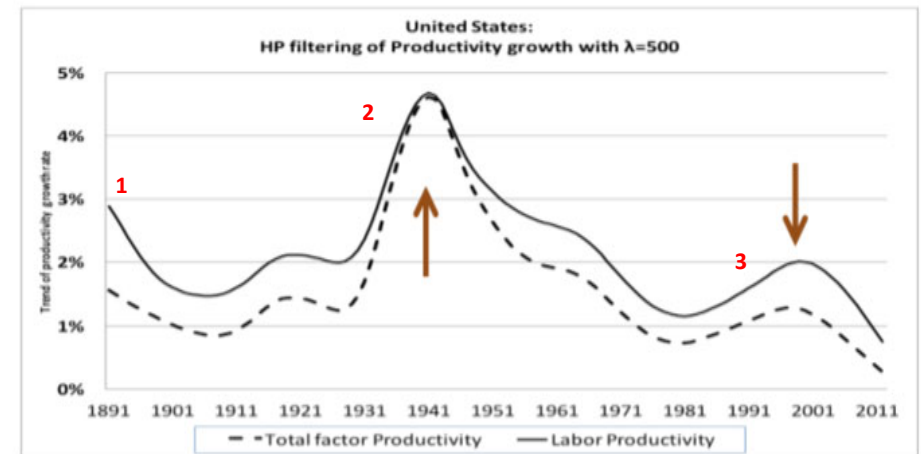


Les vagues technologiques

Les quatre vagues technologiques

- L'économie mondiale aura connu jusqu'à présent **quatre** principales **vagues** technologiques :
 - XVIII-XIXe siècles : la **machine à vapeur** (**1**)
 - XIX-XXe : l'**électricité** (**2**)
 - XX-XXIe : les **TIC** (**3**)
 - XXIe : l'**IA**



Source: Bergeaud, Cetté and Lecat (2016) Long term productivity project - www.longtermpredictivity.com

L'âge de la machine à vapeur

- 1769 : perfectionnement de la **machine à vapeur** par **James Watt**.
- L'innovation se développe d'abord **en Angleterre et en France** puis se diffuse à d'autres pays développés, notamment les **Etats-Unis**.
- Elle rencontre ses premiers succès dans **l'industrie cotonnière** :
 - Le secteur est alors confronté à une demande en plein essor, notamment portée par le succès des cotonnades indiennes.
 - D'abord pour le **filage**, actionnant la mule automatique, une machine à filer.
 - Puis pour les **autres étapes** :
 - **Impression** : invention en 1783 de la machine à cylindres par Thomas Bell
 - **Tissage** : premier métier à tisser mécanique breveté en 1785 par Edmund Cartwright

L'âge de la machine à vapeur

- Elle se diffuse ensuite à la **métallurgie** :
 - Face à la pénurie progressive de **charbon de bois**, le secteur s'est tourné vers un nouveau combustible pour ses hauts-fourneaux : le **charbon de terre**.
 - La **machine à vapeur** a facilité l'utilisation du charbon de terre :
 - **Pompage de l'eau** inondant les mines : augmente les quantités extraites
 - Production de **puissance** pour les soufflets et les marteaux : utilisation facilitée par la fourniture d'une puissance constante, permet de déplacer les fonderies à distance des **cours d'eau** et à proximité des mines.
- Ce développement de la métallurgie entraîne à son tour des transformations dans de **nombreux secteurs**, fournissant de nouveaux **outils ou machines** produits en fer.

La fée électricité

- 1866 : Werner von **Siemens** est l'un des premiers à mettre au point la **dynamo**, un générateur de courant électrique continu.
- 1879 : Thomas **Edison** commercialise l'**ampoule** électrique.
- Cette révolution culmine dans la seconde moitié du **XX^e siècle**.
- Robert Gordon (1999) la surnomme la « **One Big Wave** ».

La fée électricité

- La révolution traverse l'Atlantique dans le **sens inverse** à la première vague : elle naît aux **Etats-Unis** où elle atteint son apogée dans les années 1930 mais ne se généralise dans les **autres pays** développés qu'après la Seconde Guerre mondiale.
- Elle est de plus grande ampleur en **Europe et au Japon** qu'aux Etats-Unis, survenant dans un contexte de **reconstruction et de rattrapage** technologique.

L'ère du numérique

- 1969-1971 : Federico Faggin et Marcian Hoff, deux ingénieurs chez Intel, mettent au point le **microprocesseur**.
- Apparaît alors progressivement une révolution **numérique** fondée sur :
 - L'ordinateur
 - Internet
- Sur le plan technique, cette révolution repose sur la transition d'une mode de transmission **analogique** (reposant sur des variations non quantifiées de courant ou de tension) des informations à un mode **numérique** (en convertissant les informations en données chiffrées).

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- L'histoire de l'IA remonte à plus de 70 ans. Dès 1950, le mathématicien et cryptologue britannique Alan Turing s'est intéressé à la capacité d'une machine à imiter une conversation.
- C'est quelques années plus tard, en 1956, qu'apparaît pour la première fois le terme d'intelligence artificielle.
- L'IA s'est d'abord développée sous la forme de règles déductives du type « si...alors ». Cette approche dite symbolique, fondée sur le raisonnement et des instructions, était largement majoritaire jusqu'à dans les années 1990.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- Sans que cette approche symbolique soit abandonnée, une approche statistique de l'IA a pris de l'ampleur à compter des années 1990 : machine learning.
- Contrairement à l'approche symbolique, l'humain ne détermine pas un ensemble de règles « si... alors ».
- Il veille à ce que l'ordinateur « apprenne » à identifier des relations statistiques entre les données.
- Il n'y a donc pas d'instruction explicite d'un humain : la machine est entraînée à reconnaître des liens à partir d'un ensemble de données dites d'entraînement. La machine applique ensuite ces liens à des données nouvelles pour effectuer une tâche.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- Le succès de cette seconde approche repose sur deux ingrédients indispensables : les données et une puissance de calcul, soutenues par l'émergence du *cloud*.

Les vagues technologiques

- Les vagues technologiques suscitent beaucoup d'espoirs, en raison de leur **effet potentiel sur la croissance de la productivité**.
- Mais elles alimentent aussi des **craintes**, notamment celle d'une **destruction massive d'emplois**.

Plan de cette leçon

I. Appréhender les vagues technologiques

II. Faut-il craindre les révolutions technologiques ?

Plan de cette leçon

I. Appréhender les vagues technologiques

II. Faut-il craindre les révolutions technologiques ?

Les vagues technologiques

- Historiquement, le progrès technique s'est structuré en vagues technologiques, aussi appelées révolutions industrielles.
- Le terme de "vague technologique" désigne une période pendant laquelle une technologie générique se diffuse à l'ensemble des secteurs de l'économie
- Innovation majeure suivie d'innovations secondaires
- Courbe « logistique »

Les vagues technologiques

- Une **innovation majeure** entraîne une **hausse de la croissance de la productivité**, au fur et à mesure de sa **diffusion** dans l'économie et de la **transformation profonde** des méthodes de production et de la structure des secteurs économiques que cette innovation entraîne.
- On parvient progressivement à un niveau de **saturation**, où l'on a tiré la majorité des bénéfices de l'innovation.
- La croissance de la productivité **diminue** alors, jusqu'à ce qu'une **nouvelle vague** vienne prendre le relais.
- Ces vagues s'apparentent à ce qu'on appelle des **cycles de Kondratiev**, du nom d'un économiste soviétique qui soutenait que les cycles économiques s'étendaient sur un intervalle de **temps long** (environ 50 ans).

Les technologies génériques

- On désigne sous le nom de **technologies génériques** (*General Purpose Technology* ou **GPT** en anglais) les innovations majeures **au cœur** des différentes vagues technologiques.
- Qu'est-ce qui **distingue** ces innovations des autres ?
- Pourquoi ont-elles un tel **effet sur la croissance** économique ?

Les technologies génériques

“General Purpose Technologies” (2017) de B. Jovanovic et P. L. Rousseau, dans *Handbook of Economic Growth* (Chap. 18)

- Jovanovic et Rousseau cherchent à **définir** ce qu’est une technologie générique.
- Ils **illustrent** ensuite leur définition à partir de deux exemples de GPT :
 - **L’électricité**
 - **Les TIC**

Les technologies génériques

- Les auteurs empruntent à Bresnahan et Trajtenberg (1996) la définition d'une technologie générique à partir de **trois caractéristiques fondamentales** :
 - **Fécondité** : elle donne lieu à une succession de vagues **d'innovations secondaires** qui l'appliquent à différents secteurs économiques.
 - **Perfectibilité** : elle **s'améliore** au cours du temps ce qui permet une **baisse progressive de son coût** pour les utilisateurs.
 - **Universalité** : elle se diffuse à **l'ensemble des secteurs** de l'économie

Les technologies génériques

- Les auteurs reprennent à Bresnahan et Trajtenberg (1996) la définition d'une technologie générique à partir de **trois caractéristiques fondamentales** :
 - **Fécondité** : elle donne lieu à une succession de vagues **d'innovations secondaires** qui l'appliquent à différents secteurs économiques.
 - **Perfectibilité** : elle **s'améliore** au cours du temps ce qui permet une **baisse progressive de son coût** pour les utilisateurs.
 - **Universalité** : elle se diffuse à **l'ensemble des secteurs** de l'économie

Fécondité

- Une technologie générique affecte **en profondeur** les processus de production, y compris ceux d'innovation et d'invention.
- Mais elle n'est pas du « prêt-à-porter » : elle doit être adaptée aux différents secteurs de l'économie grâce à des **innovations secondaires**.
- Il existe **deux types** d'innovations secondaires :
 - Innovation de **procédé** : aider à fabriquer les produits existants.
 - Innovation de **produit** : développer de nouveaux produits.

Fécondité

- Exemples d'innovations de **procédé** :
 - L'électricité, en alimentant les usines en énergie de façon continue peut être considérée comme à l'origine de **l'automatisation des processus de production**.
 - En développant les capacités de simulation informatique, les TIC ont changé la façon de faire de la **recherche empirique**.
- Exemple d'innovation de **produit** : le développement des TIC a par exemple favorisé la création des **smartphones**.

Fécondité

- Une façon d'étudier ces innovations secondaires est de s'intéresser au nombre de **brevets déposés par million de personnes**.
- Aux Etats-Unis, ce nombre **augmente fortement** :
 - Entre **1900 et 1930** : électrification
 - Après **1977** : TIC
- On remarque aussi une forte hausse après des **périodes de conflit** :
 - 1865 : fin de la guerre civile américaine
 - 1945 : fin de la Seconde Guerre mondiale

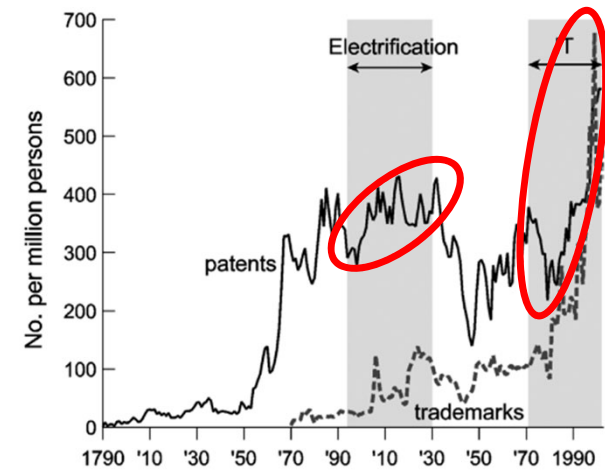


Figure 12. Patents issued on inventions and trademarks registered in the United States per million persons, 1790–2002.

Fécondité

- Des facteurs **institutionnels**, notamment le **cadre légal** applicable à la propriété intellectuelle (cf. Mokyr et la leçon précédente) et la façon dont il est appliqué par les tribunaux, jouent un rôle dans ces hausses.
- Mais des travaux de Kortum et Lerner (1998) sur la révolution des TIC mettent en valeur le **rôle central de la technologie** dans l'explosion du nombre de brevets.

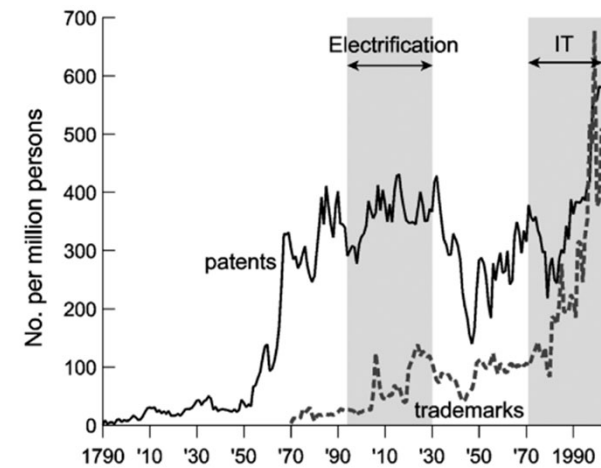


Figure 12. Patents issued on inventions and trademarks registered in the United States per million persons, 1790–2002.

Fécondité

- Une autre façon d'étudier ces innovations secondaires est de s'intéresser aux **créations d'entreprises**.
- En effet, les nouvelles entreprises ne subissent **pas de coûts** liés au passage des anciennes aux nouvelles technologies, et leur organisation est **plus flexible** que pour les entreprises existantes.
- L'arrivée d'une technologie générique devrait donc être à l'origine **d'entrées et de sorties** d'entreprises (destruction créatrice).

Fécondité

- Pour mesurer l'entrée, on regarde la **valeur des entreprises qui entrent** au New York Stock Exchange (NYSE), American Stock Exchange ou au NASDAQ en **pourcentage de la valeur totale** de la bourse (courbe en trait plein).
- On observe bien une **hausse** durant les deux périodes de diffusion des GPT.

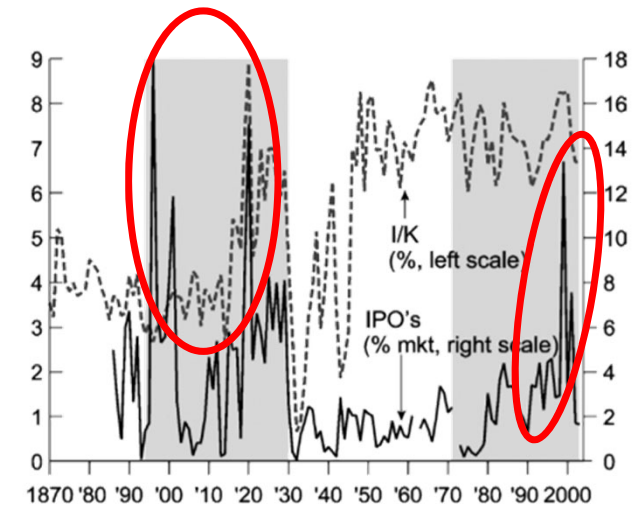


Figure 14. IPOs as a percent of stock market value, and private domestic investment as a percent of the net capital stock, 1870–2003.

Les technologies génériques

- Les auteurs reprennent à Bresnahan et Trajtenberg (1996) la définition d'une technologie générique à partir de **trois caractéristiques fondamentales** :
 - **Fécondité** : elle donne lieu à une succession de vagues d'innovations secondaires qui l'appliquent à différents secteurs économiques.
 - **Perfectibilité** : elle **s'améliore** au cours du temps ce qui permet une **baisse progressive de son coût** pour les utilisateurs.
 - **Universalité** : elle se diffuse à **l'ensemble des secteurs** de l'économie

Perfectibilité

- A mesure qu'elle **vieillit**, une technologie générique progresse en **efficacité**.
- Ce progrès peut avoir **deux conséquences** (non-exclusives) :
 - Une **baisse de prix**
 - Une **hausse de qualité**
- Pour étudier ces effets, on peut s'intéresser au **prix réel** (en neutralisant l'effet de l'inflation) **du capital ajusté pour la qualité**.
- Une **baisse** de ce prix traduit des **améliorations technologiques** qui permettent de diminuer le prix de la technologie générique à qualité donnée.

Perfectibilité

- Lorsqu'on s'intéresse à l'ensemble des types d'équipement, le prix du capital **diminue de façon continue** entre 1885 et 1995.
- Mais on observe que cette baisse **s'accélère** dans la seconde partie de la diffusion des GPT :
 - Entre **1905 et 1920** pour l'électricité (**1**).
 - Après **1975** pour les TIC (**2**).
- Cela semble plaider en faveur d'un **perfectionnement progressif** de ces innovations.

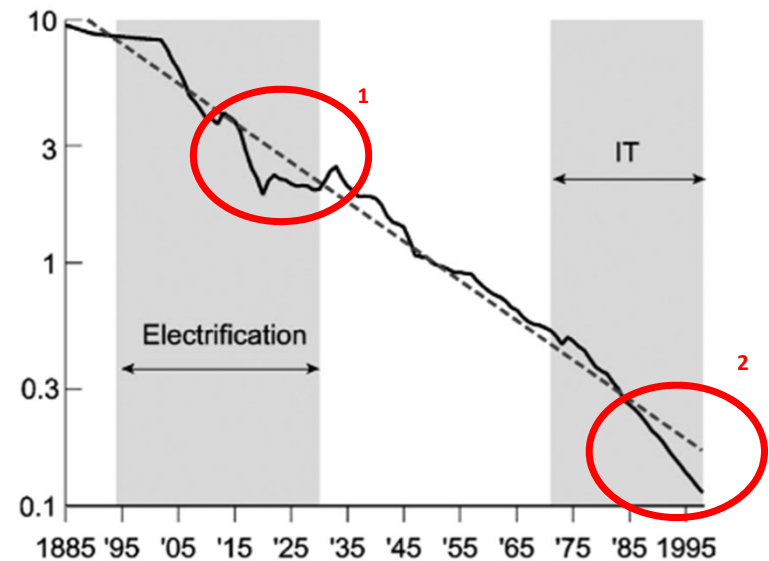


Figure 9. The price of equipment relative to consumption goods.

