent d'établir que de nombreuses hypothèses retenues par FREY & OSBORNE pour effectuer leur recherche relèvent plus de la pratique de « l'illusionnisme » que de la mise en œuvre d'une démarche respectant la « rigueur » scientifique.

Par exemple, il sera démontré ci-après que le taux de 47% d'emplois susceptibles de disparaître (d'être remplacés par des machines automatisées sous l'effet de la robotique et de l'intelligence artificielle) a été obtenu en effectuant un amalgame douteux entre les effets du progrès technologique et l'impact de la concurrence des pays offrant aux investisseurs internationaux une main d'œuvre à bas-coûts (Low Cost Countries). Il sera démontré ci-après qu'en l'absence d'un tel amalgame, le taux d'emplois fortement menacés de disparition à l'horizon 2030 est réduit de plus de moitié, ce qui modifie nettement la nature du problème à traiter. En effet, il est évident que l'incidence sociétale est très différente selon qu'il faut gérer la disparition d'environ un emploi sur deux, ou de moins d'un emploi sur quatre. Il est clair que face à ces deux contextes la question de la recherche de solutions se pose sous un angle très différent.

L'ampleur de la correction liée au rejet d'une hypothèse très discutable de FREY & OSBORNE (taux de 47% divisé au minimum par deux) permet de comprendre pourquoi le respect de l'éthique scientifique implique que de nouveaux résultats ne doivent pas être diffusés tant qu'ils n'ont pas été soumis à l'analyse critique des « pairs ». Or, en l'occurrence, contrairement aux « usages » les résultats de 2013 ont été médiatisés à l'origine alors qu'ils n'avaient été produits que sous la forme d'un simple « working-paper » de l'Oxford Martin School, c'est-à-dire sans avoir été soumis à l'analyse critique d'experts du domaine en question. Pour prendre une métaphore, il est permis de juger qu'un working-paper ne constitue en général qu'une « première-pierre », qui a certes le mérite d'exister, mais qui en l'état ne permet pas de juger de la robustesse finale de l'édifice en projet.

Il faut savoir que lorsqu'une recherche est soumise à la critique des « pairs » selon un processus rigoureux d'évaluation « à l'aveugle » (c'est-à-dire sans que les experts connaissent les noms des auteurs de la recherche en question, dans le but d'éviter des évaluations de connivence), dans au moins 95% des cas soit les experts formulent des demandes de révision, soit ils vont même jusqu'à « rejeter » les résultats de la recherche. Dans le cas d'un « rejet », cela signifie que les résultats soumis à évaluation n'ont aucune « valeur scientifique » et qu'à ce titre ils ne devraient normalement pas faire l'objet d'une diffusion. En clair, un « rejet » indique que la recherche soumise constitue un simple « récit » (une histoire) et qu'elle ne peut absolument pas prétendre à la crédibilité scientifique, impliquant de ce fait que sur le plan scientifique l'histoire en question doit être assimilée à une « fake news ».

A la suite de ces propos préliminaires, une analyse structurée en trois parties va être effectuée. La première partie est consacrée à la présentation de la méthodologie de recherche mise en œuvre par Frey & Osborne dans leur étude datée de 2013. C'est ainsi que seront mis en lumière non seulement les apports de cette étude sur le plan méthodologique, mais également ses faiblesses. Cela permettra de démontrer très précisément que cette étude correspond pour le moins à du « bricolage », si ce n'est à de « l'illusionnisme », plutôt qu'à une recherche respectant les principes de la rigueur académique.

Après la présentation des forces et des faiblesses de l'étude de Frey & Osborne en première partie, la deuxième partie met en lumière les principales limites de cette étude, cet éclairage aidant à comprendre pourquoi la fiabilité de leurs résultats revendiquée par ces deux auteurs est très contestable.

En prolongement de ces critiques une troisième partie présente une synthèse d'études alternatives qui portent sur la même problématique que celle développée par FREY & OSBORNE, mais qui parviennent à des résultats nuancés et qui par conséquent conduisent à des conclusions très différentes. Par exemple, FREY & OSBORNE négligent de s'intéresser à la question des emplois susceptibles d'être générés sous les effets du progrès technique. Or, en cohérence avec le concept de « destruction créatrice » formulé par Schumpeter (1962), en ce qui concerne les effets de l'innovation, il est logique de mettre l'accent non seulement sur les effets négatifs du progrès technique, mais également sur ses effets positifs, afin de tirer des conclusions en termes de politique de l'emploi sur la base du « solde » et non pas uniquement en fonction d'un seul élément de l'équation.

Finalement, la conclusion proposera des pistes de réflexion, visant à ce que les inévitables effets perturbateurs du progrès technique sur le marché de l'emploi parviennent à être maîtrisés et que de ce fait les menaces apparentes puissent être transformées en opportunités.

1^{ère} partie : Déconstruction de l'architecture de l'étude de FREY & OSBORNE

FREY est un professeur de sciences économiques et d'histoire économique attaché à l'Oxford Martin School et OSBORNE est un professeur associé (Dyson associate professor in machine learning) au Département des Sciences de l'Ingénieur de l'université d'Oxford, avec une spécialisation en développement et mise en application d'algorithmes.

Cette proximité institutionnelle a conduit ces deux professeurs à mener conjointement une recherche relative à la problématique de la sensibilité des emplois qui existent actuellement par rapport aux risques engendrés par le progrès technologique dans le domaine de l'informatique (en particulier en matière d'intelligence artificielle) et de l'automatisation (en particulier la technologie de la robotique mobile). Il est à noter que le terme anglais utilisé par

ces deux auteurs pour qualifier de manière synthétique ce domaine est celui de « computerisation ».

Pour réaliser leur étude, les deux auteurs ont exploité deux bases de données américaines.

La première base utilisée dans l'étude de F&O est la base de données O*NET, qui est produite aux USA par le US Department of Labor. Cette base segmente le marché du travail des USA en 903 emplois (occupations) et elle vise à collecter des informations permettant de suivre l'évolution du contenu des emplois à travers le temps. Cette base présente l'intérêt de décrire les tâches spécifiques qui sont propres à chacun des emplois recensés, la description étant effectuée tant en termes de connaissances requises, que de compétences et habiletés nécessaires à l'exercice de chaque emploi. A partir des informations contenues dans la base O*NET FREY & OSBORNE ont d'abord commencé par construire 9 indicateurs, avant de les regrouper ensuite en 3 catégories.

La première catégorie est qualifiée « Perception et manipulation », incluant par exemple la dextérité manuelle. La deuxième catégorie regroupe les indicateurs relatifs à « la créativité », incluant la capacité à proposer des idées originales. Quant à la troisième catégorie elle regroupe les indicateurs relevant de « l'intelligence sociale », incluant la capacité de négociation et d'assister des tiers.

La seconde base utilisée par FREY & OSBORNE (F&O) est une base constituée par le Bureau of Labor Statistics (BLS) qui met en relation les emplois et les rémunérations correspondantes. Pour effectuer leur recherche F&O ont pris comme référence les données collectées au titre de l'année 2010.

Cependant, cette seconde base distingue d'une part moins d'emplois que la base O*NET. Par exemple, elle agrège les données relatives aux emplois de « comptables » et aux « auditeurs », alors que ces deux professions sont décrites séparément dans la base O*NET. Par conséquent, afin de disposer de deux bases homogènes, F&O ont procédé à des agrégations dans la base O*NET. D'autre part, dans la base produite par le BLS des données sont manquantes, ce qui implique que F&O n'ont pas introduit les emplois correspondants dans leur étude.

Finalement, 702 emplois ont été intégrés par F&O dans leur étude. Pour l'année 2010 ces 702 emplois correspondent à l'activité professionnelle de 138,44 millions d'individus, ce qui implique que les activités de 4.62 millions d'individus n'ont pas été prises en considération, ce qui représente pour l'année 2010 environ 3% de la population active aux USA.

Ensuite, F&O ont organisé un « workshop » en invitant à y participer deux groupes de chercheurs de l'université d'Oxford ; les premiers étant spécialisés en « intelligence artificielle » et les seconds en « automatisation » (robotique). Il est notable que F&O ne précisent ni le nombre de chercheurs qui ont été sollicités pour participer à leur étude, ni le nombre de chercheurs qui étaient finalement présents à cette réunion de travail. Cependant,

il est possible de constater qu'à la première page de leur working-paper de 2013 F&O remercient au total 15 chercheurs de l'université d'Oxford pour leur assistance et leurs « excellentes suggestions ». Cependant, selon la livraison n°11/2017 de l'hebdomadaire allemand « Die Zeit » (cf. Rauner M., 2017), qui est un journal généralement bien documenté, il n'y aurait eu en fait que 10 experts qui auraient effectivement participé à ce workshop.

Par conséquent, il est permis de constater que compte tenu de l'ambition affichée pour cette recherche et par comparaison aux usages en vigueur pour effectuer des recherches empiriques de nature prospective, que le nombre d'avis pris en considération par F&O pour produire leurs estimations est extrêmement faible. Par comparaison, la première étude prospective de ce type réalisée en 1970 au Japon à l'initiative du MITI (National Research Council – Committee on Japan, 1997 ; Harayama, 2001) avait conduit à interroger plus de 3000 experts à l'échelle mondiale, dans le cadre d'une étude Delphi qui s'était déroulée en donnant lieu à plusieurs phases de questionnement¹.

Les experts réunis par F&O ont été sollicités afin qu'ils émettent un avis relativement aux perspectives d'évolution des 702 emplois recensés dans la base O*NET à l'horizon d'une à deux décennies (horizon 2030). Ainsi, F&O ont demandé aux experts de préciser si en fonction du progrès technologique pouvant être engendré dans cet horizon temporel certains des 702 emplois sont susceptibles d'être réalisés de manière complètement automatisée. Deux réponses étaient possibles et étaient traduites par le chiffre 1 lorsque la réponse était positive et par le chiffre 0 lorsque la réponse était négative.

Selon les informations très partielles fournies à ce sujet par F&O dans leur working-paper de 2013, il apparaît que les experts ayant participé au workshop sont parvenus à un consensus concernant uniquement 70 emplois, qui ont été classés dans les deux catégories proposées et identifiées soit par 1, soit par 0. Cela signifie qu'un consensus a été obtenu seulement pour 10% des emplois et qu'au contraire pour 90% des emplois les experts ne sont pas parvenus à un accord.

Il est également utile de relever qu'au-delà du manque d'informations précises relativement à cette procédure F&O révèlent que certains avis exprimés durant le workshop étaient caractérisés par une forte « subjectivité ». C'est ainsi que F&O mentionnent que les experts ont fourni des estimations en ayant recours à la technique d'« eyeballing ». En clair, cela signifie que les experts ont procédé à des estimations « approximatives », fondées principalement sur des jugements personnels à partir de données imprécises et ne découlant pas nécessairement d'un processus d'analyse rationnel.

