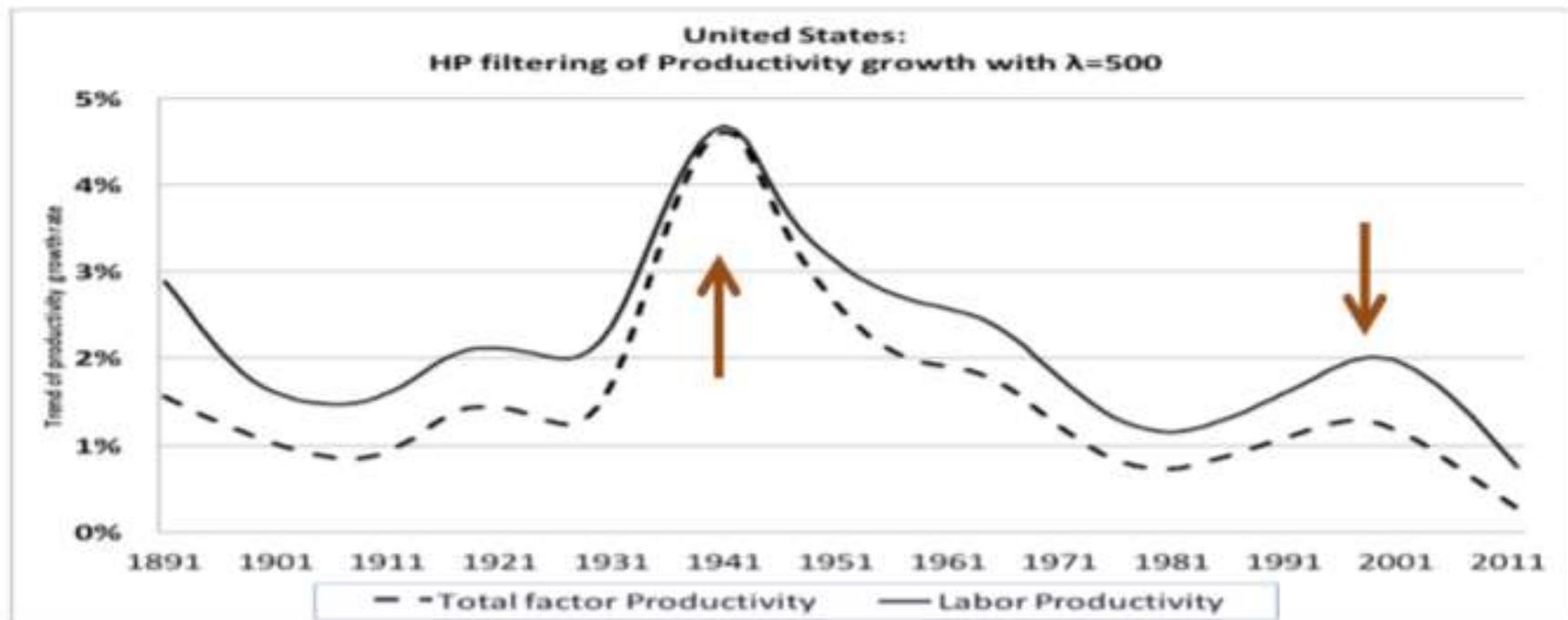


# AI and Economic Growth



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

# Artificial Intelligence and Economic Growth

Philippe Aghion (College de France & LSE)

Benjamin Jones (Northwestern University and NBER)

Charles Jones (Stanford GSB and NBER)

# Introduction

- AI defined as the capability of a machine to imitate intelligent human behavior
- AI can be seen as the latest form of automation
  - Combustion engines, electricity, and semiconductors facilitated automation in the last century
  - AI automates tasks once thought to be out of reach, e.g. driving or medical recommendations

## Introduction

- Several potential channels whereby AI could affect economic growth:
  - ① AI automates the production of goods and services
  - ② AI advances the production of new ideas
    - help solve complex problems
    - facilitate imitation and learning
    - increase the scope for creating new lines
    - become self-improving, producing "singularities"

# Some questions

- When AI automates the production of goods and services, do we still generate balanced growth?
- When AI automates the production of ideas, can it generate a \*singularity\*? Will AI stop the secular decline in TFP growth?

AI in the production of goods and services

## Automation baseline: The Zeira Model

- Aggregate GDP:

$$Y = AX_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_n^{\alpha_n},$$

where  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  and

$$X_{it} = \begin{cases} L_{it} & \text{if not automated} \\ K_{it} & \text{if automated} \end{cases} \quad (1)$$

## Automation baseline: The Zeira Model

- Aggregate production function reexpressed as:

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

- Then:

$$g_y = \frac{g_A}{1 - \alpha}$$

# A fix to the Zeira problem

- Acemoglu and Restrepo (2017) consider model with tasks being  $\uparrow$  automated but new labor tasks being created
  - Share of automated tasks can then remain fixed, allowing capital share to stay constant

- ▶ Final good production:

$$Y = \left( \int_{N-1}^N y(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} .$$

- ▶ Tasks  $y(i)$  with  $i > l$  are non automated, produced with labor alone
- ▶ Tasks with  $y(i)$  with  $i < l$  are automated: i.e., capital and labor are perfect substitutes

# Acemoglu-Restrepo

- Here the dynamics of  $I$  and  $N$  results from endogenous directed technical change (Acemoglu 1998, 2002, 2003, 2007; Aghion and Howitt, 1996)
- Under reasonable parameter values guaranteeing that innovation is directed towards cheapest factor, there exists a unique stable BGP equilibrium.

# An alternative framework

- We explore an approach where a greater fraction of tasks are automated over time (and in the limit, AI might allow automation of all tasks)

## Automation and Baumol's Cost Disease

- Zeira, but with production function

$$Y_t = A_t \left( \int_0^1 Y_{it}^\rho \right)^{1/\rho}, \quad \rho < 0$$

- Let  $\beta_t$  denote the fraction of goods that have been automated as of date  $t$ . Then:

$$Y_t = A_t ((B_t K_t)^\rho + (C_t L)^\rho)^{1/\rho}$$

where  $B_t = \beta_t^{\frac{1-\rho}{\rho}}$  and  $C_t = (1 - \beta_t)^{\frac{1-\rho}{\rho}}$

## Automation and Baumol's Cost Disease

- Ratio of capital share to labor share:

$$\frac{\alpha_{K_t}}{\alpha_{L_t}} = \left( \frac{\beta_t}{1 - \beta_t} \right)^{1-\rho} \left( \frac{K_t}{L_t} \right)^\rho$$

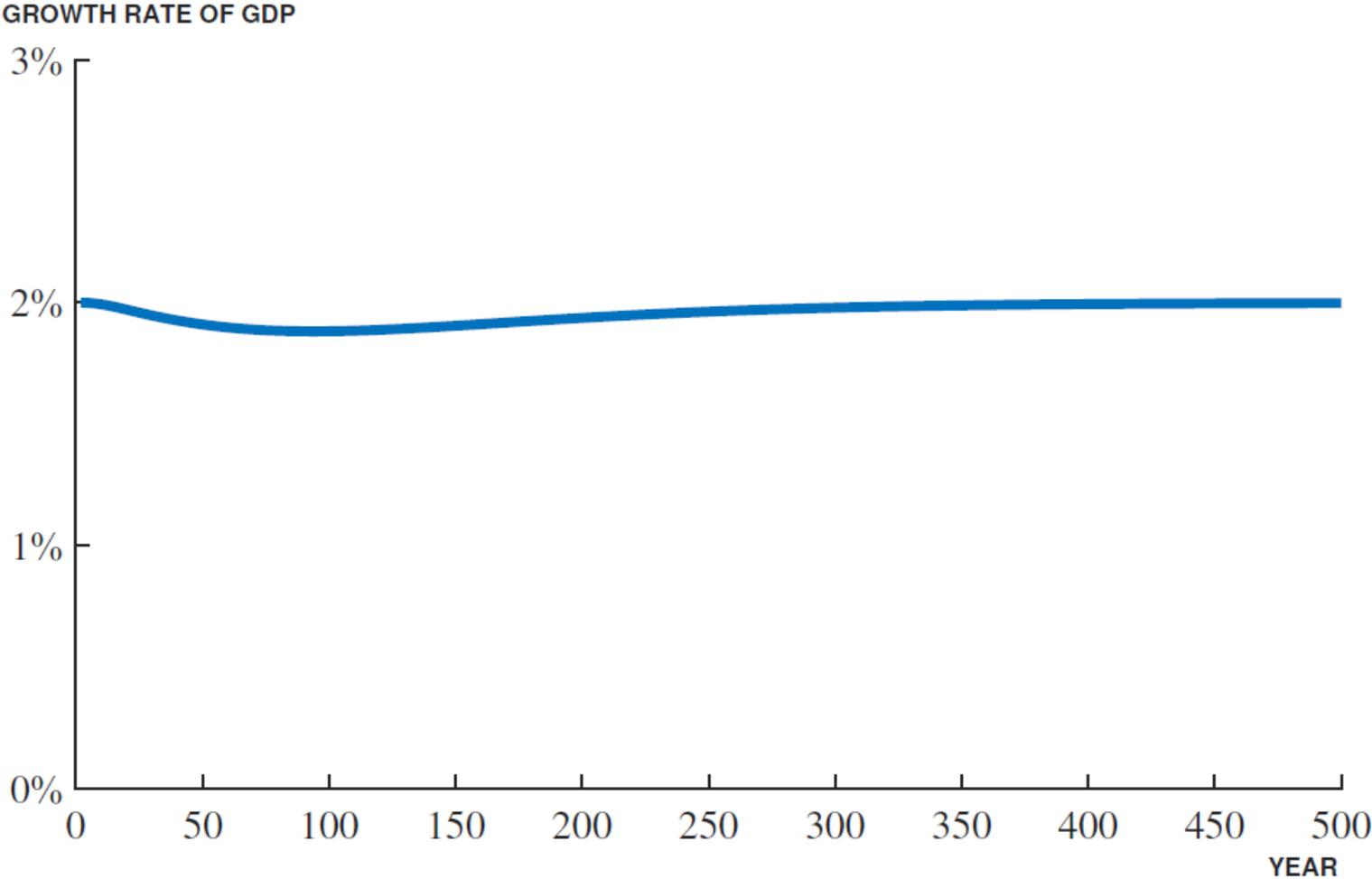
- Two offsetting effects of automation so that constant factor shares are possible
  - ①  $\uparrow \beta_t$  causes capital share  $\uparrow$
  - ②  $\uparrow K_t/L_t$  causes capital share  $\downarrow$