Perfectibilité

- Si l'on se concentre sur les technologies génériques, on remarque que la chute de prix pour les **capitaux qui y sont directement liés** est très marquée :
 - Deuxième vague (**1**) :
 - Production **d'électricité**
 - **Moteur à explosion** : rendu possible par les bougies électriques
 - Troisième vague (**2**) : **ordinateur**

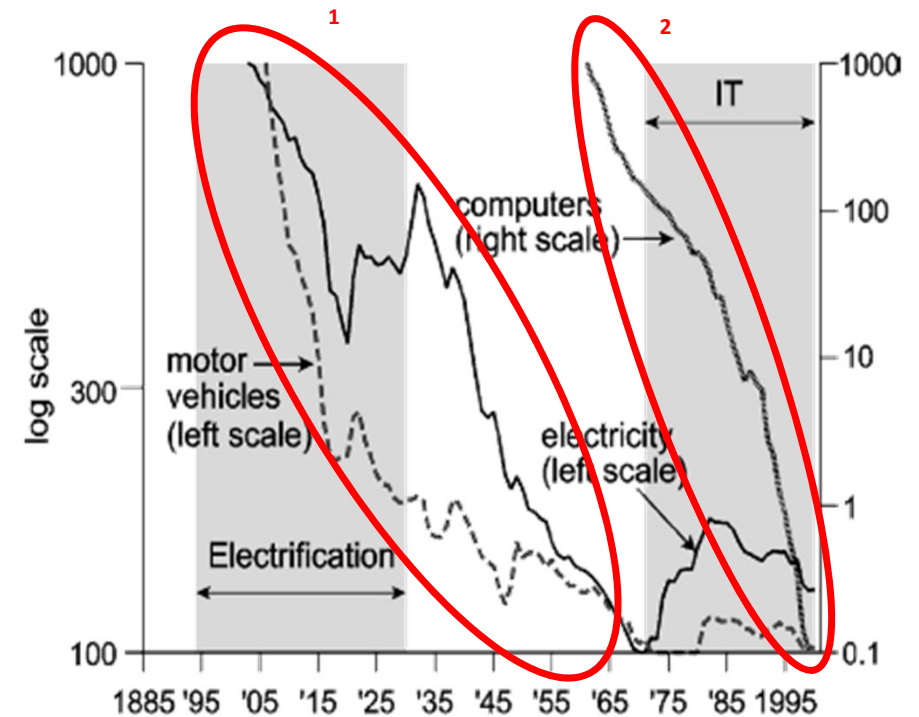


Figure 10. Price indices for products of the two GPT eras.

Perfectibilité

- La chute de prix est particulièrement forte pour l'**ordinateur** : son coût est divisé par **10 000** en **25 ans**.
- Pour l'**électricité** ou les **véhicules à moteur**, les prix sont « seulement » divisés par **10** en un **siècle**.

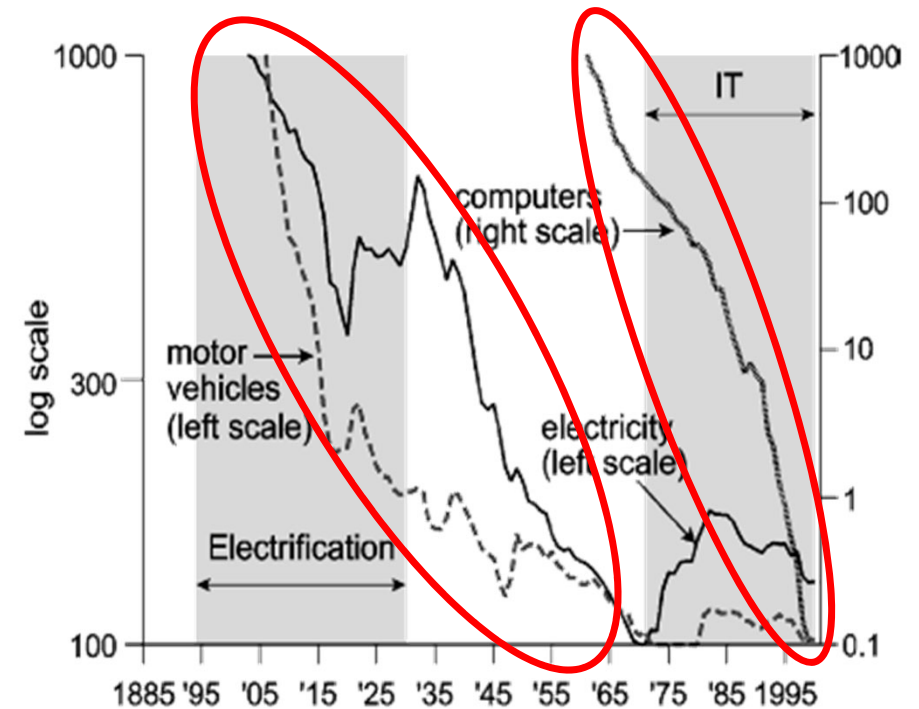


Figure 10. Price indices for products of the two GPT eras.

Les technologies génériques

- Les auteurs reprennent à Bresnahan et Trajtenberg (1996) la définition d'une technologie générique à partir de **trois caractéristiques fondamentales** :
 - **Fécondité** : elle donne lieu à une succession de vagues **d'innovations secondaires** qui l'appliquent à différents secteurs économiques.
 - **Perfectibilité** : elle **s'améliore** au cours du temps ce qui permet une **baisse progressive de son coût** pour les utilisateurs.
 - **Universalité** : elle se diffuse à **l'ensemble des secteurs** de l'économie

Universalité

- La diffusion d'une technologie générique à travers l'économie suit une **courbe en S**, aussi appelée **courbe logistique** (initialement inventée pour la modélisation démographique).
- Cette diffusion se fait au détriment des **technologies antérieures**, qui déclinent symétriquement.
- On retrouve bien là le principe de **destruction créatrice** : le nouveau remplace l'ancien.

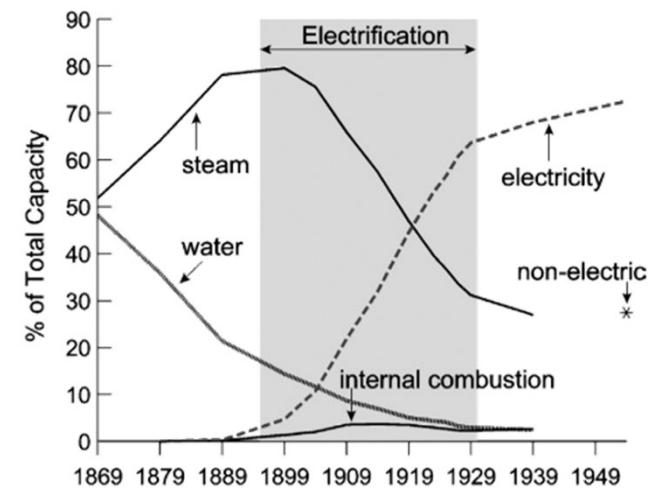


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.

Universalité

- Aux **Etats-Unis**, l'essor de l'**électricité** est ainsi concomitant à une chute de l'usage de la puissance de la **vapeur** dans l'ensemble des secteurs manufacturiers.
- En **1899**, la vapeur représente près de **80%** de la puissance utilisée dans l'industrie manufacturière américaine. L'électricité représente moins de **10%**.
- En **1929**, l'électricité est passée à plus de **60%** et la vapeur à **30%**.

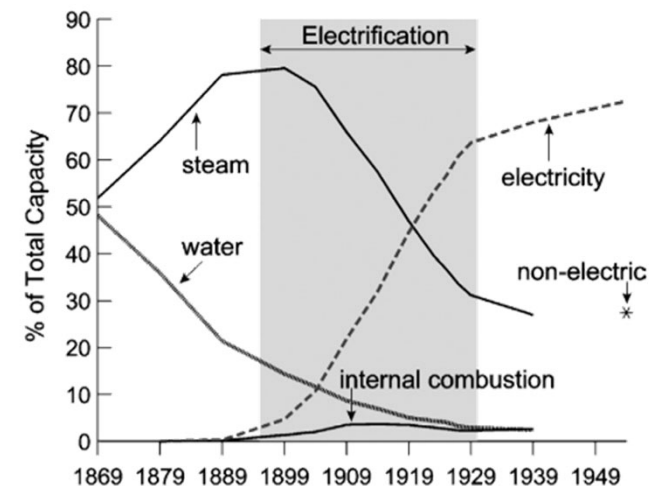


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.

Universalité

- Auparavant, l'essor de la **machine à vapeur** avait progressivement supplanté la propulsion **hydraulique**.
- Les industries, traditionnellement implantées le long des **cours d'eau**, avaient alors pu **s'établir plus librement** sur le territoire.

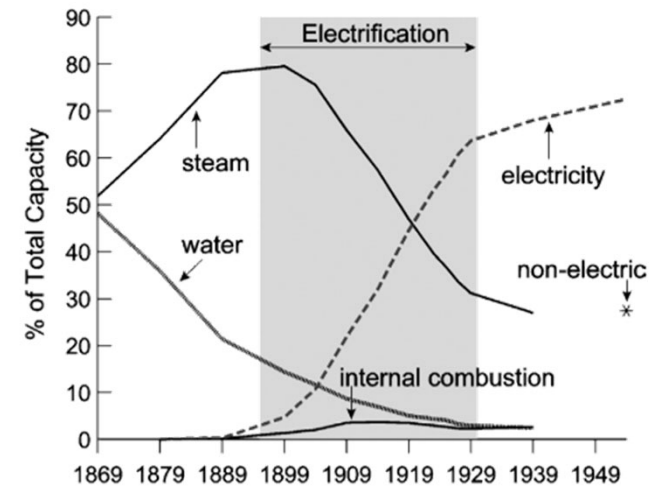
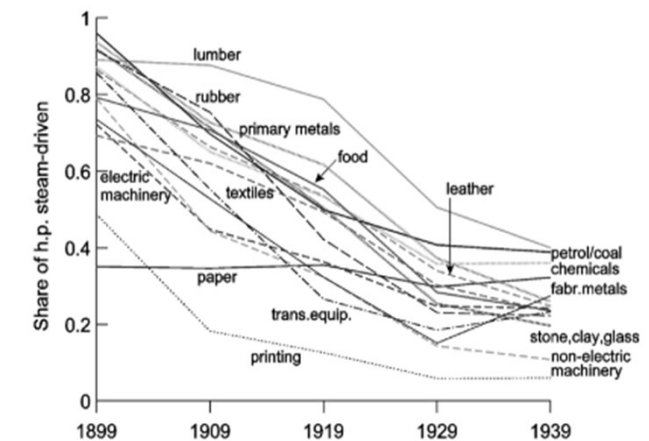
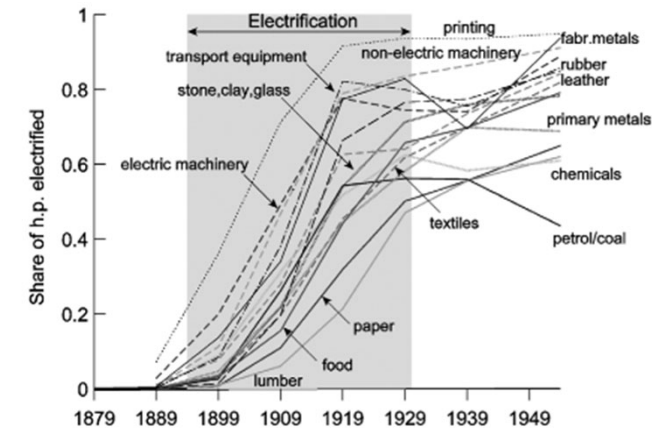


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.

Universalité

- Important : cette diffusion n'est **pas concentrée** dans quelques secteurs qui tireraient la croissance agrégée.
- **Tous** les secteurs manufacturiers adoptent l'électricité et se détournent de la vapeur.
- La transition est **plus ou moins précoce et rapide** selon les secteurs.



Universalité

- On retrouve une dynamique similaire dans le cas de la **révolution des TIC**.
- En **1970**, les TIC représentent **moins de 1%** du stock de capital de l'industrie américaine.
- En **2000**, les TIC constituent **plus de 8%** du stock total de capital de l'industrie américaine.

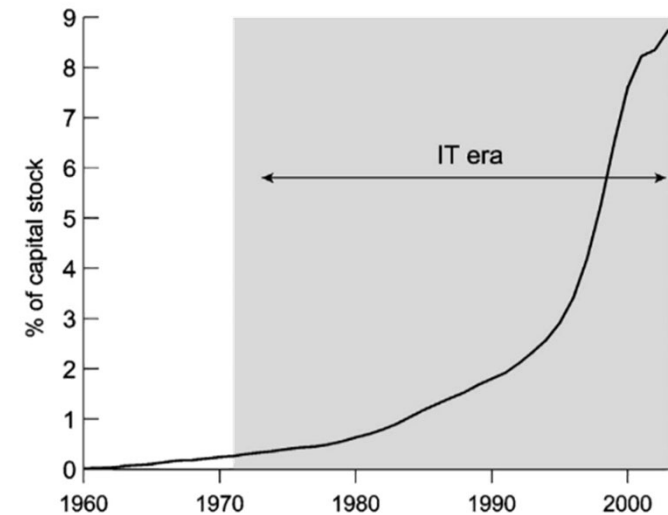


Figure 3. Shares of computer equipment and software in the aggregate capital stock, 1960–2003.

Universalité

- Comme c'était le cas pour les révolutions technologiques antérieures, les TIC se diffusent à **tous les secteurs**.
- La diffusion est **plus rapide** dans certains secteurs (le 90^e percentile) tandis que d'autres secteurs n'ont commencé à adopter les TIC **qu'après 1985**.

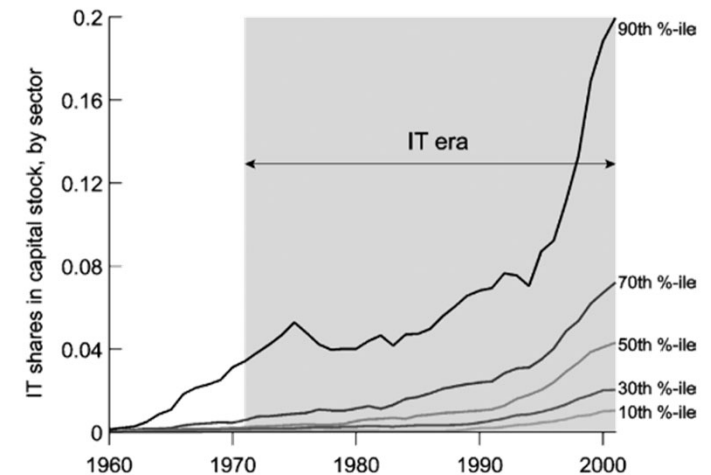


Figure 7. Shares of IT equipment and software in the capital stock by sector in percentiles, 1960–2001.

Universalité

- Cette courbe en S pourrait s'expliquer par l'importance des **externalités de réseau** dans le déploiement des GPT.
- Externalité de réseau = plus le **nombre** d'utilisateurs est important, plus les utilisateurs **bénéficient** de la technologie.

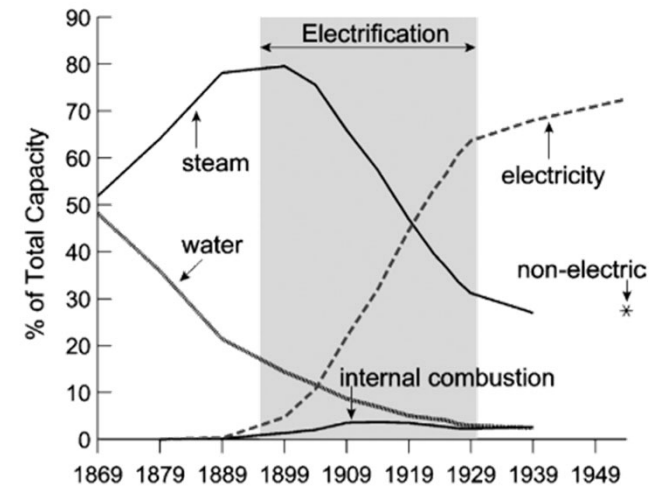


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.

Universalité

- **Electricité** : la mise en place d'un **réseau de distribution** à grande échelle est rentable uniquement si le nombre d'utilisateurs est important.
- **TIC** : le développement de l'informatique requiert une **masse critique d'utilisateurs**, en particulier pour l'utilisation de l'internet.