¹ Pour mémoire, l'étude japonaise en question tentait de prévoir les innovations technologiques susceptibles d'apparaître à l'horizon de l'an 2000. On sait aujourd'hui qu'environ 50% des prévisions effectuées dans le cadre de cette étude ont été confirmées par les faits, mais que 50% des innovations envisagées ne sont finalement pas apparues.

Toujours à propos de la méthode de travail des experts, F&O signalent également que certaines hésitations ont été levées en recourant à une approximation tendant à considérer que les emplois américains susceptibles de faire l'objet d'une externalisation à l'étranger (stratégie d'offshoring) ont été assimilés à des emplois caractérisés par un risque élevé de « computerisation ». Il est évident que cette hypothèse est très contestable, ce qui justifie qu'elle sera discutée de manière beaucoup plus approfondie dans la deuxième partie de cette recherche.

De la même manière, il est regrettable que F&O ne fournissent aucune précision relativement à la répartition dans les deux classes (classe des emplois à probabilité de remplacement élevée vs classe des emplois à faible probabilité de remplacement) des 70 emplois pour lequel un consensus a été obtenu. Or, comme cela va être exposé ci-après, ces 70 emplois exercent un rôle déterminant dans la suite de l'étude et par conséquent sur les résultats globaux et les conclusions qui en découlent. De ce fait, compte tenu de l'influence significative des 70 emplois en question, l'apport d'éclairages complémentaires relativement à ceux-ci s'avère être indispensable.

Les informations ayant donné lieu à un consensus ont ensuite été soumises par F&O à un appareillage mathématique très sophistiqué que peu de lecteurs sont en état de comprendre et de décrypter, le but recherché par la mise en œuvre de ces outils mathématiques étant de parvenir à reconstituer le classement dichotomique réalisé par les experts.

La technique mise en œuvre dans ce but a consisté à recourir au calcul d'une « fonction discriminante ». Dans la mesure où la catégorie d'appartenance des 70 emplois est connue au départ (emplois à forte probabilité de disparition ou remplacement par des machines et algorithmes, versus emplois à faible probabilité), l'objectif est de vérifier si sur la base des caractéristiques spécifiques à chaque emploi l'application de la fonction discriminante permet ou non de reclasser correctement les emplois dans leur catégorie d'origine. Par conséquent, l'échantillon de 70 emplois a été segmenté en deux classes composée chacune de 35 emplois, la première classe étant mobilisée pour calculer la fonction discriminante et la seconde classe pour tester l'efficacité de la fonction discriminante établie à partir de la première classe.

Dans ce but trois modèles mathématiques ont été testés par F&O, afin de déterminer si l'un de ceux-ci conduit à une meilleure estimation : Il s'agit en l'occurrence d'un modèle exponentiel quadratique, d'un modèle quadratique rationnel et d'un modèle linéaire de régression logistique, ce dernier étant dérivé d'une régression logit.

Par ailleurs, F&O ne se sont pas limités à tester trois modèles et à retenir le « meilleur » en fonction de leurs critères. Au contraire, afin d'améliorer le « pouvoir discriminant » des trois modèles F&O ont appliqué ces trois modèles « en boucle » sur les 35 emplois de la première classe (telle que décrite ci-devant), en effectuant une série de 100 itérations. En pratiquant ainsi F&O visaient à augmenter le « pouvoir discriminant » des trois modèles en fonction des

« apprentissages » engendrés dans le cadre de chaque itération supplémentaire. Face à une telle pratique certes « nouvelle » comme F&O le déclarent, mais pour le moins surprenante et relevant plus de l'ésotérisme et de l'illusionnisme² que d'une démarche scientifique rigoureuse, il est à nouveau permis de déplorer l'absence d'informations complémentaires relativement au choix du nombre d'itérations. Pourquoi avoir choisi le nombre de 100 itérations et non pas par exemple 90 ou 110 ? Absolument aucune information n'est livrée à ce propos.

Finalement, F&O ont jugé que le « meilleur » modèle est le premier des trois mentionnés ci-dessus, soit le modèle exponentiel quadratique (cf. pp. 36 & 37 du working-paper). En effet, après 100 itérations, la fonction obtenue par « apprentissage » a été appliquée aux 35 emplois résiduels qui avaient été affectés à la seconde classe. Selon F&O cette manœuvre a alors permis de classer correctement 90% des 35 emplois en question (exactement 0,894).

Compte tenu des enjeux sociétaux liés à la problématique de cette étude on ne peut qu'être surpris par la méthode de travail mise en œuvre par F&O, qui se caractérise par un manque manifeste de rigueur académique. Il est évident que de ce fait les critiques relatives à la méthode choisie par F&O se sont multipliées et ont contesté le fait que les conclusions dérivées de cette étude puissent être assimilées à des connaissances « objectives » au sens scientifique du terme.

Il est intéressant de prendre note de l'argumentation fournie par F&O en réponse à ces critiques. Ces deux auteurs ne contestent pas le fait que les avis livrés par les experts pour classer les emplois de manière dichotomique sont caractérisés par une relative subjectivité. Par conséquent, F&O estiment qu'en contradiction avec les critiques formulées à l'encontre de leur méthode, le consensus obtenu par les experts sur uniquement 70 emplois contribue en fait à augmenter l'objectivité de leur étude. Leur argument est qu'en soumettant à l'épreuve d'un modèle mathématique un échantillon (les 70 emplois, soit seulement 10% de la base de données O*NET) caractérisé par une subjectivité relative, que la part globale de subjectivité de l'étude s'en trouve réduite. Formulé autrement, F&O défendent l'idée que le classement de chaque emploi par les experts n'étant pas pleinement objectif, plus le nombre d'emplois sur lesquels les experts parviennent à un accord augmente, plus la part de subjectivité du classement tend à s'accroître. Par conséquent, F&O parviennent à la conclusion que le consensus obtenu par les experts relativement au classement de seulement 10% des emplois constitue en fait une « force » de leur étude et non pas une « faiblesse » et que, de ce fait, ils sont habilités à affirmer que leur étude est effectivement de nature objective. Cet argument revient à revendiquer implicitement le fait que c'est l'appareillage mathématique qui donnerait son objectivité à une étude et non pas la nature des faits

² Il est notable que le sentiment que l'étude de Frey & Osborne s'apparente plus à un numéro d'illusionnistes qu'à une étude sérieuse est partagé en particulier par Brandes & Wattenhofer (2016), deux chercheurs de l'ETH de Zürich, qui notent que : « the results of Frey and Osborne are opaque, one either believes their 'magic' computerization percentages, or one has doubts ».

analysés. Formulé autrement, en étant partisans de cette hypothèse, F&O défendent implicitement l'idée que l'analyse d'une « fake news » au moyen d'un outillage mathématique sophistiqué transforme cette « fake news » en un fait « objectif ». Les spécialistes en épistémologie pourront apprécier cet argument à sa « juste valeur ».

En effet, il est évident que l'argumentation qui précède est complètement irrationnelle. Les outils mathématiques sont « neutres » par essence et les mathématiques n'ont pas le pouvoir de transformer les faits réels, comme l'ont par exemple démontré dans leurs écrits de nature épistémologique Henri Poincaré (1908) et Joseph Liouville, qui est reconnu comme étant un des plus grands mathématiciens français, ce dernier fustigeant les dérives que de jeunes chercheurs ambitieux justifiaient par l'hégémonie supposée des mathématiques³.

Cependant, ne s'embarrassant pas de telles objections F&O ont appliqué la fonction discriminante ayant fourni la meilleure classification sur 70 emplois aux 632 emplois résiduels pour lequel les experts n'étaient pas parvenus à un consensus.

Dans la mesure où l'appareillage mathématique mobilisé dans la suite de leur étude par F&O prend ses racines dans un processus de classification gaussien, il est alors logique que le résultat final fasse apparaître tant des emplois susceptibles d'être caractérisés par une forte probabilité de disparition (remplacement), que des emplois faiblement concernés par ce risque, ainsi que des emplois à degré de risque « moyen ».

Par conséquent, à l'issue de cette étude le déterminisme mathématique conduit à faire émerger trois catégories d'emplois sur le marché du travail américain. La première catégorie est celle des emplois dont la probabilité de « computerisation » est inférieure à 30%. Cette première catégorie regroupe 33% des emplois. La deuxième catégorie qui regroupe 19% des emplois est celle dont la probabilité de « computerisation » s'étend de 30 à 70%. Enfin, la troisième catégorie regroupe le solde des emplois, soit 47% du total des emplois, dont la probabilité de « computerisation » est supérieure à 70%.

Parmi les 47% d'emplois menacés de disparition d'ici 2030 F&O jugent intuitivement que celle-ci est susceptible de se produire en deux vagues. La première vague devrait toucher les emplois constitués principalement d'activités routinières (par exemple dans le secteur du transport et de la logistique, ou les emplois liés à des fonctions d'assistance administrative), tandis que la seconde vague devrait toucher en priorité les emplois qui ne requièrent pas un haut degré d'intelligence créative.

En complément, une autre conclusion de F&O qui n'est en rien surprenante et qui est parfaitement en phase avec les tendances observées sur le marché du travail est que les emplois les mieux rémunérés comme ceux de dirigeants ou de cadres supérieurs (par exemple directeur des ressources humaines) et ceux qui nécessitent une longue durée d'études comme

³ A propos des réflexions de nature philosophique et épistémologique de Joseph Liouville, il est possible de se reporter par exemple à Belhoste B. (1984).

les emplois supérieurs du secteur de la santé, à l'exemple des psychanalystes, des psychiatres ou encore des pédiatres et des dentistes, ou des pharmaciens (sachant que dans le système capitaliste il existe logiquement une forte corrélation entre la durée des études et la rémunération) sont les moins soumis au risque de disparition (remplacement) à l'horizon 2030 sous l'effet de la « computerisation ».

Enfin, il est notable que l'étude de F&O se termine par la présentation en annexe de la classification des 702 emplois affectés de leur probabilité respective telle qu'elle est dérivée de l'application de la fonction discriminante, cette probabilité n'excédant pas 0,10 pour les 175 emplois susceptibles de résister le plus aux effets de la « computerisation », tandis que la probabilité est estimée à au minimum 0,9 pour les 170 emplois soumis au risque d'être détruits dès la première vague, soit à l'horizon 2022/2023 si les hypothèses de F&O devaient être confirmées.

A l'issue de la présentation des apports de l'étude de F&O datée de 2013, alors que la moitié de la première décennie postérieure à leur étude est maintenant écoulée, ce qui implique (qu'environ) un tiers de la période de référence définie par F&O fait maintenant partie du passé (le terme de l'horizon fixé par F&O se situant en 2030), il est possible de constater que la première vague du cataclysme annoncé par ces auteurs n'est heureusement pas en train de s'amorcer, ce qui légitime un examen critique au sens académique du terme des limites de cette recherche.

Deuxième partie : Réalités et fictions dans l'étude de FREY & OSBORNE

Au-delà des faiblesses qui ont déjà été recensées dans la première partie cette recherche, l'étude de F&O (2013) soulève de nombreux problèmes. Afin de ne pas alourdir la réflexion en introduisant des arguments dont la valeur pourrait être considérée par certains comme marginale, les critiques vont être concentrées sur **quatre points majeurs**. Ces quatre points majeurs font d'abord l'objet d'une présentation succincte, avant que chaque point donne lieu ultérieurement à des approfondissements spécifiques.