- Can achieve asymptotically balanced growth if a constant fraction of tasks become automated each period, in which case  $C_t$  grows at a constant exponential rate

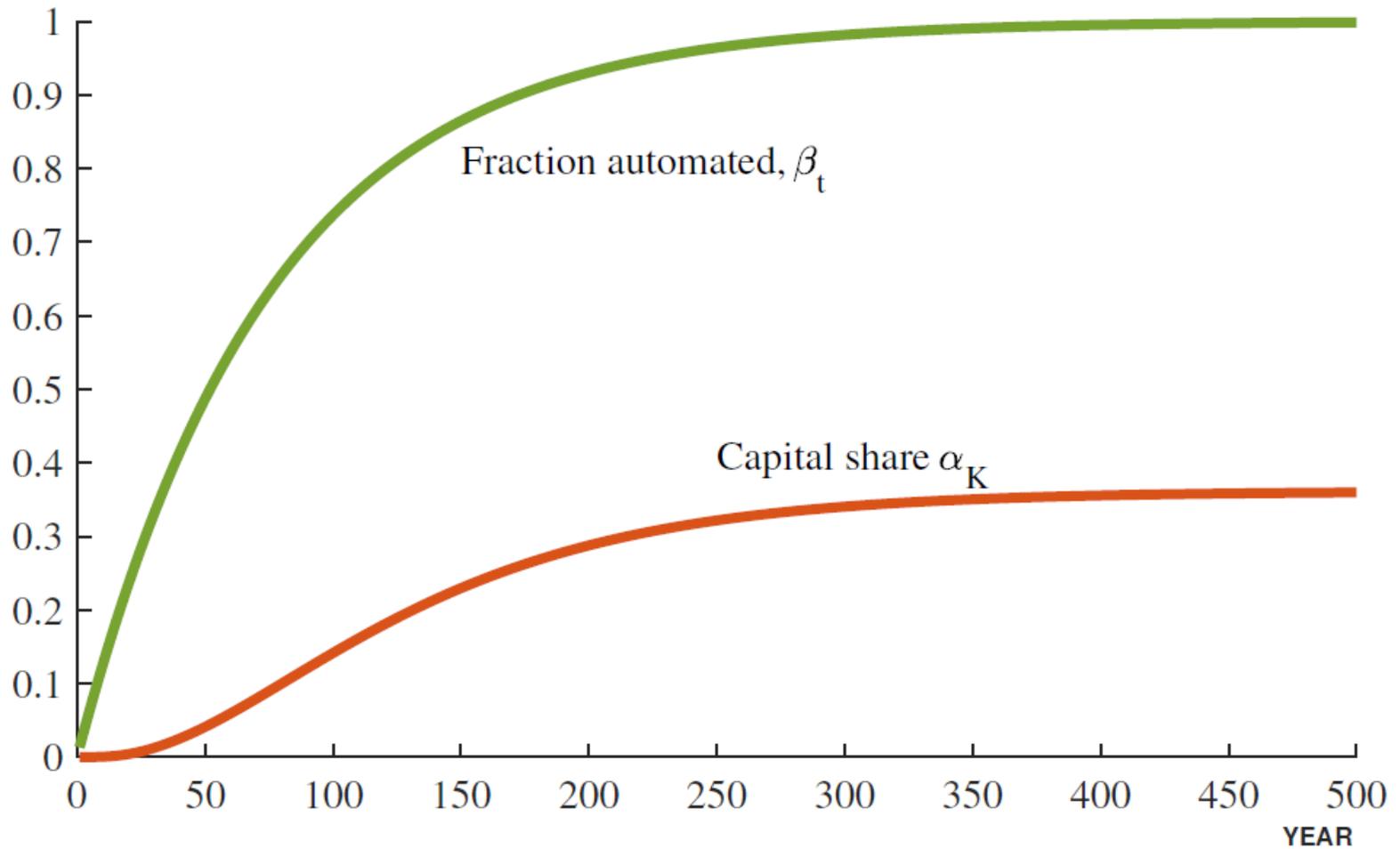
- Thus suppose

$$\dot{\beta}_t = \theta(1 - \beta_t).$$

# Simulation: Automation and Asymptotic Balanced Growth



## Simulation: Capital Share and Automation Fraction



- Now we become more radical and consider what happens when we go "all the way" and allow AI to take over all tasks.
- Example 1: Complete automation of goods and services production.

$$Y_t = A_t K_t,$$

→ Then growth rate can accelerate exponentially

$$g_Y = g_A + sA_t - \delta,$$

# AI and employment

# AI and employment

- ***Robots and jobs: Evidence from the US.*** Acemoglu and Restrepo, NBER Working Paper (2017)
- ***The impact of robots on workers: Evidence from France,*** joint with C. Antonin, S. Bunel and S. Margolin (work in progress)

# Robot Exposure and Employment Growth

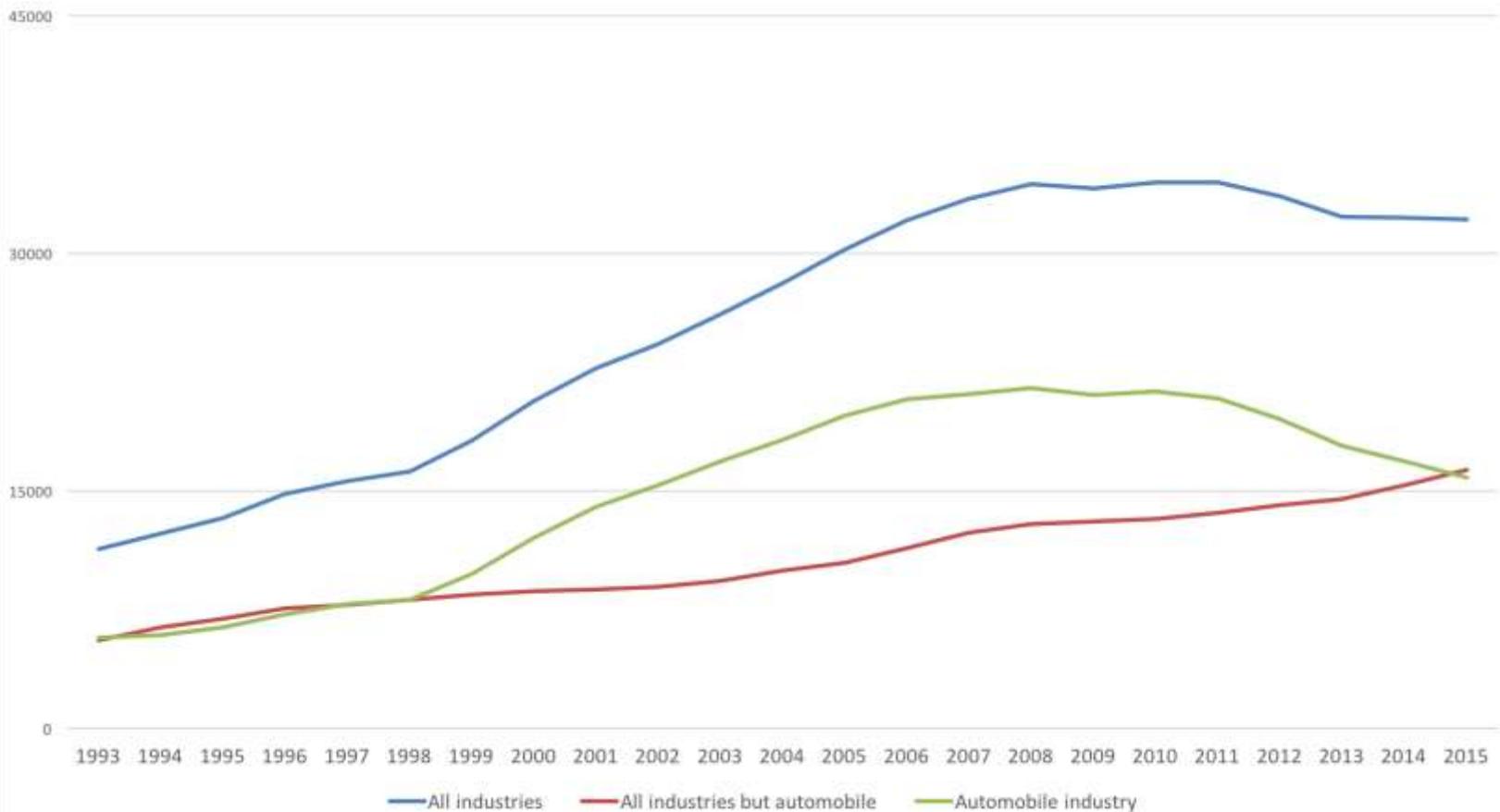
Table 1: Robot Exposure and Employment Growth

	Dependent variable: $\Delta \log(\text{Employment})$ 1995-2014				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Robot exposure (1995-2014)	-0.0488*** (0.0102)	-0.0368*** (0.00944)	-0.0292*** (0.00747)	-0.0188*** (0.00586)	-0.0168*** (0.00572)
ICT exposure (1995-2014)		-0.118*** (0.0425)	-0.104** (0.0408)	-0.102*** (0.0374)	-0.0967** (0.0380)
Trade exposure (1995-2014)		0.0291*** (0.00711)	0.0264*** (0.00627)	0.0258*** (0.00541)	0.0243*** (0.00551)
Demographic controls			Yes		Yes
Region dummies				Yes	Yes
Observations	297	297	297	297	297
R-squared	0.128	0.187	0.247	0.456	0.479