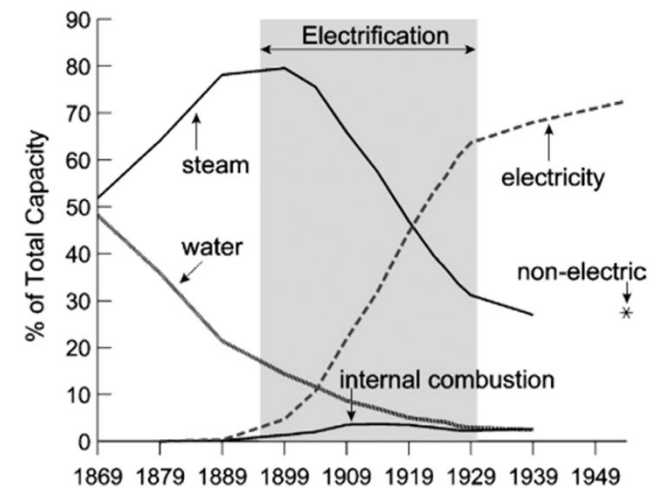
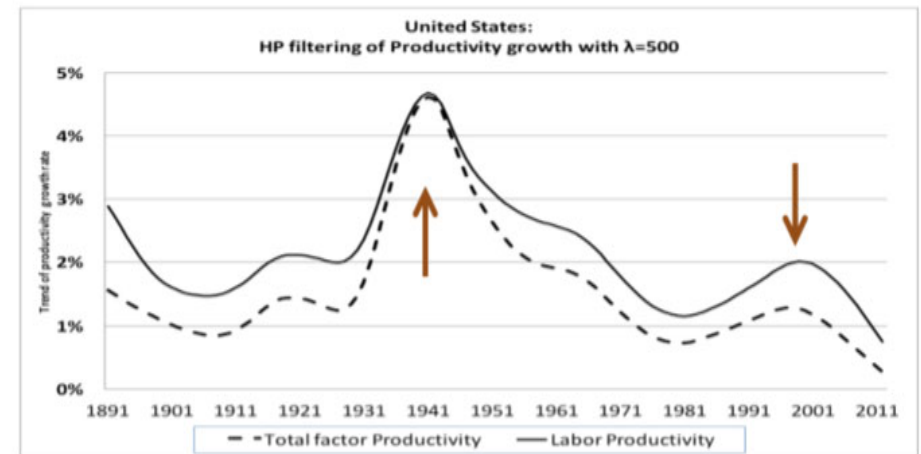


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.

Le retard dans le démarrage des vagues

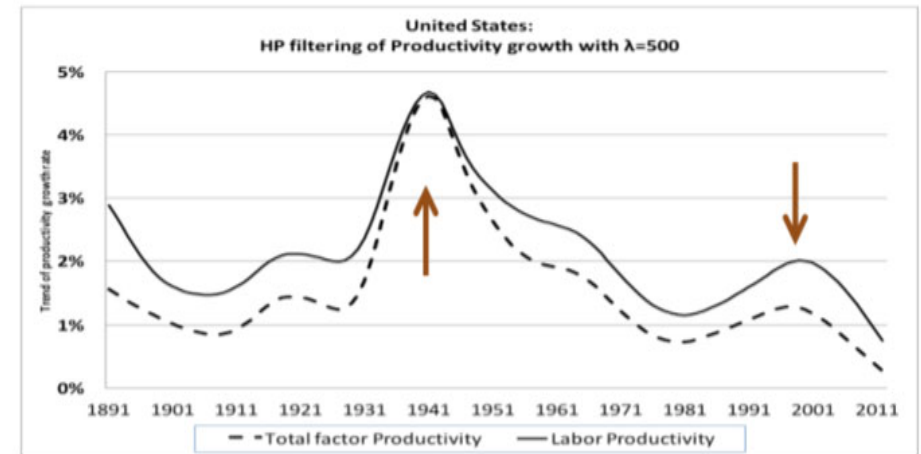
- Pour chacune des trois révolutions technologiques, on constate un **décalage temporel** entre l'**invention** de la technologie à l'origine de la vague et le **décollage** de la croissance.
- **1712** : commercialisation de la première machine à vapeur par Thomas Newcomen → **1830** : l'accélération de la croissance du PIB par habitant devient visible au Royaume-Uni.



Source: Bergeaud, Cette and Lecat (2016) Long term productivity project - www.longtermproductivity.com

Le retard dans le démarrage des vagues

- **1879** : invention de l'ampoule électrique → années **1930** : accélération de la croissance de la productivité aux Etats-Unis.
- **1969-1971** : invention du microprocesseur → **1987** : Robert Solow – « Nous voyons les ordinateurs partout sauf dans les statistiques » → années **1990** : vague de croissance.



Source: Bergeaud, Cetté and Lecat (2016) Long term productivity project - www.longtermproductivity.com

Le retard dans le démarrage des vagues

- Comment **expliquer** ce décalage ?
- **4 causes possibles :**
 - Importance des **innovations secondaires**
 - **Délai de diffusion** au sein des entreprises
 - ***Learning by doing***
 - Adoption par les **ménages**

Le retard dans le démarrage des vagues

- Comment **expliquer** ce décalage ?
- 4 causes possibles :
 - Il faut découvrir les **innovations secondaires**
 - Délai de diffusion au sein des entreprises
 - *Learning by doing*
 - Adoption par les ménages

Innovations secondaires

- Les innovations secondaires jouent un **rôle essentiel** dans l'adaptation de la technologie générique aux différents secteurs industriels.
- Mais elles contribuent aussi à **retarder** l'effet de la GPT sur la croissance :
 - La production de ces innovations secondaires **prend du temps**, notamment parce que les différents secteurs sont plus ou moins prêts à intégrer l'innovation.
 - La production d'innovations secondaires nécessite de **sacrifier des ressources** qui auraient sinon pu être utilisées dans la production.

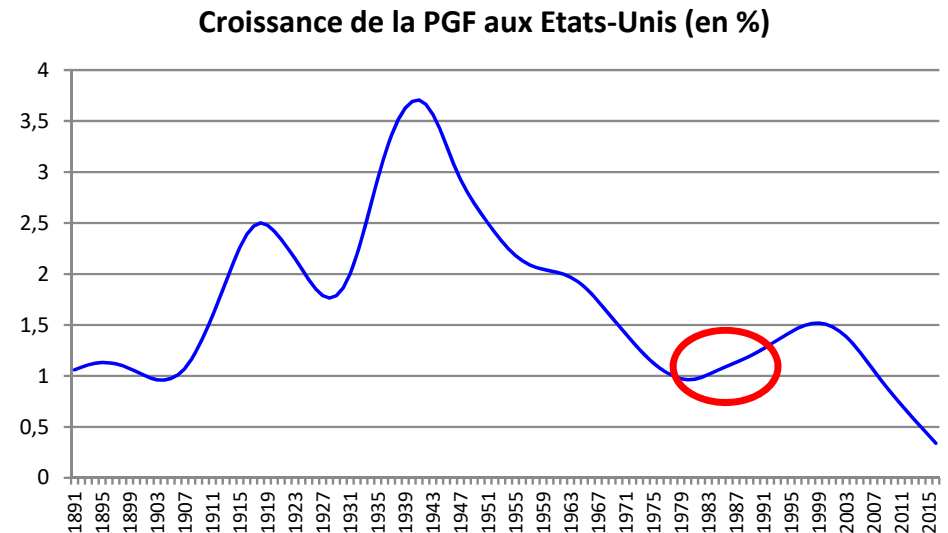
Le retard des vagues

- Comment **expliquer** ce décalage ?
- **4 causes possibles :**
 - Il faut découvrir les **innovations secondaires**
 - **Délai de diffusion** au sein des entreprises
 - *Learning by doing*
 - Adoption par les **ménages**

Délai de diffusion au sein des entreprises

“The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox” (1990) de P. David

- Paul David écrit cet article dans le contexte du « **paradoxe de Solow** » :
 - Le monde connaît alors une **vague d'innovations majeures** (microélectronique, technologies de communication, fibres optiques, matériaux composites, biotechnologie) portée par les **TIC**.
 - Mais sans effet notable sur la **croissance de la productivité**.

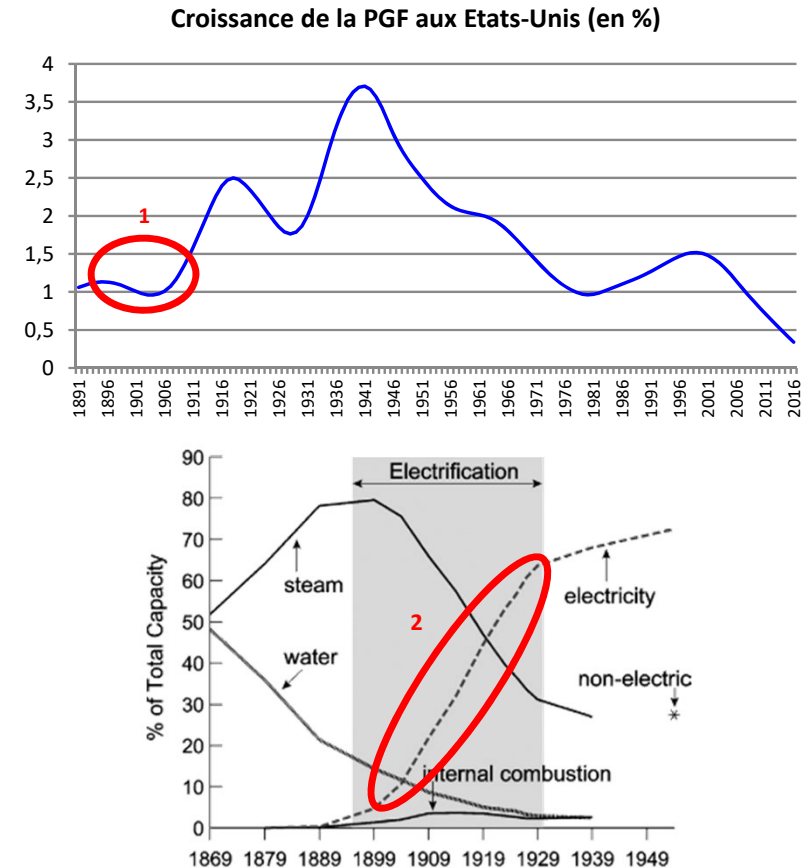


Délai de diffusion au sein des entreprises

- Pour Paul David, cette atonie de croissance de la productivité n'est pas liée à l'entrée dans une période de **stagnation séculaire** mais à un **retard** de la vague de productivité sur la vague d'innovations.
- Il explique ce retard par les **coûts de transition** d'une technologie générique à une autre pour les **entreprises**.
- Il s'inspire pour cela de l'exemple de la **révolution de l'électricité** : étudier la dynamo pour expliquer l'ordinateur.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Nous l'avons vu précédemment, la révolution impulsée par l'invention de l'**électricité** n'a eu un effet sur la croissance de la productivité **qu'avec un certain retard (1)**.
- Ce retard s'accompagne également d'une **lente pénétration** de l'innovation au sein des **entreprises (2)**.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- Dès 1899, les ingénieurs **percevaient l'énorme potentiel** de transformation de l'électricité.
- Mais **l'organisation des entreprises**, essentiellement celle des usines, n'était **pas adaptée** pour tirer parti de cette innovation.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Au début du XIX^e siècle, les usines étaient alimentées en énergie par des **moulins à eau**.
- **L'arbre de transmission** tournait à l'aide de la force de l'eau, et **toutes les machines** individuelles étaient ensuite reliées à cet arbre par des systèmes de **courroies**.
- Les machines étaient **regroupées par tâche**, ce qui était plus simple pour optimiser la **transmission d'énergie**.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- La **vapeur** a ensuite progressivement remplacé l'eau comme source d'énergie dans les usines.
- Mais le système de transmission est resté **le même**, avec un arbre central tournant grâce à la machine à vapeur, et ensuite des courroies de distribution pour chaque machine.
- La vapeur a donc **simplement remplacé** l'eau comme force de propulsion, mais sans remise en question d'une **organisation productive conçue pour satisfaire** les contraintes de la force hydraulique.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- Les **conséquences** de cette inadaptation sont **doubles** :
 - **Faibles gains de productivité** pour les entreprises qui adoptent l'innovation :
 - Réduction de la **consommation d'énergie**.
 - Meilleur **contrôle de la vitesse** de la machine que par la vapeur.
 - **Faible nombre d'entreprises** qui adoptent l'innovation :
 - Bénéfices **sous-estimés**
 - **Coûts** non négligeables :
 - **Raccordement** au réseau électrique
 - Embauche d'**ingénieurs** capables de réparer l'alimentation électrique
 - Etc.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- En parallèle du perfectionnement de l'innovation, des **ajustements** sont progressivement effectués pour tirer meilleur parti de la révolution électrique :
 - Les progrès dans la **miniaturisation du moteur électrique** ont permis d'alimenter chaque machine séparément, permettant alors de faire fonctionner des machines **de tailles et de fonctions différentes** les unes à côté des autres.
 - Le **fil électrique** a permis de relier chaque machine au réseau sans impliquer la présence d'un arbre de transmission

Délai de diffusion au sein des entreprises

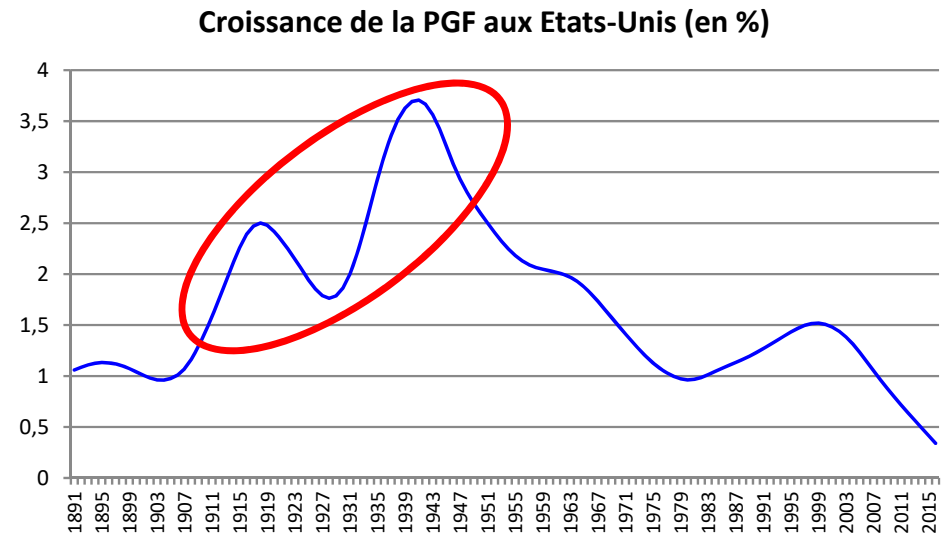
- Début des années 1910 : Henry **Ford** a l'idée **d'abandonner le système d'arbre de transmission** vieux d'un siècle et de **repenser complètement** le fonctionnement des usines.
- Il organise alors ses usines suivant une **chaîne de montage**.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Avantages :
 - Economie de **capital fixe** grâce à la construction d'usines **plus légères** et sur **un seul étage** alors que le système d'arbre de transmission demandait de construire en hauteur
 - Ce passage du vertical à l'horizontal dans la structure de l'usine a permis une plus grande **flexibilité** dans la mise en place des chaînes de montage
 - Possibilité **d'arrêter une machine défectueuse** pour la réparer sans stopper les autres machines, alors qu'il fallait auparavant **arrêter toutes les machines** liées au même arbre de transmission.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- La **flexibilité** offerte par l'électricité a alors été utilisée à son **potentiel maximal**, générant d'énormes **gains de productivité**, et encourageant l'ensemble des usines à **converger** vers ce modèle.
- C'est le début de la « **vague de l'électricité** », plus de **40 ans** après l'invention de la première dynamo opérationnelle.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- Paul David dresse un **parallèle** entre la mauvaise utilisation de l'électricité à la fin du XIX^e siècle et la mauvaise utilisation de l'informatique à la fin du XX^e siècle.
- Alors que l'informatique devait permettre de **numériser** de nombreuses tâches de traitement de données, elle est surtout utilisée pour reproduire les **anciennes procédures** papier, sans prendre la mesure du potentiel du nouvel outil.
- Cela entraîne donc une **faible croissance de la productivité** à la fin des années 1980.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Parfois, les **décisions initiales sous-optimales** lors de l'adoption d'une technologie sont **difficilement réversibles**, ce qui limite son effet sur la croissance de la productivité, même à long terme.
- On parle alors de **dépendance au sentier**.

Délai de diffusion au sein des entreprises

“Clio and the Economics of QWERTY” (1985) de P. David

- David décrit un exemple de **dépendance au sentier** : le **clavier QWERTY**.
- Le clavier QWERTY est le clavier utilisé par près de **100%** des utilisateurs dans les **pays anglo-saxons**.
- En **Europe continentale**, on utilise le clavier **AZERTY**, très proche du QWERTY.