Le premier point conduit à s'interroger sur le potentiel de généralisation des conclusions de l'étude de F&O à d'autres pays que les USA, sachant que la structure du marché du travail de ce pays est très spécifique. Formulé autrement, la question qui se pose est de savoir si le risque de « tsunami » auquel les USA semblent être soumis est similaire pour le reste du monde ?

Le deuxième point est relatif à l'hypothèse de substituabilité sans restriction de la main d'œuvre par du capital (des machines), sachant qu'il n'y a pas toujours une machine qui est disponible pour remplacer strictement à l'identique le travail spécifique d'un salarié particulier. Une machine peut exister, mais son prix d'acquisition peut paraître exorbitant par rapport au coût du travail, impliquant que des entreprises pourront préférer maintenir en

l'état des processus de production obsolètes sur le plan technologique. En effet, la « computerisation » des activités exige une démultiplication de la puissance des outils informatiques. Or, les experts estiment que pour le développement des nouvelles capacités informatiques la « Loi de Moore » (doublement des capacités tous les 18 mois avec en parallèle une division des coûts de début de période par 2) qui a été observée entre 1980 et 2000 ne s'applique plus et que le coût de l'augmentation des capacités informatiques est actuellement en croissance exponentielle, ce qui tend à réduire l'intérêt économique du déploiement de la « computerisation ».

Le troisième point alimentant les débats relatifs à l'étude de F&O concerne la question de l'acceptation sociale du progrès technologique, qui est un déterminant majeur de la diffusion des innovations technologiques. Par exemple, au cours des années 1980, malgré la baisse régulière du prix des micro-ordinateurs, la demande demeurait marginale. Même dans les entreprises pionnières en matière d'investissement en micro-informatique, rares étaient les personnes qui acceptaient de recourir à l'usage des micro-ordinateurs, la majorité du personnel préférant souvent continuer à recourir aux techniques traditionnelles. Bien que pour les partisans de la logique « small is beautiful » les avantages potentiels des micro-ordinateurs étaient « évidents », les personnes qui avaient été éduquées dans un environnement où les ordinateurs fonctionnaient avec des cartes-perforées avaient des difficultés à comprendre les avantages qu'elles pouvaient retirer de la micro-informatique et à modifier leur comportement en conséquence. Ce ne sont que les générations nées dans un environnement informatisé qui ont conduit à dynamiser ce secteur sur le plan commercial.

Ce constat conduit à s'interroger sur le fait de savoir si le rythme de diffusion du progrès technologique sera aussi rapide que celui anticipé par F&O. Ce point est fondamental, sachant qu'il ne fait pas de doute que des emplois vont disparaître sous l'effet des innovations technologiques. En revanche, deux questions plus pertinentes portent d'une part sur la vitesse de diffusion du progrès technologique et d'autre part sur son amplitude.

Cette question est au cœur du **quatrième point** majeur posant problème dans l'étude de F&O. En effet, il a déjà été noté que F&O ont effectué une approximation très critiquable, du fait qu'ils ont procédé à l'agrégation d'une part des emplois susceptibles de disparaître sous l'effet du progrès technique et, d'autre part, des emplois susceptibles de disparaître aux USA du fait qu'ils font l'objet d'un transfert à l'étranger, soit par opération de délocalisation, ou soit dans le cadre d'une stratégie d'externalisation (outsourcing ou offshoring), dans le cadre de la division internationale du travail (DIT).

La première limite fondamentale de l'étude de F&O se situe dans le fait qu'il est clair que le point de départ de cette étude consiste à effectuer des analyses statistiques uniquement et spécifiquement à partir de données américaines. Or, les auteurs ne se sont pas opposés bien au contraire au fait que les conclusions de leur étude soient étendues à d'autres économies,

dont aux économies des principaux pays européens, mais également au Japon, à l'Australie, etc.

Or, l'économie des USA est très spécifique et ne constitue pas un modèle représentatif du reste de l'économie mondiale. D'une part, les systèmes productifs peuvent être très divergents d'un pays à un autre et, d'autre part, des différences interculturelles peuvent engendrer des attitudes très différentes face aux perspectives offertes par le progrès technologique. Par exemple, alors que l'emploi de liftier est en voie de disparition aux USA et en Europe, il est encore très présent en Asie. De même, si l'expansion de la pratique du « libre-service » a induit une quasi-disparition de l'emploi de « pompiste » en Europe, cet emploi est également encore très présent en Asie.

Ainsi, en reproduisant la même méthodologie que celle utilisée par F&O dans le cadre d'une étude appliquée conjointement au cas de la Finlande et à celui de la Norvège Pajarinen, Rouvinen & Ekeland (2015) ont observé que dans ces deux pays le pourcentage d'emplois à forte probabilité de « computerisation » s'élève à 33%. Bien évidemment, ce taux demeure élevé. Cependant, toutes choses égales par ailleurs, ce taux signifie qu'en Finlande et Norvège le risque élevé de disparition d'emplois porte précisément sur un tiers des emplois et non pas sur quasiment la moitié des emplois, ce qui constitue tout de même une nuance relativement non négligeable.

Toujours en essayant de reproduire le plus fidèlement possible la méthodologie de F&O, des résultats proches de ceux observés en Norvège ont été obtenus en Belgique, où Baert et Ledent (2015) ont calculé que le taux d'emplois menacés s'élève à 35% (emplois dont la probabilité de robotisation est estimée être supérieure à 70%) et au Luxembourg, où dans le cadre d'une collaboration avec le service des statistiques du Grand-Duché (STATEC), les économistes de la banque ING ont déterminé que le taux d'emplois menacés s'élève à 37%. Hors Europe, dans un autre pays de faible taille, c'est-à-dire dans le cas de Singapour, Lee (2016) a établi à partir d'une méthodologie similaire à celle de F&O que le taux d'emplois fortement menacés s'élève à 25%.

Un autre cas intéressant à relever est celui de l'Allemagne, qui en contexte général d'économie post-industrielle demeure un des pays les plus industrialisés, sans par ailleurs que cette caractéristique nuise spécifiquement au marché germanique du travail. En effet, selon les statistiques officielles, début 2019, en Allemagne 1,3 million d'emplois offerts ne trouvaient pas preneurs et en outre, à la même date, la population active allemande a atteint un niveau record, avec plus de 45 millions d'individus exerçant une activité professionnelle. Plus précisément, ce montant record signifie également que le solde net entre les emplois nouveaux générés en Allemagne et ceux disparus depuis la diffusion de l'étude de F&O s'établit à 3 millions d'emplois, alors que la reproduction stricte de l'étude de F&O en Allemagne a conduit à établir dans que le taux d'emplois fortement menacés s'élève à 42% (Bonin et al., 2015). Par conséquent, contrairement à l'affirmation d'Osborne & Frey (2018),

les disparités observées en Allemagne entre les faits réels et les prévisions dérivées du recours à leur approche prouvent bien que leur étude se limitant à analyser des statistiques américaines ne peut pas revendiquer la caractéristique d'être applicable à l'échelle universelle.

Plus précisément, Bonin et al. ont jugé que dans le cas allemand il se révélait nécessaire d'introduire une distinction par rapport à l'étude de F&O, compte tenu du fait que sous un qualificatif identique des personnes qui occupent en apparence un « emploi similaire » peuvent en réalité effectuer des activités très différentes. Par conséquent, en prenant en compte cette nuance (centrage de l'étude sur les activités professionnelles exercées) et après avoir corrigé les données allemandes en conséquence, Bonin et al. sont parvenus à la conclusion qu'en Allemagne uniquement 12% des emplois présentent une probabilité élevée de destruction (remplacement) sous l'effet de la « computerisation ». Il est évident qu'en termes de régulation du marché du travail le résultat final de Bonin et al. pose un problème nettement différent de celui soulevé par les résultats de F&O, puisque toutes proportions gardées, dans l'étude de Bonin et al. l'ampleur du problème est réduite de quasiment 75%.

La deuxième critique importante qui s'applique à la recherche de F&O repose sur les fondements théoriques mobilisés par les auteurs pour apprécier la substituabilité du « travail » par du « capital » (remplacement de la main d'œuvre par des machines). En effet, leur construction théorique est dérivée du modèle Cobb-Douglas, qui suppose une substituabilité parfaite du capital et du travail, sur la simple base du coût relatif de ces deux facteurs de production. Or, dès les années 1960 les économistes soucieux de ne pas produire des connaissances applicables dans un monde théorique purement chimérique tel que celui décrit par la théorie économique néo-classique, mais intéressés au contraire à produire des outils pour le monde « réel » ont vigoureusement contesté le modèle Cobb-Douglas et son hypothèse de substituabilité parfaite même à une échelle infinitésimale, à l'exemple des travaux publiés en France par René Fruit (1962).

Par conséquent, si la référence au modèle Cobb-Douglas contribue à donner à l'étude de F&O l'apparence d'une recherche reposant sur des bases théoriques solides, il n'en demeure pas moins que les principaux fondements théoriques mobilisés sont complètement « irréalistes » et relèvent d'un monde purement « imaginaire », n'ayant aucun rapport avec l'économie de marché telle qu'elle fonctionne en réalité.

Par exemple, des effets de « seuil » des capacités des machines (ou effet d'indivisibilité des machines) impliquent qu'il n'est pas possible d'acquérir systématiquement une machine pour remplacer un seul salarié. Au contraire, l'intégration des fruits du progrès technique dans les processus de production peut exiger des processus de restructuration lourds, longs et coûteux, ce qui peut justifier le maintien en activité de techniques manuelles, même si au regard des connaissances existantes elles peuvent être considérées comme obsolètes.

En outre, la pertinence de la méthode mise en œuvre pour parvenir à effectuer des prévisions en la matière est très discutable, sachant qu'il a déjà été mentionné ci-devant que les estimations relatives au remplacement du travail humain par des machines et algorithmes ont été établies uniquement à partir du jugement d'une dizaine de chercheurs en intelligence artificielle et en robotique de l'université d'Oxford. Cela constitue un biais important de l'étude de F&O, dans la mesure où il est bien connu que les chercheurs peuvent avoir tendance à exagérer les perspectives d'application des projets dans lesquels ils sont impliqués. En effet, pour obtenir des subventions pour financer les recherches il est indispensable de démontrer que les résultats attendus auront des conséquences « importantes » pour la société, d'où le réflexe de certains chercheurs à ne pas hésiter à recourir à de la « fiction », les cas où la fiction correspond même à des faits frauduleux (manipulation de données, etc.) n'étant pas rares, comme la base de données constituée par le site « Retraction Watch » permet de le constater. En effet, cette base recense 30 000 auteurs qui ont été contraints de retirer des publications à la suite de fraudes manifestes (inventions de données, etc.) et autres inconduites avérées, avec en tête de liste le chercheur japonais en anesthésiologie Yoshitaka Fujii, qui avec 169 rétractations détient le record en la matière (Brainard, 2018).