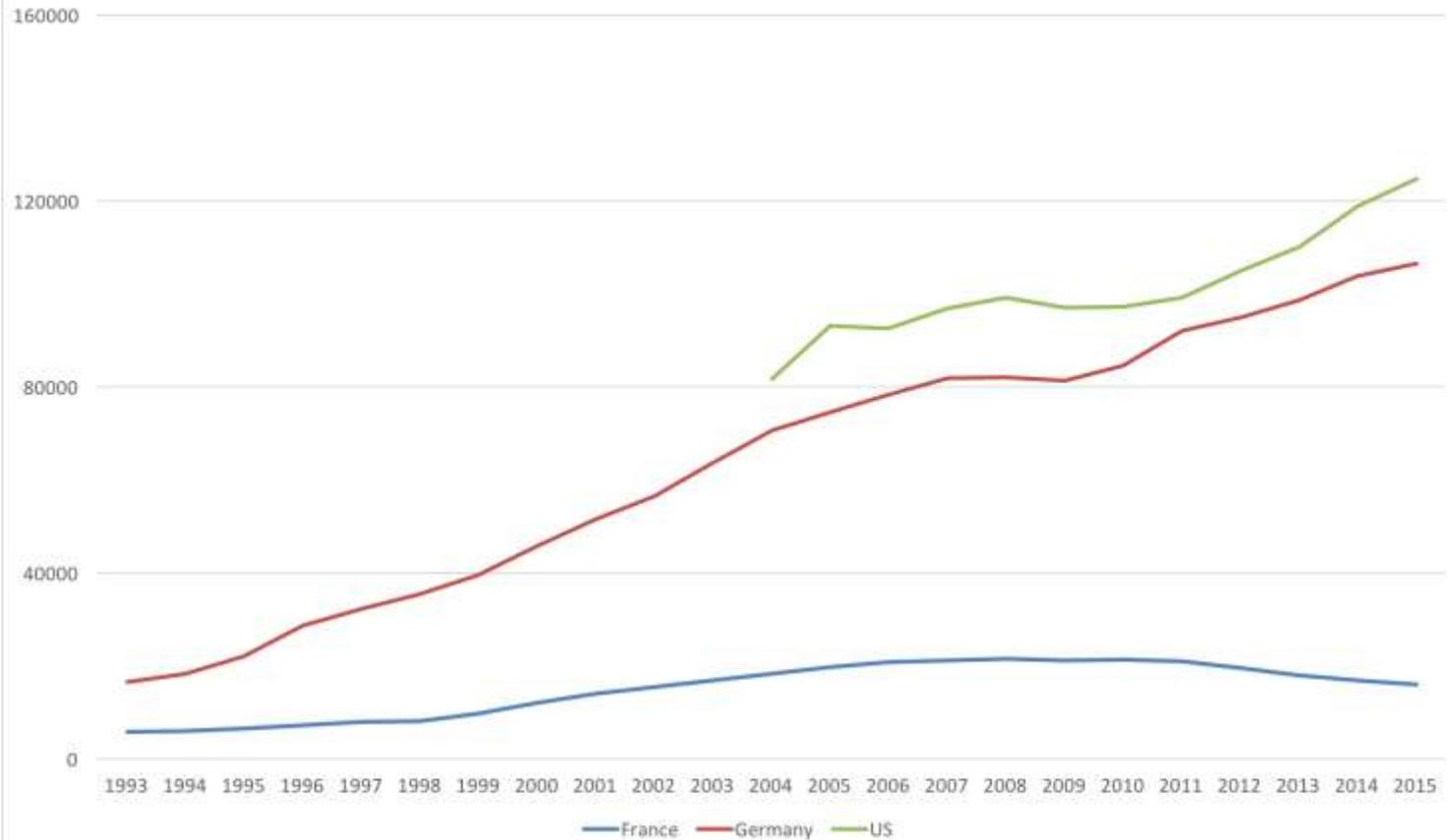
Robust standard errors in parentheses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

### Stock of Robots - France



### Stock of Robots in the Automobile Industry



# Without the automobile industry

Table 2: Robot Exposure and Employment Growth (excluding the automobile industry)

	Dependent variable: $\Delta \log(\text{Employment})$ 1995-2014				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Robot exposure (1995-2014)	-0.192*** (0.0275)	-0.168*** (0.0284)	-0.138*** (0.0284)	-0.126*** (0.0221)	-0.114*** (0.0234)
ICT exposure (1995-2014)		-0.0294 (0.0435)	-0.0320 (0.0422)	-0.0344 (0.0385)	-0.0374 (0.0389)
Trade exposure (1995-2014)		0.0191*** (0.00629)	0.0178*** (0.00615)	0.0178*** (0.00550)	0.0173*** (0.00586)
Demographic controls			Yes		Yes
Region dummies				Yes	Yes
Observations	297	297	297	297	297
R-squared	0.187	0.208	0.260	0.486	0.501

Robust standard errors in parentheses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

# Unskilled Workers

Table 3: Robot Exposure and Unskilled Employment Growth

	Dependent variable: $\Delta \log(\text{Unskilled employment})$ 1995-2014				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Robot exposure (1995-2014)	-0.0507*** (0.00940)	-0.0381*** (0.00853)	-0.0317*** (0.00730)	-0.0205*** (0.00576)	-0.0193*** (0.00579)
ICT exposure (1995-2014)		-0.126*** (0.0432)	-0.117*** (0.0416)	-0.107*** (0.0391)	-0.106*** (0.0398)
Trade exposure (1995-2014)		0.0305*** (0.00740)	0.0290*** (0.00690)	0.0262*** (0.00555)	0.0257*** (0.00565)
Demographic controls			Yes		Yes
Region dummies				Yes	Yes
Observations	297	297	297	297	297
R-squared	0.138	0.203	0.240	0.454	0.460

Robust standard errors in parentheses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

# Skilled Workers

Table 4: Robot Exposure and Skilled Employment Growth

	Dependent variable: $\Delta \log(\text{Skilled employment})$ 1995-2014				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Robot exp (1995-2014)	-0.0268*** (0.00996)	-0.0232** (0.0105)	-0.0191* (0.0106)	-0.00339 (0.00815)	-0.00222 (0.00831)
ICT exp (1995-2014)		-0.0219 (0.0566)	-0.0184 (0.0566)	-0.0390 (0.0515)	-0.0383 (0.0521)
Trade exp (1995-2014)		0.0109 (0.0100)	0.0126 (0.0102)	0.0175 (0.0119)	0.0175 (0.0127)
Demographic controls			Yes		Yes
Region dummies				Yes	Yes
Observations	297	297	297	297	297
R-squared	0.027	0.032	0.044	0.353	0.356

Robust standard errors in parentheses

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

# AI in the production of ideas

## AI in the Ideas Production Function

- Let production of goods and services be  $Y_t = A_t L_t$
- Let idea production be:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi \left( \int_0^1 X_{it}^\rho di \right)^{1/\rho}, \quad \rho < 0$$

- Assume fraction  $\beta_t$  of tasks are automated by date  $t$ . Then:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi F(B_t K_t, C_t S_t)$$

where

$$B_t \equiv \beta_t^{\frac{1-\rho}{\rho}}; \quad C_t \equiv (1 - \beta_t)^{\frac{1-\rho}{\rho}}$$

- This is like before...

- First suppose

$$\dot{\beta}_t = \theta(1 - \beta_t).$$

- Then:

$$g_A = \frac{g_C + g_S}{1 - \phi}.$$

$$g_C = -\frac{1-\rho}{\rho} \cdot \theta > 0$$

# Can we have explosive growth?

- Now suppose full automation in finite time, i.e, for  $t > T$ :

$$\beta_t = 1$$

## Singularities

- Example 2: Complete automation in ideas production function

$$\dot{A}_t = K_t A_t^\phi$$

- Intuitively, this idea production function acts like

$$\dot{A}_t = A_t^{1+\phi}$$

- Solution:

$$A_t = \left( \frac{1}{A_0^{-\phi} - \phi t} \right)^{1/\phi}$$

- Thus we can have a true singularity for  $\phi > 0$ .  $A_t$  exceeds any finite value before date  $t^* = \frac{1}{\phi A_0^\phi}$ .

# What may prevent a singularity

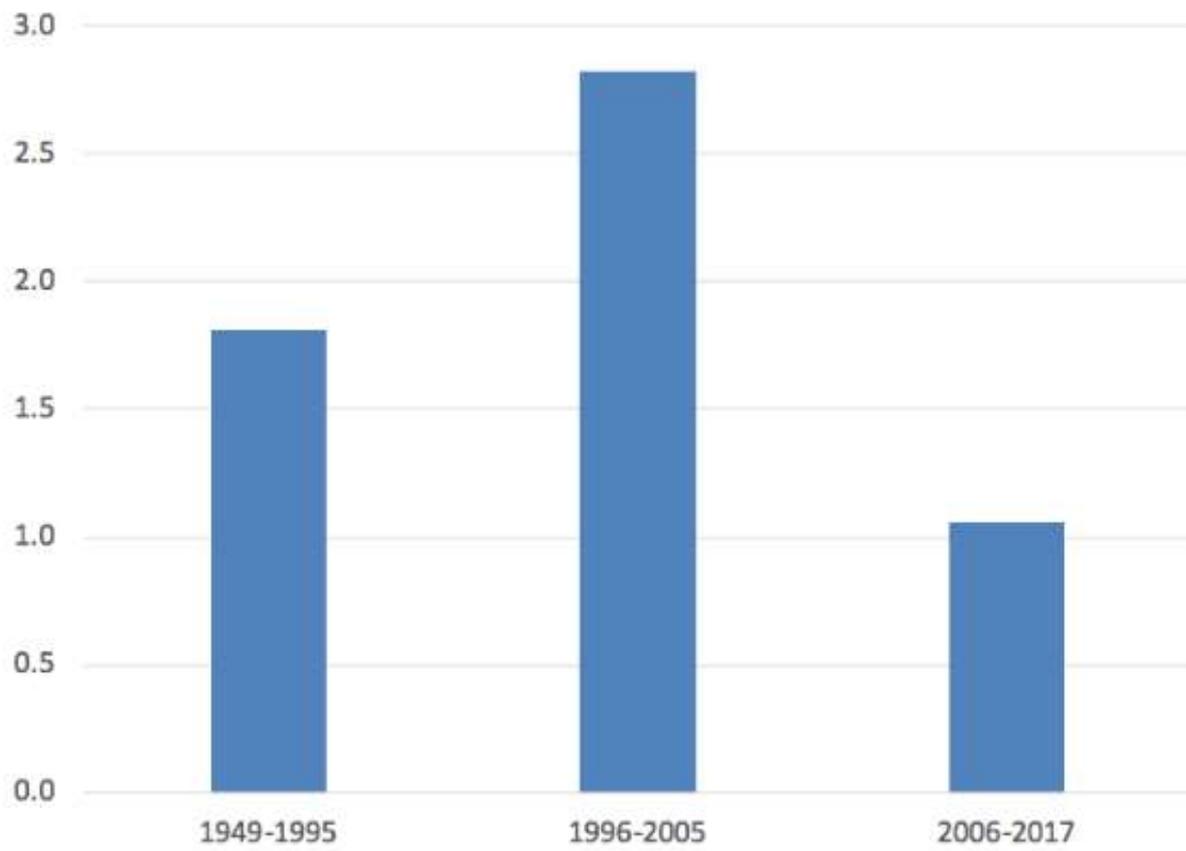
- Some essential inputs to production and/or research cannot be automated
  - Then Baumol's cost Disease is back!
- Ideas harder to get (?)
- Creative destruction with indispensable researchers
  - Can get the paradox that AI in the production of ideas may stall the growth process
- Super star firms

