



HAL
open science

Innovations contemporaines : contreperformances ou étape transitoire ?

Michèle Debonneuil, David Encaoua

► **To cite this version:**

Michèle Debonneuil, David Encaoua. Innovations contemporaines : contreperformances ou étape transitoire ?. Revue Française d'Economie, 2014, 29 (2), pp.1-31. halshs-00967255

HAL Id: halshs-00967255

<https://shs.hal.science/halshs-00967255>

Submitted on 28 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INNOVATIONS CONTEMPORAINES: CONTREPERFORMANCES OU ETAPE TRANSITOIRE ?¹

Michèle Debonneuil² et David Encaoua³

Résumé

Dans la phase des vagues d'innovations contemporaines, phase qu'on assimile à la troisième révolution industrielle ou encore à l'ère du numérique, les relations entre innovations, gains de productivité et emplois font l'objet de vives controverses, notamment aux Etats-Unis, pays phare en matière d'innovation. D'une part, la croissance des gains de productivité connaîtrait un certain ralentissement dans le secteur non manufacturier, conduisant à une croissance économique faible. D'autre part, les innovations contemporaines ne créeraient plus autant d'emplois qu'après la deuxième révolution industrielle. Plus précisément, c'est la crise de l'emploi qui est à l'origine de la crise de croissance. La crise de l'emploi se manifeste elle-même par le fait que les technologies numériques sont à l'origine d'une bipolarisation des emplois selon qu'ils requièrent des tâches routinières ou non routinières, seules les premières étant substituables par des technologies numériques. Ces observations soulèvent évidemment une importante question : les innovations contemporaines ne serviraient-elles plus à mettre en marche la dynamique de la croissance et de l'emploi ? Ou bien ne s'agit-il que d'une phase transitoire, en quête de nouvelles perspectives ? Ce travail plaide en faveur du deuxième terme de l'alternative et il poursuit pour cela un double objectif. Premièrement, il examine les différents arguments qui sous-tendent les inquiétudes et controverses sur les contreperformances des innovations contemporaines. Deuxièmement, il présente quelques interprétations et suggère les perspectives sociales ouvertes par l'évolution des technologies numériques qui constituent le cœur des innovations contemporaines.

Abstract

The waves of contemporary innovations, linked to the third industrial revolution that corresponds to the digital age, raise an important concern. The traditional relationships between innovation, productivity and employment seem to be invalidated, especially in the United States, according to two observations. On the one hand, the growth of productivity gains is experiencing a slowdown, leading to a low economic growth. On the other hand, contemporary innovations do not create as many jobs as they have done after the first two industrial revolutions. More specifically, the employment crisis explains the jobless growth, and one explanation of this employment crisis is that digital technologies lead to a polarization of jobs: the activities requiring routine tasks substitute digital technologies to employment, while the activities involving non-routine tasks continue to need more jobs than they destroy. These observations obviously raise an important question: do contemporary innovations no more serve as the main drivers of economic growth and employment? Or are they simply the sign of a transitory phase, calling for new social transformations? This article argues in favor of the second alternative. It therefore has two objectives. First, it assesses the various arguments that underlie the above underperformances. Second, it presents some interpretations and suggests the social opportunities offered by the development of digital technologies that are at the heart of contemporary innovations.

Plan de l'article

Introduction

I. Les contreperformances des innovations contemporaines.

I.1. Innovation et croissance : ralentissement des gains de productivité ?

¹ Une précédente version de cet article portait le titre : Innovation, Croissance et Emploi : Idées reçues, controverses et perspectives. Nous remercions vivement les deux rapporteurs anonymes de la Revue Française d'Economie pour leurs remarques et critiques. Elles ont grandement contribué à cette nouvelle version.

² Caisse des Dépôts et Consignations, michele.debonneuil@caissedesdepots.fr

³ Paris School of Economics, Centre d'Economie de la Sorbonne, Université de Paris I, encaoua@univ-paris1.fr

- I.2. *Innovation et emploi : le phénomène de bipolarisation*
- II. Types d'innovations et impacts sur l'emploi
 - II.1 *Innovations de rupture*
 - II.2 *Remplacement, rationalisation et autonomisation*
- III. Révolutions industrielles et nouvelle économie: perspectives ouvertes par la révolution numérique
 - III.1 *Les deux premières révolutions industrielles*
 - III.2 *Une vision techno-centrée de la troisième révolution industrielle*
- IV Vers la quatrième révolution industrielle : la production industrielle de « solutions »
- Conclusion
- Bibliographie

Introduction.

Confronté aux épreuves de la grande crise de 1929, John Maynard Keynes exprimait son optimisme quand à la sortie de crise dans un essai au titre évocateur "*Economic Possibilities for our Grandchildren*" (Keynes, 1930), dans lequel il explorait une voie intermédiaire entre la révolution et la stagnation, ce qui devait permettre aux "*petits enfants d'être plus riches que leurs grands-parents*". Mais il avertissait également dans cet essai que cette voie comportait elle-même des risques, dont celui d'un sous-emploi technologique résultant d'une accélération des innovations : la découverte de moyens d'économiser le recours au travail humain pourrait être plus rapide que la découverte de nouvelles façons d'utiliser ce travail. Cette anticipation est restée, jusqu'à un passé récent, largement ignorée des économistes, tant la croyance était forte que le progrès technique était toujours pourvoyeur de prospérité et d'emplois. Cette croyance a largement été alimentée par l'observation des conséquences des deux premières révolutions industrielles. Deux idées importantes concernant les relations entre innovation, croissance et emploi ont ainsi été forgées :

i/ Par son effet sur la productivité des facteurs et les nouveaux produits qu'elle crée, l'innovation est le moteur de la croissance économique.

ii/ Par la demande de nouveaux produits qu'elle induit et les gains de productivité qui entraînent un pouvoir d'achat accru, l'innovation est à terme globalement favorable à l'emploi pour peu que le système éducatif et le système de formation des compétences répondent de manière satisfaisante aux nouveaux besoins de l'économie.

Depuis l'article pionnier de Robert Solow (1957), de multiples travaux empiriques ont confirmé ces liens jusqu'à une période récente. La théorie de la croissance endogène a également contribué à justifier et diffuser ces idées.⁴

Cependant, dans la phase des vagues d'innovations contemporaines, phase qu'on assimile souvent à la troisième révolution industrielle ou encore à l'ère du numérique, ces *idées* font l'objet de vives controverses, notamment aux Etats-Unis, pays phare en matière d'innovation. D'une part, la croissance des gains de productivité connaîtrait un certain ralentissement depuis le milieu des années 1970, conduisant à une croissance économique faible après la longue récession de 2008. D'autre part, et c'est la contreperformance la plus préoccupante, les destructions d'emplois l'emporteraient sur les créations d'emplois au niveau global, créant de vives inquiétudes sur le rôle des innovations contemporaines.⁵

Ces inquiétudes soulèvent évidemment une question importante: les forces de l'économie de marché, dont l'innovation est certainement une composante importante, deviendraient-elles les fossoyeurs de l'emploi et de la prospérité économique⁶ ? Ou bien ne s'agit-il que d'une phase transitoire, à la

⁴ Voir Aghion *et al.* 2013, Acemoglu *et al.* 2014

⁵ Voir le compte rendu d'une table ronde sur le thème Emploi et Technologie qui s'est tenue le 12 avril 2013 à l'université de Cornell: "Employment & Sustainability: Report of the Cornell ILR School" 2013 Roundtable on Employment and Technology", www.pbs.org

⁶ Il ne s'agit nullement ici de minimiser le rôle de la crise financière de 2008 dans les mauvaises performances de l'économie américaine en termes d'emplois. Mais force est de constater que depuis la fin officielle en 2011

recherche de nouvelles perspectives permettant aux innovations contemporaines d'être porteuses d'une prospérité économique retrouvée, comme l'ont été celles des deux révolutions industrielles antérieures? La question est suffisamment importante pour soulever de vifs débats. L'enjeu n'est autre que celui de disposer, au vu d'observations détaillées, d'un diagnostic correct de la situation présente, permettant éventuellement de dégager des perspectives nouvelles, ouvertes par la révolution numérique en cours.

Avec ce questionnement en toile de fond et l'exigence méthodologique de disposer de statistiques qui ne se réduisent pas à l'observation de la conjoncture de court terme, ce travail poursuit un double objectif. D'une part, examiner les différents arguments qui sous-tendent les inquiétudes et controverses sur la remise en question des effets traditionnels des innovations contemporaines. D'autre part, présenter quelques interprétations et suggérer des voies ouvertes par l'évolution des technologies numériques qui constituent le cœur des innovations contemporaines.

Pour traiter du premier objectif, nous concentrons notre analyse sur l'examen de statistiques et travaux récents portant sur les Etats-Unis, en vue de mettre en relief les difficultés liées à la productivité et à l'emploi dans l'économie la plus avancée sur le plan technologique.⁷ Ce que mettent en évidence ces statistiques, ce sont les deux points suivants. D'une part, un ralentissement du taux de croissance de la productivité de l'économie américaine dans son ensemble, mais qui n'affecte pas le secteur de l'industrie. D'autre part, l'existence d'un décrochement récent de l'évolution de l'emploi par rapport à l'évolution de la productivité. En un mot, le ralentissement des gains de productivité s'accompagnerait d'un taux de chômage important et persistant. De plus, la durée des cycles économiques serait elle-même profondément affectée : les périodes durant lesquelles l'économie américaine reste en récession sont de plus en plus longues depuis quelques années.

La contreperformance de l'emploi a été plus précisément explicitée en montrant qu'elle n'est pas uniforme sur l'ensemble des emplois. Ceux correspondant aux deux extrêmes de la distribution des revenus (i.e. les emplois offrant les salaires les plus faibles et ceux offrant les salaires les plus élevés) sont épargnés au sens où ils sont le théâtre de créations nettes d'emplois, tandis que les emplois aux rémunérations intermédiaires connaissent des destructions nettes d'emplois. Ce constat est plutôt accablant car il revient à dire que ce seraient les classes moyennes qui, aujourd'hui, sont le plus affectées par la crise de l'emploi aux Etats-Unis. Cette crise est d'ailleurs d'autant plus douloureusement ressentie qu'elle s'accompagne d'une très forte inégalité des revenus. Au vu de ces caractéristiques, on ne peut exclure à priori le rôle des technologies numériques contemporaines dans la crise contemporaine de l'emploi et, en tout état de cause, une analyse détaillée des causes paraît des plus nécessaires.

Une première cause consiste à remarquer que la bipolarisation des destructions et créations d'emplois en termes de revenus se rapporte en fait à un autre phénomène : les destructions d'emplois seraient beaucoup plus marquées dans les activités requérant des tâches routinières, qu'elles soient de type manuel ou cognitif, alors que dans les activités non routinières, aussi bien de type manuel que cognitif, les créations d'emplois l'emporteraient sur les destructions. Notons que les tâches routinières sont définies comme étant celles qui sont le plus facilement codifiables et donc réalisables par des technologies numériques, L'impact des technologies numériques paraît de ce fait important dans la crise contemporaine de l'emploi.

Une autre cause consiste à aller au-delà de la notion générique d'innovation, dans la mesure où les effets potentiels sur l'emploi peuvent être fort différents. Parmi les différentes décompositions qui ont été proposées, l'une d'elles mérite une attention particulière. Elle consiste à distinguer trois types d'innovations, selon la logique de leur mise en œuvre : les innovations de remplacement, celles de rationalisation et enfin les innovations dites autonomisantes, définies elles-mêmes par trois propriétés :

de la récession liée à cette crise, l'emploi est loin d'avoir retrouvé les niveaux atteints avant la crise, alors que précédemment les créations d'emplois dans les phases d'expansion compensaient les destructions dans les phases de récession. Il paraît donc légitime de se poser la question du rôle éventuel de la technologie dans les contreperformances contemporaines.

⁷ Les pays européens ne sont évidemment pas à l'abri de ces difficultés. Voir : i/ European Commission, Towards Knowledge Driven Reindustrialisation, 2013; ii/ European Commission, Industrial Performance Scoreboard, 2013; iv/ Innovation Union Scoreboard, 2014. Pour une explication des différences entre les Etats-Unis et l'Union Européenne, voir Encaoua, 2009, Competitiveness Report

i/ ce sont des innovations de rupture, ii/ à l'origine d'une nouvelle demande, et iii/ initiatrices de transformations sociales dans les modes de vie. Seules les innovations autonomisantes seraient à l'origine de créations nettes d'emplois. Les transformations sociales qui portent les innovations autonomisantes deviennent ainsi des composantes essentielles du progrès technique proprement dit. Pour illustrer, si le passage du moteur à vapeur au moteur électrique, exemple type d'innovation autonomisante, a profondément marqué la seconde révolution industrielle, les technologies numériques contemporaines, tout en satisfaisant les deux premières propriétés des innovations autonomisantes, seraient encore à l'état potentiel concernant la troisième propriété, à savoir la capacité de transformer les modes de vie, révélant par là même le besoin de chercher un modèle social susceptible de résoudre la crise actuelle de l'emploi.

Ce diagnostic ouvre la voie à l'exploration des conditions qui permettraient aux innovations technologiques contemporaines de déployer leur potentiel pour une prospérité renouvelée. C'est précisément le second objectif de l'article. De nature plus prospective, il consiste à examiner quelles pourraient être ces conditions, en s'appuyant entre autres, sur une comparaison entre la révolution industrielle que nous vivons, et les deux révolutions industrielles qui l'ont précédée. Si les deux premières ont permis un décuplement des capacités physiques des travailleurs en présence de nouvelles machines et une transformation radicale des modes de vie par le passage d'une production artisanale des biens à une production industrielle et une nouvelle organisation du travail, la troisième révolution industrielle offre un décuplement des capacités mentales grâce à différentes technologies numériques, sans pour autant que les aspirations au "mieux vivre" que permettent ces technologies ne soient encore pleinement exploitées. La perspective préconisée ici est celle d'une transformation sociale consistant à passer de la situation actuelle d'une production de biens, séparée des conditions de leur usage, c'est-à-dire des services qui leur sont associés, à une production nouvelle de "*produits*", consistant en une mise à disposition sur les lieux de vie des utilisateurs de tout à la fois un bien, les équipements associés, les services qui l'accompagnent et le personnel dédié à cet accompagnement. L'organisation sociale autour de ces "*produits*", que nous proposons d'appeler des "*solutions*", permettrait la mobilisation d'un ensemble de personnes assurant tout à la fois la connexion de l'utilisateur au serveur, l'entretien du bien tout au long du cycle de vie et la satisfaction des besoins-services permettant aux utilisateurs de bénéficier du nouvel usage. La vente de biens et de services séparés céderait la place à une mise à disposition sous forme locative des conditions d'usage d'un produit intégré, évitant à l'utilisateur de devoir être propriétaire des composantes intermédiaires du produit que sont le bien et les services correspondants. Associée en amont à la conception de nouveaux biens et de nouvelles technologies requérant des emplois qualifiés, l'organisation sociale autour de ces "*solutions*" permettrait l'émergence de nouvelles formes d'emplois satisfaisant des besoins d'interaction humaine. Deux caractéristiques de ces emplois potentiels sont à souligner. D'une part, ils ne sont pas délocalisables par nature. D'autre part, faisant appel à des interactions humaines, ils requièrent des tâches non routinières car non codifiables, et de ce fait ces emplois peuvent difficilement être remplacés par des automatismes numériques.

Mais il convient de bien souligner que ce sont les possibilités techniques ouvertes par les technologies numériques qui rendent possible l'émergence et la viabilité de cette nouvelle forme d'organisation sociale. Un certain nombre de pratiques contemporaines, tournant autour des notions d'*économie partagée* ou d'*économie collaborative*⁸, ont déjà recours à de nouvelles formes de coordination. Des technologies numériques, notamment celles de l'internet des objets, permettent à présent un tel passage grâce à des capteurs embarqués sur des objets ou dans des lieux et reliés aux personnes via le réseau Internet. Les implications en matière de coordination des plateformes, des équipements et d'emplois laissent penser que cette transformation sociale, qui fait passer de la

⁸ "L'économie collaborative" est fondée sur des "logiciels libres" (ou "open source") reposant sur la collaboration, l'entraide, le partage et la mutualisation du travail des producteurs et des utilisateurs. A l'organisation traditionnelle qui fait systématiquement appel à des producteurs qui vendent des biens ou des services aux consommateurs, s'ajoute un mode de consommation à base d'échanges entre particuliers. A partir de plates-formes, ceux-ci peuvent partager des biens qu'ils ont achetés, les revendre ou les troquer, ou encore partager des ressources immatérielles (espace, temps, argent, compétences...). Dans le contexte actuel, "l'économie collaborative" révèle l'intérêt des citoyens pour reconstituer des groupes sur des aspirations communes et pour collaborer à l'activité économique sous des formes nouvelles.

propriété de biens à la location de "solutions", pourrait conduire à une amélioration radicale des conditions de vie individuelle et collective et constituer ainsi une voie fructueuse pour sortir de l'atonie de la croissance et du chômage persistant actuels.