Il n'est pas question d'affirmer ici que l'étude de F&O relève directement de la base de données du site « Retraction Watch ». En revanche, certaines formulations émises par ces deux auteurs sont bien assimilables à des propos caractérisant les « faussaires scientifiques », selon l'expression de Claude Bernard (1865). Cette remarque s'applique précisément aux explications complémentaires livrées par Osborne & Frey en 2018. En effet, il a déjà été précisé ci-devant que si la base de données ayant servi à « l'apprentissage » du modèle mathématique appliqué par F&O a été limitée à 70 emplois, c'est uniquement du fait que les experts sollicités ne sont pas parvenus à un consensus en ce qui concerne les autres emplois.

Or, en réponse à des critiques formulées envers leur étude de 2013, Osborne & Frey (2018) écrivent (à la page 4 de leur article) les propos suivants : « In 2013, we gathered a group of machine learning experts to assess the automatability of 70 occupations using detailed task descriptions ». En fait, cet extrait conduit à penser que les experts ont été sollicités pour se prononcer seulement à propos de 70 emplois, ce qui constitue indiscutablement une « falsification » de l'approche mise en application par F&O.

De la même manière, étant attaqué sur la nature de leurs « prévisions », Osborne et Frey (2018) se défendent en argumentant qu'ils n'ont pas effectué des « prévisions », mais seulement des « estimations » et « spéculations ». Il est clair que ce mode de défense est purement « sémantique » et ne change rien au problème posé. Mais, ce qui est beaucoup plus sulfureux et indigne d'auteurs prétendant à être considérés comme des scientifiques, c'est qu'entre la page 39 et 48 de leur étude de 2013 les auteurs ont bien indiqué à 13 reprises qu'eux-mêmes (ou le « modèle » qu'ils ont mis en application, ce qui en fait revient au même) ont fourni des « prédictions ». Sans vouloir recenser exhaustivement ces 13 mentions, à titre d'exemple on trouve à la page 39 de l'étude l'extrait suivant : « The task model predicts that

recent developments in ML (Machine Learning) will reduce aggregate demand for labour in tasks that can be routinised by means of pattern recognition, while increasing the demand for labour performing tasks that are not susceptible to computerisation ». De même, on trouve par exemple à la page 43 de l'étude les propos suivants : « Our model predicts that the second wave of computerisation will mainly depend on overcoming the engineering bottlenecks related to creative and social intelligence » et à la page 44 : « ... our predictions implicitly suggest strong complementarities between computers and labour in creative science and engineering occupations ». A la page 45 on peut également lire la phrase suivante : « It shall be noted that our predictions are based on expanding the premises about the tasks that computer-controlled equipment can be expected to perform » et à la page 48 figure la phrase qui suit : « Our model predicts that workers in transportation and logistics occupations, together with the bulk of office and administrative support workers, and labour in production occupations, are at risk », etc.

Il découle des exemples précédents qu'un véritable scientifique ne peut qu'être circonspect face aux négations d'Osborne & Frey (2018). Par ailleurs, au-delà du débat relatif à l'éthique de F&O, il est permis de constater que beaucoup de résultats de cette étude sont très surprenants. Par exemple, quand on connaît la nature des risques et du montant des dommages susceptibles d'être occasionnés en cas de défaillance dans l'industrie nucléaire, on ne peut qu'être étonné par le fait que F&O estiment que la probabilité de « computerisation » de l'emploi de « technicien de l'industrie nucléaire » s'élève à 0.85 et que celle de l'emploi « d'opérateur de réacteur dans l'industrie de l'énergie nucléaire » soit même fixée à 0.95.

Au-delà de ces deux exemples, beaucoup d'autres résultats de l'étude de F&O sont également étonnants, comme la probabilité affectant l'emploi de décorateur (0.92), ou celle attribuée à l'emploi de réparateur de bicyclettes (0.94). En effet, à l'heure où la prise de conscience écologique se développe, les déplacements à bicyclette connaissent un regain d'importance, ce qui logiquement induit un besoin en réparateurs. De même, quand on a déjà eu l'occasion de visiter une fabrique de joaillerie et d'observer la vaste diversité des tâches réalisées dans les ateliers, la probabilité de 0.95 affectée à l'emploi de joaillier ne peut que surprendre, tout comme celle de 0.96 pour l'emploi de cuisinier de restaurant (hors Fast-Food). Quand on connaît l'engouement actuel pour la gastronomie, qui valorise notamment le « tour de main du chef » (cas par exemple des restaurants classés dans la catégorie « Assiette » par le guide Michelin), ou « de bons produits bien mis en valeur » (cas des restaurants figurant dans la sélection « Bib gourmand » du guide Michelin), ou encore « une finesse d'exécution évidente » dans le cas des restaurants primés par « une étoile Michelin », sans même évoquer

en haut de gamme les qualités reconnues à la cuisine des restaurants bénéficiant de deux ou trois étoiles au guide Michelin, on ne peut qu'être surpris par une telle probabilité⁴.

Il en est de même pour l'emploi de réparateur de montres, affecté d'une probabilité de 0.99. Il est vrai qu'il y a longtemps que les montres à bas prix ne sont plus réparées. En revanche, l'engouement actuel pour les montres de luxe, en particulier dans les pays émergents, implique qu'il y a plutôt une tendance à l'augmentation du nombre d'emplois de réparateur de montres, du fait que les mécanismes de ces montres sont très sophistiqués, induisant que leur réparation exige de très hautes qualifications n'étant pas susceptibles d'être remplacées à court terme par des processus automatisés. A ce propos, il est évident que l'industrie de l'horlogerie suisse, qui représente 5% du volume des montres commercialisées à l'échelle mondiale, mais 60% du chiffre d'affaires de cette industrie, n'a aucun intérêt à contribuer au développement de systèmes de réparation automatisés, ce qui reviendrait à favoriser la perte de leur avantage compétitif en cohérence avec la théorie RBV (Barney, Hesterly – 2006).

En outre, il faut bien comprendre que le fait qu'en fonction des connaissances théoriques existantes de nouvelles solutions techniques soient envisageables ne signifie pas pour autant que des freins à la production de ces techniques n'existent pas. Sans remonter aux recherches historiques de Leonard de Vinci, à titre d'exemple « moderne » il est permis de rappeler que dès les années 1920 N. TESLA avait établi qu'il serait possible de fabriquer dans un « futur proche » un équipement qui n'a été finalement commercialisé qu'au-delà de l'an 2000, sachant qu'en l'occurrence N. TESLA avait conçu à son époque que l'invention « prochaine » d'un appareil présentant les propriétés techniques du « smartphone » était vraisemblable. Par rapport à l'histoire de l'humanité, il sera toujours possible de juger que le délai de 80 ans qui s'est écoulé entre la prévision de TESLA et sa réalisation concrète n'est pas très distant sur l'axe du temps et que de ce fait sa prédiction d'invention « prochaine » peut être validée. L'exemple du smartphone et du délai qui s'est écoulé entre la conception de l'idée et sa concrétisation industrielle confirme que les résultats des tests effectués en laboratoire ne sont pas toujours aisés à mettre en œuvre à grande échelle.

Sans s'étendre sur des cas sulfureux, à l'exemple du cas des « avions renifleurs » en France, qui était une pure « invention » d'escrocs, l'échec commercial du moteur à piston rotatif (moteur Wankel) constitue un autre exemple célèbre d'invention qui n'est pas parvenue à l'étape d'innovation, selon la définition de Schumpeter (1962). Pour mémoire, les difficultés liées au développement de cette invention ont non seulement conduit à la faillite le constructeur automobile allemand NSU, qui était pionnier en la matière, en ayant introduit sur le marché le célèbre modèle R 80, mais le repreneur (l'entreprise Audi), n'est pas également parvenu à résoudre les problèmes techniques posés par cette solution qui

⁴ Sur le même sujet, voir également Brandes & Wattenhofer (2016), qui font également part de leur étonnement en ce qui concerne certaines probabilités dérivées de l'application de la méthode de F&O.

paraissait pourtant beaucoup plus séduisante que le moteur à piston linéaire et qui de ce fait avait à son époque soulevé d'énormes espoirs pour faire progresser l'industrie automobile.

En dehors de ces exemples, en matière de biens d'équipement dédiés à la production industrielle, il est également bien connu que de nombreuses lignes de production automatisées n'ont jamais répondu aux attentes qui prévalaient lors de leur installation. Les lignes de production en question ont finalement été mises au rebut (et vendues au prix de la valeur des métaux, soit à environ 1/100 du prix d'acquisition des machines) sans avoir produit la moindre unité susceptible d'être commercialisée. Le respect de clauses de confidentialité ne permet pas de mentionner à ce sujet des cas précis, mais l'actualité livre fréquemment l'exemple de projets qui subissent des retards très significatifs, que ce soit tant dans des industries de pointe, comme l'industrie nucléaire, ou dans des industries de moyenne technologie, comme l'industrie automobile. A ce propos il est possible de citer l'exemple du constructeur automobile TESLA, qui ne parvient pas actuellement à livrer plusieurs millions de véhicules déjà commandés et ayant donné lieu au versement d'acomptes et qui a annoncé fin 2018 l'abandon du projet de mise en fonctionnement d'une ligne de production complètement automatisée, pour revenir simplement à une technologie semi-automatisée. De même, les rapports annuels de la Cour des Comptes en France permettent de découvrir de nombreux exemples caricaturaux, comme le cas récent du projet de développement d'un logiciel de paye pour l'armée française, projet qui n'a jamais abouti et qui a été purement et simplement abandonné, alors que 800 millions d'€ avaient déjà été investis dans les premières phases de développement de ce logiciel. Face à un tel constat, on ne peut qu'être étonné du fait que F&O attribuent par exemple une probabilité de « computerisation » de 0.96 à l'emploi de « compensation and benefits manager » (voir également Brandes & Wattenhofer, 2016).

Au-delà de la question de l'estimation correcte des délais susceptibles de s'écouler entre la découverte d'un potentiel théorique et sa concrétisation à l'échelle industrielle, il est permis de mentionner que le « réalisable » n'est pas nécessairement « souhaitable » pour la société. Comme preuve de cette affirmation il est permis d'indiquer qu'en moyenne sur 7 produits nouveaux inventés et introduits sur le marché, 6 se traduiront par un échec commercial, cette tendance étant régulièrement confirmée depuis quasiment les 50 dernières années.