Délai de diffusion au sein des entreprises

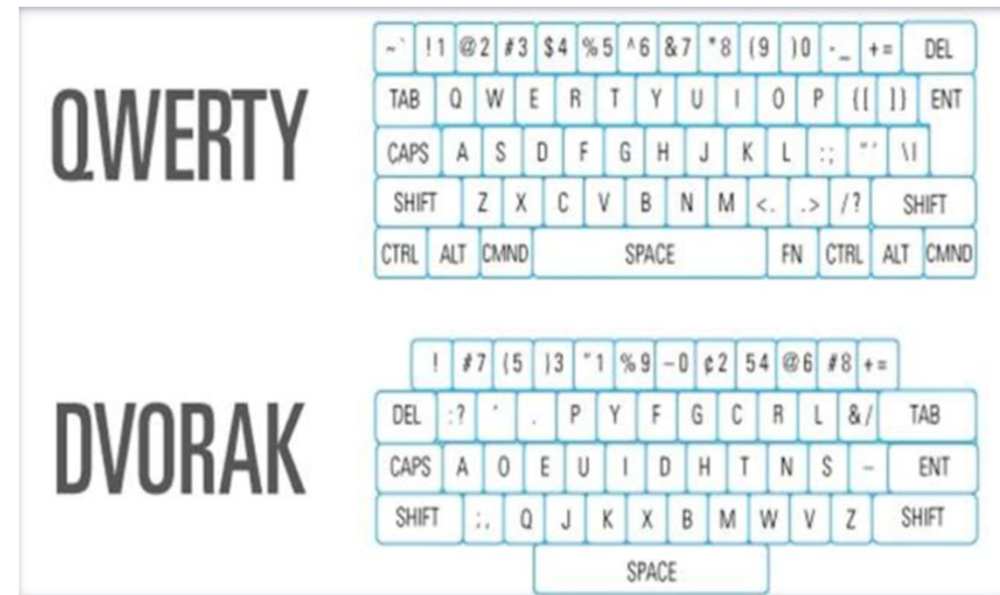
- Pourtant, ce clavier QWERTY n'est **pas optimal**, d'autres claviers permettent de taper à l'ordinateur **beaucoup plus vite**.
- Pourquoi **utilise-t-on encore** le QWERTY ?

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Historiquement, le clavier QWERTY a été **pensé pour des raisons techniques** :
 - 1867 : **Sholes**, imprimeur de métier, invente la première **machine à écrire**. Pour réduire la **fréquence des chocs** entre lettres, un clavier à quatre rangées similaires au clavier QWERTY moderne est développé.
 - 1873 : **Remington** poursuit l'évolution de la **machine à écrire** avec l'utilisation du premier clavier **QWERTY**.
 - Années 1880 : forte demande pour les machines à écrire et **achat massif** des claviers QWERTY.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Mais ce clavier QWERTY n'est pas le plus efficace du point de vue de la **vitesse de saisie de texte** :
 - 1892 : **Blickensderfer** présente un meilleur agencement des lettres que le QWERTY. Les lettres les **plus utilisées** (DHIATENSO) sont placées dans la rangée du **bas**. Les producteurs proposent alors ce clavier sur leur machine à écrire, en alternative au QWERTY.
 - 1936 : **Dvorak** dépose le brevet du Dvorak Simplified Keyboard (**DSK**). Ce clavier permet d'établir les **records** en termes de rapidité de saisie de texte.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- 1940 : Des expériences menées par la **US Navy** montrent que le gain d'efficacité obtenu avec le DSK amortirait le coût de la reconversion d'un groupe de dactylographes **en 10 jours**.



Délai de diffusion au sein des entreprises

- Paul David invoque **trois explications** à cette dépendance au sentier :
 - Interdépendance **technique**
 - Economies **d'échelle**
 - Quasi-irréversibilité de **l'investissement**

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Paul David invoque **trois explications** à cette dépendance au sentier :
 - Interdépendance **technique**
 - Economies **d'échelle**
 - Quasi-irréversibilité de **l'investissement**

Interdépendance technique

- C'est en quelque sorte un effet de **premier arrivant**.
- Le QWERTY est le **premier standard** à émerger à la fin du XIX^e siècle.
- Une **entreprise** a intérêt à utiliser ce type de clavier, car elle suppose que **la plupart des dactylographes** auront cette compétence
- Un **dactylographe** a intérêt à apprendre le QWERTY car il suppose que **la plupart des entreprises** utiliseront ce standard.
- Il y a une dynamique de **renforcement mutuel** : plus la **part du marché** du clavier QWERTY est importante, plus les acheteurs ont **intérêt** à se procurer un clavier QWERTY.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Paul David invoque **trois explications** à cette dépendance au sentier :
 - Interdépendance **technique**
 - Economies **d'échelle**
 - Quasi-irréversibilité de **l'investissement**

Economies d'échelle

- Plus l'industrie converge vers un **standard unique**, et plus les **coûts** moyens liés à ce standard sont **faibles** :
 - Pas besoin de former les dactylographes à **plusieurs claviers**.
 - Pas besoin de proposer des machines à écrire à **claviers alternatifs**.
- L'industrie en général a donc **intérêt à converger** vers un standard unique. Comme l'interdépendance technique le renforce, autant converger vers le **QWERTY**.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- Paul David invoque **trois explications** à cette dépendance au sentier :
 - Interdépendance **technique**
 - Economies **d'échelle**
 - Quasi-irréversibilité de **l'investissement**

Quasi-irréversibilité de l'investissement

- Quand les **coûts de changement** de standard deviennent trop élevés, **aucune entreprise** ne sera prête à payer le coût de transition vers un clavier alternatif.

Délai de diffusion au sein des entreprises

- La combinaison de ces **trois facteurs** explique que le clavier **QWERTY ait perduré** jusqu'à nos jours.
- **Sortira-t-on** un jour du QWERTY pour converger vers des claviers optimaux ?
- Pour le moment, la société reste bloquée dans une situation technologique **sous-optimale**.

Le retard des vagues

- Comment **expliquer** ce décalage ?
- **4 causes possibles :**
 - Il faut découvrir les **innovations secondaires**
 - **Délai de diffusion** au sein des entreprises
 - ***Learning by doing***
 - Adoption par les **ménages**

Learning by doing

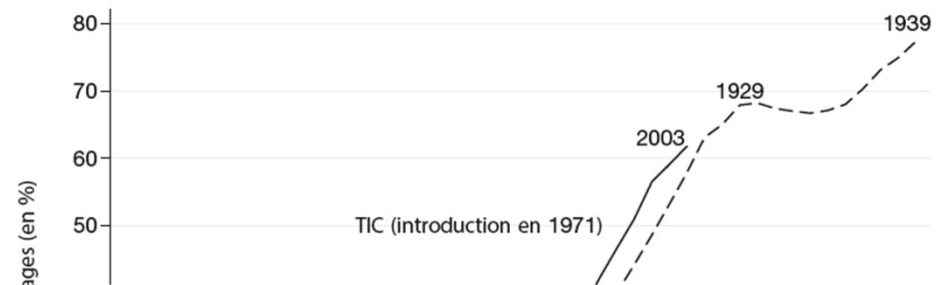
- Une nouvelle technologie générique n'est pas immédiatement efficace : il faut du temps pour apprendre à bien l'utiliser.
- Il existe donc un processus **d'apprentissage par l'expérience** (*learning by doing* en anglais) qui permet une **hausse progressive de l'efficacité** de la technologie et donc une **baisse de son prix**, comme nous l'avons vu pour l'électricité ou les ordinateurs.
- Exemple : arrivée des « **TGV bleus** » (320 km/h en vitesse de croisière) fait baisser le prix des « **TGV oranges** » (ne dépassant pas les 260 km/h).

Le retard des vagues

- Comment **expliquer** ce décalage ?
- **4 causes possibles :**
 - Il faut découvrir les **innovations secondaires**
 - **Délai de diffusion** au sein des entreprises
 - *Learning by doing*
 - Adoption par les **ménages**

Adoption par les ménages

- Comme pour les entreprises, la diffusion des technologies génériques parmi les ménages prend d'abord du **retard** avant **de s'accélérer** (courbe logistique).
- Pour étudier ce phénomène, on peut s'intéresser à la **part des ménages adoptant** une nouvelle technologie en fonction du **nombre d'années** écoulées depuis **l'introduction** de cette technologie.



Source : Aghion, Antonin, Bunel (2020)

Adoption par les ménages

- Les **raisons** du retard de diffusion parmi les ménages semblent **différer selon les vagues** technologiques :
 - **Electricité** : difficulté **d'électrification des zones rurales** car elle nécessite des coûts fixes importants d'installation de réseau.
 - **Ordinateurs** : important **coût d'apprentissage** pour pouvoir utiliser la technologie.

Une quatrième vague technologique : l'IA

- Sommes-nous à l'aube d'une **nouvelle vague de croissance** portée par l'intelligence artificielle ?
- L'IA offre des **perspectives nouvelles** :
 - **Automatisation** de tâches que l'on pensait fondamentalement impossibles à automatiser :
 - Conduite de voitures
 - Lecture d'électrocardiogrammes
 - Automatisation: **main d'œuvre** (en offre limitée) est remplacée par du **capital** (en offre non limitée)
 - **L'IA permet d'automatiser des tâches, non seulement dans la production des biens et services mais également dans la production des idées.**

Une quatrième vague technologique : l'IA

- La révolution de l'IA touche **tous les domaines** d'activité :
 - Économie
 - Services publics
 - Organisation du travail
 - Médias
 - Culture
 - Etc.

Une quatrième vague technologique : l'IA

- L'avènement de l'IA générative marque une **accélération** sans précédent:
 - en **simplifiant** à l'extrême l'utilisation de certains outils
 - en **générant** des textes, des images, des sons, à une vitesse extraordinairement élevée et avec un degré de réalisme stupéfiant

Une quatrième vague technologique : l'IA

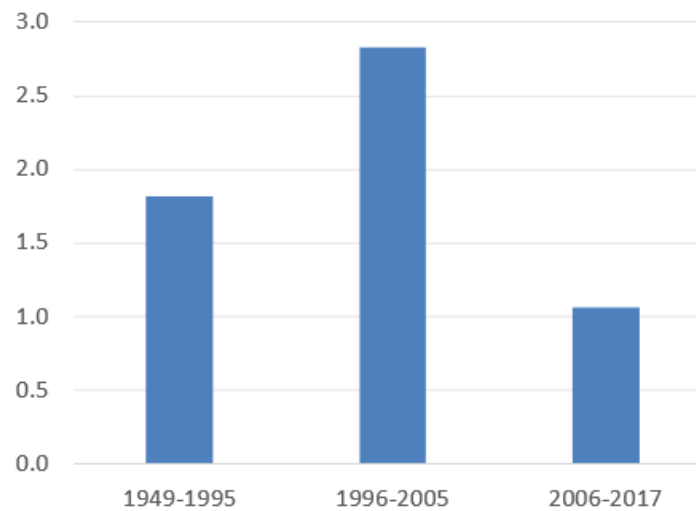
- Pour atteindre **1 million** d'utilisateurs, il a fallu :
 - A Netflix : **2 ans et demi**
 - A Instagram : **2 mois et demi**
 - A ChatGPT : **5 jours**

Une quatrième vague technologique : l'IA

- Des **institutions inadaptées**, notamment en matière de **politique de concurrence**, peuvent **freiner** l'effet d'une révolution technologique sur la croissance au lieu de l'encourager.

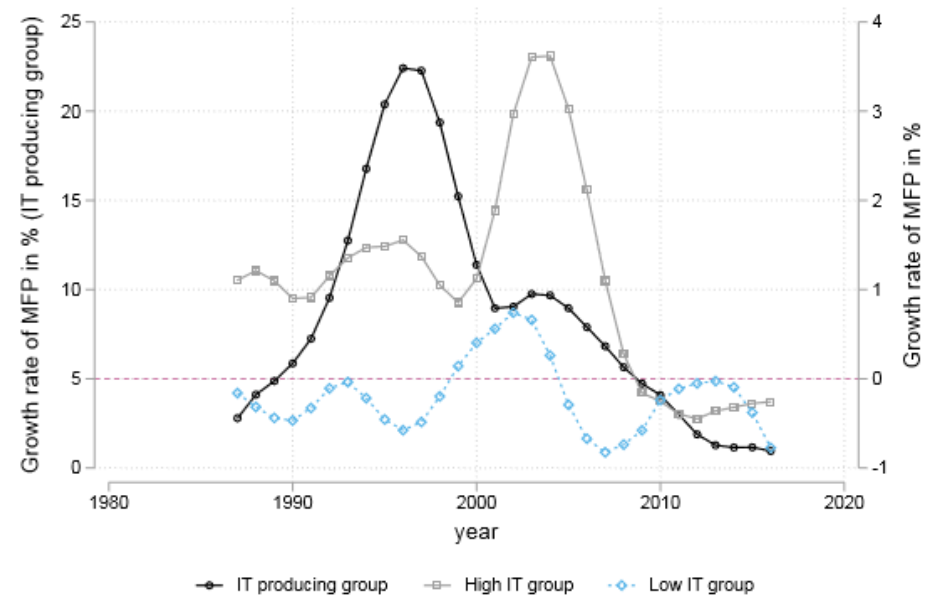
MAIS L'ABSENCE DE CONCURRENCE EST UN OBSTACLE

RISE AND DECLINE IN TFP GROWTH

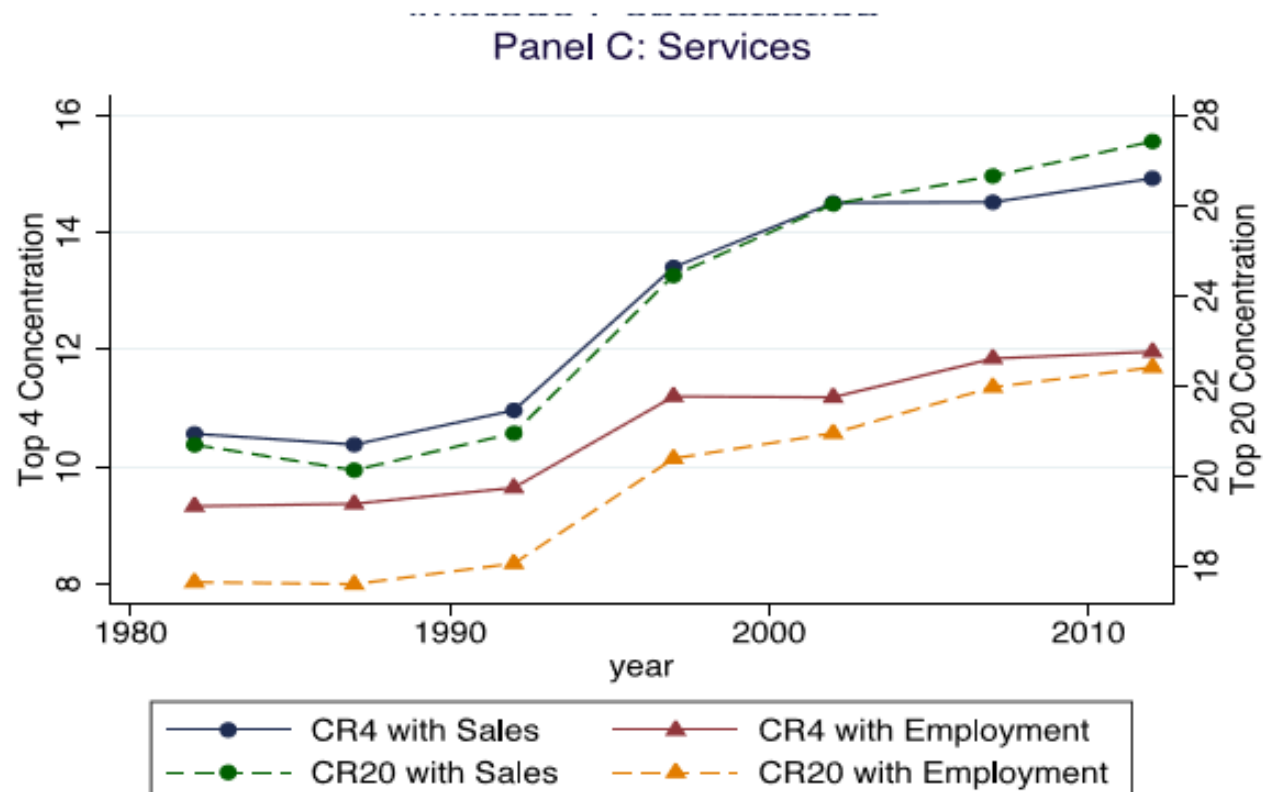


MAIS L'ABSENCE DE CONCURRENCE EST UN OBSTACLE

TFP GROWTH BY IT INTENSITY

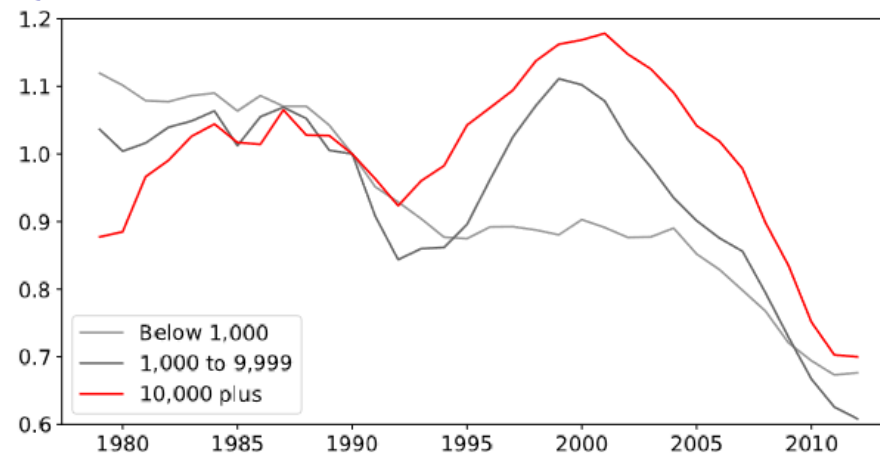


RIISING CONCENTRATION IN SERVICES



MAIS L'ABSENCE DE CONCURRENCE EST UN OBSTACLE

Rise and decline in employment-weighted plant entry rate



Source: U.S. Census Bureau's *Business Dynamics Statistics*. Job creation by birth over total employment by firm size bins. 5-year centered moving average.