L'article se décompose selon le plan suivant. Dans une première section sont présentées les deux principales contreperformances des innovations contemporaines, à savoir une croissance ralentie des gains de productivité et une bipolarisation des emplois selon le caractère routinier ou non routinier des tâches. Différents types d'innovations, distinguées selon leur impact sur l'emploi, sont présentés à la section II. La section III examine différents arguments à l'appui de la thèse selon laquelle les contreperformances ne seraient qu'une étape transitoire, signalant la nécessité de nouvelles modalités d'organisation sociale susceptibles de conduire à un progrès social perçu. Enfin la section IV présente des éléments de prospective économique pour évaluer les effets potentiels sur l'emploi de cette nouvelle organisation sociale. La dernière section présente les conclusions.

I. Les contreperformances des innovations contemporaines.

1.1 Innovation et croissance : ralentissement des gains de productivité ?

L'innovation est-elle le moteur de la croissance économique ? Depuis l'article fondateur de Solow (1957), la réponse par l'affirmative est largement partagée : aussi bien du fait de la croissance de la productivité du travail, de l'efficacité des nouvelles générations de capital que de celui de la création de nouveaux produits, le progrès technique dû à l'innovation conduit à déplacer la frontière de production, assurant de ce fait la possibilité de produire plus avec les mêmes moyens, afin d'assurer la poursuite de la prospérité économique. Sans ce déplacement de la frontière de production, la croissance du revenu par habitant s'arrêterait du fait des rendements décroissants des facteurs de production. Le progrès technique est ainsi à l'origine d'une croissance intensive qui fait plus que compenser les rendements décroissants de la croissance extensive. C'est le credo dominant de nos jours : favoriser l'innovation devient un objectif de plus en plus important des pouvoirs publics, tant la croyance en les effets positifs du progrès technique induit par l'innovation semble bien ancrée.

Mais cette conviction commence aujourd'hui à recevoir de sérieux coups de boutoir. D'abord, il faut rappeler que la croissance est un phénomène récent qui date de moins de trois siècles. Ensuite, les statistiques américaines sur la productivité et surtout sur l'emploi ne sont guère encourageantes.

A/ Croissance de long terme : un phénomène historiquement daté

Commençons d'abord par rappeler que la croissance économique n'a pas toujours été au rendez vous de l'histoire. Alors que des découvertes et des inventions notoires ont jalonné les siècles, nous savons aujourd'hui que la croissance du revenu par habitant a été faible, voire inexistante, jusqu'au milieu du 18^{ème} siècle (Bradford Delong, 2000). Une des explications avancées de cette longue stagnation est qu'à partir de la fin de la première révolution industrielle, de nouvelles relations entre la science et la technologie ont prévalu. On serait passé d'une logique "*prescriptive*" de la connaissance, consistant à chercher des réponses à des questions de type "comment ça marche", à une logique "*propositionnelle*" permettant de répondre à des questions de type "pourquoi ça marche", grâce à une interaction beaucoup plus forte entre la science et la technologie (Mokyr, 2000). C'est ce passage, très fructueux, qui aurait permis un élargissement des champs d'application de chaque découverte. Mais ce passage a été lent et a nécessité des transformations sociales profondes, aussi bien au niveau des méthodes de recherche et de diffusion des savoirs, qu'à celui des modes de vie et d'organisation du travail (Encaoua, 2012).

Les première et deuxième révolutions industrielles ont ainsi permis de mettre fin à la stagnation séculaire du revenu national par habitant. Mesuré en termes de moyenne annuelle du revenu national

par habitant et par siècle, le niveau de vie ne croît en Europe que depuis le milieu du 18^{ème}, et aux Etats-Unis un peu plus tard (figure 1). Cette croissance est même devenue substantielle au 20^{ème} siècle, au point de permettre un doublement du niveau de vie tous les 30 ans. Il en a été de même de la croissance de la productivité du travail, mesurée par la valeur réelle de la production par heure travaillée. La croissance de la productivité du travail a tiré la croissance du niveau de vie.

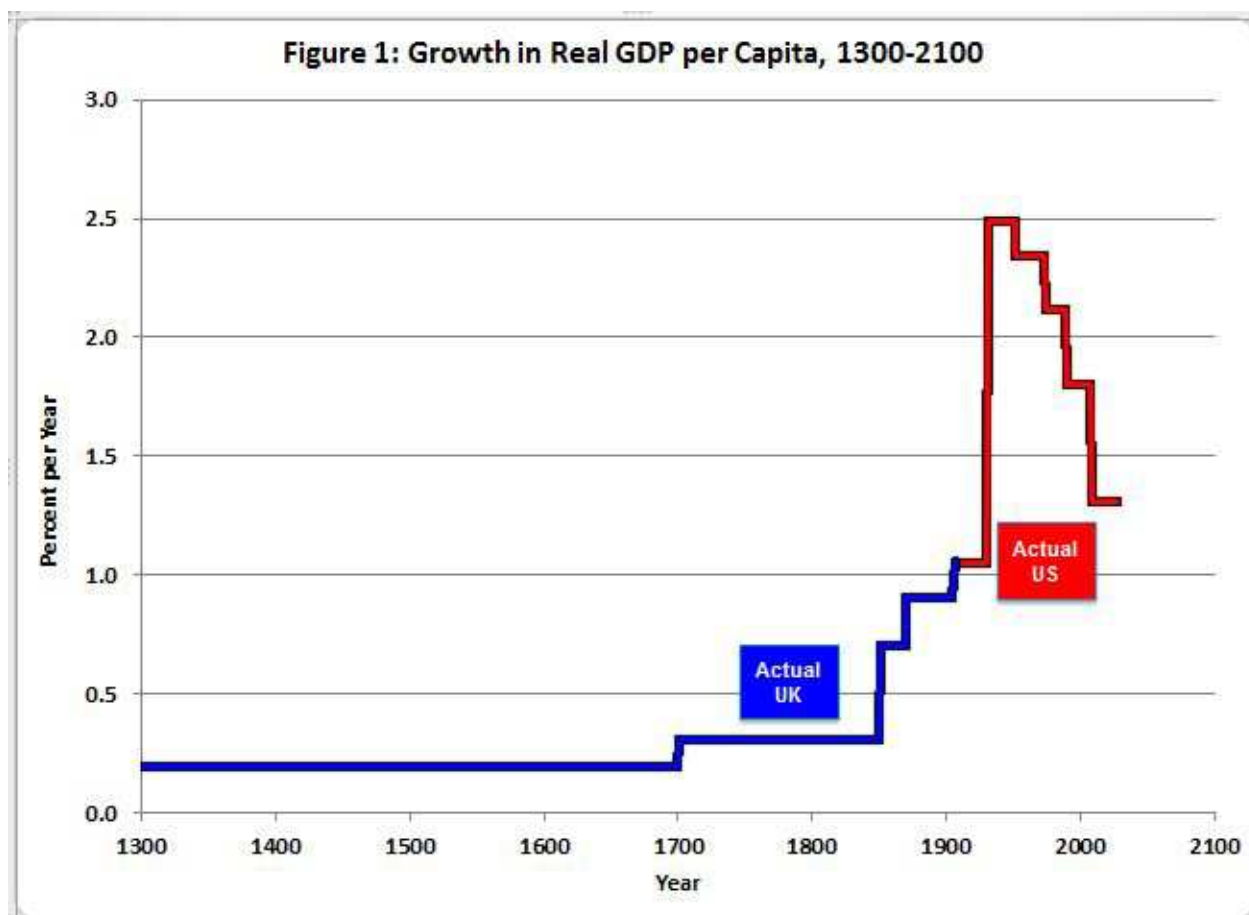


Figure 1 : Taux de croissance annuel du niveau de vie (PNB réel par habitant) par siècle, au Royaume Uni, puis aux Etats-Unis, sur longue période (Sources, Gordon, 2012, Bradford Delong, 2000)

Aujourd'hui, des inquiétudes sur la poursuite de ces performances voient le jour. Le ralentissement récent des gains de productivité et surtout la persistance d'un taux de chômage important aux Etats-Unis ont donné lieu à différents travaux (Gordon, 2012 et 2013, Baily *et al.* 2013, Brynjolfsson et McAfee, 2011, 2014, Acemoglu et Autor, 2011) qui ont le mérite d'ouvrir un débat important sur lequel nous nous penchons.

B/ Gains de productivité : croissance ralentie ?

Selon Gordon (2012), l'évolution du taux de croissance annuel moyen de la productivité du travail (production réelle par nombre d'heures travaillées) aurait marqué un net ralentissement dans l'économie américaine dans son ensemble depuis le milieu des années 1970 : atteignant en moyenne près de 3% par an, sur une période de 24 ans, depuis les années d'après guerre jusqu'à celle qui a marqué le premier choc pétrolier (1948-1972), le taux annuel moyen a baissé ensuite de moitié (1.57 %) depuis cette date, sur la période suivante de 40 ans (1973-2013). Si on étend davantage la durée de la première période, depuis la fin du 19^{ème}, la baisse est tout autant accentuée. Le taux de croissance

annuel moyen de la productivité du travail est passé de 2.33% durant la période de 80 ans qui s'étend de 1891 à 1972 à 1.57 % durant la période suivante de 40 ans de 1973 à 2013.⁹

Il est important toutefois de noter que cette baisse de la productivité du travail dans l'économie américaine n'a pas été présente dans le secteur manufacturier (Baily *et al.* 2013, Gordon, 2013). Le faible poids du secteur manufacturier dans l'économie américaine¹⁰ n'a pas permis cependant de compenser la baisse dans les secteurs non manufacturiers, conduisant ces auteurs à un constat commun : "*Manufacturing is performing a magnificent ballet on a shrinking stage*".

De plus, le constat global d'une baisse de la productivité du travail aux Etats-Unis à partir de 1973 peut être fortement nuancé, notamment si on découpe la période qui suit en plusieurs sous périodes, conduisant aux résultats du tableau 1.

| Périodes | Secteur manufacturier | Secteur non manufacturier | Total économie |
|-------------|-----------------------|---------------------------|----------------|
| [1948-1972] | 2.46% | 2.95% | 2.62% |
| [1973-1995] | 2.69% | 1.29% | 1.32% |
| [1996-2003] | 4.6% | 2.3% | 2.48% |
| [2004-2011] | 2.52% | 1.27% | 1.35% |

Tableau 1 : Taux de croissance annuel moyen de la productivité du travail aux Etats-Unis. Source : Gordon, 2013

On observe bien, et ceci est très important, que la croissance de la productivité du travail dans le secteur manufacturier américain est restée relativement stable autour de 2.5% par an en moyenne durant toute la période s'étendant de 1948 à 2011, avec même une pointe particulière à 4.6% /an durant la sous période 1996-2004, correspondant à l'introduction d'Internet et des TIC. Après cette remontée de courte période, la productivité dans le secteur manufacturier a retrouvé son rythme de croissance antérieure. L'inquiétude sur la baisse de productivité dans le *secteur manufacturier* américain doit donc être levée.

Mais comme la part du secteur manufacturier dans l'économie américaine est assez faible (de l'ordre de 10%) l'inquiétude subsiste dans le secteur non manufacturier où la baisse de la productivité du travail se confirme à partir de 1973. A nouveau la période 1996-2003 fait exception, du fait des effets d'Internet. Des chiffres récents confirment par ailleurs cette baisse. Le taux de croissance moyen de la productivité du travail dans l'économie sur les 12 derniers trimestres, jusqu'à la fin 2012, n'a été que de 0.3% par an de 2009 à 2012. Il est difficile de savoir à ce stade si cette contreperformance traduit un phénomène lié à l'évolution des innovations ou si elle reflète simplement l'intensité de la crise de 2008 dont les effets ne sont pas encore dissipés.

Toutefois, un autre phénomène important et relativement récent concerne le secteur manufacturier américain : un découplage entre la croissance de la productivité horaire du travail et le salaire horaire médian. Alors que la productivité horaire du travail dans le secteur industriel poursuit son trend croissant, le salaire horaire médian, qui a suivi une évolution très proche jusqu'au milieu des années 1970, décroche à partir de cette date (Acemoglu *et al.* 2014, Fleck *et al.* 2011). Ce phénomène est corroboré par la baisse de la part des revenus du travail dans le revenu national au cours des trois dernières décennies. Nous y reviendrons en traitant de l'impact de l'innovation sur l'emploi.

⁹ La baisse durant la seconde période n'a pas été uniforme au cours du temps, comme cela est illustré dans la suite.

¹⁰ La part de l'industrie a beaucoup baissé en termes de GNP nominal (de 30% dans les années 1950 à 10% actuellement) et l'indice des prix industriels a lui-même beaucoup baissé.

La question s'est également posée de savoir si l'évolution de la productivité globale des facteurs (PGF)¹¹ suit la même tendance que la productivité du travail dans l'économie américaine dans son ensemble. Avant 1973, le taux de croissance moyen de la PGF a été de 2.48 % par an si on mesure cette productivité à partir de 1891 et de 2.26 % par an si on la mesure à partir de 1922. Après 1973, le taux de croissance moyen de la PGF n'a plus été que de 1.17 % par an, soit la moitié. La productivité a donc bien connu un ralentissement de croissance à partir de 1973, qu'elle soit mesurée par rapport au seul travail ou par rapport à l'ensemble des facteurs. En distinguant à nouveau quatre sous périodes, Gordon (2013) parvient aux résultats du tableau 2.¹²

| | 1891-1972 | 1973-1995 | 1996-2004 | 2005-2011 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PT | 2.48 | 1.32 | 2.48 | 1.35 |
| PGF | 1.94 | 1.04 | 1.91 | 0.83 |
| PT-PGF | 0.54 | 0.28 | 0.57 | 0.52 |

Tableau 2 : Evolution de la productivité du travail (PT) et de la productivité globale des facteurs (PGF) sur l'ensemble de l'économie américaine. Source : Gordon, 2013

On observe ainsi que les *variations de la productivité globale des facteurs épousent celles de la productivité du travail*. Les innovations postérieures à 1973 ont apparemment eu des effets distincts de ceux réalisés par les innovations antérieures à cette date. Du point de vue des *niveaux*, on note qu'après la remontée de courte durée liée aux effets d'Internet, le niveau du taux de croissance de la PGF (0.83 % par an) a été plus bas encore que celui de la période avant Internet (1.04 % par an). Du point de vue des *durées*, on observe également que le taux de croissance annuel moyen de la PGF de l'économie américaine est resté substantiel (de l'ordre de 2.5% par an) sur une longue période de 81 ans avant de décroître à 1.32% pendant 24 ans, de remonter à 2.48%/an pendant une courte période de 8 ans, et de rebaisser à nouveau à 1.35% / an durant la période la plus récente. Deux phénomènes se conjuguent apparemment dans l'économie américaine dans son ensemble: i/ une baisse de productivité et ii/ une réduction de la durée pendant laquelle les effets positifs de l'innovation s'exercent : les effets positifs de l'innovation sur la PGF se sont exercés sur de plus courtes périodes avant 1973 qu'après cette date.

Enfin les effets de la croissance de la productivité se transposent aisément à l'évolution du *niveau de vie*, mesuré de manière très fruste par le ratio du Produit National Brut (GNP en valeur réelle) sur le nombre d'habitants.¹³ Le tableau 3 livre ainsi diverses informations. Durant la longue période 1891-1972, le niveau de vie a crû légèrement en dessous de la productivité du travail, l'écart de - 0.29% étant dû au fait que le nombre d'heures travaillées a décru progressivement de 60h à 40h par semaine durant cette période. Dans la période 1972-1996, le niveau de vie a cru à un taux légèrement supérieur à celui de la productivité du travail du fait de l'entrée des femmes sur le marché du travail. Mais après 1996, du fait du chômage, le nombre d'heures travaillées par habitant a décru fortement, d'abord de

¹¹ La productivité globale des facteurs (PGF) mesure la part de la croissance du PNB inexpliquée par l'accroissement des facteurs capital et travail, c'est-à-dire avant incorporation des gains liés respectivement au remplacement des anciennes générations de capital par les nouvelles générations de capital et les compétences améliorées des nouvelles générations de travailleurs. Voir Annexe.