La troisième critique importante est dérivée des arguments qui précèdent, sachant qu'il est incontestable que pour déterminer leurs estimations (prévisions), F&O ne sont pas posés la question de l'acceptation sociale des résultats du progrès technologique. Pour souligner l'importance de ce point il est possible de se remémorer qu'en 1970 il était prévu qu'à l'horizon de l'an 2000 les êtres humains ne souhaiteraient plus consacrer de temps à la prise des repas et seraient satisfaits de se nourrir au moyen de « pilules » contenant tous les ingrédients dont le corps humain a besoin pour être maintenu en bonne santé. A ce propos, il est possible de se souvenir de l'échec cuisant connu par les expériences menées par exemple par l'entreprise anglaise « I C I » dans les années 1970 et 1980 pour produire des « POU » (protéines d'organismes unicellulaires). En fait, la production de POU s'inscrivait dans la

logique d'alimenter les êtres humains au moyen de pilules et en particulier les populations souffrant de la faim. Or, les POU étaient eux-mêmes « nourris » à partir de dérivés du pétrole, ayant conduit les critiques à qualifier les produits fabriqués à base de POU de « steaks de pétrole ». Compte tenu de cette appellation, bien que l'innocuité des POU semble être démontrée par les scientifiques, même les personnes souffrant de la faim ont refusé ce mode d'alimentation. Il est notable que tout en étant plus appétissants que les POU d'autres produits destinés à lutter contre la sous-alimentation dans le monde, comme les « pilules alimentaires » fabriquées à partir de drèches de bière qui avaient été soumises à expérimentation par Mr Debus, le PDG de la brasserie « LE PÊCHEUR » à Strasbourg, n'ont pas obtenues plus de succès. La raison en est que même les personnes souffrant de la faim sont conditionnées par des schémas psychologiques qui les conduisent à rejeter des solutions qui sur le plan alimentaire ne sont pas en adéquation avec leurs schémas habituels.

Par conséquent, ces exemples permettent d'affirmer qu'une forte faiblesse de l'étude de F&O réside dans le fait que leurs estimations (prévisions) ont été établies sans prendre en compte l'avis de sociologues et de psychologues de la consommation.

Par exemple, l'étude de F&O classe au rang 668/702 l'emploi de « réceptionniste », dont la probabilité de disparition à l'horizon 2030 est estimée à 0,97 par F&O, ce qui équivaut à anticiper la quasi-disparition de cette profession. Hors, si dans des hôtels à faible tarif comme les hôtels Formule-1 du groupe ACCOR l'absence d'un réceptionniste est susceptible de ne pas gêner les clients, rien ne prouve que dans les hôtels de luxe de Manhattan comme l'Astoria-Waldorf, ou le Plaza, ou encore le Taj-Pierre ; ou à l'hôtel de Paris à Monaco, ou encore dans les palaces parisiens, la clientèle sera disposée à être accueillie par un robot.

Une telle objection peut être effectuée à l'encontre de très nombreux résultats de l'étude de F&O. Comme cela a déjà été relevé il est indiscutable que des hypothèses subjectives ont été développées pour réaliser cette étude, comme F&O l'admettent sans difficulté. Cependant, le problème qui se pose est que ces hypothèses subjectives ne sont pas décrites par F&O, ce qui impose de recourir à des spéculations relativement à leur mode de raisonnement, qui aujourd'hui encore demeure très opaque.

A la décharge de F&O, il est permis de considérer qu'ils sont encore relativement « jeunes ». La majorité des chercheurs en intelligence artificielle doit également répondre à cette caractéristique. Par conséquent, il n'est pas impossible que ces chercheurs se soient posés la question de l'acceptation du progrès technologique « potentiel » par les personnes de leur génération, sans prendre la précaution de s'interroger sur le niveau d'acceptation par les personnes plus âgées, qui constituent une fraction croissante de la population totale, sachant par ailleurs que l'existence d'une corrélation positive entre l'âge et la résistance au changement est bien connue.

Les arguments exposés précédemment impliquent que tous les changements techniques possibles ne seront pas nécessairement acceptés par les usagers potentiels et donc mis en œuvre dès l'horizon 2030. Ainsi, la synthèse des études de nature prospective effectuées depuis 1970 prouve qu'en tendance générale 50% des prévisions sont concrétisées, mais que 50% demeurent à l'état de « fiction », soit du fait de l'Incidence de « goulets d'étranglement » sur le plan technologique, soit du fait que les innovations sont en contradiction avec les « habitus » et ne répondent pas aux exigences des clients potentiels.

Si ce principe s'applique à l'étude de F&O cela signifie que ce n'est pas un emploi sur deux qui est menacé de destruction rapide, mais seulement un sur quatre. Encore une fois, sans nier l'importance relative du taux de 25%, il n'en demeure pas moins que ce taux change radicalement la nature du problème sur le plan des politiques économiques consacrées à la régulation du marché du travail.

Le quatrième point important ne pouvant absolument pas être passé sous silence concerne l'amalgame inacceptable sur le plan de la rigueur scientifique qui a été effectué par F&O en ce qui concerne les emplois susceptibles de disparaître (d'être remplacés) sous les effets de la « computerisation » et les emplois susceptibles de faire l'objet d'une externalisation en dehors des USA (emplois soumis à « offshoring »). Il est évident que la métamorphose conduisant à assimiler des emplois susceptibles d'être externalisés à des emplois susceptibles d'être remplacés par le progrès technique est une opération qui relève de la pratique des « alchimistes ». En procédant ainsi F&O procèdent à l'agrégation de « poires » avec des « pommes ». En effet, les emplois externalisés en dehors des USA s'inscrivent dans la logique de la division internationale du travail (DIT) et ne sont pas des emplois qui s'évaporent. Tel que l'a constaté Fernand Braudel (1988) les implantations à l'international s'inscrivent dans la logique d'une économie favorable au libre-échange, même si comme Braudel le critique, la DIT telle qu'elle se déroule conduit à mettre en place une polarisation qui se traduit par la mise en opposition de zones économiques prospères par rapport à des zones périphériques pauvres.

En fait, sans rentrer dans le détail, l'externalisation permet de renforcer la spécialisation (au sens d'Adam Smith, 1776 et de David Ricardo, 1817) des « donneurs d'ordre », ce qui contribue à leur permettre de développer des activités à forte valeur ajoutée et en parallèle d'augmenter leur prospérité. Il est évident que la DIT qui profite notamment aux firmes multinationales (Oldenski, 2012 bis) n'est socialement pas exempte de critiques. Mais il ne faut pas oublier que la DIT a par exemple permis en l'espace de seulement trois décennies à environ 80% de la population chinoise de sortir d'une forte paupérisation. Compte tenu de la taille de la population de ce pays ce constat n'est pas anodin et permet d'affirmer que la DIT ne produit pas systématiquement des effets négatifs, puisque la DIT constitue un vecteur de création nette d'emplois. Ainsi, le travail externalisé génère des revenus chez les « preneurs d'ordre », qui peuvent à leur tour devenir des clients du « donneur d'ordre ». Même si cette

allusion est très caricaturale, pour en être persuadé, il suffit d'observer les queues de clients chinois qui se forment par exemple devant les magasins de luxe à Paris ou à Genève.

Finalement, cette démonstration prouve que c'est à tort que les emplois susceptibles d'être externalisés à l'étranger sont assimilés par F&O à des emplois susceptibles d'être « détruits » du fait du progrès technologique, sachant par ailleurs que l'externalisation peut subir un effet de « pendule » et que des emplois externalisés peuvent être rapatriés, à l'exemple de la politique que le Président actuel des USA essaye d'impulser. A ce propos, il ne faut pas négliger que même si peu de statistiques en ce qui concerne l'impact sur l'emploi sont disponibles, un mouvement de « ré-impartition » (retour d'emplois qui avaient été initialement externalisés) est largement documenté dans la littérature spécialisée.

Il n'est pas possible dans le cadre de la réflexion actuelle de lancer un débat sur le sujet du divorce que la DIT engendre entre les pays riches et les pays pauvres. Au contraire, il faut rester centré sur la problématique posée, qui est celle de l'évolution du marché du travail dans les pays les plus avancés. Cela permet de conclure que l'amalgame auquel F&O ont procédé en agrégeant des emplois susceptibles d'être « détruits » par le progrès technologique et des emplois susceptibles d'être « externalisés » à l'étranger (plus ou moins temporairement), conduit à jeter un doute sur le « sérieux » avec lequel ces auteurs ont effectué leur étude, mettant de ce fait nettement en cause la crédibilité de cette étude.

Les critiques objectives qui viennent d'être formulées mettent fortement en cause la portée de l'étude de F&O ; sachant que le cumul effectué entre les emplois susceptibles d'être automatisés et ceux susceptibles d'être externalisés à l'étranger est loin d'avoir une incidence marginale sur leurs résultats. En effet, F&O reconnaissent que pour intégrer dans leur étude l'impact sur l'emploi des effets de l'externalisation à l'échelle internationale ils ont retenu les prévisions de Blinder (2009), Blinder & Krueger (2013), ainsi que les prévisions de Jensen & Kletzer (2005 & 2010) et celles d'Oldenski (2012). Or, Blinder et Blinder & Krueger fournissent une fourchette d'emplois à forte probabilité d'externalisation comprise entre 22% et 29%, avec une moyenne fixée à 25%, tandis que pour le même phénomène Jensen & Kletzer (2005) mentionnent une fourchette variant de 21% à 35%.

En clair, ces résultats indiquent que le taux de 47% d'emplois susceptibles de disparaître à l'horizon 2030 selon les estimations de F&O est en fait composé pour plus de la moitié d'emplois susceptibles d'être externalisés. Alors que l'amalgame auquel F&O ont procédé exerce une influence fondamentale sur leurs résultats, en l'absence de toute indication à ce sujet dans leur étude, il est permis de poser en hypothèse qu'ils ont raisonné en retenant le taux moyen calculé par Blinder & Krueger (2013), soit 25%. Cette hypothèse peut être considérée comme étant d'autant plus probable que, tout comme dans le cadre de l'étude de F&O, la base O*NET est également celle que les auteurs mentionnés ci-devant ont exploité pour effectuer leurs prévisions, notamment Blinder (2009), Jensen & Kletzer (2005) et

Oldenski (2012). Par conséquent, le fait d'utiliser la même base de données que ces auteurs a certainement incité F&O à intégrer leurs résultats dans leurs propres calculs.

L'extrait suivant qui figure à la page 32 de l'étude de F&O (2013) permet d'accorder une très forte crédibilité à notre hypothèse : « *Instead, our implementation strategy builds on the literature examining the offshoring of information-based tasks to foreign worksites, consisting of different methodologies to rank and categorise occupations according to their susceptibility to offshoring. The common denominator for these studies is that they rely on O*NET data in different ways (Blinder, 2009 ; Jensen & Kletzer, 2005 & 2010) ».*

L'extrait précédent qui conforte notre hypothèse conduit à en déduire que dans l'étude de F&O la part d'emplois présentant une forte probabilité de « computerisation » s'élève seulement à 22%, (47% - 25%). Il est évident que ce résultat modifie fondamentalement la nature du problème posé à l'échelle socio-économique par le phénomène de « computerisation ».

Par conséquent, compte tenu de ce « bricolage » intolérable dans une étude ayant prétention à être reconnue sur le plan scientifique, il est indispensable de revenir brièvement sur le fait de savoir pourquoi malgré ses faiblesses cette étude a bénéficié d'une forte médiatisation.