Plan de cette leçon

I. Appréhender les vagues technologiques

III. Faut-il craindre les révolutions technologiques ?

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- Au-delà de leur **effet positif sur la croissance économique**, les vagues technologiques suscitent également des **craintes** :
 - Accélération de l'**automatisation** des tâches.
 - **Remplacement** du travail humain par des machines.
- Quelques **exemples célèbres** :
 - Les **Luddites**
 - Le **chômage technologique**
 - La **taxation des robots**

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- Au-delà de leur **effet positif sur la croissance économique**, les vagues technologiques suscitent également des **craintes** :
 - Accélération de l'**automatisation** des tâches.
 - **Remplacement** du travail humain par des machines.
- Quelques **exemples célèbres** :
 - Les **Luddites**
 - Le **chômage technologique**
 - La **taxation des robots**

Les Luddites

- 1589 : l'Anglais **William Lee** (cf. la leçon précédente) invente la **machine à tricoter les bas**.
- Son invention suscite rapidement des **craintes** parmi la population ouvrière, à tel point que la reine Elizabeth I^{ère} refuse de lui attribuer un **brevet**.
- Progressivement, les **guildes professionnelles**, principales opposantes aux métiers mécaniques, **perdent en influence**.
- 1769 : adoption d'une **loi protégeant les machines** de la destruction.

Les Luddites

- **1811-1812** : une **révolte** des artisans du textile explose en Angleterre pour dénoncer l'utilisation des **métiers mécaniques**.
- Le chef de file de la révolte aurait été **Ned Ludd**, d'où le nom donné au mouvement : les **Luddites**.
- Les Luddites s'introduisent dans les usines pour y **détruire les métiers** mécaniques.
- 1812 : le Parlement vote une loi punissant la destruction de machines de la **peine de mort**.
- Le mouvement **s'essouffle** rapidement.

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- Au-delà de leur **effet positif sur la croissance économique**, les vagues technologiques suscitent également des **craintes** :
 - Accélération de l'**automatisation** des tâches.
 - **Remplacement** du travail humain par des machines.
- Quelques **exemples célèbres** :
 - Les **Luddites**
 - Le **chômage technologique**
 - La **taxation des robots**

Le chômage technologique

- 1930 : l'économiste britannique John Maynard **Keynes** introduit la notion de « **chômage technologique** ».
- « Nous sommes atteints d'une **nouvelle maladie** dont certains lecteurs n'ont peut-être pas entendu le nom, mais dont ils entendront beaucoup parler dans les **années à venir**, à savoir le chômage technologique. »
- Le terme désigne une **destruction d'emplois** causée par des changements **technologiques**, notamment les révolutions industrielles.

Le chômage technologique

- 1952 : le concept est repris par l'économiste américano-soviétique **Wassily Leontief** (Prix Nobel 1973).
- « Le travail deviendra de moins en moins important ... De plus en plus de travailleurs seront **remplacés par des machines**. Je ne vois pas comment les industries pourraient employer tous ceux qui veulent un emploi. »

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- Au-delà de leur **effet positif sur la croissance économique**, les vagues technologiques suscitent également des **craintes** :
 - Accélération de l'**automatisation** des tâches.
 - **Remplacement** du travail humain par des machines.
- Quelques **exemples célèbres** :
 - Les **Luddites**
 - Le **chômage technologique**
 - La **taxation des robots**

La taxation des robots

- L'idée de taxer les robots a notamment été avancée par **Bill Gates** en **2017** : « À l'heure actuelle, si un **travailleur humain** produit, disons, une richesse de 50 000 dollars dans une usine, ce revenu est **taxé**. Si une **machine** vient et fait **la même chose**, on pourrait penser que nous **imposerions** le robot à un **niveau similaire**. »
- En France, l'idée a été portée par **Benoît Hamon** lors de sa campagne pour l'élection présidentielle de **2017**. Cette taxe devait servir à financer son projet de **revenu universel** : « Pour financer le revenu universel d'existence, on pourrait imaginer demain un **salaire fictif**, virtuel, pour un robot et la manière dont on fait contribuer ce robot au financement de notre **protection sociale**. »

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- A partir des premiers travaux de **Keynes ou Leontiev**, une importante littérature s'est développée dans les années **1990** autour de l'hypothèse d'un « **changement technologique privilégiant les qualifications** » (*skill-biased technological change* en anglais).
- Les vagues technologiques accroîtraient la **demande de main-d'œuvre qualifiée** au détriment de la main-d'œuvre non qualifiée.
- Le **chômage** des non-qualifiés augmenterait alors et les **écarts salariaux** se creuseraient.

Faut-il craindre ou espérer les révolutions technologiques ?

- Cette théorie s'applique **mal à la première** vague technologique : au XIX^e siècle, l'introduction des machines s'effectue essentiellement au détriment **du travail qualifié des artisans**.
- En revanche, elle rend bien compte des deux **révolutions suivantes** :
 - **Electricité** : capital et éducation deviennent **complémentaires** ; les plus touchés par l'automatisation sont les **moins qualifiés**.
 - **TIC** : le biais dans le changement technologique **s'amplifie**.

Robots, emploi & inégalités

“Modern Manufacturing Capital, Labor Demand, and Product Market Dynamics. Evidence from France” (Working Paper) de P. Aghion, C. Antonin, S. Bunel et X. Jaravel

- Objectif : analyser les **effets de l'automatisation sur l'emploi**.
- **Données** :
 - Données **administratives** permettant de relier employeurs et employés :
 - DADS, FICUS/FARE, et données de l'INSEE.
 - Couvrent **toutes les entreprises et usines** du secteur manufacturier français de 1994 à 2015.
 - **Entreprises** : emploi, chiffre d'affaires, l'industrie d'appartenance, bilan comptable.
 - **Employés** : salaires, activité professionnelle.
 - Données **descriptives** au niveau de l'usine et de l'entreprise : calendrier **d'adoption des machines industrielles** dans les usines (au sein d'une même entreprise) ou dans les entreprises (au sein d'un même secteur d'activité).

Robots, emploi & inégalités

- Le papier s'appuie sur trois indicateurs permettant de mesurer **l'automatisation sur l'emploi**.
 - La valeur comptable des **équipements industriels**
 - Les **machines automatisantes** importées (Acemoglu-Restrepo)
 - Les registres de **consommation d'électricité** pour générer de **l'énergie motrice** par usine.

Emploi

- Lorsqu'on utilise la mesure de l'automatisation à partir de la valeur comptable des équipements industriels, on constate que **l'emploi augmente** après le choc d'automatisation

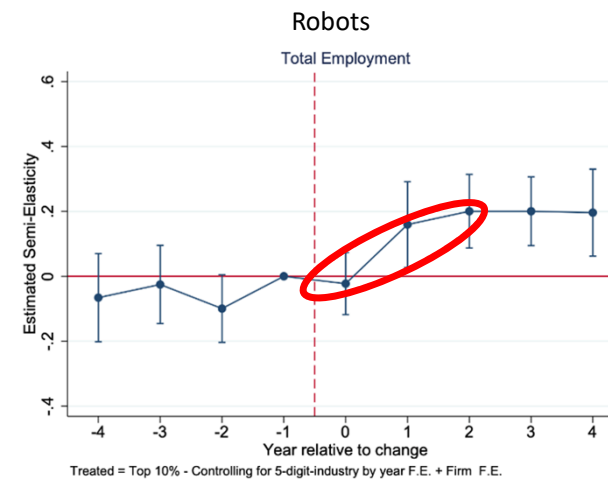
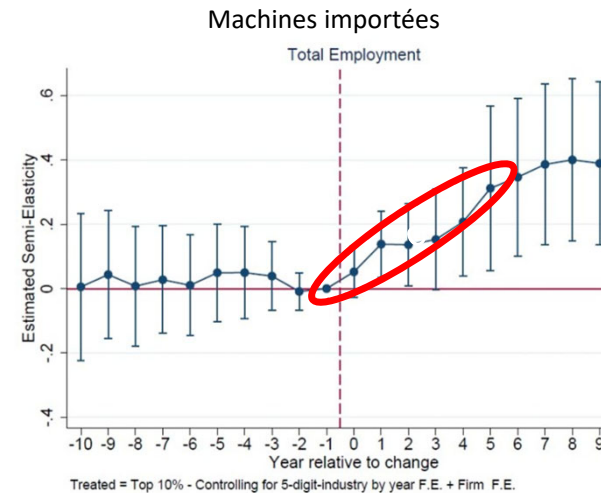
A. 90th percentile of investment in industrial equipment



Source : Aghion, Antonin, Bunel (2023)

Emploi

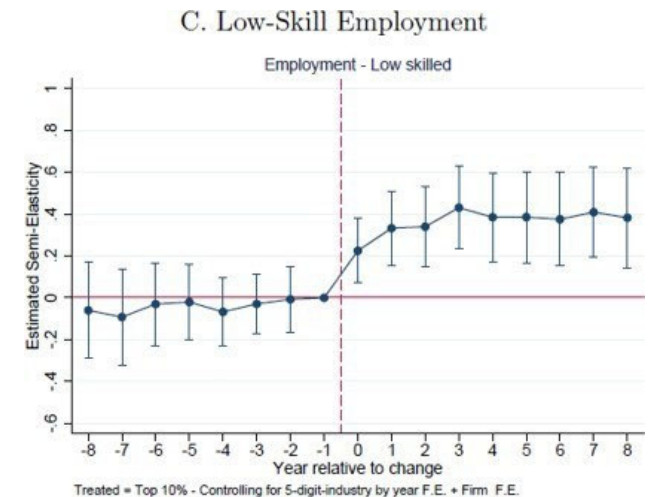
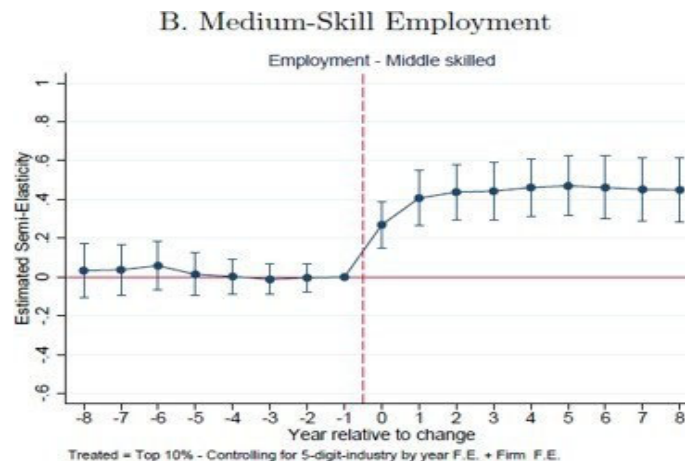
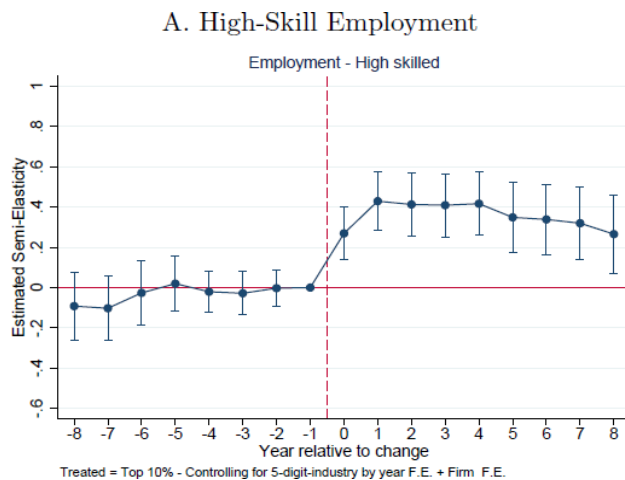
- On obtient également des résultats **similaires** en utilisant les **autres mesures d'automatisation**.



Source : Aghion, Antonin, Bunel (2023)

Emploi

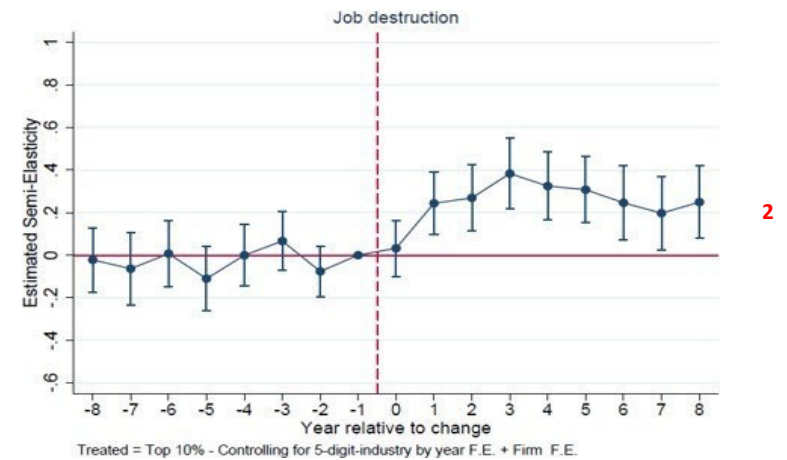
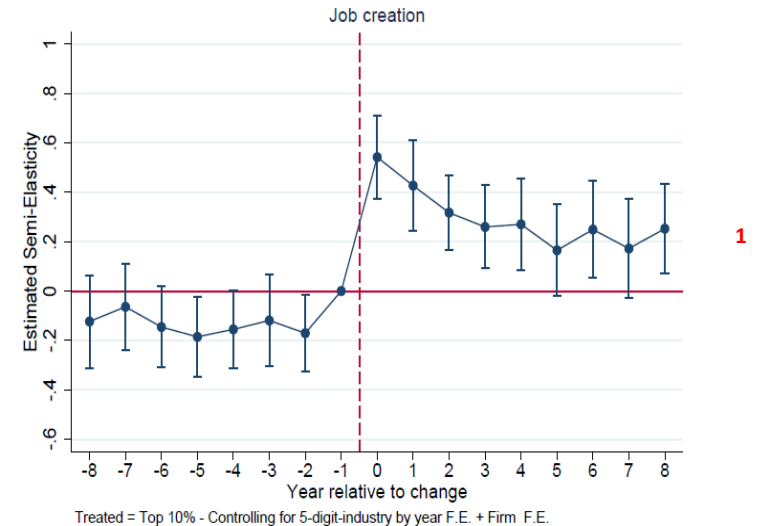
- On constate que **l'effet est le même** quel que soit le niveau de qualification :



- Ces résultats remettent en cause la théorie du **changement technologique privilégiant les qualifications.**

Emploi

- La hausse de l'emploi s'accompagne de **créations (1)** de postes mais aussi de **destructions (2)**.
- Les créations sont **plus nombreuses**, ce qui explique la hausse de l'emploi total.



Emploi

- Ainsi, dans le cas de l'automatisation, **l'effet de productivité** tend à contrebalancer les **effets de déplacement** (le travail humain remplacé par la machine).

Robots, emploi & inégalités

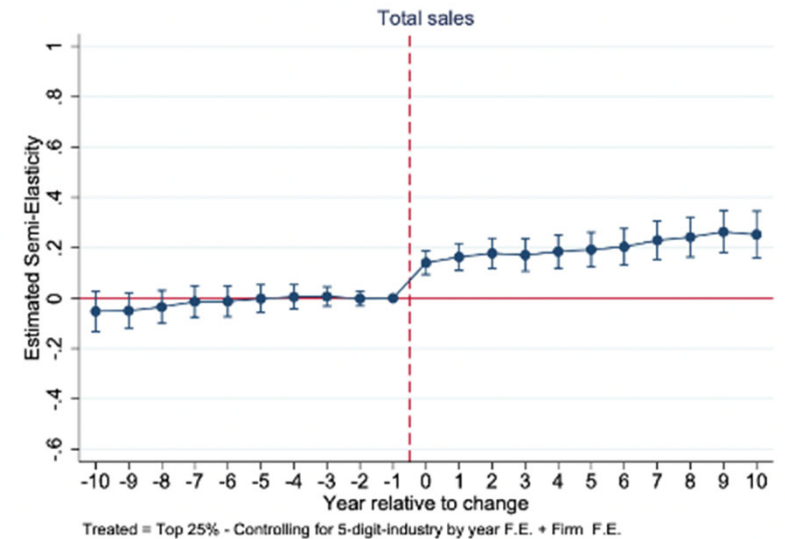
- On étudie l'effet de l'automatisation sur **trois caractéristiques** de l'entreprise :
 - Le nombre **d'employés**
 - **Les ventes**
 - Le niveau de **salaire** et les inégalités salariales

Ventes

- On étudie également l'effet de l'automatisation sur le **volume des ventes**.
- Ces ventes devraient **augmenter**, grâce aux effets d'échelle et de productivité.
- A l'inverse, les ventes des **concurrents dans le même secteur** d'activité qui n'automatisent pas devraient baisser, selon le principe du « ***business-stealing*** ».

Ventes

- Les données viennent confirmer la théorie : l'effet de l'automatisation sur les ventes est **bien positif**.



Impacts économiques de l'IA

Impacts économiques de l'IA

- Cette présentation sur les impacts économiques de l'IA s'appuie sur un travail conjoint avec **Simon Bunel** dans le cadre de la préparation de notre **rapport sur l'IA** remis en avril 2024 au Président de la République.



Impacts économiques de l'IA

- Qu'en est-il vraiment ?
 - Effets sur la **productivité** et sa croissance
 - Effets sur l'emploi

Productivité

- **Deux canaux** par lesquels l'IA peut **augmenter la croissance** de la productivité :
 - Elle **automatise** encore davantage la production de **biens et services**.
 - Elle permet également d'automatiser la production des **idées**:
 - Aide à trouver des **solutions** à des problèmes complexes
 - Facilite **l'imitation et l'apprentissage**
 - Peut devenir **auto-améliorante**.