¹² L'allongement de la 1^{ère} période qui débute dans le tableau 2 en 1891 cherche à montrer que les effets positifs de la deuxième révolution industrielle ont duré beaucoup plus longtemps que ceux de la période (1996-2004) qui a suivi le développement d'Internet

¹³ Le niveau de vie se décompose en $Y/N=Y/H \times H/L \times L/N$. Le 1^{er} terme du second membre mesure la productivité du travail, le 2nd terme le nombre d'heures travaillées par employé, et le 3^{ème} terme le taux d'emploi dans la population. Le niveau de vie peut avoir un taux de croissance plus élevé ou moins élevé que celui de la productivité du travail selon que le nombre moyen d'heures travaillées par habitant s'accroît ou diminue. Par exemple, le nombre d'heures travaillées par habitant s'est accru lors de l'entrée des femmes sur le marché du travail américain entre 1965 et 1990.

0.55% par an durant la période 1996-2004, puis de 0.99% de 2004 à 2011, ce qui a entraîné une croissance du niveau de vie bien plus faible que celle de la productivité du travail.¹⁴

| | 1891-1972 | 1972-1996 | 1996-2004 | 2004-2011 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Niveau de vie : Production par habitant | 2.2% | 1.57% | 1.93% | 0.23% |
| Productivité travail : Production par heure travaillée | 2.48% | 1.32% | 2.48% | 1.35% |
| Heures travaillées par habitant | -0.29% | 0.25% | -0.55% | -0.99% |

Tableau 3 : Taux de croissance annuel moyen du niveau de vie, de la productivité du travail et du nombre d'heures travaillées par habitant aux Etats-Unis. Source : Gordon, 2013

I.2 Innovation et emploi : le phénomène de bipolarisation des emplois

La contreperformance la plus notable concerne les effets de l'innovation sur l'emploi. Commençons par rappeler que le lien entre innovation et emploi est complexe.¹⁵

Premièrement, au niveau global, la relation n'est ni nécessairement monotone ni robuste au plan du découpage temporel. La raison en est que le niveau de l'emploi global dépend de multiples facteurs, notamment subjectifs (décision d'entrée ou/et de sortie du marché du travail, etc.), démographiques (importance des cohortes d'entrée dans la vie active), structurels (durée des études, choix professionnels, etc.). Ces facteurs varient au cours du temps indépendamment de l'innovation.

Deux effets contraires de l'innovation sur l'emploi sont possibles a priori. D'une part, un *effet de substitution* du travail au capital : une productivité accrue du travail due à l'introduction d'une technologie plus efficace conduit à une réduction du volume d'emploi nécessaire. D'autre part, un *effet revenu* : une productivité accrue du travail conduit à une augmentation des rémunérations, donc du pouvoir d'achat, ce qui entraîne in fine un accroissement de la demande globale et donc de l'offre d'emplois. Dans les périodes où l'effet revenu l'emporte sur l'effet de substitution, la relation entre productivité et emploi est croissante. Au contraire, lorsque l'effet de substitution est plus élevé que l'effet revenu, une relation décroissante prévaut. Cela revient à dire qu'une des raisons de la complexité de la relation entre productivité et emploi réside dans la nécessaire distinction entre les effets de court terme et ceux de long terme. Même si l'effet de court terme d'une productivité accrue est négatif, la relation peut s'inverser à long terme. Par exemple, à la fin des années 1970 et au début des années 1980, la croissance de la productivité du travail a ralenti alors même que les Etats Unis connaissaient un taux d'emploi des plus élevés.

Deuxièmement, il convient également de distinguer les *effets directs* et *indirects*. L'augmentation du pouvoir d'achat qui résulte d'un accroissement de productivité dans un secteur peut en effet se reporter

¹⁴ La baisse du nombre d'heures travaillées par habitant traduit un double phénomène : i/ une baisse de la proportion du nombre de travailleurs disposant d'un emploi effectif par rapport à ceux en âge de travailler (25-54 ans). De 1960 à 2012, cette proportion, mesurant le taux de participation à la force de travail, a baissé de 96.9% à 88.5% ; ii/ une hausse du taux de chômage (ce qui équivaut à une baisse du taux d'emploi), liée entre autres aux cycles conjoncturels.

¹⁵ Pour un tour d'horizon de la littérature empirique sur la relation entre productivité et emploi, voir Frey et Osborne (2013)

sur un accroissement de la demande dans d'autres secteurs et exercer ainsi un effet positif sur l'emploi. De plus, si le salaire réel rapporté à la productivité du travail baisse à la suite des gains de productivité, la part des salaires dans la valeur ajoutée diminue ce qui implique un accroissement de la part du capital qui, à son tour, devrait stimuler l'investissement et in fine l'emploi.

L'effet total est généralement positif. En effet, on s'attend à ce qu'au moins à moyen et long terme, la relation entre productivité et emploi soit croissante, même si les ajustements se font avec un décalage temporel plus ou moins grand.

Au total, retenons que les transformations de la relation entre innovation et emploi se manifestent au travers de deux canaux : celui de la productivité et celui de l'effet des technologies sur la composition des emplois.

A/ Productivité et emploi : un décrochage récent.

Un lien positif entre innovation et emploi, via l'évolution de la productivité, a longtemps prévalu dans l'économie américaine. Si l'on se reporte aux statistiques du paragraphe précédent sur l'évolution de la productivité du travail aux Etats-Unis, le chômage élevé de la période la plus récente s'expliquerait alors par le ralentissement de la croissance de la productivité du travail, ce que résume bien Phelps (2013) dans son dernier ouvrage : *"Throughout the West, heightened joblessness was as emblematic of the era as slower growth of productivity"*.

Mais le lien empirique entre l'évolution temporelle de la productivité et celle de l'emploi semble être aujourd'hui de nature différente et c'est là le point le plus inquiétant : le chômage peut croître alors même que des gains de productivité sont présents ! Certains y voient là un phénomène marquant de notre époque, lié à la nature des innovations contemporaines. Dans un ouvrage récent, Brynjolfsson et McAfee (2011), partisans enthousiastes de l'innovation, développent ainsi une forte inquiétude : les innovations contemporaines, celles de la génération Internet, que l'on regroupe sous le terme de technologies numériques, seraient à la fois porteuses de gains de productivité et de destructions d'emplois ! Bien entendu, ce n'est pas la première fois que les dangers du progrès technique sur l'emploi sont brandis. Différents auteurs, dont Alfred Sauvy en France, Jeremy Rifkin aux Etats-Unis, sans omettre John Maynard Keynes dont on rappelait l'inquiétude dans l'introduction, n'avaient pas manqué de le faire auparavant et l'histoire regorge d'épisodes où différentes catégories sociales ont vu leur situation basculer après l'introduction d'une nouvelle technologie rendant obsolète leur activité. Mais certaines caractéristiques du progrès technique contemporain méritent qu'on approfondisse l'argument. Si Brynjolfsson et McAfee n'ont pas d'inquiétude sur le taux de croissance futur des gains de productivité de l'économie américaine, ils n'en expriment pas moins la crainte que cette croissance ne puisse induire un nombre suffisant d'emplois pour vaincre le chômage persistant aux Etats-Unis. Leur argumentation s'appuie entre autres sur l'observation d'un décrochage récent et manifeste, entre l'évolution de l'emploi et l'évolution de la productivité du travail (reproduit ici à la figure 2). Jusqu'à une date récente mais que Brynjolfsson et McAfee ne précisent pas exactement, le volume d'emploi et la productivité du travail ont connu des évolutions parallèles et très proches l'une de l'autre aux Etats-Unis, traduisant une chaîne vertueuse que l'on pensait immuable. Mais, à partir des années 2000, il n'en était plus ainsi. Pourquoi donc l'évolution de l'emploi a-t-elle décroché de celle de la productivité ? Même si la productivité continue de croître, à un taux certes plus faible qu'auparavant, l'emploi global stagne ou même fléchit.¹⁶ L'écart se creuse en 2011, année officielle de renversement de la récession qui a commencé en 2008, au point que des destructions d'emploi l'emportent sur les créations alors même que l'économie américaine a renoué avec la croissance. Certes, on peut penser que cela est le résultat de la très grave crise financière de 2008. Mais

¹⁶ Le même phénomène apparaît dans l'Union Européenne. En 2011, la productivité du travail a cru de 1,4 % par rapport au pic observé en 2008, mais le nombre d'emplois dans l'industrie et les services connexes est inférieur de 11 % au niveau enregistré à cette date (*Innovation Union Scoreboard*, 2014)

l'importance du phénomène des destructions nettes d'emplois¹⁷ nous invite à aller plus loin. En effet, entre mai 2007 et octobre 2009, le taux de chômage aux Etats-Unis s'est accru de 5.7 points de pourcentage, ce qui constitue l'écart de pourcentage le plus élevé de l'après guerre. De plus, alors qu'en 2010, l'investissement en équipements et en logiciels reprenait vie pour atteindre 95% de son niveau d'avant la crise, les créations d'emplois nouveaux ont été pratiquement inexistantes ; seules les destructions d'emplois ont connu un léger fléchissement. Enfin, depuis 2011, la récession a officiellement cessé et malgré cela, le taux de chômage aux Etats Unis persiste au niveau élevé de 6.6% malgré la désaffectation d'un grand nombre de travailleurs découragés qui renoncent à se présenter sur le marché du travail en tant que demandeurs d'emplois. Tout cela revient à dire que les entreprises ont accru ces dernières années leur stock de capital mais pas leur stock de main d'œuvre, alimentant ainsi la hantise d'un *progrès technique destructeur d'emplois*.

Comprendre l'origine du découplage entre productivité et emploi est un enjeu majeur. Les explications sont loin d'être unanimes. Par exemple, Miller et Atkinson (2013) soulignent le fait qu'il existe toujours un délai de réaction de l'emploi aux gains de productivité. Les années où la productivité est la plus élevée précèdent en général celles où le taux d'emploi est le plus élevé. En examinant les variations de la productivité et celles de l'emploi aux Etats-Unis sur la période 1929-2009, un rapport du McKinsey Global Institute (2011) montre ainsi que l'accroissement de productivité est corrélé avec l'accroissement subséquent de l'emploi. Toutefois, après avoir découpé la période 1930-2010 en sous périodes de 10 ans chacune, Miller et Atkinson constatent que c'est seulement à la dernière période qu'est observée la simultanéité d'une productivité croissante et d'un emploi décroissant. Est-ce alors le caractère exceptionnel de la crise de 2008 qui explique cette association atypique ? Là encore des doutes sont permis car d'autres travaux ont mis en évidence une autre caractéristique des emplois durant les trois dernières décennies.

B/ Bipolarisation des emplois selon la nature des tâches

Au-delà du fait que les destructions d'emplois dans les phases de récession de l'économie américaine n'ont pas été globalement compensées par des créations d'emplois dans les phases d'expansion (Jaimovich et Siu, 2012), différents travaux dont ceux de Acemoglu (1999), Autor, Levy et Murnane (2003), Autor et Acemoglu (2011), Jaimovich et Siu (2012), Frey et Osborne (2013), ont mis en évidence une autre caractéristique du marché du travail contemporain aux Etats-Unis. Ils ont d'abord observé que deux catégories précises d'emplois ont vu leurs parts dans l'emploi global s'accroître au cours des trois dernières décennies. Ces deux catégories sont respectivement les emplois requérant des travaux non qualifiés aux salaires faibles, et les emplois requérant des travaux qualifiés aux salaires élevés. Ce phénomène de *bipolarisation des emplois* aux deux extrêmes de la distribution selon la qualification, confirme le caractère biaisé du progrès technique contemporain en faveur du travail qualifié. Cette bipolarisation se retrouve également lorsque l'observation se focalise uniquement sur la distribution des salaires. En classant les emplois par rémunération croissante, différents travaux recensés dans Autor et Acemoglu (2011) sont parvenus à la conclusion que, durant trois sous périodes s'étalant de 1979 à 2009, la distribution des variations d'emploi selon les revenus du travail a une forme en U de plus en plus accentuée au cours du temps : les effectifs des travailleurs recevant des rémunérations extrêmes (i.e. les moins payés et les mieux payés) se sont accrues au cours des trois dernières décennies, alors que ceux des rémunérations intermédiaires ont décliné. Autrement dit, il y aurait eu création nette d'emplois aux salaires extrêmes et destruction nette d'emplois aux salaires intermédiaires.¹⁸ Outre le signal sur l'inégalité des revenus qu'il suggère¹⁹, ce résultat constitue une

¹⁷ Jaimovich et Siu (2012) illustre le phénomène des destructions nettes d'emplois en comparant les créations d'emploi durant les phases d'expansion aux destructions d'emploi durant les phases de récession au cours des trois derniers cycles qu'a connu l'économie américaine.

¹⁸ De plus, ce phénomène de polarisation des emplois selon le salaire ne serait pas spécifique aux Etats-Unis. D'après Goos *et al.* (2009) il serait également observable sur d'autres continents, notamment en Europe.

source d'inquiétude importante : ce seraient les travailleurs américains de la *classe moyenne*, c'est-à-dire ceux dont les revenus du travail ne sont ni trop bas ni trop élevés, qui auraient subi le plus des pertes d'emplois durant les 30 dernières années.

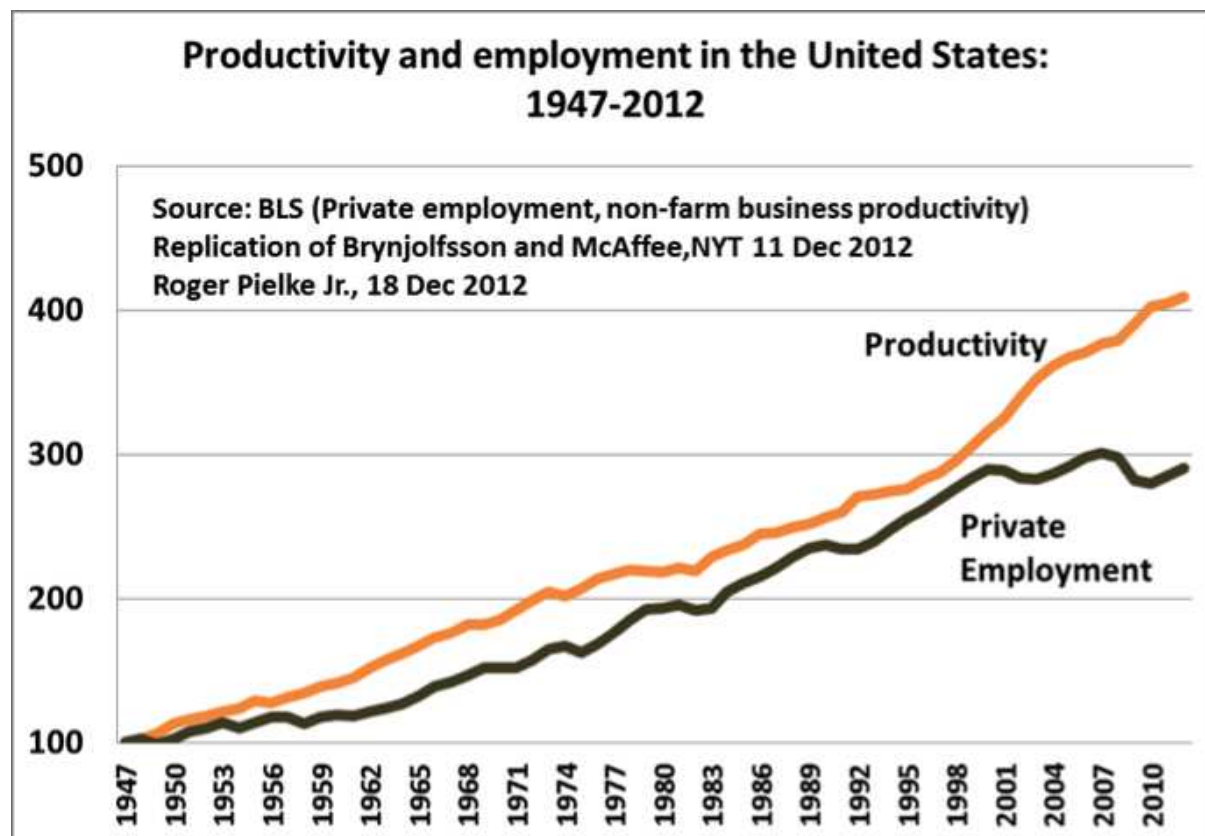


Figure 2 : Le découplage entre l'emploi et la productivité aux Etats-Unis à partir des années 2000. (Source : Brynjolfsson & McAfee, 2011)

Les travaux mentionnés plus haut, notamment Acemoglu et Autor (2011), vont encore plus loin en montrant que ce phénomène de bipolarisation des emplois selon les salaires est en fait une conséquence des nouvelles technologies. Le phénomène caractérise en fait une bipolarisation des tâches selon qu'elles sont *routinières*²⁰ ou *non routinières*. Les emplois où la substitution du travail humain par des automatismes numériques (ou/et par de la sous-traitance dans des pays à bas salaires) a été la plus élevée sont des emplois requérant des tâches *routinières* (c'est-à-dire numériquement codifiables et donc passibles d'être réalisées par des automatismes), qu'il s'agisse de travaux *manuels* (ex : cols bleus) ou de travaux *cognitifs* requérant des capacités humaines d'adaptation (ex : employés

¹⁹ Acemoglu et Autor (2011) présentent l'évolution des salaires (horaires et par semaine) de 1964 à 2008 dans différents centiles de la distribution des salaires. Il apparaît que les salaires du 90^{ème} centile ont connu une croissance explosive alors que ceux du 10^{ème} centile sont restés relativement stables au cours de la période.