Il est d'une part indiscutable que l'image de l'institution de rattachement des auteurs, la prestigieuse université d'Oxford, a favorisé la diffusion de l'étude. D'autre part, l'appareillage mathématique très sophistiqué qui a été mobilisé, ainsi que le calcul de probabilités et de résultats précis qui était nouveau pour une étude de cette nature ont contribué à lui donner une image de « sérieux » et de « robustesse » apparente, sachant qu'habituellement compte tenu des risques d'erreur liés à des anticipations qui sont par nature très incertaines les chercheurs font preuve de plus de prudence et se limitent à fournir des estimations avec des « fourchettes ». Ensuite, il semble évident que le fait d'avoir raisonné sur quasiment l'ensemble de la population active américaine (soit près de 140 millions d'individus), donc sur des données relevant du « Big Data » a renforcé en apparence la nature innovante de cette étude et a contribué à étendre sa médiatisation, bien que le monde académique demeurait relativement réservé par rapport à celle-ci.

Il est à noter que la « réserve » de la sphère académique peut s'expliquer d'une part par le fait que la médiatisation prématurée du « working-paper » ne permettait plus de le soumettre au processus classique d'évaluation « à l'aveugle », alors que ce processus constitue la solution « impériale » en la matière (selon ce processus, en théorie les évaluateurs ne connaissent pas les identités des auteurs).

D'autre part, les choix méthodologiques subjectifs et très discutables qui sont admis par les auteurs, mais qui persistent cependant à maintenir une très forte opacité sur la nature de la démarche véritablement suivie pour élaborer le working-paper de 2013 ont conduit les véritables scientifiques à prendre de la distance par rapport à cette recherche.

Il en résulte que cette recherche a été finalement publiée en 2017 dans la revue « Technological Forecasting & Social Change », qui est la propriété de la maison d'édition ELSEVIER, sachant que cette revue n'est pas classée dans la catégorie des revues « dominantes » dans le champ des sciences économiques.

Par conséquent, cela signifie que malgré la mobilisation d'un appareillage mathématique complexe dans l'étude de F&O, les scientifiques qui participent au processus d'évaluation des revues dominantes (les « gardiens du temple ») ne sont pas convaincus que cette recherche présente un grand intérêt pour leur communauté.

3ème partie : Bilan des études alternatives

Comme cela a été précisé ci-devant, un courant de pensée juge qu'il n'est pas pertinent d'apprécier les changements sur le marché du travail en fonction du simple critère de classement dichotomique des emplois (classement des emplois en uniquement deux catégories, selon que le contenu de l'emploi est composé majoritairement de « routines » ou de « non routines »), mais qu'il est au contraire nécessaire de concentrer l'attention sur les différentes tâches qui sont exercées dans le cadre d'un emploi.

L'étude qui demeure la plus proche de celle de Frey & Osborne tout en mettant l'accent sur les tâches est celle de Brandes & Wattenhofer (2016). En effet, tout comme F&O ces deux auteurs ont eu recours à la base O*NET. Cependant, pour chaque emploi, ils ont analysé les différentes tâches en fonction de leur perspective d'automatisation. En procédant ainsi ces deux auteurs parviennent à des estimations relatives au risque d'automatisation qui sont inférieures en moyenne de 20% à celles de F&O. Concrètement, quand F&O estiment que le risque d'automatisation d'un emploi est de 0.9 (ce qui revient pour F&O à estimer que la disparition de cet emploi est quasi certaine), pour Brandes & Wattenhofer la probabilité de disparition de ce même emploi s'élève seulement à 0.7.

Par ailleurs, Brandes & Wattenhofer (2016) déclarent être incapables d'anticiper l'avenir d'un emploi affecté par exemple d'un risque d'automatisation de 0.7. Si dans certains emplois des tâches résiduelles ne sont pas automatisables, que vont devenir ces emplois ? Par exemple, que signifie le fait que certaines tâches actuellement effectuées par les agriculteurs, comme la conduite d'un tracteur, soient susceptibles d'être automatisées dans le futur ? Est-ce que le cas échéant cela va mener à la réduction du nombre des agriculteurs alors que leur part dans la population active est déjà très faible ?

Pour F&O la réponse à une telle question est simple. En effet, à ce propos ils émettent à nouveau une hypothèse très réductrice, qui est d'estimer que dès lors que la majorité des tâches constituant un emploi est « automatisable », que cela devrait engendrer une émulation suffisante pour entraîner rapidement l'automatisation des tâches résiduelles, c'est-à-dire

celles dont l'exercice à très court terme est encore caractérisé par des activités de nature « non-routinière ».

Face aux hypothèses réductrices de F&O les recherches accordant la priorité aux tâches composant les emplois mettent l'accent sur la structure des compétences mises en œuvre pour effectuer les différentes activités professionnelles, en particulier les recherches développées dans le cadre du programme PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies). C'est ainsi qu'en s'appuyant sur cette méthode Bonin et al. (2015) sont parvenus à la conclusion qu'aux USA seulement 9% des emplois seraient fortement menacés par le risque de « computerisation » et 12% en Allemagne. Dans cette même recherche, Bonin et al. ont calculé par exemple que dans le cas de la Belgique les emplois soumis à forte probabilité de robotisation ne serait pas de 35% comme cela a été calculé dans l'étude des économistes de l'ING (Baert & Ledent, 2015), mais de seulement 7%.

En s'appuyant sur la même méthodologie que celle de Bonin et al., dans le cadre d'une vaste enquête menée à l'échelle de 21 pays de l'OCDE Arntz et al. (2016) sont également parvenus à la conclusion qu'en moyenne seulement 9% des postes de travail sont soumis à un risque élevé de « computerisation ». Dans l'étude de Bonin et al. ainsi que dans celle de Arntz et al. des variables comme l'âge, le sexe et le niveau des revenus ont également été prises en considération.

Dans une autre étude appliquée à l'ensemble de l'OCDE de nouvelles estimations datées de 2018 établissent qu'au cours des 15 prochaines années les technologies numériques vont placer environ 14% des travailleurs face à un risque élevé d'automatisation des tâches qui leur sont confiées (OCDE, 2018).

Sabine Pfeiffer (2018), qui est une professeure en sociologie du travail a dirigé en Allemagne une recherche qualitative, c'est-à-dire qu'elle ne s'est pas limitée à traiter des statistiques, mais que des observations ont été effectuées « sur le terrain », ce qui a permis d'étudier les pratiques concrètes des salariés. Cette étude est particulièrement intéressante dans la mesure où l'Allemagne est le pays qui est considéré actuellement comme étant le plus avancé en ce qui concerne la mise en application des principes de l'industrie 4.0, dont les frontières recoupent le champ de mise en œuvre de la « computerisation » au sens de F&O.

Contrairement à F&O, Pfeiffer ne se limite pas à étudier les emplois sur la base d'un classement dichotomique en deux catégories : Emplois de « routine » (travail répétitif et monotone, conduisant à effectuer des tâches simples, comme des manipulations structurées), vs emplois de « non routine » (travail nécessitant la mise en œuvre de compétences analytiques et d'interaction).

Au contraire, Pfeiffer a élaboré un indice des capacités (compétences) mises en œuvre dans un emploi en distinguant 18 compétences, en prenant en particulier en compte le critère de l'expérience, qui conduit en général à mettre en œuvre des compétences qualifiées de

« tacite », c'est-à-dire qu'elles sont maîtrisées alors que la personne qui possède ces compétences « tacites » a des difficultés à expliquer les conditions de leur mise en œuvre, ce qui de ce fait rend les compétences en question difficiles à automatiser.

Cet indice qui varie entre « 0 » (très faibles compétences) et 1 (très fortes compétences) a été appliqué à un échantillon d'environ 17 500 salariés représentatifs de la structure des emplois au sein de l'industrie allemande. Il en ressort que pour 74% des salariés de cet échantillon l'indice des capacités (compétences) au travail est supérieur à 0.5, la conclusion en résultant étant que ces emplois ne pourront pas être remplacés rapidement par des processus automatisés.

Par ailleurs, les activités de près de 1200 salariés en poste dans l'industrie allemande (principalement dans l'industrie automobile et dans l'industrie mécanique) ont été observées « sur le terrain », c'est-à-dire pendant que ces salariés exerçaient leurs activités professionnelles. En fonction des estimations de F& O ces salariés effectuent des activités pour lesquelles la probabilité de substitution par des processus automatisés s'élève de 0.9 à 0.98, c'est-à-dire que la disparition de ces emplois peut être considérée comme quasi-certaine, dans la mesure où selon F&O le contenu du travail relatif à ces emplois peut être assimilé à de pures « routines ».

Or, Pfeiffer (2018) démontre que la seule approche statistique dichotomique des emplois en question conduit à ignorer une grande partie des activités effectuées par les opérateurs et qu'en outre, sous un même libellé, en fonction de la culture spécifique à chaque entreprise, les activités confiées aux opérateurs peuvent être très variables.

Ainsi, Pfeiffer constate par exemple que dans l'industrie chimique les opérateurs ayant pour mission selon les références statistiques de simplement contrôler le bon déroulement des opérations de production à partir d'un tableau de bord électronique (profession de conducteur d'engins chimiques par exemple), dont la probabilité de disparition selon F&O s'élève à 0.97, doivent en fait intervenir de manière préventive (c'est à dire en l'absence de dysfonctionnement effectif) en moyenne au minimum 3 à 4 fois par heure de travail pour optimiser le bon fonctionnement des systèmes de production et que le savoir et les connaissances mobilisées pour intervenir efficacement ne sont pas normalisés. Au contraire, les causes d'intervention se révèlent difficiles à anticiper et les actions correctives sont complexes, ce qui implique que les emplois en question ne peuvent finalement pas être classés dans la catégorie des activités de routine, sachant qu'un tel constat a été effectué par Pfeiffer (2018) pour quasiment toutes les industries allemandes fortement automatisées, par exemple sur les chaînes robotisées dans l'industrie automobile, etc.

Par ailleurs, Pfeiffer montre que les tâches considérées comme substituables par des robots et l'intelligence artificielle selon F&O ont fréquemment en Allemagne un fort contenu en

travail nécessitant de nombreuses interactions, ce qui constitue également une barrière à la mise en application de la substituabilité.

A partir de ces constats Pfeiffer (2018) parvient à la conclusion que dans le cas de l'Allemagne la dichotomie théorique proposée par F&O ne peut pas être validée par les observations empiriques et qu'au contraire les hypothèses de ces auteurs doivent être infirmées.

Pfeiffer insiste également sur le fait qu'en Allemagne, même dans des contextes où le travail repose sur des systèmes fortement automatisés (à l'image des processus de production dans l'industrie chimique) des tâches non-routinières jouent un rôle central pour garantir le bon fonctionnement de la production. Cela signifie selon Pfeiffer que le travail humain concret est beaucoup plus complexe que la conception généralement retenue dans les séries statistiques à l'image de celles utilisées par F&O.