# Rising Rents and Slowing Growth

P. Aghion, A. Bergeaud, T. Boppart,  
P. Klenow, and H. Li

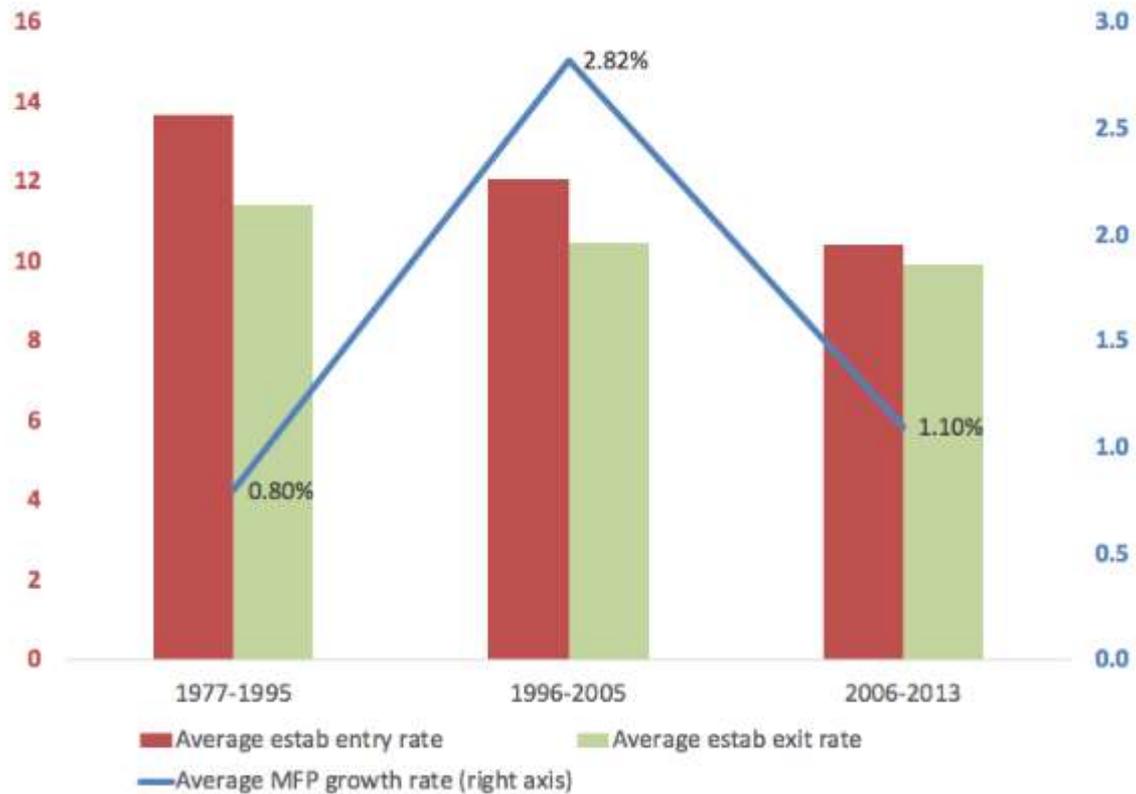
# **FACT 1:**

- **Rising then declining productivity growth in OECD countries**



## **FACT 2:**

➤ **Declining entry and exit**



# Fact 3: Rising Market Share concentration

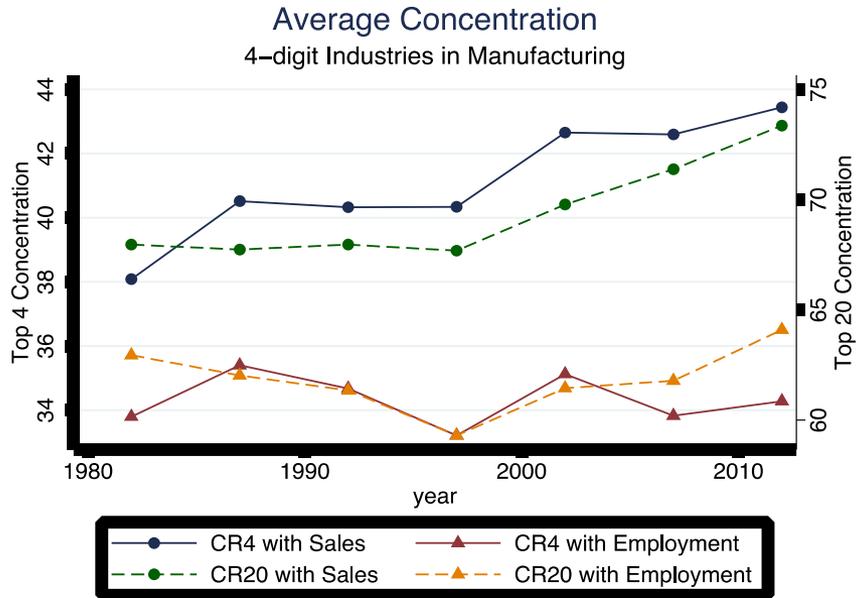
- Increased concentration of market share in most industries over period 1997-2017 :
  - In particular in IT sector with emergence of GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft).
  - Fraction of industries where the four biggest firms account for more than 30% of total market share, has increased from 30% to 40% ;



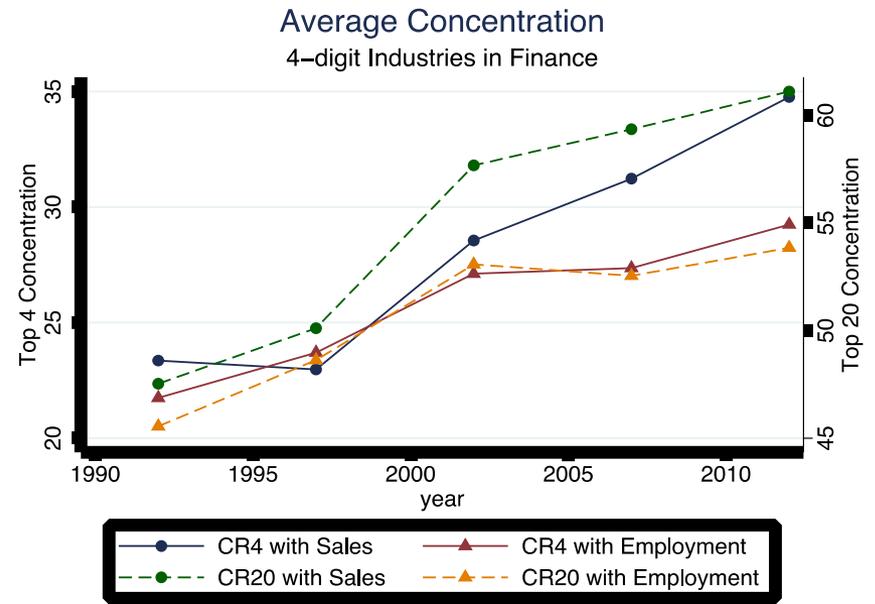
# Market Share Concentration

## Autor et al (2018)

### Manufacturing Sector



### Finance Sector



# Fact 4: Declining Average Labor Share

- Labor share has decreased from 65% to 58% since 2007:
  - Mainly driven by reallocation across firms as opposed to a declining labor share within firms