²⁰ L'excellent chapitre d'Acemoglu et Autor (ch.12) dans le Handbook of Labor Economics (2011), qu'on recommande vivement au lecteur, définit ainsi les tâches routinières: "By routine, we do not mean mundane (e.g., washing dishes) but rather sufficiently well understood that the task can be fully specified as a series of instructions to be executed by a machine (e.g., adding a column of numbers)"..." Routine tasks are characteristic of many middle skilled cognitive and manual jobs, such as bookkeeping, clerical work, repetitive production, and monitoring jobs".

de banque). Ces types de travaux sont tous deux rémunérés par des salaires moyens. Cette substitution a été non seulement possible grâce aux progrès de l'intelligence artificielle, mais elle a également été justifiée du strict point de vue économique, du fait du faible coût d'utilisation des automatismes numériques (ou/et des salaires bas dans certains pays émergents) par rapport au coût du travail dans le pays d'origine. Le coût d'un recours à des technologies numériques est de plus en plus faible du fait des progrès incorporés dans ces technologies. Symétriquement, les emplois où la substitution capital - travail a été relativement absente sont ceux qui exigent des tâches *non-routinières*, c'est-à-dire non facilement codifiables pour pouvoir être réalisées par des automatismes, qu'il s'agisse de tâches *manuelles faiblement rémunérées* (ex : personnel infirmier) ou de tâches *cognitives fortement rémunérées* (ex : ingénieurs, programmeurs).

Même si le processus d'automatisation (ou/et de sous traitance à l'étranger) des tâches routinières accroît la demande de travail pour réaliser des tâches complémentaires non routinières, les créations d'emplois que cette demande de travail accrue a suscité n'ont pas suffi à compenser les destructions d'emplois dues à l'automatisation des tâches routinières.

Au total, selon cette analyse, les technologies numériques contemporaines exerceraient bien un effet négatif sur l'emploi global et cet effet serait d'autant plus important que l'ensemble des tâches pouvant être codifiées s'élargit. C'est une remarque importante qui nous servira dans la partie prospective consacrée à la recherche de solutions pour réconcilier progrès technique et emploi.

Mais avant cela, commençons d'abord par faire le parallèle avec l'argument avancé par Robert Gordon (2012), selon qui, les innovations de la révolution industrielle contemporaine auraient un effet à la fois moindre et moins durable que les innovations de la deuxième révolution industrielle. Une hypothèse hâtive mais non dénuée de tout fondement, reviendrait à dire que les innovations de la deuxième révolution industrielle satisfaisaient simultanément deux propriétés:

1/ Elles ont conduit à un accroissement de l'emploi global grâce au développement de technologies permettant au travail humain d'être plus productif, plus précisément en substituant à du travail qualifié (celui réalisé par des artisans) du travail moins qualifié (celui plus routinier réalisé par des ouvriers sur une chaîne composée de machines).

2/ Les innovations de la deuxième révolution industrielle ont considérablement amélioré les conditions de vie du plus grand nombre de citoyens dans les pays où ces innovations ont été réalisées. Notamment, un grand nombre de ces innovations ont introduit des conditions de confort domestique qui ont beaucoup amélioré les conditions d'existence.

Par contraste, les innovations de l'ère numérique contemporaine seraient caractérisées par deux propriétés différentes:

1'/ Tout en permettant des gains de productivité, elles substituent à du travail humain des automatismes requérant beaucoup plus de travail qualifié. En ce sens, elles introduisent un biais en faveur du travail qualifié alors que les innovations de la 2^{ème} révolution industrielle introduisaient un biais en faveur du travail non qualifié (en remplaçant du travail artisanal qualifié par du travail posté en usine).

2'/ Comme le travail non qualifié reste la ressource humaine la plus abondante dans l'économie, les innovations de la révolution industrielle en cours ne satisfont pas le plus grand nombre de citoyens. En substituant des automatismes numériques au travail physique, les innovations numériques contemporaines restent assez éloignées des préoccupations, notamment du fait des menaces sur l'emploi. De plus, elles ne sont pas perçues comme apportant une réelle amélioration du *mieux vivre*, tant sur le plan individuel que collectif.

Dans une perspective centrée sur l'emploi et qui cherche à trouver des solutions compatibles avec les propriétés 1' et 2' des innovations contemporaines, des transformations sociales donnant naissance à des emplois non substituables par des mécanismes numériques sont nécessaires. C'est la piste de réflexion que nous avançons ici sous forme de prospective : plutôt que de se battre *contre* les machines, cherchons plutôt à nous battre *avec* elles. Si les technologies numériques sont allées en un certain sens assez loin dans la substitution capital-travail et ont introduit dans les pays développés un

biais significatif en défaveur du travail non qualifié et plus précisément du travail requérant des tâches routinières,²¹ c'est parce qu'elles ne satisfont pas encore les besoins du plus grand nombre de citoyens, au sens où un "mieux vivre" individuel et collectif n'a pas encore accompagné ces innovations. Une nouvelle organisation sociale, dont nous traçons les contours plus loin, pourrait y parvenir.²² La question se pose donc: que faire pour que les innovations contemporaines enchantent le monde à nouveau ? Deux pistes de réflexions sont possibles. La première consiste à analyser la direction des innovations contemporaines, notamment en termes de leur impact sur l'emploi, par comparaison avec les innovations des révolutions industrielles précédentes. La deuxième consiste à tenter de répondre directement à la question de savoir quel type d'organisation sociale permettrait de se battre avec la machine et non pas contre la machine. Commençons donc par explorer la première piste.

II Types d'innovations et impacts sur l'emploi.

Selon le Manuel d'Oslo (1^{ère} édition, 1992, 3^{ème} édition 2005), une innovation consiste en la mise en œuvre d'un produit ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle, que ce soit au niveau interne de l'entreprise ou dans ses relations externes. Cette définition met l'accent sur deux caractéristiques générales de l'innovation : la *nouveauté* et le *support* de la nouveauté. Commode sur le plan statistique, cette définition a donné lieu aux classifications usuelles : innovation de produit, de procédé, etc. Elle souffre néanmoins de deux critiques importantes. Premièrement, elle conduit à un emploi invasif du terme innovation, au point de le transformer en un cliché. Toute nouveauté est-elle innovation ?²³ Quelle entreprise ou quel gouvernement ne parie pas aujourd'hui sur l'innovation, au point que le terme d'innovation devient lui-même incantatoire ? De manière générale, il est clair que l'ubiquité d'un terme n'est jamais fructueuse pour en dégager l'intérêt. Deuxièmement, cette définition laisse entièrement de côté des questions importantes permettant de caractériser le rôle et la place d'une innovation dans sa chaîne de valeur : i/ Est-elle initiatrice d'une nouvelle chaîne de valeur? ii/ Est-elle à l'origine d'une demande nouvelle ? iii/ Dans quelle mesure est-elle du ressort d'intervention des pouvoirs publics ? iv/ Quelles dimensions sociales ou/et sociétales sous-tendent le succès d'une innovation ?

Différents travaux, essentiellement de nature managériale, proposent des typologies d'innovations permettant d'apporter, ne serait-ce que partiellement, quelques réponses à ces questions.

II.1 La notion d'innovation de rupture par opposition à l'innovation incrémentale

Une première notion, celle d'*innovation de rupture*, développée surtout dans la littérature managériale, cherche à élucider les raisons pour lesquelles certaines grandes entreprises ne parviennent pas à maintenir leur leadership au cours du temps. La réponse que donnent certains experts en management de l'innovation (Bower et Christensen, 1995, Christensen, 2012, Tellis, 2006) est que ces entreprises sont captives des préférences des agents qui constituent le cœur de leur clientèle. Elles cherchent à renforcer ce qu'elles considèrent comme étant leur avantage auprès de leur clientèle la plus fidèle, au détriment de technologies émergentes qui ne concernent au départ qu'une

²¹ Comme le fait remarquer Acemoglu (2002, p. 7), l'idée que le progrès technique a toujours favorisé le travail qualifié est propre à la période contemporaine. Durant le 19^{ème} et une partie du 20^{ème} siècle, le progrès technique a plutôt favorisé le travail non qualifié. Ce n'est donc qu'après le milieu du 20^{ème} qu'un biais technique en faveur du travail qualifié serait apparu. Il y aurait donc une discontinuité historique concernant l'impact du progrès technique sur la demande de travail qualifié. Voir Frey et Osborne, 2013.

²² Nous rejoignons ici la thèse centrale développée par Edmund Phelps qui contraste les innovations contemporaines avec celles apparues aux 19^{ème} et 20^{ème} siècles qui auraient eu la vertu "*d'enchanter le monde*" comme le suggère le titre de son ouvrage, "*Mass Flourishing*" (2013).

²³ La réponse est clairement non. C'est ainsi par exemple que le droit des brevets introduit explicitement deux critères pour qu'une invention soit brevetable : celui de la *nouveauté* évaluée par rapport à l'état de l'art et celui de *l'inventivité* nécessaire pour exclure les inventions triviales au vu de l'état de l'art.

faible partie du marché. Ainsi, certaines entreprises leaders sont captives des besoins perçus de leurs clients sans percevoir les dangers que recèlent les technologies émergentes!²⁴ Par exemple, les producteurs d'ordinateurs centraux à grande puissance n'ont pas perçu que l'ordinateur personnel, puis le portable et la tablette allaient progressivement détrôner l'ancienne technologie. On définit ainsi les *technologies de rupture* par deux caractéristiques : i/ ce sont des technologies qui possèdent au départ des performances inférieures à celles des technologies existantes, car elles ne satisfont pas dans un premier temps les exigences de la majorité des utilisateurs des technologies en place ; ii/ l'évolution graduelle des performances des nouvelles technologies ou/et l'abaissement du coût de production qu'elles permettent atteignent des niveaux tels que leur marché s'agrandit, au point qu'elles finissent par supplanter aux yeux du grand public les technologies existantes.

C'est à l'élucidation d'un véritable processus de "*destruction créatrice*" qu'invite ainsi la notion d'innovation de rupture. Un tel processus affecte la dynamique d'évolution d'une activité, par le biais des entrées, des sorties, de la croissance, de la variation des parts de marché, de l'âge des entreprises, etc., tous changements qu'exprime le terme anglais "*churning*". Les effets de cette dynamique sur les gains de productivité sont importants (Encaoua, 2009). De plus, comme le fait remarquer Helpman (1998), toute suite d'innovations incrémentales trouve d'autant plus vraisemblablement sa source dans une innovation de rupture que les innovations dont l'usage se diffuse à plusieurs activités (General Purpose Technology) sont presque toujours des innovations de rupture. Certaines de ces innovations sont de type "demand pull", au sens où ce sont les exigences sociales des modes de vie qui créent la demande, servant ainsi de moteur à l'innovation ; d'autres sont de type "technology push", au sens où la technologie évolue selon un déterminisme qui lui est propre, sachant que si une transformation sociale vient à se produire, elle est davantage induite par l'innovation qu'elle n'en constitue le moteur (Crampes et Encaoua, 2003). Différents exemples d'innovations contemporaines de rupture peuvent être trouvés dans les domaines de la santé, de l'éducation, etc.²⁵

Comment émergent les innovations de rupture ? C'est une question difficile : les incitations privées sont souvent insuffisantes, ce qui explique que les mécanismes de marché ne conviennent pas toujours à en assurer l'advenue. Tout autant que les talents et la créativité des entreprises, c'est tout l'écosystème mis en place par les pouvoirs publics qui importe.²⁶ Une question importante à laquelle

²⁴ Apparemment, c'est là un paradoxe : n'est-ce point la vertu première d'une entreprise que de veiller à satisfaire au mieux les attentes de ses clients ? C'est vrai, à ceci près que les attentes des utilisateurs d'une technologie dominante ne signalent pas nécessairement ce qui est en train d'émerger sous la forme d'une *innovation de rupture*.

²⁵ Dans le domaine de la *santé*, la croissance des coûts des soins hospitaliers, conjuguée à une demande sociale en forte hausse, transforme progressivement les structures de soins et leur gouvernance. Des consultations médicales sur Internet utilisant une Web Cam et un téléphone commencent à voir le jour aux Etats-Unis, notamment dans les zones rurales insuffisamment dotées de structures hospitalières. Des consultations collectives regroupant des patients présentant les mêmes symptômes commencent également à être mises en œuvre. De même, des mesures de prévention comportant l'identification de patients à risque commun permettent de réduire les coûts des soins de santé. Sans compter les opérations chirurgicales réalisées à distance grâce à des technologies spécifiques. Beaucoup de ces innovations de rupture ne sont possibles que grâce à des technologies numériques, permettant d'établir le diagnostic. Dans *l'enseignement primaire et secondaire*, le projet MET (Measures of Effective Teaching) initié en 2009 par la Fondation Gates aux Etats-Unis montre que les techniques d'enseignement habituelles contrôlées par des d'examens, ne sont pas les plus adéquates. De nouvelles formes d'enseignement comportant un rôle plus actif des élèves grâce à la recherche d'informations sur Internet et à des mesures d'évaluations collectives, voient le jour. De même, dans *l'enseignement supérieur*, les cours ouverts en ligne et destinés à un très large public (MOOC) émergent dans différents pays.

²⁶ Le rôle des pouvoirs publics comme initiateur de technologies de rupture est analysé dans Mazuccato (2013). L'histoire d'Internet (Greenstein, 2010) aux Etats-Unis illustre les différentes étapes qui ont prévalu avant l'introduction d'Internet sur le marché des applications : soutien de la DARPA (Département de la Défense), transfert de la technologie aux Universités pour une utilisation en réseau, introduction enfin sur le marché de cette innovation de rupture par un large accès au public et un foisonnement d'applications commerciales. Voir aussi Cockburn et Stern (2010) pour le rôle des pouvoirs publics dans les sciences de la vie.

sont confrontés les pouvoirs publics dans leur effort pour infléchir la direction des innovations est de savoir s'il faut financer davantage la recherche fondamentale, source fréquente d'innovations de rupture, ou subventionner les entreprises pour qu'elles développent leurs propres innovations ?²⁷ Le débat sur cette question est loin d'être tranché, mais nous suggérons ici une piste de réflexion. Plutôt que de subventionner uniformément les dépenses de R&D des entreprises par des mesures fiscales du type Crédit Impôt Recherche (CIR), mesures incitatives censées accroître l'intensité de la recherche²⁸, on pourrait moduler le niveau du CIR selon que l'entreprise participe ou non à la recherche fondamentale. Le crédit fiscal dont bénéficierait une entreprise serait ainsi d'autant plus élevé que l'entreprise participe elle-même à une activité de recherche fondamentale, soit en son nom propre dans ses laboratoires, soit en partenariat avec des laboratoires universitaires. Cette mesure aurait un double avantage. Premièrement, en incitant les entreprises à participer plus activement à la recherche fondamentale, on favorise l'émergence d'innovations de rupture, elles même à l'origine de nouvelles chaînes de valeurs, alors qu'en incitant les entreprises à la R&D, on aboutit le plus souvent à des innovations de renouvellement ou de remplacement qui prolongent les activités traditionnelles de l'entreprise. De plus, les découvertes issues de la recherche fondamentale ont ceci de particulier qu'elles sont à l'origine d'externalités de diffusion importantes ("spillovers"), car les applications auxquelles elles donnent naissance sont souvent multiples, à la différence des innovations issues de la R&D des entreprises.²⁹ Les découvertes de la recherche fondamentale ont en effet de grandes chances de donner naissance à des innovations affectant plusieurs secteurs de l'économie, et devenant ainsi le véhicule d'un progrès technique important à l'échelle d'un pays, d'un continent ou de la planète entière.³⁰ Deuxièmement, cette modulation du CIR aurait pour effet de desserrer la contrainte de financement public dans une période de forte restriction budgétaire.³¹

II.2 Trois types d'innovations selon leur effet sur l'emploi

Au-delà des notions d'innovation de rupture et incrémentale, une typologie proposée par Christensen (2012), fondée sur une logique de finalité, distingue trois types d'innovations qui auraient des effets différenciés sur l'emploi : innovations de *remplacement*, de *rationalisation* et, d'*autonomisation*.