Productivité

“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- Objectif : étudier **l'effet de l'introduction de l'IA** sur la productivité
- A partir de l'exemple d'une **entreprise américaine** du *Fortune 500* (le classement des 500 plus grandes entreprises américaines en termes de chiffre d'affaires).
- Focus sur l'activité de **service client** :
 - Domaine où le **taux d'adoption de l'IA** est déjà parmi les plus élevés (22%).
 - Rôle crucial pour la **réputation d'une entreprise** et pour établir des **relations solides avec les clients**.

Productivité

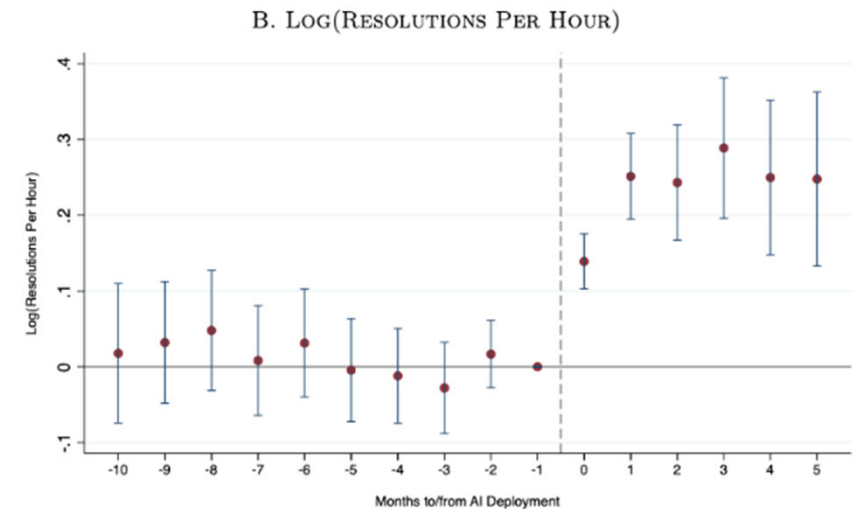
- Cette entreprise est spécialisée dans les **logiciels d'entreprise** pour PME.
- Son service client est principalement chargé de répondre aux **questions techniques** des patrons de PME, avec des sessions de **chat** durant en moyenne 40 minutes.

Productivité

- On peut estimer la **productivité des agents** du service client à partir de plusieurs **mesures** :
 - **Temps** moyen de traitement (durée moyenne d'un chat)
 - Taux de **résolution** (pourcentage de chats résolus avec succès)
 - **Satisfaction** client (score)

Productivité

- Effet **substantiel et immédiat** sur la productivité dès le premier mois (+14%).
- **Augmente** encore au cours du deuxième mois puis reste **stable** et persistant jusqu'à la fin de l'échantillon (+25%).



Impacts économiques de l'IA

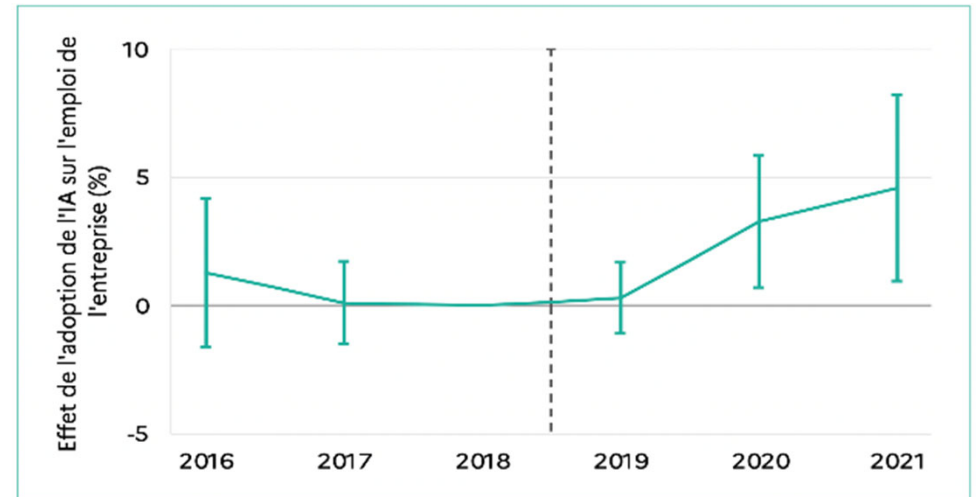
- Qu'en est-il vraiment ?
 - Effets sur la **productivité** et sa croissance
 - Effets sur **l'emploi**

Emploi

- Pour étudier les effets de l'IA sur l'emploi, on peut s'intéresser à **l'enquête annuelle de l'Insee sur les TIC** :
 - Enquête aléatoire auprès de 9 000 **entreprises françaises** représentatives de plus de 50 employés.
 - Intègre depuis 2019 des questions sur **l'adoption de l'IA**.
- Méthodologie : **étude d'événement** comparant 321 entreprises qui adoptent « **un peu** » d'IA entre 2018 et 2020 (groupe de **traitement**), et 897 entreprises similaires qui n'adoptent **pas du tout** l'IA avant 2020 (groupe de **contrôle**).

Emploi

- On constate que l'adoption de l'IA a un effet **positif et significatif** sur l'emploi au sein des entreprises concernées.



Graphique 5 : Effet de l'adoption de l'IA sur l'emploi total au sein des entreprises en France
Source : Commission IA.
Lecture : Les entreprises adoptant l'IA augmentent leur emploi davantage que celles ne l'adoptant pas, alors qu'elles évoluaient de façon similaire dans les 3 années précédentes.

Emploi

- On obtient des résultats **similaires** en répartissant les employés en deux groupes en fonction de leur **genre**.



Emploi

“Generative AI and Jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality” (2023) de P. Gmyrek, J. Berg et D. Bescond

- Objectif : évaluer l'exposition de **l'emploi** à l'effet de l'IA générative, en particulier les modèles de transformateurs génératifs pré-entraînés (**GPT**).
- Méthode : décomposition par **tâches** :
 - Estimation d'un score d'exposition potentielle au modèle GPT-4 d'OpenAI (sorti en mars 2023) au niveau de **chaque tâche**.
 - Estimation par agrégation de l'effet au niveau de la **profession** : à partir des tâches associées à chaque profession.
 - Estimation par agrégation des effets potentiels sur **l'emploi mondial**.

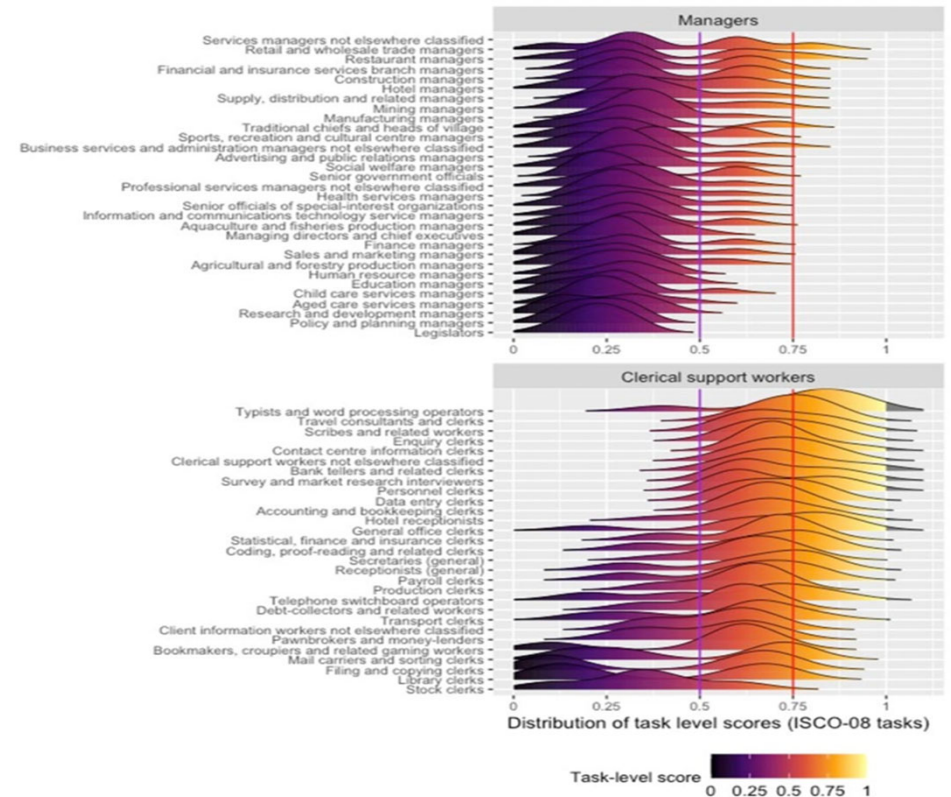
Emploi

- Les auteurs construisent un **indice de remplaçabilité** pour chaque tâche :
 - **Inférieur** à 0.5 : la tâche est **peu** susceptible d'être remplacée.
 - **Entre** 0.5 et 0.75 : la tâche est **susceptible** d'être remplacée.
 - **Supérieur** à 0.75 : la tâche est **très** susceptible d'être remplacée.
- L'indice est construit en **interrogeant GPT-4** et en lui demandant **d'attribuer un score** à chaque tâche en fonction de sa propre capacité à l'automatiser.
- **Robustesse** : comparaison de leurs résultats avec une analyse **par l'humain** des possibilités d'automatiser ces tâches : scores très **similaires**.

Emploi

- Ces deux graphiques représentent la **distribution en termes d'indice de remplaçabilité** des différentes tâches associées à une même profession.
- Ils se concentrent sur deux sous-groupes, encore **peu touchés** par l'automatisation liée aux vagues technologiques précédentes : les managers et les personnels administratifs.
- Les lignes verticales **rouge et violette** marquent les **seuils** à partir desquels le niveau d'automatisation change de catégorie (0,5 et 0,75).

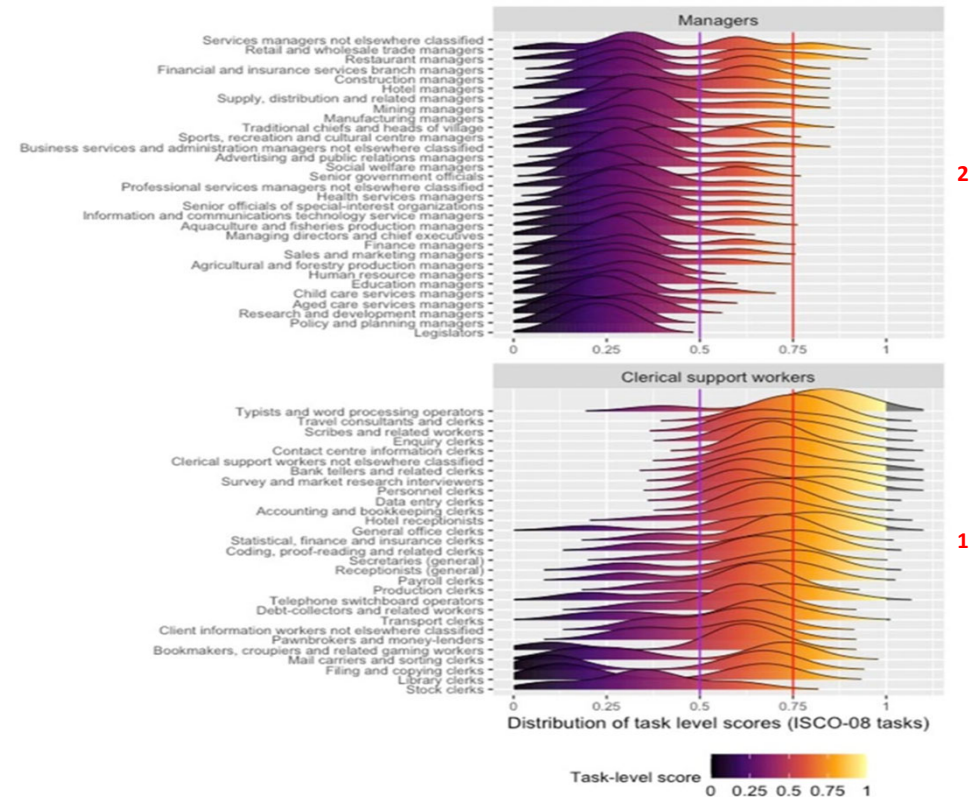
► Figure 3. Box plot of task-level scores by ISCO 4d, grouped by ISCO 1d



Emploi

- Les tâches exercées par les **employés administratifs (1)** sont les plus susceptibles d'être automatisées (score supérieur à 0,75).
- Les tâches associées à des postes de **management (2)** sont majoritairement peu exposées aux effets de l'IA (score < 0,5).

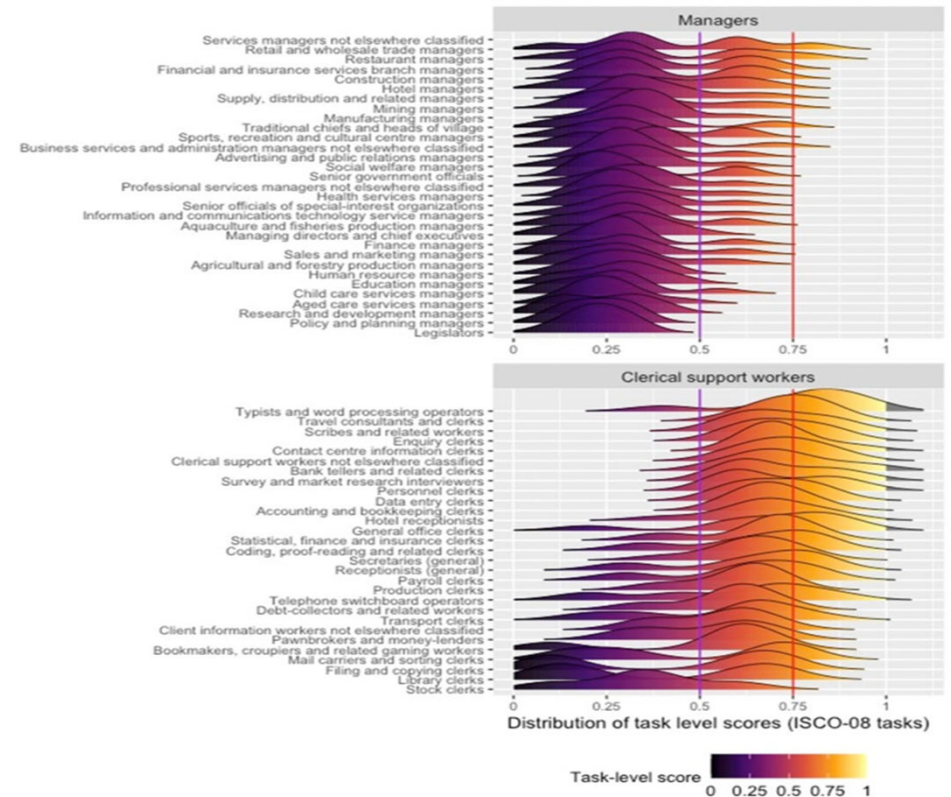
► Figure 3. Box plot of task-level scores by ISCO 4d, grouped by ISCO 1d



Emploi

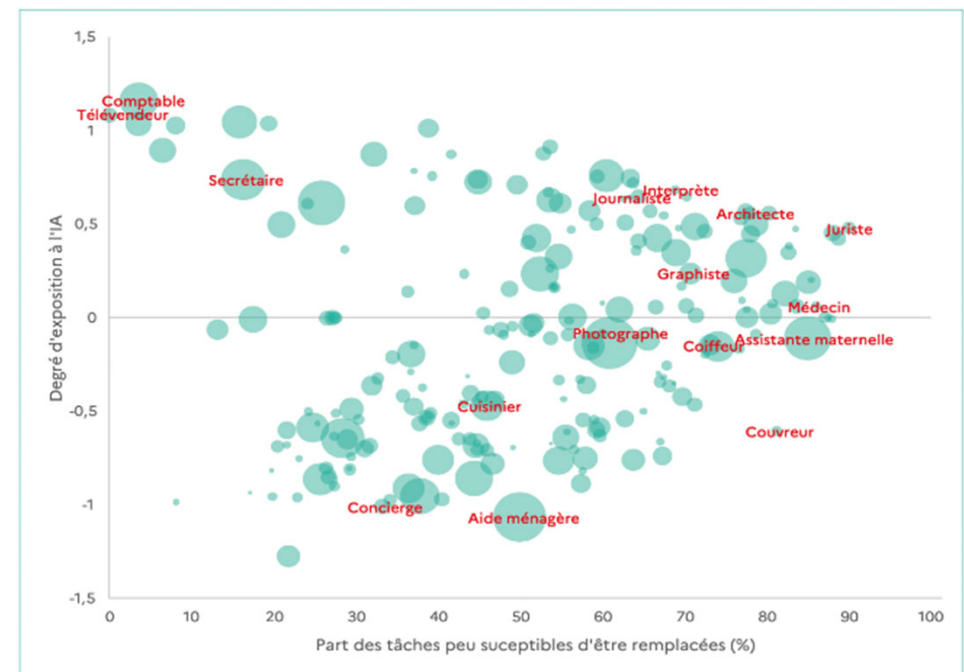
- Les **deux catégories** de travailleurs sont **touchées** par les effets de l'IA.
- Mais dans le cas des **managers**, cet effet est avant tout celui d'une **augmentation**, qui plutôt que de détruire l'emploi en augmente la productivité.
- Dans le cas des **employés administratifs**, l'IA vient plutôt **automatiser** et remplacer une majorité des tâches, avec un effet négatif sur l'emploi.