Selon Pfeiffer cette configuration du travail en particulier en Allemagne s'explique notamment par le rôle joué dans ce pays par la formation duale, qui conduit à fortement valoriser l'expérience des salariés dans les processus de production. Cela implique qu'en Allemagne où les 2/3 des salariés ont suivi une formation duale, dans au minimum 50% des emplois la définition des tâches est beaucoup plus vaste que dans la moyenne de l'Union européenne (EU 28). La formation « on the job » permet en fait d'apporter aux salariés allemands des qualifications beaucoup plus fines et plus précises comparativement à celles acquises dans d'autres configurations. Le fait pour les directions d'entreprises de savoir que les salariés allemands peuvent au titre de leur expérience gérer la complexité et maîtriser des situations imprévues conduit à introduire des processus de travail qui intègrent ces compétences, ce qui peut être considéré comme un « paradoxe de l'automatisation ». En effet, en Allemagne, plus les entreprises investissent dans des processus de production fortement automatisés, plus elles ont besoin de personnel disposant des compétences nécessaires pour effectuer dans la pratique les ajustements nécessités par les dysfonctionnements qui se produisent inévitablement.

Par conséquent, toujours selon Pfeiffer (2018), la question majeure qui se pose n'est pas de savoir combien d'emplois vont disparaître du fait de la « computerisation », mais plutôt de savoir comment tirer profit des compétences des salariés pour contribuer au déploiement de l'industrie 4.0 (cf. Hofmann & Rüscher, 2017), sachant que ce déploiement va nécessairement engendrer des dysfonctionnements qu'il n'est pas possible d'anticiper à l'heure actuelle. Par exemple, on ne dispose actuellement pas de réponse précise à la question de savoir quelles seront les opérations de maintenance nécessaires au bon fonctionnement de l'industrie 4.0 ?

Finalement, en faisant la synthèse de tous ces éléments, Pfeiffer parvient à la conclusion que la « computerisation » ne devrait pas engendrer en Allemagne une perte de plus de 9% des emplois actuels, ce pourcentage ne prenant pas en compte par ailleurs les emplois

susceptibles d'être engendrés par le progrès technique, sachant que Pfeiffer juge qu'il est actuellement très difficile d'effectuer des prévisions fiables à ce stade.

Cependant, il est évident que la « computerisation » va engendrer des emplois à l'image des évolutions en cours dans l'industrie automobile. Par exemple, les constructeurs automobiles allemands estiment qu'en 2013 les technologies embarquées relevant de la « computerisation » représentaient 10% du coût de revient d'un véhicule, alors qu'ils prévoient que ce pourcentage devrait s'élever à 40% en 2025. Par conséquent, il est clair qu'une telle évolution ne pourra pas se produire sans recourir à la création de nouveaux emplois.

Ce dernier élément soulève un aspect complètement laissé dans l'ombre par F&O, qui est celui des emplois nouveaux qui seront engendrés dans le cadre du développement de la « computerisation ». La question sous-jacente est celle de l'évolution de la compétitivité des entreprises qui investissent en « computerisation » et de son impact sur le total des effectifs salariés de ces entreprises.

Concernant cette question, la réponse est également à nuancer en fonction des différentes régions du monde. Par exemple, plusieurs études sont parvenues à la conclusion qu'aux USA une corrélation inverse existe entre le niveau des investissements en « computerisation » effectué par les entreprises et le nombre d'emplois offerts par ces entreprises (Pour une recension de ces études, cf. Acemoglu & Restrepo, 2019).

En revanche, Koch et al. (2019) ont mené une recherche portant sur 1900 entreprises espagnoles qui ont été suivies sur une période 27 ans (1990 à 2016). Or, les résultats de Koch et al. (2019) sont en contradiction avec ceux dérivés du cas des USA. En effet, le constat de ces auteurs est qu'une corrélation positive existe entre le montant des investissements en robotique et la compétitivité des entreprises espagnoles.

L'explication fournie par ces auteurs est que l'investissement en robotique permet d'améliorer la qualité des produits tout en réduisant les coûts, donc les prix. En moyenne, dans un délai de 4 ans ultérieurement à la réalisation des investissements les effets positifs se font sentir sur la compétitivité des entreprises, ce qui génère une croissance supérieure à celle de la concurrence. Il en résulte qu'en tendance générale les effectifs des entreprises espagnoles ayant le plus investi en robotique ont augmenté en moyenne de 25% au minimum, alors qu'à l'inverse les effectifs salariés des entreprises ayant faiblement investi ont diminué.

C'est ainsi qu'on observe un transfert des emplois des entreprises investissant faiblement en robotique vers les entreprises qui investissent le plus en la matière. Cependant, Koch et al. (2019) notent que les profits engendrés par la robotique ne semblent pas être répartis équitablement. En effet, les salaires versés par les entreprises espagnoles qui investissent le plus en robotique se situent seulement au niveau moyen de leurs industries respectives, alors

que les profits mis en réserve ou distribués par ces entreprises augmentent plus que la moyenne de l'industrie.

La question des emplois peut également être abordée sous l'angle macro-économique. En effet, la robotique contribuant à faire baisser les coûts (donc les prix à la consommation), il en résulte un gain en pouvoir d'achat des consommateurs. Ces gains peuvent être affectés à l'acquisition d'autres biens, ce qui implique qu'en termes de bilan global, les gains en pouvoir d'achat générés par la robotique contribuent à la croissance des emplois par ailleurs. Par conséquent, il faut distinguer le bilan sur l'emploi de la robotique selon que ses effets sont mesurés à l'échelle locale ou régionale, ou à l'échelle de l'économie mondiale.

Même si les prévisions sont à considérer avec prudence, l'OCDE estime que globalement l'industrie 4.0 (computerisation) pourrait créer un volume d'emplois susceptible de représenter de 5 à 10% de la masse des effectifs salariés, tout en tenant compte du fait que toutes les zones géographiques ne bénéficieront pas à l'identique de cette création d'emplois. Par conséquent, le bilan global de la « computerisation » ne devrait pas être négatif pour tous les pays, ceux les plus avancés dans ce domaine pouvant même espérer un gain net d'emplois du fait de la « computerisation », à l'exemple de ce qui se produit actuellement en Allemagne, en particulier sur la partie du territoire correspondant à l'ancienne République Fédérale Allemande (RFA). Sans conduire à un optimisme exagéré, cette conclusion mène cependant à une perspective très différente de celle découlant du « bricolage » conçu par F&O.

Il est à noter que dans le cas de l'Europe de l'Ouest cette prévision tend à être confirmée notamment par les estimations de Blanchet (2016), qui a déterminé qu'un relatif équilibre devrait s'établir entre les emplois susceptibles de disparaître à l'horizon 2035 et les nouveaux emplois susceptibles d'apparaître jusqu'à ce terme. En revanche, Blanchet (2016) a calculé que d'ici ce terme de 2035 dans l'industrie en Europe de l'Ouest environ 16 millions de salariés devraient être confrontés à une forte évolution de leur métier. Par conséquent, il est évident que pour ne pas perdre leurs emplois les intéressés auront besoin d'un accompagnement pour s'adapter aux changements en cours et qu'il est notamment nécessaire de développer les programmes de formation de reconversion pour favoriser le maintien dans leurs emplois de ces personnes.

Sachant qu'il est difficile de trouver des études exhaustives et fiables par rapport à la question de l'évolution des emplois sous l'influence de la « computerisation », avant de parvenir à la conclusion de cette recherche, il est encore possible de citer les estimations du World Economic Forum (WEF), qui prètent à faire preuve de plus d'optimisme qu'à la lecture de celles de F&O. En effet, bien que se focalisant seulement sur les incidences sur l'emploi des progrès en intelligence artificielle, à la commande du WEF Leopold, Ratcheva & Zahidi (2018) ont calculé qu'à l'échelle mondiale à l'horizon 2022 (soit au sommet de la première vague de remplacement d'emplois par l'intelligence artificielle prévue par F&O), si 75 millions d'emplois sont susceptibles de disparaître, en revanche 133 millions d'emplois nouveaux pourraient être

générés, ce qui débouche sur un solde positif (favorable) de 58 millions d'emplois. Bien que ces prévisions additionnelles ne soient que partielles, elles encouragent à ne pas sombrer dans le catastrophisme, même si ces auteurs insistent également sur le fait que la configuration concrète du marché de l'emploi à l'échéance prévue sera largement affectée par l'efficacité des mesures adoptées pour assurer la formation continue et la reconversion de la main d'œuvre actuelle.

CONCLUSION

Aux USA, au début du XX^{ème} siècle, le secteur de l'agriculture occupait plus de 40% de la population active, contre moins de 2% actuellement. Pourtant, malgré la perturbation engendrée par cette mutation de l'agriculture, un siècle plus tard, les effectifs salariés atteignent leur plus haut niveau historique (Autor, 2015). Même si le futur n'est jamais la copie conforme du passé, les tendances historiques conduisent à prendre avec précaution les résultats apocalyptiques livrés par F&O (Autor, 2015). Comme l'analyse qui vient d'être effectuée tend à le démontrer, il est indiscutable que l'étude de F&O a été produite en contradiction avec les conditions du respect de la rigueur académique et de l'éthique scientifique, cette étude s'apparentant plus à une œuvre de « magiciens » qu'à une recherche scientifique sérieuse, cette opinion étant partagée par une large fraction de la communauté académique.

Il est évident qu'en diffusant des résultats susceptibles de faire « sensation » auprès des médias, indépendamment de toute évaluation académique, F&O pouvait anticiper que leur travail allait engendrer une hystérie susceptible de leur bénéficier en termes de notoriété et de retombées, ce qui a été effectivement le cas. En effet, alors qu'antérieurement à la diffusion de leur étude de 2013 F&O étaient peu connus, ils sont devenus des stars médiatisées mondialement et ils ont notamment bénéficié de multiples sollicitations pour conseiller un grand nombre de gouvernements à l'échelle de la planète ; Frey ayant même été classé parmi les personnes les plus influentes de la planète et honoré dans son pays d'origine.

En fait, l'accueil reçu par l'étude de F&O s'explique en partie par le fait qu'elle apportait du « grain à moudre » tant à des journalistes à la recherche d'informations pouvant faire sensation auprès de leur lectorat, qu'au secteur du conseil, qui disposait ainsi d'une argumentation solide en apparence pour dynamiser un marché qui représente un énorme potentiel commercial.

Finalement, au-delà des faiblesses et limites de l'étude de F&O, il faut admettre que celle-ci a eu l'avantage de sensibiliser l'ensemble des acteurs socio-économiques aux risques que les

transformations qui se produisent dans le champ des technologies numériques font peser sur l'emploi.

Cependant, l'analyse qui vient d'être menée conduit à constater que les changements attendus se produiront probablement à un rythme plus lent que celui qui ressort des prédictions et estimations de F&O, sachant par ailleurs que F&O sous-estime les risques et les dangers sous-jacents à une « computerisation » à outrance. A ce niveau les problèmes posés par le logiciel du Boeing 737 MAX constituent une bonne illustration de la confiance excessive accordée aux technologies numériques.