Les *innovations de remplacement* ont pour objet d'introduire de nouveaux produits incorporant des *améliorations techniques* ou/et de *nouvelles fonctionnalités*. Même si ces innovations ne sont pas nécessairement incrémentales, elles ne sont pas pour autant le support d'une forte demande nouvelle dans la mesure où elles renouvellent simplement une demande adressée à la version antérieure. Ces innovations sont vraisemblablement les plus nombreuses dans l'économie contemporaine. Même si les consommateurs en bénéficient, elles ne créent pas pour autant beaucoup de nouveaux emplois dans les pays développés. En effet, très souvent, une fois l'innovation de remplacement mise au point, la production des biens correspondants est plutôt *routinière* et ne nécessite pas une main d'œuvre très qualifiée, ce qui explique que la production puisse être soit *délocalisée* dans des pays à coûts

²⁷ Voir Akcigit *et al.* (2013)

²⁸ Voir le rapport de la Cour des Comptes, 2013

²⁹ Le *laser* est une bonne illustration d'une découverte fondamentale à l'origine d'innombrables applications. Scotchmer (2004) répertorie plus de 250 brevets dérivés de la découverte du laser en 1950. On peut également citer le *graphène* qui a valu à son découvreur le prix Nobel de physique en 2010 et est depuis cette date l'objet de multiples applications. Le graphène est un matériau de carbone pur, aussi fin qu'un atome et qui a d'excellentes propriétés en termes de conductivité électrique, de résistance et de flexibilité. Deux ans après la découverte, les applications réelles et potentielles sont déjà nombreuses : écrans plats et tactiles, électrodes de batteries, cellules solaires, composants électroniques, encres et peintures électroniques, reconstitution de tissus en médecine régénérative, capteurs, etc.

³⁰ Voir Aghion *et al.* (2013), Helpman (1998), Commission Européenne (2013)

³¹ Au total, cette suggestion se résume en les termes de l'alternative suivante : plutôt que de chercher à accroître le transfert des connaissances en demandant aux laboratoires et universités publiques de vendre leurs découvertes à des acteurs privés, ne vaut-il pas mieux inciter les entreprises à développer des partenariats avec les centres de recherche fondamentale en faisant bénéficier ces entreprises de mesures fiscales plus favorables ?

salariaux faibles, soit *automatisée* à partir d'une codification numérisée. Le nombre d'emplois non qualifiés, consacrés à la production de biens incorporant des améliorations ou de nouvelles fonctionnalités, n'augmente donc pas de manière significative dans les pays riches. On doit noter cependant que ces innovations sont indispensables à la survie des entreprises car elles traduisent une forme de concurrence globale par la qualité. Des exemples peuvent être trouvés dans l'industrie automobile et dans celle du téléphone mobile intelligent (smartphone). L'industrie automobile est le siège d'un nombre soutenu d'innovations qui prennent la forme de facilités et sécurité de conduite, de réduction ou substitution de carburant, du niveau d'intelligence embarquée, etc. Or, comme dans les pays occidentaux, le taux d'équipement est déjà élevé, la demande de nouvelles voitures ne s'accroît pas fortement. Remplacer une voiture utilisant un carburant traditionnel par une voiture hybride ou par une voiture électrique constitue une innovation bénéfique à la fois pour les utilisateurs et pour l'environnement, mais, pour autant, il est peu probable que cette innovation soit à l'origine d'une importante nouvelle demande de voitures³² dans les pays développés et donc, qu'elle soit créatrice de beaucoup d'emplois nouveaux. Il en est de même de l'industrie des smartphones. Une fois leur conception mise au point dans le pays d'origine, la fabrication recourt à une main d'œuvre moins chère dans d'autres pays. Au total, on peut penser que les innovations de remplacement sont au mieux *neutres du point de vue de l'emploi*, c'est-à-dire qu'elles parviennent tout au plus à maintenir les niveaux d'emplois existants sans pour autant en créer de nouveaux en grande quantité.

Les *innovations de rationalisation* sont des innovations de procédé qui permettent d'abaisser le coût de production ou/et de distribution des produits et services existants. Tout comme les innovations de remplacement, elles satisfont l'impératif Darwinien, à savoir "innover pour survivre", mais elles conduisent le plus souvent, d'une part, à réduire le nombre d'emplois directs grâce à une meilleure efficacité productive, et d'autre part, à libérer du capital du fait des économies qu'elles apportent à la production et la distribution des biens. Ces innovations exercent ainsi deux effets sur l'emploi. A court terme, le remplacement de certains emplois par des technologies d'automatisation ou/et par un recours à de la sous-traitance délocalisée, effet qui conduit à une *destruction d'emplois*. A moyen et long terme, l'accroissement de productivité peut conduire à l'entrée de nouvelles entreprises, ce qui peut accroître l'offre d'emplois, par un effet de *capitalisation*.

Les technologies de production fragmentée des composants automobiles et d'assemblage automatique dans des usines robotisées constituent un exemple type d'innovations de rationalisation. De plus, les activités de production "juste à temps" réduisent les coûts de stockage et détruisent des emplois logistiques. En même temps qu'elles économisent du travail, ces technologies libèrent du capital et toute la question est de savoir si le capital libéré est réinvesti dans d'autres innovations de rationalisation ou s'il se dirige vers des innovations autonomisantes nouvelles. Même si ces innovations ont globalement pour effet de détruire des emplois, la logique de fonctionnement de l'économie de marché les rend nécessaires pour le maintien en activité des entreprises en place.

Les *innovations autonomisantes* sont des innovations de rupture possédant deux propriétés supplémentaires. D'une part, elles ont pour effet de transformer des produits ou des procédés existants, complexes, coûteux et réservés à un petit nombre d'utilisateurs en des produits ou procédés plus simples, moins coûteux et accessibles au plus grand nombre. De ce fait, elles induisent une demande nouvelle importante. D'autre part, elles s'accompagnent de transformations sociales importantes dans les usages et les modes de vie, conférant aux utilisateurs une plus grande autonomie dans leurs modes de vie. Par les demandes nouvelles qu'elles induisent, ces innovations créent des emplois pour la production et la distribution des biens correspondants. Par l'autonomisation qu'elles confèrent, leur usage se généralise à de nombreuses activités. Par exemple, le passage des ordinateurs à unité centrale d'avant les années 1980 à l'ordinateur personnel, peu cher et d'utilisation plus commode, a été une innovation d'autonomisation qui a bouleversé l'évolution de la demande et affecté une myriade d'autres activités, transformant ainsi progressivement les usages et les modes de vie. De même, l'informatique partagée (cloud computing) rend accessible à l'ensemble des entreprises les technologies de traitement de l'information réservées jusque là aux grandes entreprises. De plus, elle

³² Une nouvelle demande de voitures ne doit pas être confondue avec une demande de voitures nouvelles. Celles-ci ne font que remplacer les anciennes.

permet un extraordinaire développement de l'industrie des logiciels qui offre ainsi de nouveaux emplois de concepteurs, de programmeurs et d'informaticiens.³³ Internet fait partie aujourd'hui des innovations autonomisantes, comme l'imprimerie, le moteur à vapeur, le moteur électrique, l'éclairage public et individuel, la voiture automobile, le laser ou encore l'introduction des moyens d'amélioration du confort domestique tels que le raccordement à l'eau courante ou l'installation d'appareils ménagers, l'ont été en leur temps.

Notons que les trois types d'innovations coexistent à tout moment dans une économie. Les combinaisons et dynamiques d'investissements en capital que ces trois types d'innovations engendrent peuvent conduire à des configurations globales différentes. Par exemple, si le capital libéré par des innovations de rationalisation se reporte sur des innovations autonomisantes, cela entraîne un renouvellement de la demande globale conduisant à plus de croissance économique et de création d'emplois. Dans ce cas, l'effet négatif de court terme des *destructions d'emplois* dues aux technologies de rationalisation est plus que compensé par l'effet positif de *capitalisation*. Ce scénario idéal conduit à des cycles courts et créateurs nets d'emplois. Il a marqué les conjonctures de l'économie américaine depuis la fin de la deuxième guerre mondiale jusqu'au milieu des années 1970. Pendant cette période, le capital libéré par les *innovations de rationalisation* s'est reporté sur des *innovations autonomisantes*, et le processus de *destruction créatrice* s'est matérialisé par le fait que les créations d'emplois l'ont emporté sur les destructions d'emplois, entraînant une baisse du taux de chômage. Jusqu'au milieu des années 1970, tout s'est donc passé comme s'il existait des forces ré-équilibrantes qui remettaient les cycles en marche. Mais, depuis cette date, c'est à un second scénario qu'on assiste: le capital libéré par les innovations de rationalisation ne se dirige plus vers de nouvelles innovations autonomisantes mais plutôt vers de nouvelles innovations de rationalisation ou de remplacement. Une double conséquence en résulte. D'une part, comme on l'a vu, les créations d'emploi durant les phases d'expansion ne suffisent plus à créer les destructions d'emploi durant les phases de récession. D'autre part, la durée des périodes de récession devient plus longue. La durée des phases de récession s'est ainsi considérablement étendue depuis l'après guerre. Entre 1948 et 1981, les phases de récession ont duré à peu près 6 mois avant de retrouver des niveaux d'emploi analogues à ceux atteints avant la récession. Les phases de récession plus récentes ont été beaucoup plus longues. La récession américaine de 1990 a duré 15 mois avant de retrouver le niveau d'activité antérieur. La récession de 2001 a duré encore plus longtemps: 39 mois. Quand à la dernière récession, elle a duré de 2008 jusqu'en 2011, soit 48 mois. De plus, son issue n'a pas permis de rétablir l'emploi au niveau antérieur à la crise de 2008. Tout laisse donc penser que les forces ré-équilibrantes ne jouent plus leur rôle ou au mieux mettent beaucoup plus de temps pour y parvenir, alors même que le rythme global des innovations ne semble pas fléchir. Que faire pour que les innovations autonomisantes redeviennent prédominantes ? C'est une question difficile et sans approfondir davantage, on peut simplement avancer l'idée que cela devrait être l'objectif de politique industrielle des pouvoirs publics, afin d'infléchir la direction des innovations.

Finalement, à ce stade de notre analyse, la question clé de savoir si les contreperformances des innovations contemporaines sont structurelles ou transitoires, reste entière. Dans la section qui suit, on développe l'idée que les potentialités ouvertes par les technologies numériques contemporaines n'ont pas encore été suffisamment exploitées. Autrement dit, ces technologies ont bien un caractère de rupture mais n'ont pas encore acquis les transformations sociales nécessaires pour devenir de véritables innovations autonomisantes. Des modes d'organisation et de coordination nouveaux pourraient conduire à un renouvellement des usages et des modes de vie, passibles à leur tour d'alimenter une nouvelle croissance économique. Il ne s'agit pas de dire quelles seront les innovations autonomisantes à venir, ce qui serait en tout état de cause impossible à prévoir. Mais on peut toutefois suggérer deux pistes sous forme d'hypothèses. La première piste consiste à explorer l'hypothèse que de nouvelles innovations autonomisantes ont plus de chance de provenir de la recherche fondamentale que de la recherche appliquée au sein des entreprises. Cette hypothèse conduit à une politique de

³³ Beaucoup de ces offres emplois ne sont pas pourvues du fait des difficultés d'appariement entre les qualifications requises et celles offertes par les systèmes d'éducation traditionnels et les systèmes de formation professionnelle. C'est là apparemment une difficulté importante et récurrente que rencontrent les technologies recourant à l'informatique.

soutien renforcé à la recherche de base et pas seulement à la R&D des entreprises. La deuxième piste consiste à explorer l'hypothèse que le potentiel d'autonomisation des innovations se matérialisera vraisemblablement autant par les transformations des modes de vie et une réinvention des usages qu'elles appellent que par leur contenu technologique proprement dit. Nous nous attachons dans la section qui suit à montrer combien cette deuxième hypothèse peut contribuer à infléchir l'orientation de la troisième révolution industrielle portée par les technologies numériques.

III Révolutions industrielles et nouvelle économie : perspectives ouvertes par la révolution numérique

Pour mieux comprendre la signification de la troisième révolution industrielle dans laquelle nous sommes engagés, commençons par rappeler brièvement ce que furent les deux premières.

III.1 Les deux premières révolutions industrielles.

Les deux premières révolutions industrielles ont été marquées par un double phénomène : i/ un décuplement des capacités physiques des hommes au contact des technologies de la mécanique, conduisant à des gains de productivité notables ; ii/ une révolution des modes de vie par le passage d'une production artisanale à une production industrielle et la disponibilité d'un grand nombre de biens de confort domestique.

La première révolution industrielle avec la machine à vapeur

La première révolution industrielle a commencé au milieu du 18^{ème} siècle, d'abord en Grande Bretagne, puis en France, avec l'introduction de la machine à vapeur fonctionnant au charbon. Cette nouvelle technologie permettait de décupler les capacités physiques des hommes infiniment plus que n'avait pu le faire la force physique ou animale employée jusqu'alors. Naturellement, cette technologie a été utilisée dans des activités qui rassemblaient un grand nombre de personnes effectuant un travail très pénible avec une efficacité très faible en vue de satisfaire des besoins de base (se nourrir, se vêtir...). C'est ainsi que les premières machines à vapeur ont remplacé les charrues et ont actionné les navettes des métiers à filer et à tisser, jusqu'alors actionnées manuellement. Ces technologies ont aussi été utilisées pour permettre des déplacements et des échanges bien plus rapides et plus aisés qu'on n'y parvenait autrefois en utilisant la force animale. Les trains et les bateaux à vapeur ont commencé à apparaître sans pour autant devenir des moyens de transport de masse. On s'est ainsi mis progressivement à faire beaucoup plus efficacement ce que l'on faisait auparavant de manière artisanale. *D'artisanaux, les biens sont devenus industriels.*

La première conséquence a été la baisse substantielle du nombre d'emplois dans les campagnes et dans les bourgs, au fur et à mesure que l'agriculture se mécanisait et que les ateliers étaient remplacés par des usines mécanisées. La nature et l'organisation du travail en ont aussi été transformées. Les lieux d'habitation ont été séparés des lieux de travail. Par exemple les tisserands qui utilisaient leur lieu d'habitation comme lieu de fabrication ont été réunis dans des usines sur des chaînes de production, sous l'autorité de contremaîtres. Le travail manuel à domicile avec un outil rudimentaire est devenu du travail posté dans des usines sur des chaînes de production incluant des machines qui décuplaient la force des hommes. *D'artisanal, le travail est également devenu industriel.*

Mais, ces transformations radicales de l'organisation de la production et du travail sont restées, dans cette première phase, limitées à un petit nombre d'activités, celles qui pouvaient se prêter à la lourdeur de la machine à vapeur. En outre, ces transformations n'ont pas permis de révolutionner la vie domestique quotidienne de l'ensemble de la population. *Elles n'ont donc débouché ni sur le plein emploi ni sur de forts taux de croissance.*

La deuxième révolution industrielle : de la machine à vapeur au moteur électrique

La deuxième révolution industrielle, qui s'ébauche à partir de la fin du 19^{ème}, a vu naître des inventions technologiques comme l'électricité et le moteur à combustion interne. Comme la machine à vapeur, le moteur à combustion interne décuplait les capacités physiques des hommes, mais en recourant à des équipements beaucoup moins lourds que ceux de la machine à vapeur. Un très grand nombre de nouveaux biens industriels ont pu voir le jour au fur et à mesure que des inventeurs ont

perçu que les moteurs électriques pouvaient servir à de multiples usages : automobiles, trains électriques, tramways, avions à hélices puis à réaction, mais aussi à toutes sortes d'équipements qui ont transformé la vie quotidienne des consommateurs et en ont énormément réduit la pénibilité (appareils électroménagers pour cuire, réfrigérer, laver, aspirer la poussière, cuisiner...). Les modes de vie en ont été radicalement modifiés.