# Declining labor share

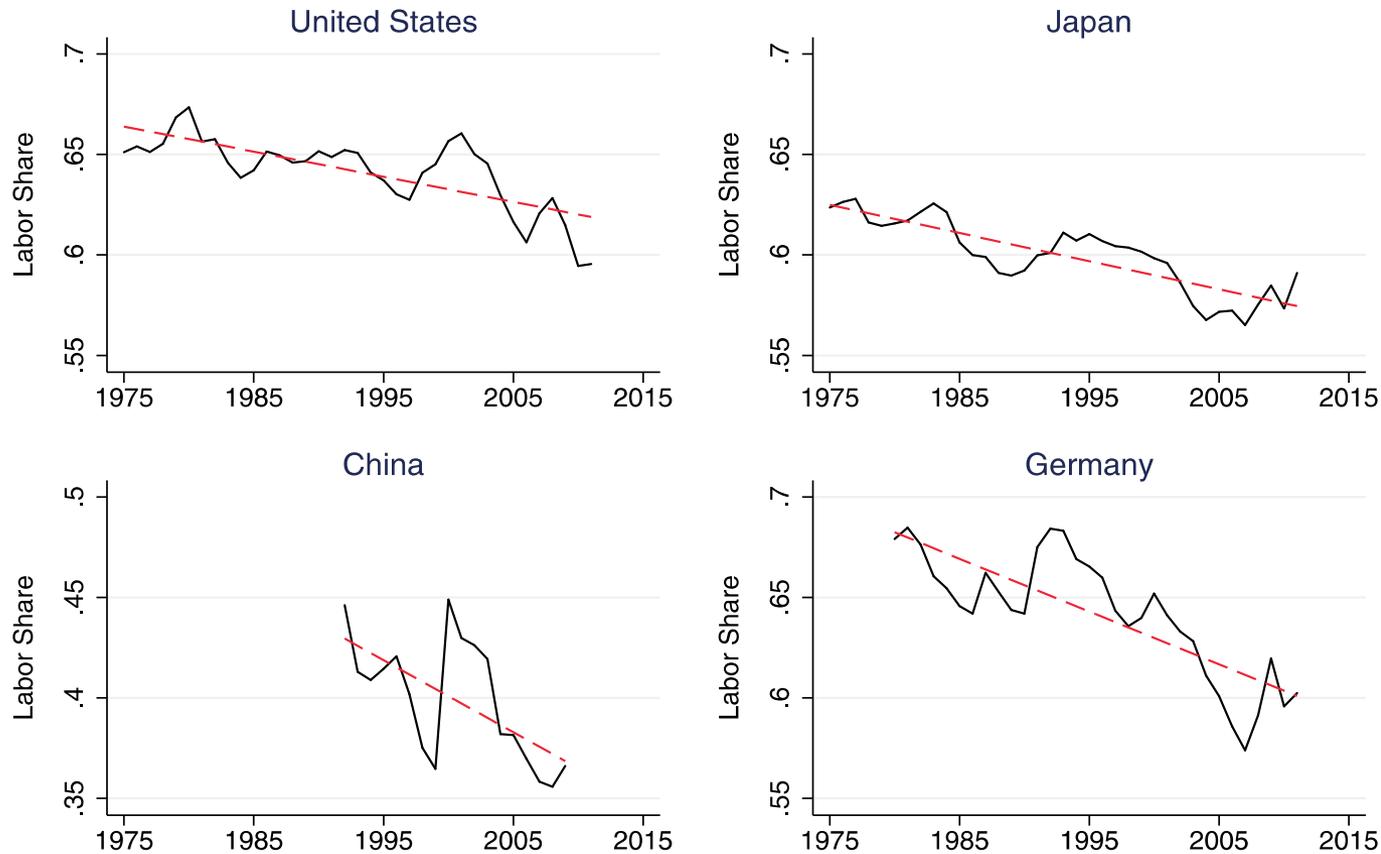


FIGURE II

Declining Labor Share for the Largest Countries

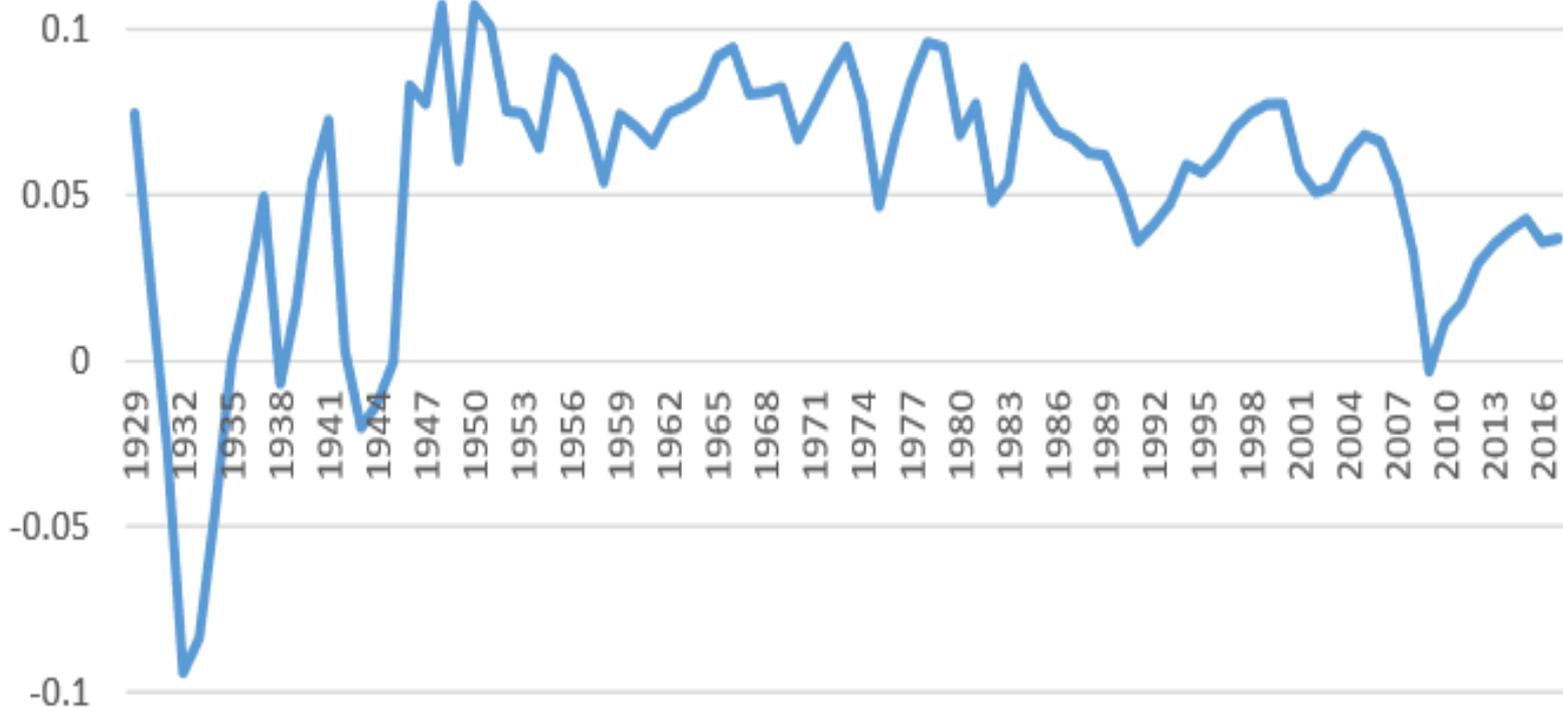
Source : Karabarbounis and Neiman, 2014



COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —

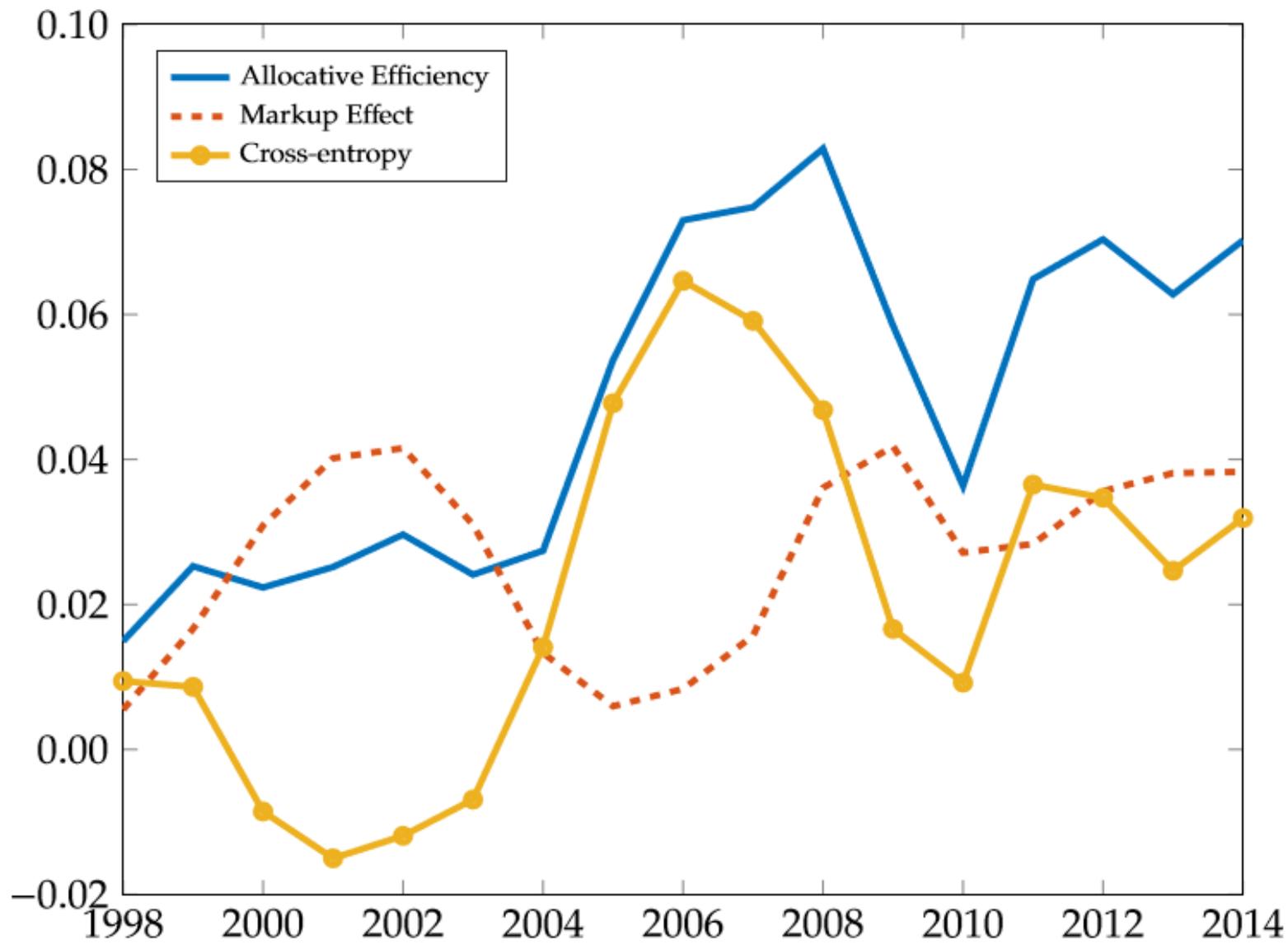
# Fact 5: Non Increasing Investment (Gutierrez-Philippon)

# Net nominal private investment relative to nominal GDP



## Fact 6: Increase in Average Mark Up

- Essentially driven by between-firm reallocation (Baqae-Farhi, 2018 vs De Loecker and Eeckhout, 2017)
- Average mark-up has increased but the average change in mark up has been negative over the recent period