Dans le même ordre d'idées, c'est une conception purement technocratique du mode de fonctionnement des systèmes automatisés de protection contre les risques d'incendie qui a contribué au manque de maîtrise de l'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris qui s'est produit en 2019. En effet, une prévention fiable nécessitait la présence au poste de contrôle de deux agents de sécurité au minimum. Mais la vision technocratique de ce poste de travail avait conduit à alléger le dispositif et à se contenter d'affecter un seul agent de sécurité à ce poste. Le problème est que cet agent était souvent perturbé dans son travail et ne pouvait pas demeurer en permanence devant l'écran de contrôle, alors qu'il était connu qu'en cas d'alerte la maîtrise du risque nécessitait une intervention dans un délai n'excédant pas 5 minutes (Cazi, 2019, p. 22).

Par conséquent, il n'est pas impossible que la confrontation future à des déboires encore difficiles à anticiper actuellement puisse avoir pour effet de ralentir le rythme de diffusion des innovations destinées à contribuer au déploiement de la « computerisation ». Par exemple, face au cas malheureux de l'incendie de Notre-Dame de Paris, qui a été médiatisé dans le monde entier, il est vraisemblable que l'estimation de F&O qui fixe une probabilité de disparition (remplacement) de 0.82 à l'emploi intitulé « security and fire alarm systems installers » ne devrait pas être confirmée avant longtemps. Quand on rapporte le montant des dommages (supérieur à plus d'un milliard d'euros) à la rémunération d'un agent de sécurité, il est clair que cela devrait logiquement inciter les technocrates à mieux mûrir leurs réflexions en la matière.

Finalement, il s'avère que la perspective de maîtriser les risques que la « computerisation » fait peser sur l'emploi n'est pas utopique et que la solution ne passe pas obligatoirement par la création d'un revenu universel.

C'est ainsi que des **mesures** peuvent être prises **dans 4 domaines** au minimum pour contribuer à la maîtrise des risques de précarisation du travail engendrés par le développement de la numérisation de l'économie.

En premier lieu, il apparaît indispensable que l'enseignement tant au niveau primaire, que secondaire et universitaire accordent davantage d'importance que ce n'est le cas actuellement au développement des « compétences digitales » (cf. OCDE, 2018 Bis).

Deuxièmement, en prolongement de la formation initiale, le « Long Live Learning » ne devrait plus être une option, mais être un droit avec un accent mis sur la possibilité de faire évoluer les métiers traditionnels par l'intermédiaire des compétences digitales. Dans ce contexte, le temps de travail épargné par la mise en œuvre de l'intelligence artificielle ne doit pas nécessairement conduire à la destruction d'emplois. En effet, le temps de travail libéré peut être mobilisé pour améliorer la qualité des prestations apportées aux clients internes et externes, à l'exemple de ce qui s'est produit au niveau des postes de secrétariat lors de l'apparition des premiers systèmes de traitement de texte. En effet, à l'origine, cette innovation faisait craindre la disparition des emplois de secrétariat. Aujourd'hui, ces emplois sont finalement plus nombreux que par le passé, ce qui peut s'expliquer par le fait que les secrétaires sont devenues plus qualifiées (les secrétaires, qui étaient historiquement de simples exécutantes, sont devenues des « assistantes ») et apportent ainsi plus de valeur aux personnes ayant besoin d'un soutien sur le plan des activités administratives. En ce qui concerne l'acquisition de compétences digitales par les personnes exerçant une activité professionnelle, il peut être avantageux que celle-ci soit « duale », c'est-à-dire que ces compétences puissent être acquises non seulement « on the job », mais également dans des formations externes qui sont susceptibles de faire découvrir de « nouvelles approches » aux salariés, pouvant postérieurement à la formation être mises en œuvre au profit des employeurs. En effet, comme cela a été observé au préalable dans le cas de l'Allemagne (cf. Pfeiffer, 2018), il semble indiscutable que la logique de formation « duale » soit à considérer comme un facteur de compétitivité des entreprises.

Troisièmement, les partenaires sociaux doivent également être impliqués à part entière pour faire évoluer régulièrement les principes d'organisation du travail, afin de tirer profit des opportunités émergentes. C'est ainsi qu'il faut encourager les entreprises et autres organisations productives à mettre en place des « **comités d'emplois** ». Ceux-ci doivent avoir vocation à être réunis à fréquence régulière, afin de réfléchir de manière quasi-permanente aux mesures à implanter pour éviter l'obsolescence des pratiques professionnelles, à l'exemple de la réunion hebdomadaire des « cercles de qualité » dans les grandes entreprises japonaises, dans la perspective d'une « amélioration continue ». A ce niveau, il est important que l'amélioration continue porte non seulement sur la qualité de la production, mais également sur les qualifications et aptitudes de la main d'œuvre. A ce niveau, il sera important de réfléchir à la structure à donner à de tels « comités d'emplois », afin que les salariés soient d'une part motivés à y participer et, d'autre part, encouragés à faire converger les idées bénéfiques au développement des emplois.

Le quatrième domaine à mobiliser est celui de la **politique des prélèvements obligatoires** (fiscalité, charges sociales, etc.), qui peut prévoir la prise de mesures en faveur des entreprises qui investissent pour développer les compétences digitales de leur personnel, par exemple la défiscalisation des heures de travail consacrées à la formation continue. Dans la même veine, la création d'incitations est également à ne pas négliger, comme le versement de primes

lorsque les entreprises accomplissent des efforts « exceptionnels » pour former leur personnel dans le domaine du numérique.

BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

Acemoglu D., Restrepo P. (2019). The Wrong Kind of AI? Artificial Intelligence and the Future of Labor Demand. *MIT Working Paper*.

Arntz, M., T. Gregory and U. Zierahn (2016). “The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis”. OECD Social, Employment and Migration - Working Papers, No. 189, OECD Publishing, Paris.

Autor D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 29, 3, Summer 2015, 3-30.

Baert A., Ledent P. (2015). La révolution technologique en Belgique. *ING Economic Research, ING Focus Emploi*, 9 février.

Baert A., Ledent P. (2015). La révolution technologique au Luxembourg. *ING Economic Research (en collaboration avec STATEC)*.

Barney J. B, Hesterly W. S. (2006). *Strategic Management and Competitive Advantage*. Eds Pearson – Prentice Hall, Upper Saddle River (New Jersey).

Belhoste B. (1984). Joseph Liouville et le Collège de France. *Revue d'histoire des sciences*. 37, 3-4, 255-304.

Bernard C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Nouvelle édition – Eds Garnier Flammarion – 1966.

Blanchet M. (2016). Industrie 4.0 – Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. *Outre-Terre*, 2016/1 (N° 46), 62-85.

Blinder A. S. (2009). How many US Jobs might be offshorable? *World Economics*, Vol. 10, 2, 41-78.

Blinder A. S., Krueger A. B. (2013). Alternative measures of offshorability: A survey approach. *Journal of Labor Economics*, Vol. 31, 2, 97-128.

Bonin H., Gregory T., Zierahn U. (2015). Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. *Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Forschung Bericht 455*. Berlin.

Brainard J. (2018). Rethinking retractions. *Science*, Vol. 362, 6413 (26/10/2018), 390-393.

Brandes P., Wattenhofer R. (2016). Opening the Frey/Osborne Black Box: Which Tasks of a Job are Susceptible to Computerization? *Bulletin of the EATCS 2016*. Cornell University – Computers and Society, arXiv : 1604.08823 V2 (August 31).

Braudel F. (1988). *La dynamique du capitalisme* (Précédé d'un entretien avec Pierre Noël Giraud). Ed Flammarion – Paris.

Cazi Emeline (2019). A Notre-Dame, les failles de la protection incendie. *Le Monde*, 2&3 juin 2019, p. 22.

Frey C. B., M. A. Osborne (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Working-Paper, *Oxford Martin School – University of Oxford (Published by the Oxford Martin Programme on Technology and Employment)*.

Frey C. B., M. A. Osborne (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280.

Fruit R. (1962). La fonction de production de Cobb-Douglas. *Revue économique*, Vol. 13, 2, 186-236.

Harayama Y. (2001). Japanese technology policy : History and a new perspective. *RIETI Discussion Paper – Series 01-E001* (August).

Hofmann E., Rüsç M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.

Jensen J. B., Kletzer L. G. (2005). Tradable services: Understanding the scope and impact of services offshoring. *Brookings Trade Forum, Working-Paper Series*, WP 05-9 (September).

Jensen J. B., Kletzer L. G. (2010). Measuring tradable services and the task content of offshorable services jobs. In: *Labor in the new economy*, pp. 309-335, NBER - University of Chicago Press.

Koch M., Manuylov I., Smolka M (2019). Robots and Firms. *CESifo Working Paper 7608*, April 2019.

Lee K. F. (2016). Automation, computerisation and future employment in Singapore. *Schroder Investment Management*. Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/79961/>

Michelin (2018). *Le guide Michelin – France*. Ed. Michelin – Boulogne Billancourt (France).

Leopold T. A., Ratcheva V. S., Zahidi S.: sous la dir. (2018). The Future of Jobs Report 2018. *World Economic Forum – Centre for the New Economy and Society*. Cologne/Genève - CH.

National Research Council, Committee on Japan (1997). *Maximizing U. S. Interests in Science and technology relations with Japan. Chapter 2: Science, Technology, and Innovation in Japan.* 26-44.

OCDE (2018). Technologies transformatrices et emplois de l'avenir. *Rapport de référence en vue de la réunion des ministres de l'innovation du G7 sous la présidence canadienne.* Montréal (27-28 mars 2018).

OCDE (2018 Bis). Le futur de l'éducation et des compétences. *Projet Education 2030 de l'OCDE.* Paris.

Oldenski L. (2012). Offshoring and the polarization of the US labor market. *Technical report, Mimeo, Georgetown University.*

Oldenski L. (2012 bis). The task composition of offshoring by U. S. multinationals. *International Economics - CEPII*, 3, 131, 5-21.

Osborne M., Frey C. B. (2018). Automation and the future of work – understanding the numbers. <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/blog/automation-and-the-future-of-work>. Oxford Martin School, University of Oxford.

Pajarinen M., Rouvinen P., Ekeland A. (2015). Computerization threatens one-third of Finnish and Norwegian Employment. *MUISTIO – ETLA Brief*, n° 34.

Pfeiffer S. (2018). The future of employment on the shop floor: Why production jobs are less susceptible to computerization than assumed. *International Journal for Research in Vocational Education and Training (IJRVET)*. Vol.5, 3, 208-225.

Poincaré H. (1908). *Science et méthode.* Ed. Flammarion – Paris.

Rauner M. (2017). Künstliche Intelligenz – Die Pi-mal-Daumen-Studie. *Die Zeit*, Nr 11/2017, 9 März.

Ricardo D. (1817). *On the principles of political economy and taxation* - Chapter VII : « *On foreign trade* ». Ed. Murray J. (1821) – London (U. K.).

Schumpeter J. A. (1962). *Capitalism, socialism and democracy.* Eds. Harper & Row, New-York.

Smith A. (1776). *Inquiry into the nature and causes of the wealth of nations* (two volumes). Eds Strahan W. & Cardell T. – London (U. K.).