Les villes aussi ont dû se structurer pour accompagner ces tous nouveaux modes de vie en développant des infrastructures de réseaux. Le même *réseau d'électricité* sur lequel les entreprises branchaient leurs machines pour fabriquer les biens a pu être utilisé par les ménages pour brancher commodément, dans tous les logements, tous les appareils électroménagers qui avaient pu être inventés. De même, on a mis en place sur tout le territoire un *réseau d'eau* sur lequel tous les logements ont pu être branchés pour avoir l'eau courante et le confort sanitaire dans tous les domiciles. Une très grande quantité de biens ont pu être produits et utilisés dès lors que ces équipements partagés ont été accessibles sur tout le territoire.

Un cercle vertueux a pu alors s'enclencher. L'explosion d'une nouvelle demande est allée de pair avec la création de très nombreux emplois pour fabriquer les biens permettant à toute la population d'accéder progressivement à ce nouveau mode de vie. Le plein emploi s'est installé et les entreprises qui dégageaient régulièrement des gains de productivité entretenus par le progrès technique incorporé dans les machines (et sur les technologies adjacentes qui les accompagnent, comme ce fut le cas de la chimie en particulier) ont pu les distribuer sous forme de pouvoir d'achat. Le plein emploi a en effet permis d'équilibrer les rapports de forces et donc d'augmenter les salaires à proportion des gains de productivité. Le phénomène a touché suffisamment de biens différents et d'entreprises pour que les niveaux de rémunération des travailleurs leur permettent d'acheter les biens qu'ils avaient produits.

Des *services publics et sociaux* ont pu être organisés à partir de prélèvements opérés sur la richesse créée par l'industrie pour satisfaire les besoins dont la satisfaction ne passait pas par l'achat d'un bien marchand (santé, éducation, culture, transport collectif...).

Mais il a fallu attendre des décennies pour que les nouveaux modes de production se structurent de façon efficace en articulant de façon productive, comme on vient de le décrire, *capital* et *travail*.

Concernant le *capital*, il a fallu attendre que chaque producteur puisse utiliser des équipements produits par d'autres, en les intégrant à ses chaînes de production sans avoir à les produire. Lorsque ces maillons sont partagés par tous les producteurs et tous les consommateurs on les appelle des *réseaux* ou des *infrastructures*. Lorsqu'ils sont partagés par tous les producteurs d'un même secteur d'activité, on les appelle des *biens d'équipement*.

Ces maillons partagés ont un triple intérêt : i/ ils permettent de spécialiser chaque entreprise sur son cœur de métier ; concevoir des voitures n'est pas le même métier que concevoir et fabriquer des machines permettant de construire les chaînes de production qui produisent les voitures ; ii/ en spécialisant certaines entreprises dans la fabrication des machines, le processus d'accumulation et de diffusion à l'ensemble de l'industrie des savoirs et savoir-faire sur les nouvelles technologies est accéléré. De plus, le partage de certains maillons de la chaîne de production permet de partager les coûts fixes entre toutes les entreprises utilisatrices et donc de les réduire pour atteindre plus rapidement le seuil de rentabilité ; iii/ enfin ces maillons ont donné aux consommateurs un accès simple à tous les nouveaux biens qui sont nés des nouvelles technologies.

Séparer dans les nouvelles chaînes de production ce qui peut être partagé de ce qui doit rester le fait d'entreprises en concurrence est une opération très délicate : dans ces phases de révolution industrielle, la séparation nécessite de nouvelles et complexes modalités de coordination d'acteurs. C'est pourquoi ces infrastructures n'émergent que très progressivement en passant généralement par de longues et coûteuses phases pendant lesquelles coexistent des équipements *propriétaires* plus ou moins performants et *non compatibles* qui alourdissent les coûts fixes et compliquent l'accès aux nouveaux modes de vie. Ce n'est qu'après de longues décennies que de véritables infrastructures partagées par tous et un secteur des biens d'équipement spécialisé par secteurs d'activité s'est constitué.

Concernant le *travail*, il a fallu repenser l'habitat et l'organisation de l'espace de façon à concentrer les travailleurs près des usines. Il a fallu également les former à un travail posté répétitif et routinier pour une production de masse durant des plages horaires de travail fixes, et les encadrer par des contremaîtres selon un mode d'organisation et de contrôle hiérarchique. Des écoles d'ingénieurs spécialisées dans les différentes nouvelles technologies ont été créées. Des formations professionnelles adaptées à cette nouvelle organisation du travail ont été mises en place.

III.2 Une vision techno-centrée de la 3^{ème} révolution industrielle

Il est difficile de rassembler tout ce qui a pu être dit sur la troisième révolution industrielle, marquée par un développement important des technologies numériques. Néanmoins, même si on ne dispose pas encore d'une visibilité suffisante on peut percevoir quelques tendances.³⁴

Premièrement, dans de nombreuses activités, le modèle de la *production de masse* semble menacé. Les technologies contemporaines en matière d'intelligence artificielle, de reconnaissance des commandes vocales, de conception et de fabrication assistée par ordinateur, grâce notamment à l'impression 3D, permettent d'envisager une nouvelle phase donnant naissance à des produits *individualisés*, relativement différenciés, et dont le coût unitaire n'était plus élevé que celui obtenu en bénéficiant des économies d'échelle de la production de masse. Tout se passe comme si les composants de certains produits étaient programmés en fonction des spécificités des demandes individuelles, l'assemblage final de ces composants s'appuyant alors sur les propriétés de l'architecture modulaire que permet la programmation informatique. Ainsi, même si nous n'en sommes qu'aux prémices, il n'est pas interdit de penser que les nouvelles technologies permettent de passer d'un système de production de masse avec des marchés relativement segmentés à un système de production et de design où le marché est global mais dont les produits sont fortement différenciés.³⁵

Deuxièmement, la révolution numérique déplace les lieux de rareté. Ce ne sont pas uniquement les capitaux nécessaires pour financer les coûts fixes de la production de masse qui constituent les ressources les plus rares, mais également les *idées* et les *compétences*. Elles constituent les nouvelles contraintes auxquelles sont confrontées les sociétés industrielles pour concevoir, développer, produire et utiliser les nouvelles technologies et les logiciels qui les font fonctionner.

Concernant les *idées*, il est commun de penser, comme nous y invite l'expression métaphorique de Newton "*Standing on the shoulders of giants*" que le potentiel de création de nouvelles idées par une génération d'individus est une fonction croissante du patrimoine de connaissances dont hérite cette génération. Mais Jones (2005) suggère que l'inverse pourrait tout autant être vrai. Plus les connaissances accumulées, nécessaires à la production d'une nouvelle idée, sont nombreuses et difficiles à maîtriser, plus les chances d'apparition d'idées véritablement nouvelles s'avèrent plus faibles. Si cette thèse était vraie, elle contribuerait à expliquer pourquoi les innovations autonomisantes sont plus rares aujourd'hui que les innovations de remplacement ou de rationalisation.³⁶ En réalité, des formes de coopération pour l'exploration et le développement collectif de nouvelles idées (crowdsourcing) se mettent en place, tout comme l'appel à financement auprès de particuliers (crowdfunding). L'apprentissage et l'enseignement commencent également à bénéficier d'audiences élargies grâce à l'utilisation de technologies numériques appropriées.

Le travail qualifié est une autre source de rareté. Dans leur ouvrage, Goldin et Katz (1998) montrent que l'insuffisance de l'offre de travail qualifié, a constitué un frein important à la croissance

³⁴ Voir le rapport spécial que le magazine *The Economist* a consacré à la troisième révolution industrielle sous le titre "Manufacturing and Innovation" (21 Avril 2012).

³⁵ Le Design Museum de Londres a ainsi présenté récemment une exposition intitulée : "*The Future is Here : A New Industrial Revolution*". Selon le conservateur Alex Newson, le design vit une transformation radicale, car "*De la conception à la fabrication, le public a toutes les chances d'avoir enfin son mot à dire. Par exemple, grâce au crowdsourcing (production participative sur plate-forme Internet, une entreprise ne se contente plus de demander des avis, des informations et des solutions à quelques chercheurs implantés ici ou là : elle préfère désormais solliciter l'ensemble de la planète. En outre, avec l'impression 3D, il est désormais possible de créer un objet tout seul depuis son ordinateur*". (Le Magazine du Monde, 5 octobre 2013)

³⁶ Christensen (2012) explique différemment le faible nombre d'innovations d'autonomisation. L'utilisation d'indicateurs de rentabilité des investissements à court terme ne permettrait pas ce type d'innovations dont la durée de récupération du capital est en général assez longue. Les indicateurs de rentabilité de court terme conviennent lorsque la ressource la plus rare est le capital mais deviennent inappropriés lorsque les ressources rares deviennent les idées et la main d'œuvre qualifiée. Au lieu de prendre en compte ces nouvelles contraintes de rareté, les indicateurs traditionnels de choix des investissements qui retiennent des taux de rentabilité financière à court terme, conduiraient à des innovations de remplacement et de rationalisation, plutôt qu'à des innovations autonomisantes.

économique. L'ajustement de la demande de travail qualifié à l'offre s'est opéré par un prix plus élevé du travail qualifié conduisant à une forte croissance des inégalités salariales durant les vingt cinq dernières années.³⁷

Troisièmement, une tendance perceptible des technologies numériques est qu'elles permettent de réaliser de substantielles économies en matière de coûts du travail. De plus en plus de travaux humains, y compris dans des domaines qui paraissaient jusqu'à un passé récent inenvisageables à faire exécuter par des machines, peuvent maintenant être réalisés par recours à une codification conduisant à des automatismes, à des interfaces permettant la reconnaissance vocale, et à différents mécanismes d'intelligence artificielle. Cela n'est évidemment pas favorable à l'emploi, mais on peut penser que la réduction des coûts du travail qu'ils engendrent rend moins profitable le recours à la sous traitance dans les pays à bas coûts salariaux. Les raisons ayant poussé certaines industries à délocaliser leur production dans des pays à bas salaires perdraient de ce fait leur raison d'être, ce qui devrait conduire à une relocalisation des emplois dans les pays industrialisés d'origine.

Quatrièmement, la perception collective du modèle de la révolution numérique en cours semble avoir été circonscrite jusqu'à présent au développement de moyens de communication et de divertissement qui proposent toute une série d'instruments, de plus en plus performants et de taille de plus en plus réduite (smartphones, tablettes, jeux vidéo, réseaux sociaux, etc.). Les potentialités de ces instruments pour améliorer les conditions du « *mieux vivre ensemble* » sont encore loin d'être pleinement exploitées. Mais le point important est que ces instruments permettent déjà tout un ensemble d'activités nouvelles dont la communication et le divertissement ne sont que la partie visible de l'iceberg. Des activités telles que l'éducation, la santé, les services à la personne, le traitement à domicile de la dépendance, la gestion des données, les moyens de stockage de l'énergie, les transports, etc., sont en voie d'être totalement révolutionnées par des technologies numériques, notamment au travers de *l'internet des objets*. L'internet des objets, c'est un univers où les objets ont des adresses IP, comme les ordinateurs reliés à internet. Ils peuvent alors communiquer entre eux selon des protocoles prédéfinis, être pilotés à distance, voire se piloter en tant que système autorégulé pour certaines fonctions (CGSP, 2013). Surveiller des flux de produits dans une usine, mesurer le degré d'humidité dans un champ de culture, suivre les écoulements d'eau dans un réseau ou surveiller à distance la santé de patients atteints de maladies chroniques sont quelques unes des perspectives que l'Internet des objets ouvre maintenant aux entreprises, aux particuliers et aux institutions des secteurs public et privé. Mais si la plupart des objets « communicants » ont la capacité d'inter-opérer avec d'autres, la difficulté consiste à piloter cette interopérabilité³⁸ pour qu'elle puisse être offerte, utilisée, réutilisée par tous (CGSP, 2013). Déjà, des équipements numériques participent au développement de ce qu'il convient d'appeler aujourd'hui *l'économie du partage* ou encore *l'économie collaborative*, permettant par exemple une location occasionnelle ou permanente de logements, de voitures, un financement de projet auprès de particuliers (crowdfunding), un appel à résolution d'un problème (crowdsourcing), un partage de ressources musicales ou visuelles en ligne (streaming), une offre d'enseignements à distance et à grande échelle (MOOC), un appariement entre offres et demandes d'emplois, des activités de convivialité au sein d'un voisinage, d'un quartier, voire d'une ville³⁹, etc.

³⁷ Des solutions au coût prohibitif de l'éducation par le recours à des formations en ligne assurant un enseignement universitaire gratuit et destiné à de larges audiences se développent un peu partout dans le monde.

³⁸ "L'interopérabilité est la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre. Il convient de distinguer "interopérabilité" et "compatibilité". La compatibilité est une notion verticale qui fait qu'un outil peut fonctionner dans un environnement donné en respectant toutes les caractéristiques et l'interopérabilité est une notion transversale qui permet à divers outils de pouvoir communiquer - quand on sait pourquoi, et comment, ils peuvent fonctionner ensemble" (Wikipedia, "interopérabilité").

³⁹ Citons par exemple la plateforme américaine *Smart Citizen* destinée à générer des formes de participation collective dans les villes via des connexions entre citoyens, connaissances, lieux spécifiques et informations. L'objectif de la plateforme est de servir de point nodal pour que les habitants se réapproprient les activités de leur ville et mutualisent leurs connaissances et savoir faire.

IV Vers une quatrième révolution industrielle : révolution des modes de vie par la production industrielle de « solutions »

L'énumération précédente, loin d'être pourtant exhaustive, montre que la liste des nouvelles possibilités des technologies numériques est devenue si longue et si impressionnante du point de vue de son potentiel à satisfaire autrement les besoins humains, qu'elle constitue en quelque sorte une *définition en extension* de la nouvelle économie qui se met en place. Nous proposons une autre *définition en compréhension* à partir de la mise en évidence de nouveaux éléments – qu'on appelle des *solutions* – qui vont révolutionner les modes de vie.

Reprenons l'analyse des faits de façon à saisir le moment où les technologies numériques apportent une véritable révolution des modes de vie.

Les débuts de l'informatique : faire tout autrement ce qu'on faisait déjà.

La troisième révolution industrielle a commencé dans les années 1960 avec l'arrivée des ordinateurs. Ceux-ci permettent de décupler les capacités mentales des hommes. Ils ont d'abord été utilisés pour opérer des calculs très lourds, à la fois impossibles à effectuer sans disposer de puissants moyens de calcul et nécessaires pour concevoir et mettre au point de nouveaux biens très sophistiqués comme des fusées ou des avions.⁴⁰ Puis, l'informatique a permis de faire fonctionner des robots et des automates qui ont conduit à automatiser les gestes répétitifs des ouvriers à la chaîne ainsi que ceux de certains employés dans l'exécution de tâches routinières (distribution d'argent, paiement par carte bancaire ou par téléphone, contrôle de billets, etc.). Cette automatisation des tâches a libéré un grand nombre de travailleurs et amorcé une longue phase de chômage, comme la mécanisation l'avait fait au cours de la première révolution industrielle.

Un élargissement des technologies numériques.