# Explaining all these facts with one model

- Super star firms

# **GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY**

**16/10/2018**

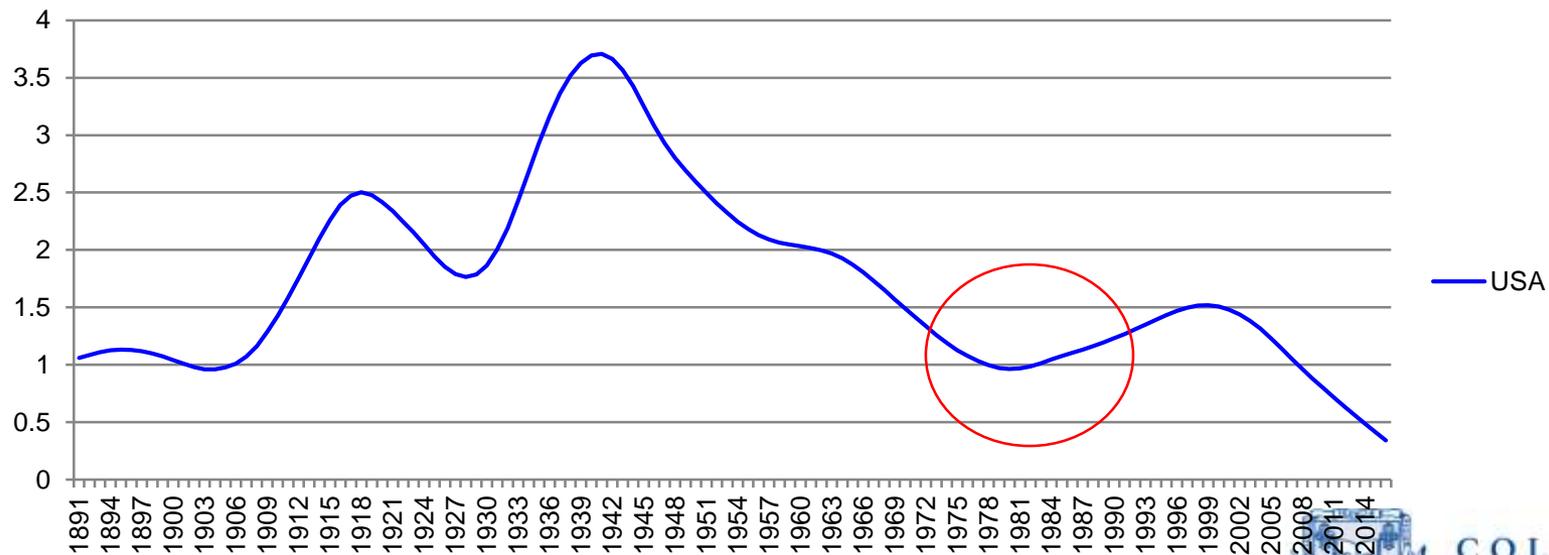


**COLLÈGE  
DE FRANCE**  
— 1530 —

# GPT ET PRODUCTIVITÉ

- Pourquoi ce paradoxe entre l'apparition d'une technologie générique et une faible croissance de la productivité au cours des premières années ?
- Au début des années 1990, Paul David note que l'on vit une vague d'innovations majeures (microélectronique, technologies de communication, fibres optiques, les matériaux composites, biotechnologie) sans noter une réelle croissance de la productivité
- Paradoxe de Solow (1987) : « On voit des ordinateurs partout, sauf dans les statistiques de productivité »

**Croissance de la PGF (en %)**

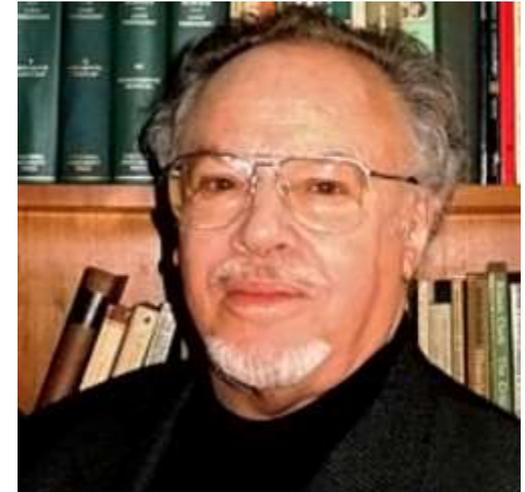


Source : Bergeaud, Cette et Lecat (2016)



# LA DYNAMO ET L'ORDINATEUR

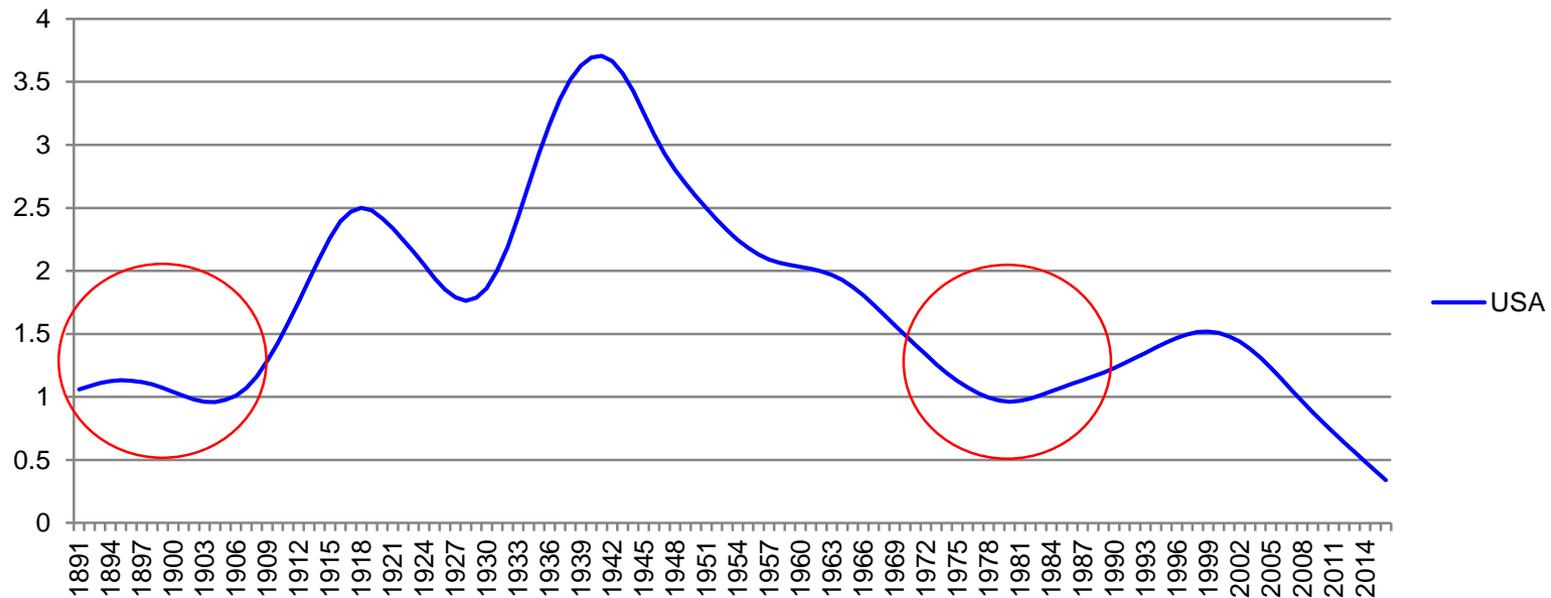
- ***The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox***, Paul David, *American Economic Review* (1990)
- **Idée :**
  - Aborder la question du lien entre révolution numérique et productivité sous l'angle de l'histoire économique
  - Mettre en avant le rôle des coûts de transition d'une technologie générique à une autre en faisant le parallèle entre l'arrivée de l'électricité et la révolution numérique



# LA DYNAMO ET L'ORDINATEUR

- Parallèle entre deux époques marquées par l'arrivée de grandes innovations mais une faible croissance de la productivité

Croissance de la PGF (en %)



Source : Bergeaud, Cette et Lecat (2016)



# DÉLAI D'ADOPTION

- 1868 : Première dynamo électrique opérationnelle
- 1879 : lampe à incandescence à filament de carbone d'Edison et Swann
- Comme on l'a vu avec Jovanovic et Rousseau, en 1899, aux États-Unis, l'électricité était encore très peu répandue aussi bien dans les entreprises que dans les ménages
- Pourtant certains ingénieurs avaient déjà perçus les transformations de fond rendues possibles par l'arrivée de l'électricité à la fin du XIXème siècle.
- Pourquoi ce délai ?

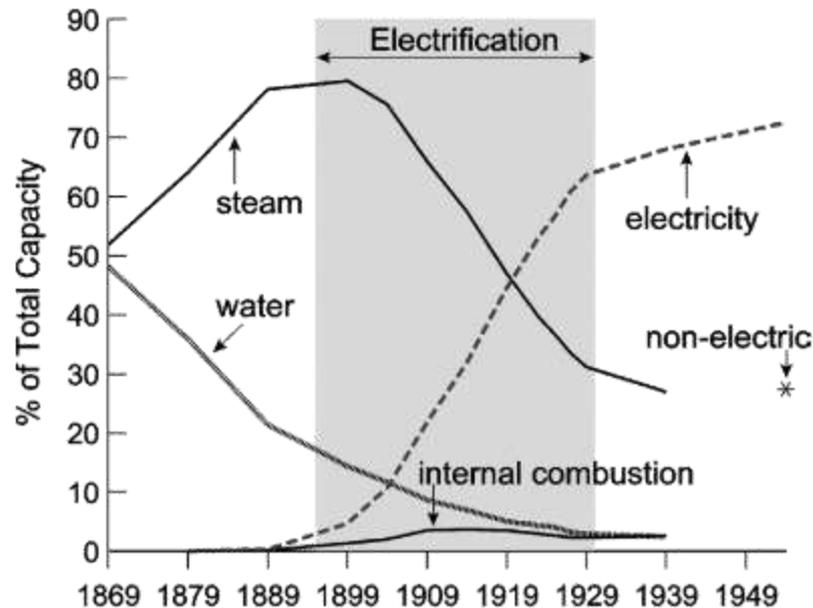


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.