► Figure 3. Box plot of task-level scores by ISCO 4d, grouped by ISCO 1d



Emploi

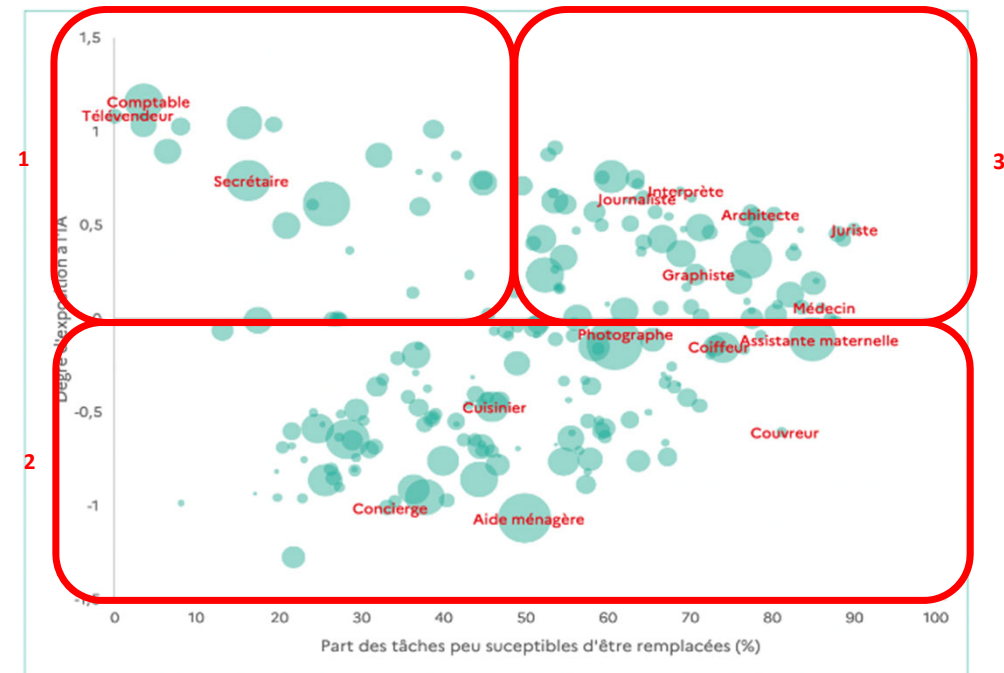
- Bergeaud (2024) a **répliqué** la méthodologie de Gmyrek et al. À l'échelle de la France.
- Ce graphique croise l'**exposition** d'un métier à l'IA (axe vertical) avec la **part des tâches jugées difficiles à automatiser** (axe horizontal).
- La **taille des cercles** correspond à la **proportion** de personnes effectuant cette profession.



Graphique 7 : Effet attendu de l'IA sur les métiers en France.
Source : Bergeaud (2024)

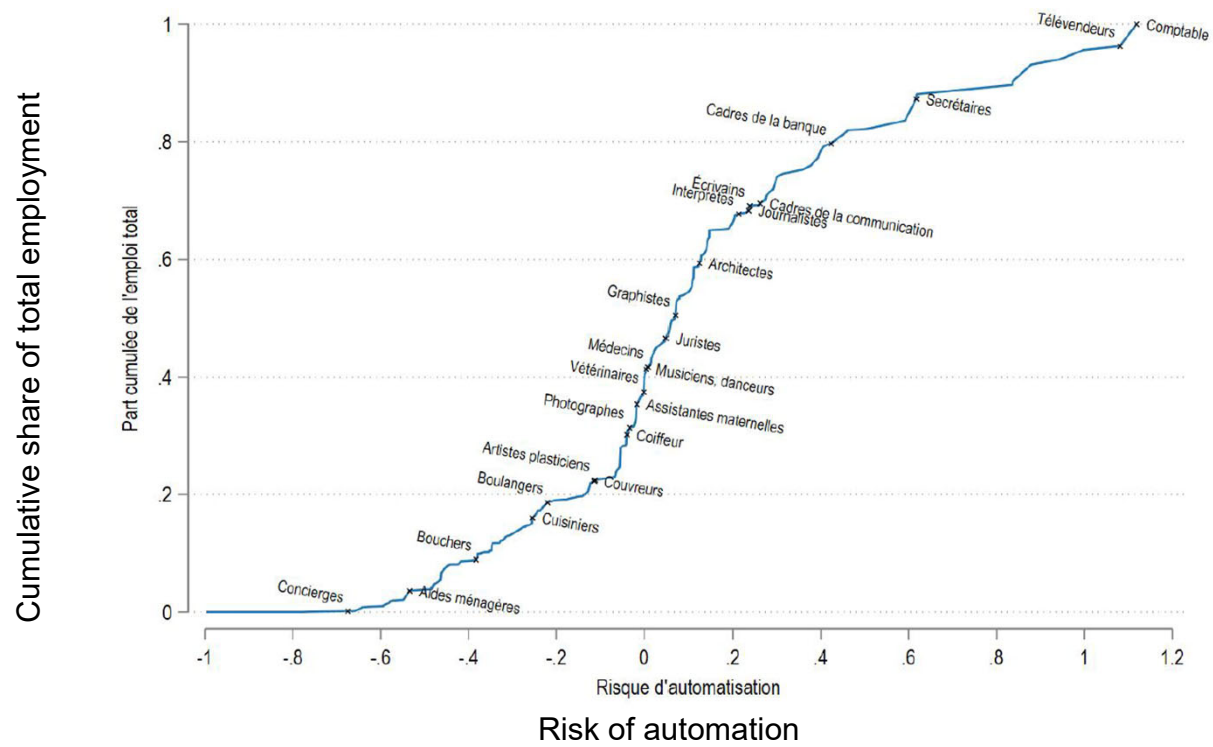
Emploi

- Le nombre de professions **très vulnérables** à l'IA (**1**) est plutôt **faible**.
- Au contraire, un grand nombre d'emplois sont **peu vulnérables** (**2**).
- Le reste des professions (**3**) est à la fois **très exposé** mais seul un faible nombre de ses tâches est **susceptible d'être remplacé**, ce qui devrait se traduire par une **augmentation** par l'IA plus qu'un remplacement.

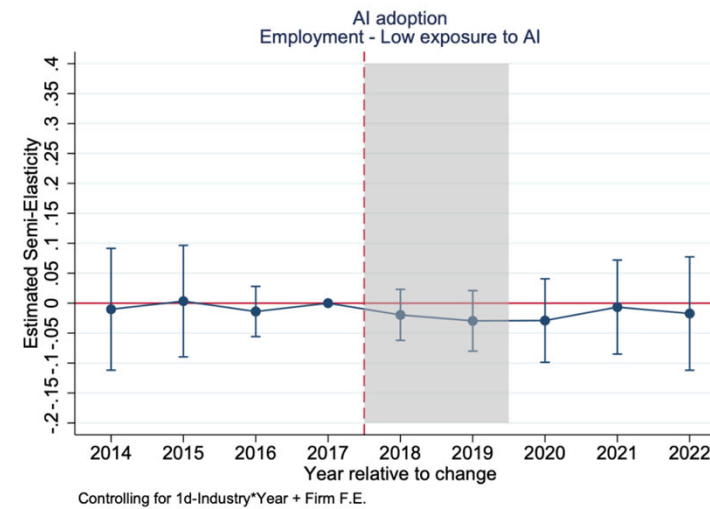
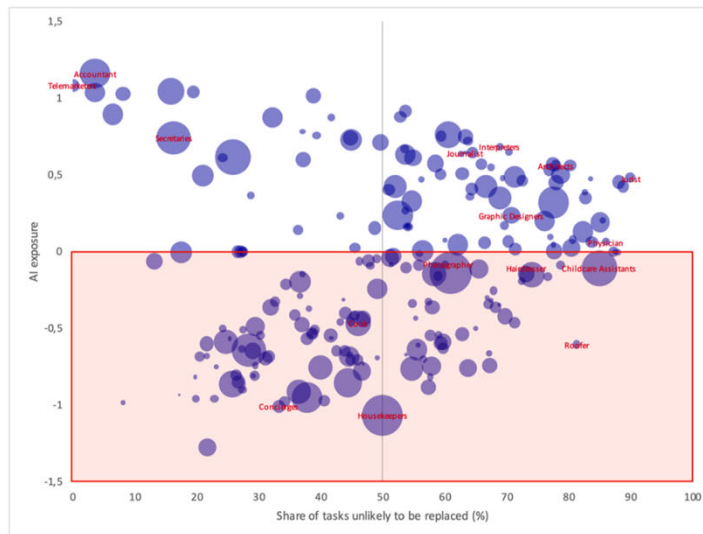


Graphique 7 : Effet attendu de l'IA sur les métiers en France.
Source : Bergeaud (2024)

IA ET EMPLOI

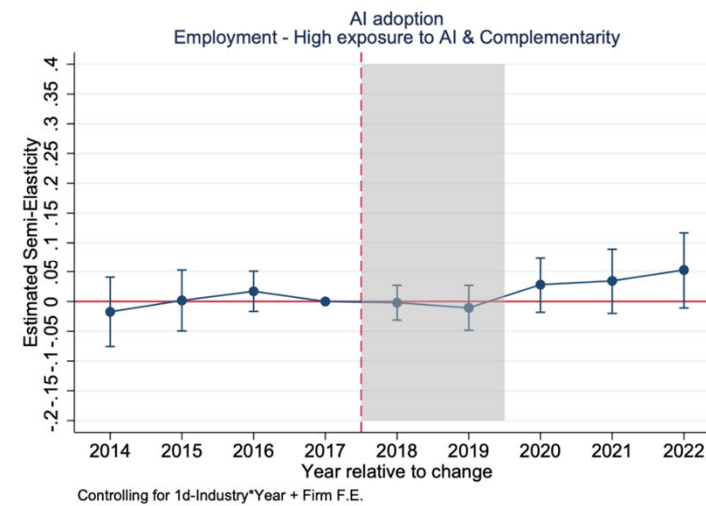
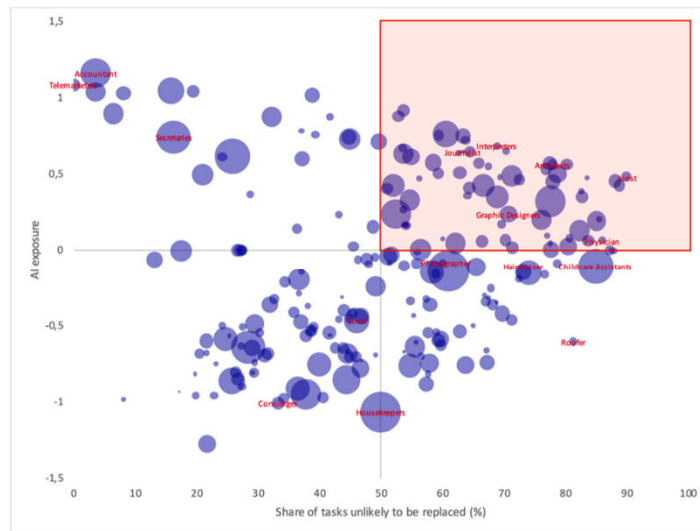


IA ET EMPLOI



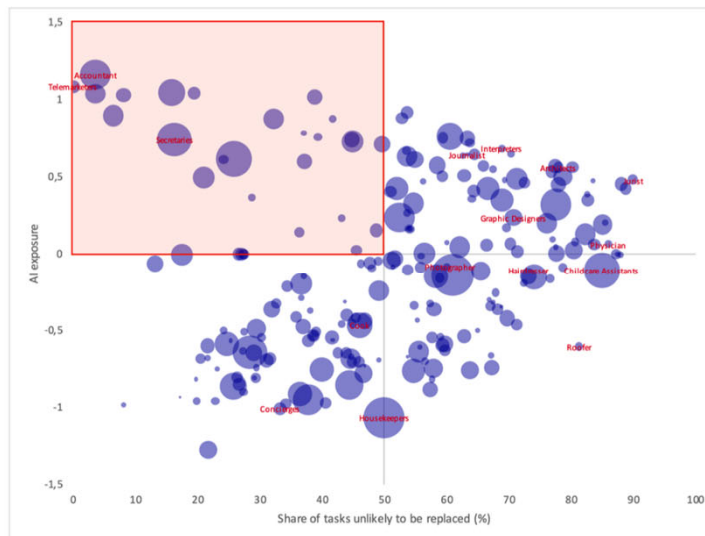
- No effect

IA ET EMPLOI

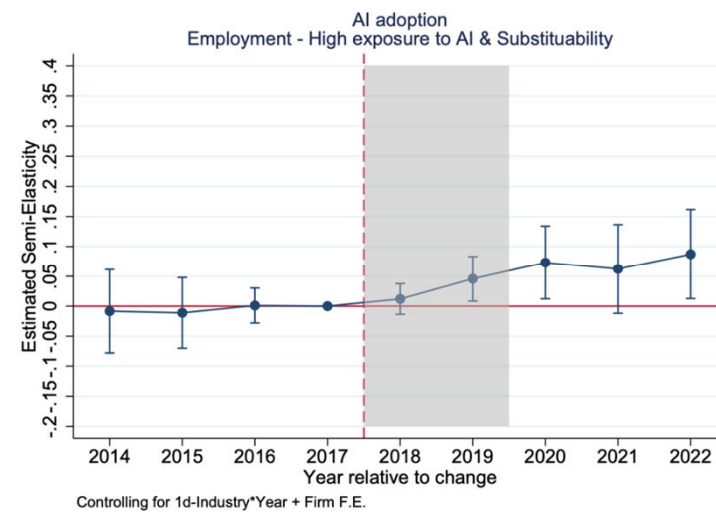


- Slightly positive effect

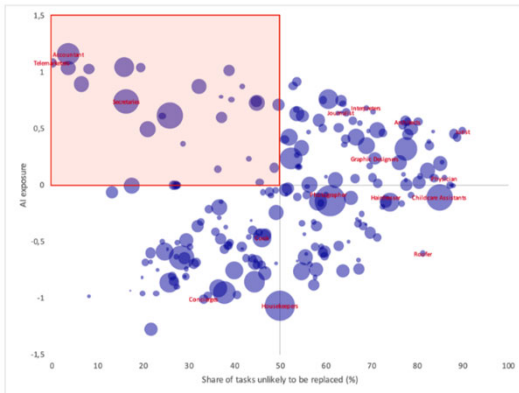
IA ET EMPLOI



Positive effect (!)

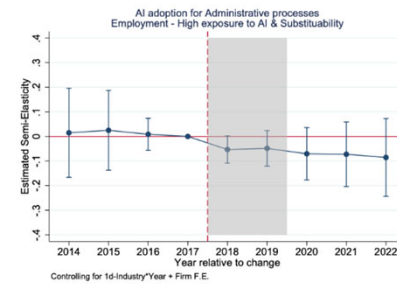
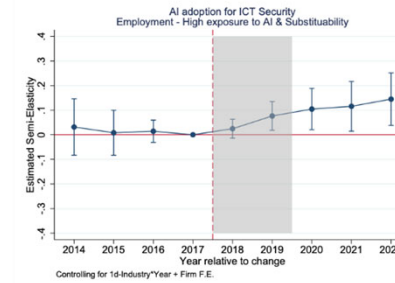
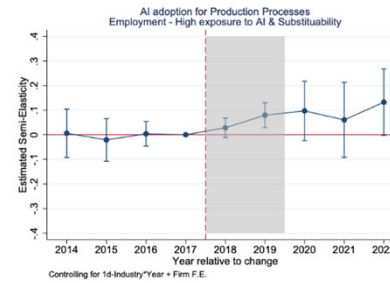


IA ET EMPLOI



L'effet globalement positif de l'IA sur l'emploi se decompose en:

- Un effet positif lorsque l'IA est utilisé dans les processus de production et la sécurité numérique
- Un effet légèrement négatif lorsque l'IA est utilisé pour des fonctions administratives



Emploi

- L'IA ne constitue donc pas un **risque existentiel** : elle ne devrait pas générer de **chômage de masse**.
- Mais les **recompositions de l'emploi** qu'elle va engendrer nécessitent des **institutions** et des **politiques** appropriées :
 - Réforme de l'éducation
 - Flexisécurité

Effets économiques et sociaux de l'IA

- **Qu'en est-il vraiment ?**
 - Effets sur la **productivité** et sa croissance
 - Effets sur l'**emploi**
 - Effets sur les **inégalités**
 - Effets sur la **satisfaction au travail**

Inégalités

“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- Article **déjà abordé** pour analyser les effets de l'IA sur la productivité et la croissance :
 - Adoption de **l'IA générative** au sein d'une **grande entreprise** américaine.
 - Domaine du chat de **service client**
- 2 niveaux d'inégalités liés à l'IA :
 - Par niveau de **compétence**
 - Par niveau d'**ancienneté** au sein de l'entreprise

Inégalités

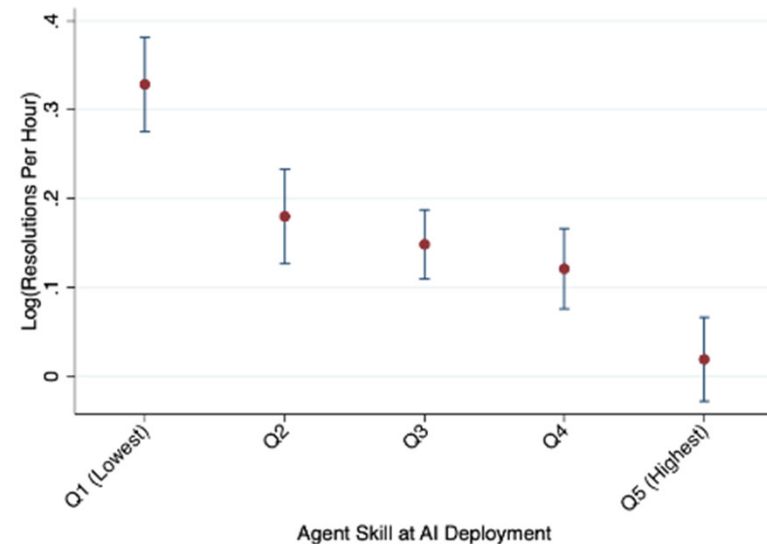
“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- Article **déjà abordé** pour analyser les effets de l'IA sur la productivité et la croissance :
 - Adoption de **l'IA générative** au sein d'une **grande entreprise** américaine.
 - Domaine du chat de **service client**
- 2 niveaux d'inégalités liés à l'IA :
 - Par niveau de **compétence**
 - Par niveau d'**ancienneté** au sein de l'entreprise

Inégalités – Niveau de compétence

- Le graphique représente la **variation du nombre de problèmes résolus** par heure par l'employé **suite à l'introduction de l'IA** en fonction de son **niveau de compétence**.
- Ce niveau de compétence est approximé à partir du **rythme de résolution** de l'employé **avant** l'introduction de l'IA.