En même temps que l'informatique se développait, les technologies numériques n'ont cessé de se complexifier et diversifier depuis trois décennies. Du côté de la collecte d'information, les capteurs enregistrent, stockent et traitent de plus en plus d'informations. Ils peuvent être « embarqués » sur des objets mobiles qui n'ont plus besoin d'être connectés au réseau électrique. Des progrès très importants ont aussi été obtenus du côté des échanges. Le rapprochement entre les sciences de l'information et les technologies de même nom, dont les télécommunications font partie, a permis de faire circuler sur un même réseau le son, l'image et le texte. La mise en place d'un réseau internet mondial met à profit ces nouvelles potentialités en mettant à disposition du monde entier un fabuleux outil d'échanges d'informations. Un grand nombre de nouvelles machines individuelles apparaissent : l'i-pod remplace le walkman, le smartphone remplace le téléphone fixe et pour partie l'ordinateur, l'iPad remplace l'ordinateur personnel... Toutes ces innovations ont certes commencé à modifier les modes de vie en enrichissant la panoplie des objets de loisirs. Elles ont en particulier permis de satisfaire tout autrement le besoin « d'information pour l'information », c'est-à-dire pour la culture ou pour le lien social. Cette satisfaction ne s'opère plus comme c'était le cas auparavant, en achetant des biens dans des lieux spécifiques (livres, encyclopédies, disques, CD, DVD...) ou en se déplaçant vers des lieux dédiés (théâtre, cinéma...), mais par une simple mise à disposition de données recherchées à partir des lieux de vie des utilisateurs. La troisième révolution industrielle a permis finalement de faire beaucoup plus efficacement ce que l'on faisait avant et donc de poursuivre l'œuvre des innovations des technologies de la mécanisation, mais sans pour autant être le support d'une prospérité retrouvée ni l'instrument d'un progrès social inclusif. Le succès des réseaux sociaux montre néanmoins la volonté et la capacité des citoyens du monde entier à changer de mode de vie dès lors qu'on leur donne les moyens de le faire.⁴¹ Au total, cette troisième révolution industrielle, tout comme la

⁴⁰ Les objets volants tels que les avions ou les fusées sont caractérisés par une technologie dite *O-ring*, selon laquelle chaque composante, y compris les plus infimes comme le serrage d'un boulon, doit être parfaitement ajustée pour que l'ensemble fonctionne. En un certain sens, l'interopérabilité des équipements et des infrastructures nécessaires pour une économie fonctionnant sous le régime du quaternaire, ressortit également des principes d'une technologie *O-ring* (voir Kremer, 1993).

⁴¹ Une citation de l'ancien président d'AOL, Steve Case, résume parfaitement le débat : "The next 25 years won't be focused on creating more Internet or social-media companies; it will be about using Internet and

première, a permis de dégager des gains de productivité mais sans création importante d'emplois car les innovations jusqu'ici disponibles n'ont pas permis d'exploiter leurs potentialités en termes de modes de vie.

L'entrée dans une quatrième révolution industrielle avec l'internet des objets.

Bien que nous ayons vécu depuis deux siècles dans une économie où les produits satisfaisant nos besoins sont des biens ou des services, l'attention des économistes a porté presque exclusivement sur l'analyse des technologies de production des biens plutôt que des services. La raison est peut être due au fait que les technologies n'ont pas permis jusqu'à présent d'inventer de nouveaux services révolutionnant les modes de vie et dégageant des gains de productivité renouvelés, comme cela a été le cas pour les biens. Avec les progrès du numérique et en particulier avec l'internet des mobiles et des objets, il va désormais pouvoir en être tout autrement.

Commençons par rappeler qu'au sens économique du terme, un service est "*une mise à disposition temporaire de biens ou de personnes ayant des savoirs ou des savoir-faire*". Les capteurs posés sur une grande variété de biens que nous connaissons⁴² permettent désormais de collecter et de transmettre en continu et à distance de l'information sur l'état de ces biens. Les systèmes numériques, constitués d'un mélange de matériel et de logiciel, embarqués dans des objets, touchent ainsi toutes sortes d'activités. Donnons deux exemples concernant les fonctions mobilité et domotique. On peut localiser dans la rue le véhicule dont on a besoin dès lors qu'il est muni d'un capteur et que nous sommes munis d'un smartphone auquel un capteur a été adjoint, de sorte qu'on peut disposer d'une voiture sans avoir à l'acheter (fonction mobilité). De même, dès lors qu'ils sont munis de capteurs spécialisés, les dysfonctionnements domestiques peuvent être repérés à distance et en temps réel, sans qu'on ait à intervenir (fonction domotique). Avec de telles potentialités, la valeur ajoutée apportée par un producteur au consommateur ne consiste plus à produire un bien pour le vendre en se désintéressant de l'usage qui en est fait, mais bien plutôt à *en vendre l'usage*, c'est-à-dire une *mise à disposition temporaire sur les lieux de vie d'un utilisateur d'une combinaison intégrant le bien et les personnes nécessaires pour en assurer à la fois le bon entretien tout au long du cycle de vie et la relation personnalisée avec l'utilisateur*. Cette mise à disposition satisfait bien la définition générale que l'on vient de rappeler de la notion de service. Mais cela est si différent de ce qu'ont été les services tout au long du cycle de croissance précédent que nous préférons employer le terme de "*solution*". Cette dernière consiste finalement à disposer de l'usage courant d'un bien, le plus simplement du monde, sans avoir à l'acheter, c'est-à-dire sans en devenir nécessairement propriétaire. L'usage peut en effet être séparé de la propriété du bien.⁴³ De plus, les capteurs ne vont pas seulement conduire à passer de la vente de *biens* à celle de *solutions* qui en permettent l'usage, ils vont aussi, et c'est cela le plus important, faire émerger un grand nombre de nouveaux biens-capteurs destinés à donner naissance à de nouvelles *solutions*. Ces capteurs auront pour seule fonction de fournir de l'information à distance et en continu sur l'état des personnes (paramètres de santé, chute...), ou de l'environnement (température des pièces, présence de fumée...). En cas de dysfonctionnements, les *solutions* mettront à disposition des personnes pour apporter des réponses aux besoins révélés par ces données captées. Si l'intervention demandée à la personne est très simple, un automatisme déclenché à distance remplacera la personne.

Au fur et à mesure que les *solutions* se diversifieront, les consommateurs demanderont à en disposer de nouvelles sous forme de *bouquets de solutions*. Les demandes de bouquets seront exprimées sur le marché. Les bouquets seront constitués de solutions relatives à un lieu de vie (domicile, mobilité,

mobile technology to change education, healthcare, government and energy. "Healthcare alone is one-sixth of our economy. It creates enormous opportunity for entrepreneurship."

⁴² Par exemple des capteurs sont maintenant embarqués sur des biens réalisant des fonctions précises telles que transporter des personnes ou des marchandises, diffuser des programmes télévisuels, laver des vêtements ou de la vaisselle, être guidé par satellite, informer sur le fonctionnement d'un lieu ou d'une personne, etc.

⁴³ Le premier exemple de cette façon de satisfaire les besoins est celui des photocopieurs que Xerox mettait à disposition de ses clients en facturant leur seul usage. Aujourd'hui, de nombreuses activités fonctionnent selon ce principe. Par exemple des solutions telles que SaaS (software as a service) dans le cloud computing permettant aux utilisateurs de louer du logiciel, conduisant à ce que la durabilité du produit ne soit plus une question pertinente et rendant obsolète de ce fait l'obsolescence planifiée des produits.

etc.), à des âges de la vie (silver économie), à des besoins spécifiques (se loger, se déplacer, se soigner, se nourrir), etc. Ils permettront que se réalise enfin une véritable coordination entre les différentes étapes conduisant à la satisfaction d'un besoin.⁴⁴

La nouvelle économie dans laquelle nous pourrions entrer de la sorte constituerait une véritable révolution copernicienne puisqu'elle fait passer d'une situation où le consommateur achète des biens et des services (mise à disposition temporaire de biens ou de personnes) en se rendant presque toujours dans des lieux dédiés, à une autre situation dans laquelle il achète des *solutions* par lesquelles les producteurs mettent à sa disposition sur son lieu de vie les biens et les personnes adaptés à la satisfaction de ses besoins tels qu'ils sont révélés en continu par les informations captées. Des automatismes remplaceront la mise à disposition de personnes chaque fois que cela sera possible (photographie de la personne qui a fait une chute permettant de vérifier s'il est utile d'envoyer une personne pour la conduire à l'hôpital...). La transmission au consommateur des informations captées lui permettront dans certains cas de répondre lui-même à son besoin (bracelet indiquant l'activité physique, la nourriture prise...pour que le consommateur modifie son comportement...). Les biens deviennent ainsi des consommations intermédiaires des nouveaux produits finals que sont les solutions. La distinction habituelle entre *biens* et *services* s'estompe en effet pour donner lieu à des *solutions*. Le secondaire et le tertiaire se marient pour donner naissance à *l'économie quaternaire* (Debonneuil, 2007, 2010, 2014). Elle fera passer d'une économie dans laquelle la croissance était fondée sur *l'avoir plus* à une autre, poursuivant l'objectif de *l'être mieux*. C'est non seulement un objectif ambitieux, mais il est à la fois réalisable grâce aux technologies contemporaines et souhaitable du fait des perspectives qu'il ouvre.

Les conditions pour démarrer un nouveau cycle de croissance.

L'économie quaternaire est un concept en gestation. Il confirme que c'est par de nouvelles formes d'exploitation individuelle et collective des potentialités des innovations technologiques de la révolution numérique que celles-ci acquièrent le statut de technologies de rupture autonomisantes. Comme on l'a déjà expliqué, c'est en effet par la combinaison simultanée de sa capacité à rompre le statu quo technologique et de son impact pour modifier les modes de vie qu'une technologie de rupture parvient au statut de technologie autonomisante. On peut même aller plus loin en arguant que c'est la manière même dont les besoins individuels et collectifs seront satisfaits par les technologies numériques qui conférera vraisemblablement le caractère autonomisant à ces technologies, gage de leur succès.

Cette définition de la nouvelle économie qui s'installe au travers de nouveaux produits finals que sont les *solutions* permet surtout de voir la révolution qu'il va falloir opérer pour passer d'une économie de biens et de services achetés séparément, ces derniers étant considérés comme étant improductifs, vers les *nouveaux produits productifs* que sont les *solutions*. Elle permet de comprendre l'ampleur des mutations qu'il faudra opérer. Par exemple, il faudra repenser la totalité des services publics et sociaux qui ont été mis en place dans une économie où les services n'étaient pas considérés comme productifs. Mais il faudra surtout réviser l'organisation de la production et de la distribution. Il y faudra de nouveaux acteurs, de nouvelles formes de capital et de travail. Bref il faudra opérer des changements majeurs qui nécessitent de très nombreuses et nouvelles coordinations d'acteurs que les marchés du capital et du travail ne peuvent réaliser qu'au travers de longues et coûteuses phases de destruction créatrice.

Concernant le *capital* d'abord, l'accumulation des savoirs et savoir-faire ne se fera pas seulement sur des *biens d'équipement* (machines et maintenant capteurs) dont les performances techniques sans cesse améliorées par l'innovation permettront de dégager des gains de productivité par des solutions, permettant de satisfaire des besoins. Elle se fera de plus en plus sur des *services d'équipement*, par définition communs aux producteurs et aux utilisateurs, et constitués de programmes automatisant de plus en plus l'organisation des mises à disposition de biens, de personnes et d'informations qui autrefois relevaient de processus totalement artisanaux. Les performances de ces *services*

⁴⁴ Pour ne donner qu'un exemple, réduire le temps de voyage que permet l'usage du TGV, ne prend tout son sens pour un voyageur que si, parvenu à la gare de destination, il ne perdait un temps bien plus long à trouver un moyen de locomotion ou à subir un trafic monstre avant d'aboutir à son point d'arrivée.

d'équipement automatisés s'amélioreront d'année en année du fait des progrès des technologies numériques, en particulier des capteurs, et permettront d'entretenir les gains de productivité dégagés par les solutions. L'investissement, presque exclusivement matériel dans le cycle précédent, va progressivement devenir immatériel dans la mesure où il concerne des *processus organisationnels*. Pour que ce capital s'accumule rapidement, il faudra en effet trouver le moyen d'en partager tous les maillons sans avoir à les dupliquer. Le risque est grand que, comme lors de la mise en place de la phase précédente, on doive passer par une longue période au cours de laquelle tous les maillons de ces nouvelles chaînes de production seront sans cesse réinventés et réappropriés, au lieu d'être partagés lorsque cela est plus économique.

De plus en plus de producteurs sont en train de prendre conscience qu'il est possible de créer des *solutions* en combinant Internet, le téléphone mobile et les capteurs. Ils sont en train de concevoir les premiers programmes automatisant largement ces mises à disposition (Debonneuil, 2014). Pour cela, ils mettent en œuvre des *plateformes* utilisant Internet pour recueillir les données collectées par les capteurs utilisés dans chaque solution développée. Ils sont également en train d'installer des lieux de surveillance à distance et de relations avec les clients et d'organiser ainsi la mise à disposition temporaire des personnes pour traiter les dysfonctionnements repérés. Par exemple on voit se multiplier des solutions construites sur des plateformes propriétaires, mettant à la disposition de personnes en perte d'autonomie des biens-capteurs permettant d'assurer les fonctions de téléassistance, de pilulier électronique, de contrôle de paramètres médicaux à distance, etc. pour aider ces personnes à vivre en bonne santé chez elles au lieu d'aller en maison de retraite. On voit aussi de plus en plus de villes proposer à tous leurs habitants des mises à disposition de véhicules partagés (voitures, vélos,...), organisées autour de plates-formes différentes selon les véhicules et selon les villes. Le progrès technologique pourrait ainsi déboucher très vite sur l'interconnexion de différentes *solutions* élémentaires. Une mise à disposition d'une solution en appellera une autre. Par exemple, une *solution* sous forme de télésurveillance d'une personne en perte d'autonomie, permettant de détecter immédiatement et à distance si la personne est tombée et d'envoyer le cas échéant une intervenante pour s'en occuper, débouchant ainsi sur une autre *solution* qui consistera en la possibilité de faire une radiographie ou une photographie des blessures de la personne sur place et à l'envoyer à un médecin dont le diagnostic à distance permettra de savoir s'il faut ou non l'hospitaliser. De même des *solutions* dévolues à la mobilité de déplacement des citadins des grandes villes proposeront très vite d'aller d'un point A à un point B en empruntant une succession de véhicules partagés, collectifs et individuels (voiture en libre-service à la sortie du train par exemple).

Au total, si l'on veut éviter d'avoir à construire une nouvelle plateforme à chaque regroupement de solutions qui auront été construites chacune avec une plateforme propriétaire, il faudra mettre en place une *infrastructure de plateformes*, partagée par tous les producteurs et tous les consommateurs. Les standardisations nécessaires seront particulièrement utiles lorsqu'il faudra automatiser des services publics existants (services sanitaires et sociaux, services éducatifs, services administratifs,...).

Du côté du *travail*, les technologies numériques vont également révolutionner les emplois. Le travail posté dans les usines diminuera progressivement du fait de l'automatisation de la production de biens. Il ne restera plus essentiellement que deux types d'emploi.

D'une part, un premier type d'emplois très qualifiés d'invention, de conception de prototype et de mise au point des nouveaux biens. Ce type de travail pourra même progressivement s'effectuer depuis le domicile du salarié, réduisant ainsi tous les dommages occasionnés par la séparation du lieu de travail et du lieu de vie, notamment les dysfonctionnements urbains occasionnés par la densité du trafic et le stress des conditions de vie. On créera de la sorte de plus en plus de travail posté de surveillance devant des écrans ou des alarmes qui signalent les problèmes.