# DÉLAI D'ADOPTION

- Au début du XIXème siècle, les usines étaient alimentées en énergies 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.
- Elles étaient alors regroupées par tache, ce qui était plus simple pour optimiser la transmission d'énergie



Arbre

Courroies



COLLÈGE  
DE FRANCE  
— 1530 —

# DÉLAI D'ADOPTION



- 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
- Quand l'électricité s'est développée, les ingénieurs n'ont donc tout d'abord pas remis en cause le système de production existant depuis un siècle : celui de l'arbre de transmission
- Ainsi, dans la plupart des usines, ils ont simplement remplacé la machine à vapeur comme source d'énergie par un moteur électrique pour faire tourner l'arbre de transmission sans changer le système de courroies



# DÉLAI D'ADOPTION

- Pourquoi ?
- Impossible de deviner les économies permises par la suppression d'un arbre de transmission unique.
- Calcul coût/bénéfice de l'électrification :
  - Bénéfices perçus:
    1. Réduction de la consommation d'énergie
    2. Meilleur contrôle de la vitesse de la machine que par la vapeur
  - Coût fixe de transition perçu, en gardant l'arbre de transmission : raccordement au réseau électrique, embauche d'ingénieurs capables de réparer l'alimentation électrique, etc.
- Ce coût fixe perçu explique le faible développement de l'électricité à la fin du XIXème siècle



# DÉLAI D'ADOPTION

- Puis, a plus long terme, la miniaturisation du moteur électrique a permis d'alimenter chaque machine séparément, permettant alors faire fonctionner des machines de tailles et de fonctions différentes les unes à côté des autres.
- Le fil électrique pouvait relier chaque machine au réseau sans impliquer la présence d'un arbre de transmission.



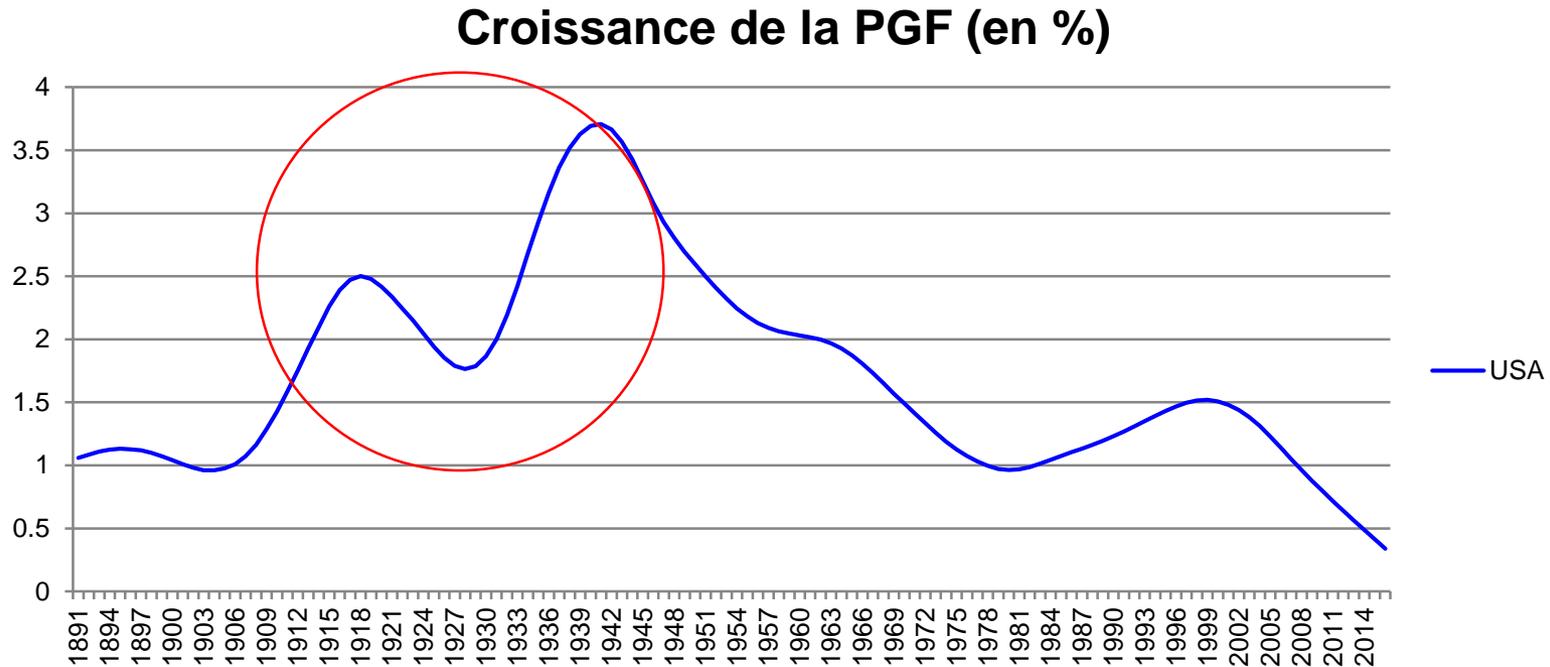
# DÉLAI D'ADOPTION

- 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.
- Invention de la **chaîne de montage**
- Avantages :
  1. Economie en 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
  2. 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
  3. Possibilité d'arrêter une machine défectueuse pour la réparer sans stopper les autres machines, alors qu'avant il fallait arrêter toutes les machines liées à un arbre de transmission avant



# DÉLAI D'ADOPTION

- 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



Source : Bergeaud, Cette et Lecat (2016)



# LE CAS DE L'INFORMATIQUE

- Paul David dresse un parallèle entre la mauvaise utilisation de l'électricité à la fin du XIXème siècle et la mauvaise utilisation de l'informatique à la fin du XXème siècle :
- Alors que l'informatique devait permettre de numériser de nombreuses tâches de traitement de données, Paul David constate que les anciennes procédures papier sont souvent conservées, ne prenant donc pas la mesure du nouvel outil
- Cela entraîne donc une faible croissance de la productivité à la fin de années 1980



# LE CAS DE L'INFORMATIQUE

- Aujourd'hui, avons-nous pris la totale mesure des développements offerts par l'informatique ?
  - Intelligence artificielle



# MESURE DE LA CROISSANCE

- Enfin, Paul David souligne les difficultés liées aux mesures de croissance de la productivité lors du développement d'une nouvelle technologie générique. Il s'oppose notamment à la vision de Gordon.
  1. Difficultés de mesure des changements de qualité associés à l'introduction de nouveaux produits
  2. L'apparition d'une GPT favorise la production de catégories de biens et services qui n'étaient auparavant pas enregistrés dans les comptes du revenu national.
- Exemple : Dans le cas de l'électricité, l'amélioration du bien-être via des déplacements plus rapides (tramways électriques, métros) sont longtemps resté non capturés par la mesure du PIB et le sont encore en partie



# CONCLUSIONS

- Paul David constate que l'on a mis 40 ans à optimiser l'utilisation d'une nouvelle technologie générique (l'électricité) à l'industrie
- Délai nécessaire avant d'observer des gains de productivité significatifs
- Alors que l'industrie est restée « prisonnière » du modèle de l'arbre de transmission pour la conception des usines, elle a fini par sortir de ce sous-optimum pour utiliser au mieux l'apport de l'électricité
- Existe-t-il des cas où l'on ne converge jamais vers une utilisation optimale d'une nouvelle technologie ?



# LE CLAVIER QWERTY

- ***Clio and the Economics of QWERTY***, Paul David, *American Economic Review* (1985)
- **Idée :**
  - Le clavier Qwerty est le clavier de presque 100% des utilisateurs dans les pays anglo-saxons
  - En Europe continentale, on utilise le clavier AZERTY, très proche du QWERTY
  - Pourtant, ce clavier n'est pas optimal, d'autres claviers permettent de taper à l'ordinateur beaucoup plus vite
  - Pourquoi utilise-t-on encore le QWERTY ?



# HISTOIRE DU QWERTY

- 1867 : Sholes, imprimeur de métier, invente la première machine à écrire. Pour réduire la fréquence des chocs entre lettres, un clavier à quatre rangées similaire 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



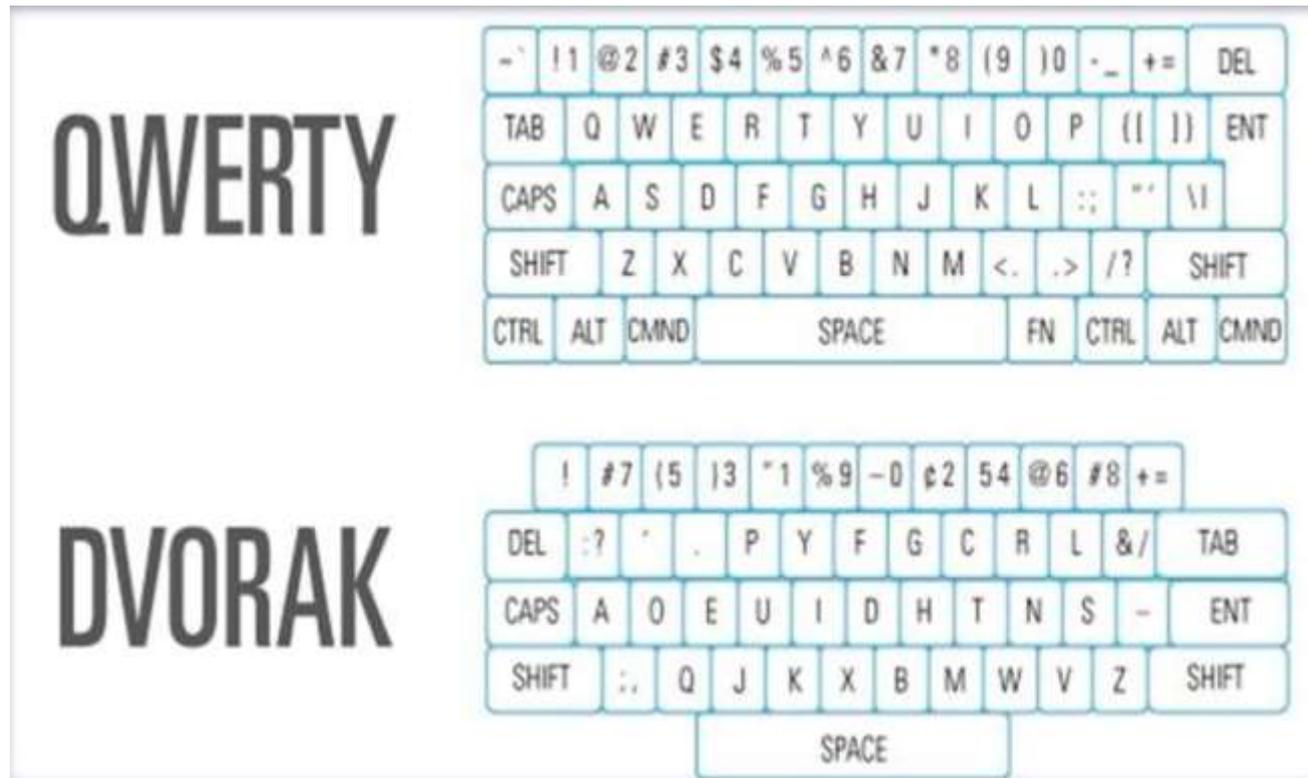
# HISTOIRE DU QWERTY

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



# HISTOIRE DU QWERTY

- Pourquoi utilisent-on encore des claviers QWERTY ou AZERTY ?