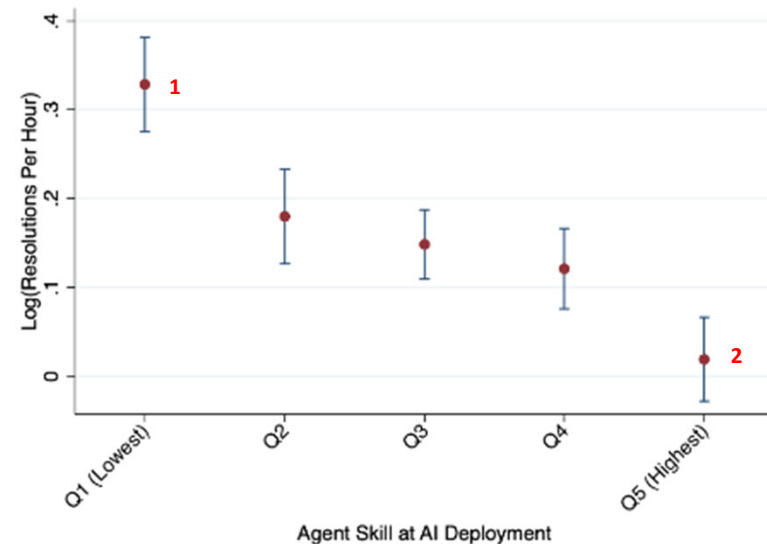
A. IMPACT OF AI ON RESOLUTIONS PER HOUR, BY SKILL AT DEPLOYMENT



Inégalités – Niveau de compétence

- **Moins** un salarié était **qualifié**, **plus** l'IA affecte sa productivité (environ **30%** de hausse pour le quintile le moins qualifié, **1**).
- Pour les salariés les **plus qualifiés** (5^e quintile), l'effet de l'introduction de l'IA sur leur productivité est même **non significatif** (**2**).

A. IMPACT OF AI ON RESOLUTIONS PER HOUR, BY SKILL AT DEPLOYMENT



Inégalités

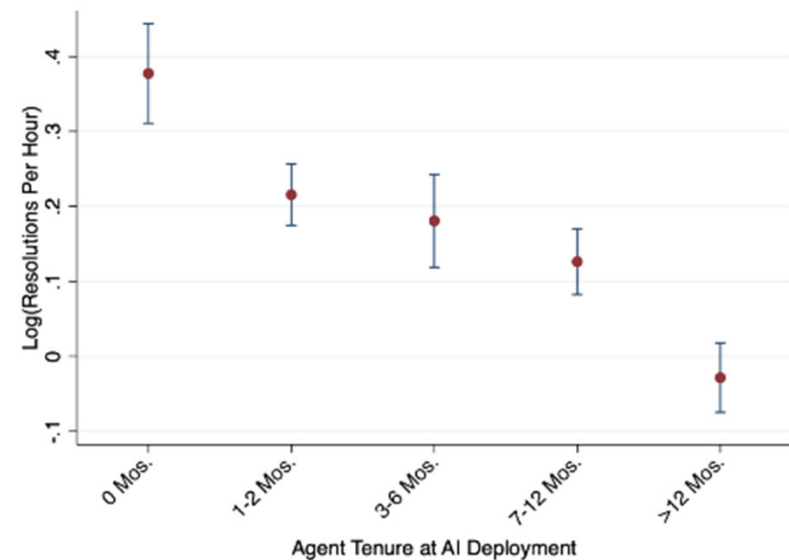
“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- Article **déjà abordé** pour analyser les effets de l'IA sur la productivité et la croissance :
 - Adoption de **l'IA générative** au sein d'une **grande entreprise** américaine.
 - Domaine du chat de **service client**
- 2 niveaux d'inégalités liés à l'IA :
 - Par niveau de **compétence**
 - Par niveau d'**ancienneté** au sein de l'entreprise

Inégalités – Ancienneté

- Le graphique représente la **variation du nombre de problèmes résolus** par heure par l'employé **suite à l'introduction de l'IA** en fonction de son **niveau d'ancienneté**.
- L'ancienneté est exprimée en **mois** et calculée au moment de **l'introduction de l'IA**.

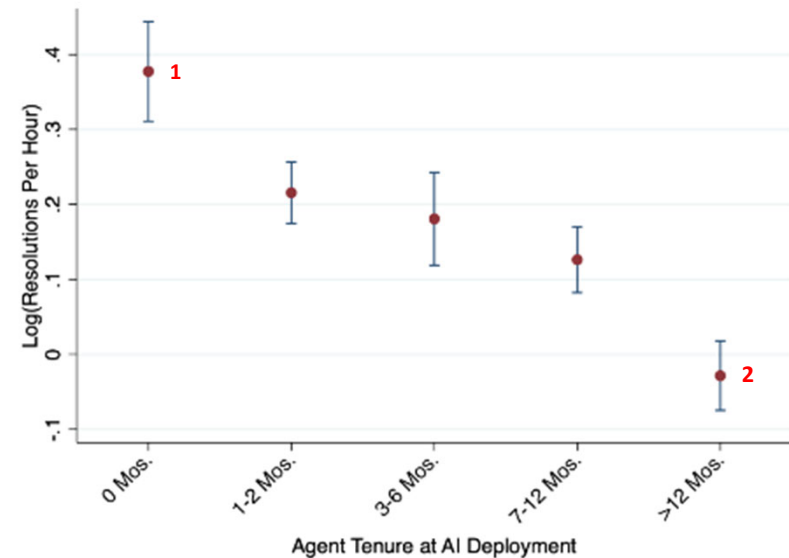
B. IMPACT OF AI ON RESOLUTIONS PER HOUR, BY TENURE AT DEPLOYMENT



Inégalités – Ancienneté

- **Plus** un salarié est **arrivé récemment** dans l'entreprise, **plus** l'IA affecte sa productivité (plus de **30%** de hausse pour les salariés embauchés moins d'un mois avant l'introduction de l'IA, **1**).
- Pour les salariés ayant la plus grande **ancienneté** (plus d'un an), l'effet de l'introduction de l'IA sur leur productivité est même **non significatif** (**2**).

B. IMPACT OF AI ON RESOLUTIONS PER HOUR, BY TENURE AT DEPLOYMENT



Inégalités

- Du point de vue de la productivité, les salariés les **moins qualifiés** sont ceux qui **bénéficient le plus** de l'utilisation de ChatGPT.
- L'IA contribue donc à **réduire les écarts** de productivité entre les niveaux de qualification.
- Comment cela se traduit-il en termes d'**embauches** ?
- Des études aux Etats-Unis (Babina et al. 2023, Acemoglu et al.2022) constatent que l'adoption de l'IA :
 - **Aplatit** la structure **hiérarchique** des entreprises, au profit des juniors
 - Mais conduit à des embauches plus **élitistes** (diplôme, ingénieurs, etc.)

Effets économiques et sociaux de l'IA

- Qu'en est-il vraiment ?
 - Effets sur la **productivité** et sa croissance
 - Effets sur l'**emploi**
 - Effets sur les **inégalités**
 - Effets sur la **satisfaction au travail**

Satisfaction au travail

“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- L'article de Brynjolfsson et al. s'intéresse également à la question de la **satisfaction** au travail.
- Il étudie **deux facettes** de cette satisfaction :
 - La marge **intensive** : hausse de la satisfaction de chaque salarié.
 - La marge **extensive** : chaque salarié est satisfait pendant une plus longue période.

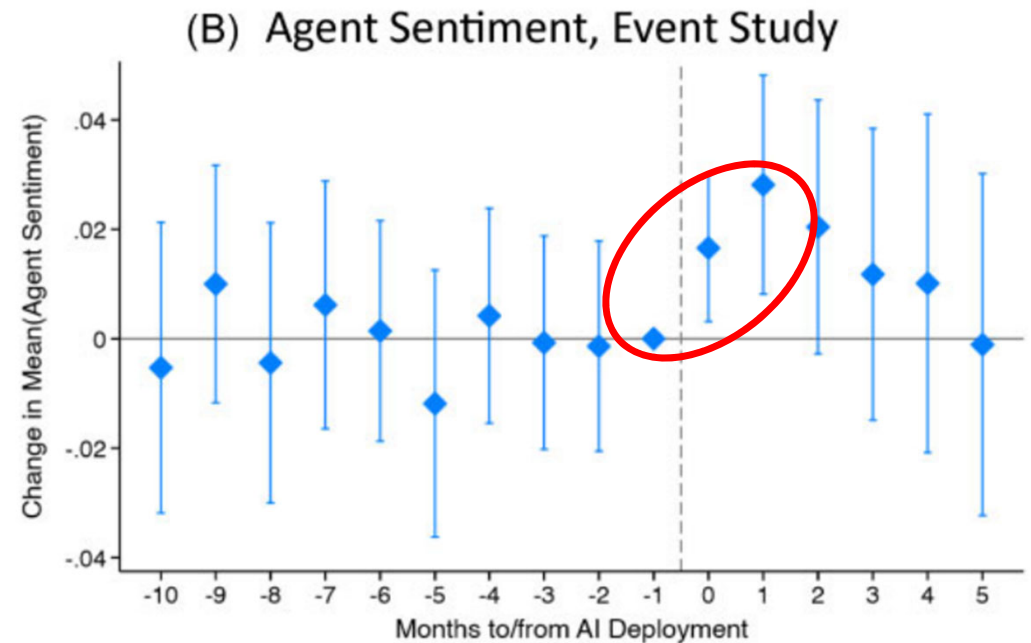
Satisfaction au travail

“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- L'article de Brynjolfsson et al. s'intéresse également à la question de la **satisfaction** au travail.
- Il étudie **deux facettes** de cette satisfaction :
 - La marge **intensive** : hausse de la satisfaction de chaque salarié.
 - La marge **extensive** : chaque salarié est satisfait pendant une plus longue période.

Satisfaction au travail – marge intensive

- La satisfaction des agents est mesurée à partir d'une **analyse sentimentale** de leurs échanges avec les clients, réalisée grâce à une **IA** (SiEBERT).
- On peut noter une **amélioration** de la satisfaction moyenne des employés à **court terme** (moins de deux mois après l'introduction de l'IA) qui **s'estompe** ensuite.



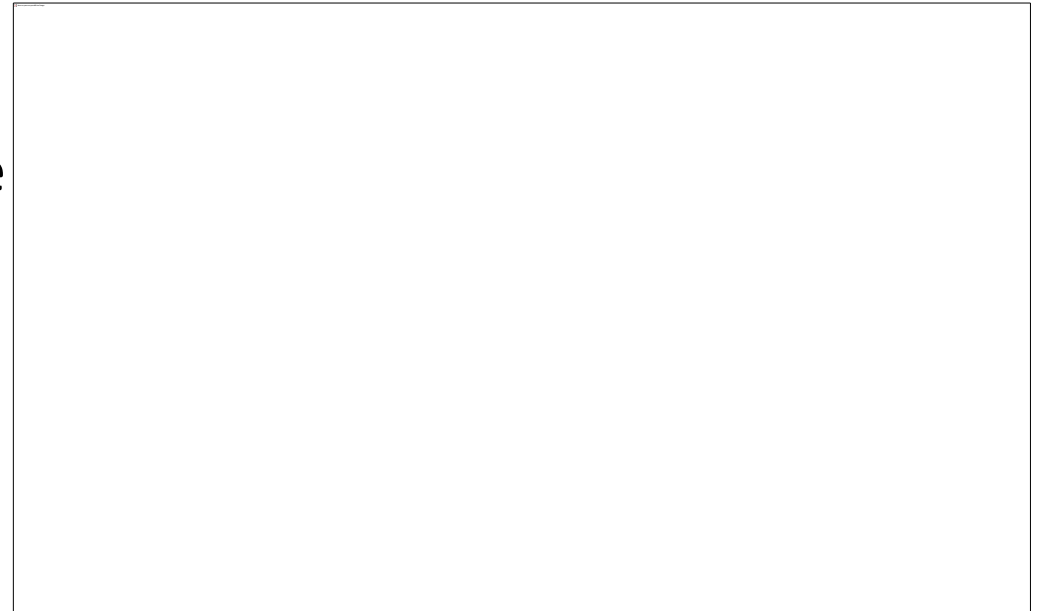
Satisfaction au travail

“Generative AI at Work” (2025) de E. Brynjolfsson, D. Li et L. R. Raymond

- L'article de Brynjolfsson et al. s'intéresse également à la **satisfaction** au travail.
- Il étudie **deux facettes** de cette satisfaction :
 - La marge **intensive** : hausse de la satisfaction de chaque salarié.
 - La marge **extensive** : chaque salarié est satisfait pendant une plus longue période.

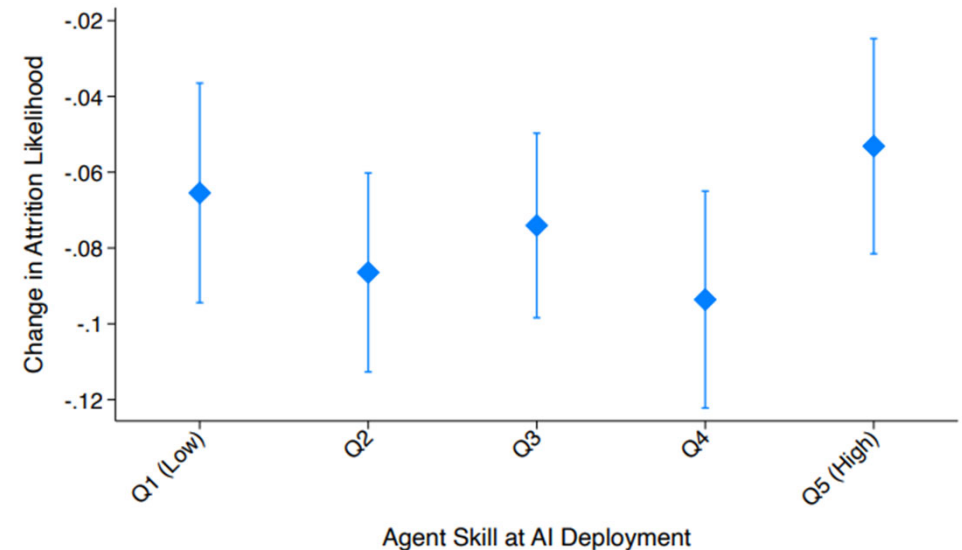
Satisfaction au travail – marge extensive

- Le graphique représente l'évolution de la **probabilité** pour un travailleur de **quitter l'entreprise** en fonction de son **ancienneté** dans l'entreprise au moment où l'IA est introduite.
- Pour **tous les niveaux d'ancienneté**, l'effet de l'IA est **négatif ou non significatif**.



Satisfaction au travail – marge extensive

- Le constat est le même si l'on répartit les salariés en fonction de leur **productivité** avant le déploiement de l'IA.
- Ainsi, loin **d'inciter** les employés à **partir**, l'IA les **encourage** plutôt en moyenne à **rester plus longtemps** dans l'entreprise, signe qu'ils demeurent **satisfaits** par leur emploi **plus longtemps**.



Effets économiques et sociaux de l'IA – Principales recommandations du rapport

- Le rapport formule **quatre principales recommandations** pour tirer au mieux profit de la révolution de l'IA :
 - Davantage de **concurrence** : DMA, Open source, accès aux données
 - Une **politique industrielle** de l'IA: puissance de calcul, semi-conducteurs
 - Une « **exception IA** » dans la recherche publique
 - Promouvoir une **gouvernance mondiale** de l'IA

CONCLUSION

- Les vagues technologiques permettent **des gains rapides de productivité** dans l'ensemble de l'économie.
- Mais les espoirs que ces vagues suscitent vont de pair avec des **craintes**.
- Ces craintes peuvent parfois être **exagérées**, notamment la peur du chômage technologique de masse
- Mais elles nous rappellent que tirer le meilleur parti des vagues technologiques nécessite des changements **institutionnels** adéquats.