D'autre part, un deuxième type d'emplois consistant en une intervention sur les lieux de vie aussi bien pour entretenir les biens sur tout leur cycle de vie qu'en face à face avec des personnes pour les aider tout au long de leur vie. De très nombreux emplois pourront ainsi être créés. Pour les seuls emplois sur les lieux de vie, un simple calcul montre que si chaque Français achetait "une solution par semaine nécessitant l'intervention d'une personne pendant une heure", cela permettrait de créer près de deux millions d'emplois à temps plein (Cahuc et Debonneuil, 2004). De plus, ces emplois possèdent deux attributs importants. Ils sont à la fois non délocalisables par nature et non affectables par des technologies numériques, dans la mesure où les interactions humaines qu'ils comportent sont par essence non routinières. Au fur et à mesure que les personnes mises à disposition pourront elles-

mêmes faire appel à d'autres personnes et d'autres biens à distance, les *emplois sur les lieux de vie* se diversifieront et offriront des possibilités d'évolution aussi larges que celles offertes autrefois aux salariés de l'industrie avec en particulier des possibilités d'évolutions vers des postes d'encadrement. Certes il faudra que les salariés acceptent d'occuper des emplois dont beaucoup seront en face à face avec des personnes ou avec leur environnement (équipements du logement, appareils électroniques et électroménagers, soins à domicile, etc.). Gageons qu'ils auront tôt fait de se rendre compte que ces emplois valent bien ceux consistant à faire des gestes répétitifs devant des machines et destinés en plus à disparaître. Sur les plans économique et symbolique, l'intérêt attaché à tous ces métiers tient essentiellement à leur capacité à dégager des gains de pouvoir d'achat, à tirer une valorisation individuelle et sociale de la relation bilatérale et à donner lieu à des évolutions de carrière. Dès lors que les *solutions sont productives*, elles permettront d'offrir de telles évolutions et de dégager des gains de pouvoir d'achat pour un très grand nombre de salariés qui pourront alors acheter la production de toutes les *solutions* qu'ils auront contribué à produire. C'est la renonciation à *l'avoir plus* et la convergence vers un *mieux être* qui permettront l'émergence de cette nouvelle révolution, sans compter les effets positifs sur l'environnement, non analysés dans cet article (Crifo *et al.*, 2009)

Conclusion

Dans cet article, on a cherché à évaluer le bien fondé sur lequel reposent les inquiétudes contemporaines liées aux contreperformances des innovations: les technologies numériques ne permettraient-elles plus de résoudre le problème de la croissance, ni celui encore plus grave de l'emploi, dans le pays phare de l'innovation, alors même que les technologies de la deuxième révolution industrielle y étaient parvenues depuis l'après guerre jusqu'au milieu des années 2000 ? Au prix d'un long détour statistique, le constat est apparu plutôt mitigé. D'une part, l'analyse précise des chiffres montre que les fortes inquiétudes sur l'atonie de la productivité paraissent exagérées. D'autre part, si les statistiques sur l'emploi restent inquiétantes, ce qui a permis et permet encore d'alimenter le spectre d'une "croissance sans emplois", dire simplement comme le font plusieurs économistes que les innovations de la 3^{ème} révolution industrielle substituent des mécanismes automatiques à du travail humain, et de ce fait ont un impact négatif sur l'emploi, est une explication qui nous est apparue devoir être nuancée ou du moins approfondie. A l'heure où la matière grise est devenue l'input le plus prisé et le plus rare, et qu'il remplace progressivement du travail physique de l'homme, il serait totalement erroné de conclure que la réponse à l'inquiétude sur l'emploi consisterait à ralentir le rythme du progrès technique. De tout temps, le progrès technique a commencé par détruire des emplois avant d'en créer d'autres. Mais le problème majeur que posent aujourd'hui les technologies numériques est qu'elles parviennent à remplacer certaines tâches *routinières* humaines, que celles-ci soient de type manuel ou cognitif, par des automatismes, grâce aux progrès réalisés en termes de codification numérique de ces tâches. Cela conduit à une bipolarisation des emplois : d'une part, ceux où la destruction l'emporte sur la création, qui concernent les emplois à tâches routinières, recevant des salaires intermédiaires, et touchant essentiellement la classe moyenne américaine ; d'autre part, ceux où les créations l'emportent sur les destructions, qui concernent les emplois à tâches non routinières, recevant des salaires se situant aux deux extrêmes de la distribution, à savoir les très bas salaires et les très hauts salaires. Contrairement aux innovations de la deuxième révolution industrielle qui ont introduit un biais en faveur du travail non qualifié en remplaçant le travail qualifié des artisans par du travail non qualifié à la chaîne, le biais des innovations contemporaines est plutôt nettement en faveur du travail qualifié.

Pour tenter de répondre à ces inquiétudes, cet article a exploré deux pistes de réflexion. La première consiste à distinguer différents types d'innovations pour comprendre les performances contrastées qu'on observe, notamment en termes d'emplois. La typologie conduit à regretter l'insuffisance des innovations autonomisantes par rapport aux innovations de remplacement et de rationalisation. Si les premières ont des effets positifs sur l'emploi, il n'en est pas de même des deux dernières, surtout dans le cadre d'une concurrence globalisée qui permet une délocalisation d'activités de productions dans des pays à bas coûts salariaux. Mais comme les innovations de remplacement et de rationalisation sont aujourd'hui plus fréquentes que les innovations autonomisantes, les inquiétudes sur l'emploi sont en quelque sorte justifiées.

La deuxième piste de réflexion consiste à déplacer l'accent mis sur la technologie en examinant les conditions sociales qui permettent aux innovations d'exploiter au mieux leur potentiel, notamment en matière de créations d'emplois. Pour cela, on est revenu sur les caractéristiques des deux premières révolutions industrielles et des transformations sociales qui les ont accompagnées, afin de mieux comprendre pourquoi la troisième révolution industrielle n'a pas encore conduit à des performances analogues. Un diagnostic correct de la situation présente permet de parvenir à des perspectives bien moins sombres que celles issues des inquiétudes précédentes. Une des leçons qu'il convient de retenir est qu'il serait erroné de se polariser exclusivement sur l'innovation technologique, car une telle polarisation passe sous silence deux facteurs : d'une part, le rôle déterminant du renouvellement des usages et des modes de vie que l'utilisation sociale des innovations appelle et, d'autre part, l'importance fondamentale des apprentissages tout au long de la vie. En tant que catalyseurs du progrès technique, les usages et les modes de vie caractérisent le mieux les modalités du renouvellement. Selon cette argumentation, la situation actuelle de sous-emploi massif pourrait n'être que transitoire, due à une insuffisante adaptation de l'organisation sociale aux potentialités des innovations numériques contemporaines. Se profile ainsi une transition vers une nouvelle organisation sociale, où les offres de biens et de services ne seraient plus distinguées mais plutôt combinées sous la forme de "solutions". Ces solutions seront les réponses qui seront apportées par les producteurs aux besoins des consommateurs tels qu'ils peuvent désormais les connaître grâce aux capteurs à distance. Certains capteurs seront mis sur les biens ; alors les producteurs pourront mettre ces biens à disposition des consommateurs qui n'auront plus besoin de les acheter. Mais la plupart des capteurs auront pour seule fonction de fournir de l'information à distance et en continu sur l'état des personnes (paramètres de santé, chute ...) ou de leur environnement (température des pièces, présence de fumée...); les *solutions* mettront alors à disposition des personnes ou déclencheront des automatismes à distance pour apporter des réponses aux dysfonctionnements révélés par les données captées.

Deux types d'emplois sont alors concevables : d'une part, des emplois qualifiés pour la conception technologique de biens industriels dont la fabrication sera de plus en plus automatisée et, d'autre part, des emplois moins techniquement qualifiés pour la mise à disposition de "solutions" auprès des utilisateurs. Du fait que ce deuxième type d'emplois possède une double caractéristique – ils sont à la fois non délocalisables et non affectables par des technologies numériques – on peut s'attendre à une création d'un nombre substantiel d'emplois nouveaux. Les emplois d'assistance nécessiteront de nouvelles formes de qualification, notamment celle de pouvoir réagir rapidement à des situations inédites et de communiquer des informations précises à d'autres interlocuteurs. De manière plus générale, dans l'ère du numérique, l'éducation, la formation et l'apprentissage sont rendus de plus en plus fondamentaux durant tout le cycle de vie et ce depuis le plus jeune âge,⁴⁵ non seulement pour s'adapter aux transformations technologiques qu'appellent les innovations contemporaines mais également pour revendiquer les transformations sociales dans les usages et les modes de vie que requièrent les changements technologiques. En un mot, dans l'ère du numérique et de la mondialisation, la prospérité économique se gagne autant sur les terrains de la formation et de la transformation des connaissances que sur ceux des usages de l'innovation qui doivent conduire à une perception renouvelée des modes de vie.

Bibliographie

Acemoglu, D., 2002, "Technical change, inequality, and the labor market", *Journal of Economic Literature*, vol. 40, no. 1, 7–72.

Acemoglu, D. & D. Autor, 2011, "Skills, tasks and technology: Implications for employment and earnings", in *Handbook of Labor Economics*, Volume 4b, ch. 12, 1043-1171

⁴⁵ Hart et Risley (1998) ont évalué que des enfants de 2 à 4 ans issus de parents instruits et ayant des professions en haut de l'échelle sociale entendent un vocabulaire composé en moyenne de 11 millions de mots. En comparaison, les enfants de même âge mais issus de parents les moins pourvus sur les plans de l'instruction et de la qualification professionnelle n'entendent que 3 millions de mots en moyenne.

Acemoglu, D., D. Autor, D. Dorn, G. Hanson & B. Price, 2014, Return of the Solow Paradox? IT, Productivity, and Employment in US Manufacturing, forthcoming *American Economic Review, Papers and Proceedings*

Aghion, P., U. Akcigit & P. Howitt, 2013, “What do we learn from Schumpeterian Growth Theory?” NBER WP 18824

Akcigit, U., D. Hanley & N. Serrano-Velarde, 2013, “Back to Basics: Basic Research Spillovers, Innovation Policy and Growth”, Penn Institute for Economic Research, PIER WP13-051

Autor, D., F. Levy, and R.J. Murnane, 2003, “The Skill Content of Recent Technical Change: An Empirical Investigation”, *Quarterly Journal of Economics*, 118, 4, 1279-1334.

Baily, M., J. Manyika & S. Gupta, 2013, “US productivity growth: an optimistic perspective”, *International productivity Monitor*, 25, 3-12

Bower, J. & C. Christensen, 1995, “Disruptive Technologies, Catching the Wave”, *Harvard Business Review*, January-February, 43-53

Bradford DeLong, J., 2000, “Cornucopia: the pace of economic growth in the twentieth century”, NBER, WP 7602

Brynjolfsson, E. & A. McAfee, 2011, *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity and irreversibly transforming employment and the economy*, Lexington: Digital Frontier Press

Brynjolfsson, E. & A. McAfee, 2014, *The second machine age, work, progress and prosperity in a time of brilliant technologies*, Norton & Company

Cahuc, P. & M. Debonneuil, 2004, *Productivité et emploi dans le tertiaire*, Rapport Conseil d'Analyse Economique, La Documentation Française

CGSP, 2013, La Silver Economie, une opportunité pour la France, www.strategie.gouv.fr

Christensen, C., H. Baumann, R. Ruggles & T. Sadtler, 2006, “Disruptive innovation for social change”, *Harvard Business Review*, December

Christensen, C., 2012, “A Capitalist’s Dilemma, Whoever Wins on Tuesday”, *New York Times*, November

Cockburn, I. & S. Stern, 2010, “Finding the endless frontier: Lessons from the Life Science Innovation System for technology policy”, *Capitalism and Society*, 5:1

Cornell ILR School, 2013, Employment & Sustainability: Report of the roundtable on Employment and Technology

Cour des Comptes, 2013, *Le financement public de la recherche, un enjeu national*, Rapport public thématique

Crampes, C. & D. Encaoua, 2003, Microéconomie de l’innovation, in *Encyclopédie de l’Innovation*, eds. P. Mustar & H. Penan, Economica, 405-430

Crifo, I., M. Debonneuil & A. Grandjean, 2009, *Croissance verte*, Conseil Economique pour le Développement Durable

Debonneuil, M., 2007, *L’espoir économique : vers la révolution du quaternaire*, Bourin éditeur

Debonneuil, M., 2010, *L’économie quaternaire : une croissance durable à construire*, Premier Ministre, Secrétariat d’Etat en charge de la prospective et du développement de l’économie numérique

Debonneuil, M., 2014, *Les solutions quaternaires pour aider à sortir de la crise*, Conseil Economique, Social et Environnemental, à paraître

Encaoua, D. & R. Guesnerie, 2006, *Politiques de la concurrence*, Rapport Conseil d’Analyse Economique, La Documentation Française

Encaoua, D., 2009, Nature of the European technology gap: creative destruction or industrial policy? In *The New Economics of Technology Policy*, edited by D. Foray, Edward Elgar, 281-314

Encaoua, D., 2011, Interactions science-technologie: quelles politiques publiques?, *Revue Française d’Economie*, vol. XXV, n°4, 75-119

European Commission, 2013, *Key Enabling Technologies*, High Level Expert Group Report, *Towards knowledge driven reindustrialisation*, European Competitiveness Report

European Commission, 2013, *Enterprise and Industry, Member States’ Competitiveness, Performance and Implementation of EU Industrial Policy*

European Commission, 2014, *Innovation Union Scoreboard*

Fleck, S., J. Glaser & S. Sprague, 2011, The compensation-productivity gap: a visual essay, *Monthly Labor Review*, 57-69

Frey, C. B. & M. Osborne, 2013, "The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation", University of Oxford

Goldin, C. & L. Katz, 1998, *The Race between Education and Technology*. Cambridge and London: Belknap Press of Harvard University Press.

Goos, M., A. Manning & A. Salomons, 2009, The polarization of the European labor market, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 99 (2).

Gordon, R., 2012, "Is US Economic Growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds", NBER WP 18315

Gordon, R., 2013, "US productivity growth: the slowdown has returned after a temporary survival", *International Productivity Monitor*, 25, 13-19

Greenstein, S., 2010, "Nurturing the accumulation of innovation: Lessons from Internet", NBER WP 15905

Hart, B. & T. Risley, 1998, "Meaningful differences in the everyday experience of young American children", Brookes Publishing Company, Baltimore, MD

Helpman, E., 1998, General Purpose Technologies and Economic Growth, Helpman, ed., MIT Press

Jaimovich, N. & H. Siu, 2012, The Trend is the Cycle: Job Polarization and Jobless Recoveries, NBER WP 18334

Jones, B., 2009, "The Burden of Knowledge and the Death of the Renaissance Man: Is Innovation Getting Harder?" *Review of Economic Studies* 76:1, 283-317

Karabarbounis, L. & B. Neiman, 2014, The global decline of the labor share, forthcoming, *Quarterly Journal of Economics*

Keynes, J. M., 1930, Economic Possibilities for our Grandchildren, in *Essays in Persuasion*, New York: W.W. Norton & Co., 1963, pp. 358-373

Kremer, M., 1993, The O-Ring theory of Economic Development, *The Quarterly Journal of Economics*, 108 (3), 551-575

Levy, F. and R. J. Murnane, 2013, "Dancing with Robots: Human Skills for Computerized Work", Washington, DC: Third Way NEXT, <http://www.thirdway.org/publications/714>

Manyika, J. et al., 2011, Growth and renewal in the United States: Retooling America's growth engine Washington, DC: McKinsey Global Institute.

Manyika, J. et al., 2013, Disruptive technologies: Advances that will transform life, business and the global economy, Washington, DC: McKinsey Global Institute

Mazzucato, M., 2013, The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Myths, Anthem Press

Miller, B. and R. Atkinson, 2013, "Are robots taking our jobs, or making them?" , ITIF, *The Information Technology and Innovation Foundation*

Mokyr, J. 2000, The Gifts of Athena, Historical Origins of the Knowledge Economy, Princeton University Press

Phelps, E. 2013, Mass Flourishing: How Grassroots Innovation Created Jobs, Challenge and Change, Princeton University Press

Sood, A. & G. Tellis, 2010, "Demystifying Disruption, A New model for Understanding and Predicting Disruptive Technologies", *Marketing Science*, December, 1-16

Scotchmer, S., 2004, *Innovation and Incentives*, MIT Press

Solow, R. 1957, "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics*, 39, 312-320

Tellis, G., 2006, "Disruptive Technology or Visionary Leadership", *The Journal of Product Innovation Management*, 23, 1, 34-58

Annexe

Productivité globale des facteurs (PGF)

- Niveaux: fonction de production $Y_t = A_t F(L_t, K_t)$
homogène de degré 1 en (L_t, K_t)

Y_t = PIB date t (taux croissance y_t)

L_t = nombre heures travaillées (taux croissance l_t)

K_t = volume équipements utilisés (taux croissance k_t)

A_t = productivité globale facteurs (taux croissance pgf_t)
= mesure la valeur ajoutée non due aux facteurs.

- Taux de croissance (a_t = part travail dans PIB)

$$y_t = pgf_t + a_t l_t + (1-a_t)k_t$$

pgf_t explique croissance PIB due au progrès technique
(résidu dans l'estimation de la fonction production,