# QWERTY

- Comment le standard sous-optimal du QWERTY a-t-il réussi à s'imposer et à rester en place depuis plus d'un siècle ?
- Paul David invoque trois éléments :
  1. Interdépendance technique
  2. Économies d'échelle
  3. Quasi-irréversibilité de l'investissement



# 1) INTERDÉPENDANCE TECHNIQUE

- Si le QWERTY est le premier standard à émerger à la fin du XIXème 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
- On a donc un renforcement mutuel : interdépendance technique qui favorise le QWERTY (premier arrivant)



## 2) ÉCONOMIES 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 de nouveaux 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.



# 3) QUASI-IRRÉVERSIBILITÉ DES INVESTISSEMENTS

- 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



# QWERTY

- Sortira-t-on un jour du QWERTY pour converger vers des claviers optimaux ?
- Il faudrait peut-être une révolution équivalente à celle de l'invention de l'électricité pour l'organisation des usines
- Pour le moment, la société reste bloquée dans une situation technologique sous-optimale



# **GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY**

**16/10/2018**



**COLLÈGE  
DE FRANCE**  
— 1530 —

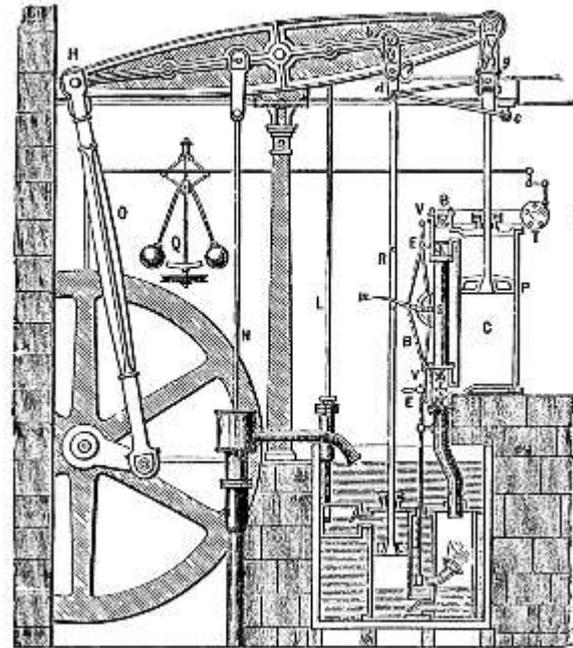
# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Le terme de technologie générique (GPT) traduit l'arrivée d'une technologie transformant en profondeur la vie des ménages et la manière dont les entreprises mènent leurs activités.
- Elles ont la particularité d'affecter l'ensemble de l'économie
- Exemples :
  - La vapeur, l'électricité, la combustion interne, les technologies de l'information
  - Si on remonte dans le temps, on pourrait considérer l'imprimerie comme une technologie générique



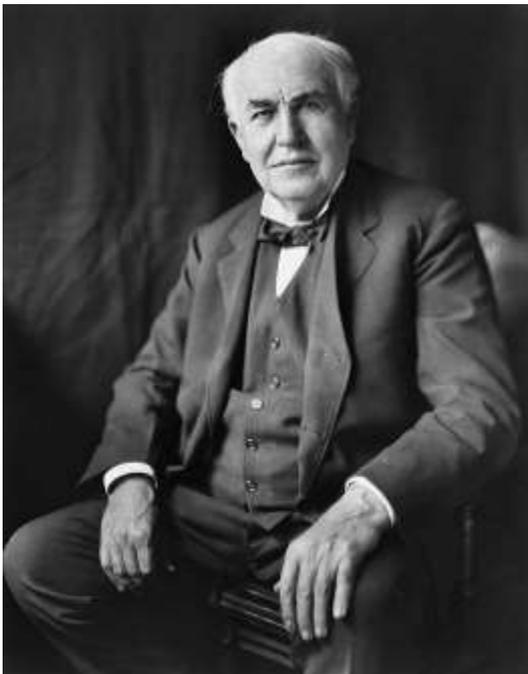
# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Les technologies génériques sont souvent directement reliées au terme de Révolution Industrielle
- **Première Révolution Industrielle** (Première moitié du XIXème siècle) dans la continuité de l'invention de la **machine à vapeur** par **James Watt** dans les années 1770.



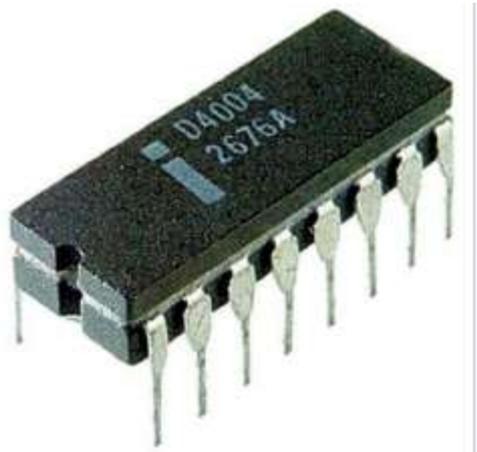
# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Les technologies génériques sont souvent directement reliées au terme de Révolution Industrielle
- **Seconde Révolution Industrielle** (Première moitié du XXème siècle) dans la continuité de l'utilisation de **l'électricité** avec l'invention de l'ampoule par Edison (1879) et de la dynamo notamment par Siemens (1866)



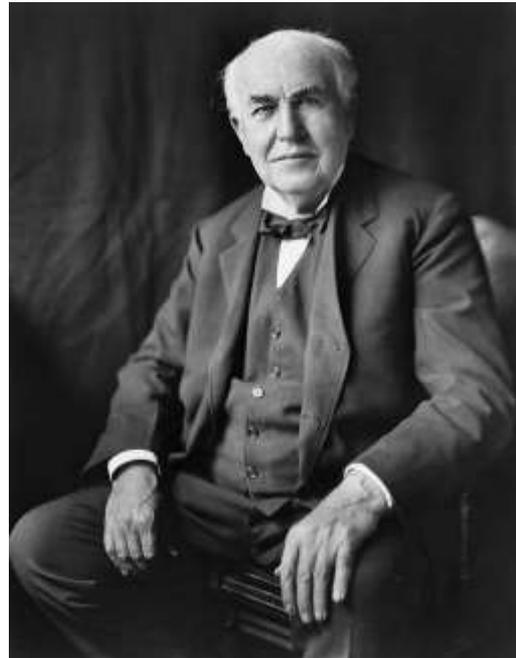
# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Les technologies génériques sont souvent directement reliées au terme de Révolution Industrielle
- **Troisième Révolution Industrielle** (Fin du XXème siècle) dans la continuité de l'utilisation des **technologies de l'information et de la communication** suite à l'invention du microprocesseur par Hoff et Faggin, ingénieurs chez Intel, en 1969



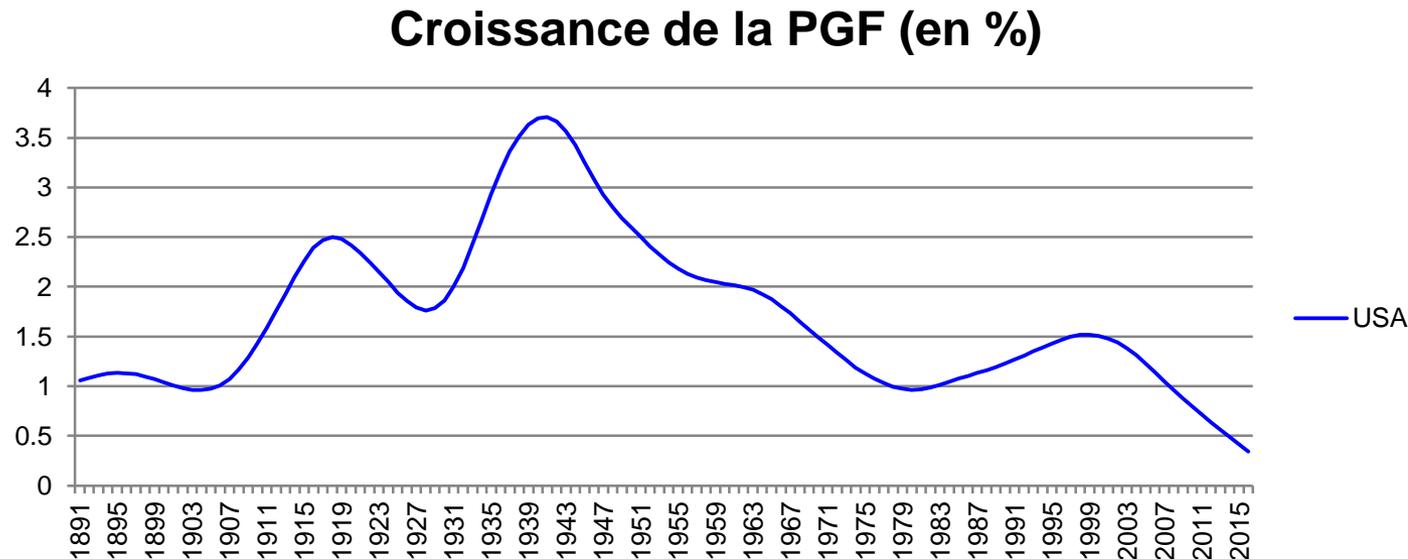
# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Dans les trois cas, on note l'importance de l'innovateur, qui permet l'apparition d'une nouvelle technologie générique, et donc la croissance de la productivité à long terme



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Le changement technologique profond apporté par les technologies génériques est à l'origine des vagues de croissance de la productivité



- Paul David (1991) : Toutefois, en raison de la nécessaire adaptation des processus de production, une technologie générique ne procure pas de gains de productivité immédiats



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- **General Purpose Technologies**, Jovanovic et Rousseau, dans *Handbook of Economic Growth* (Chap. 18)
- **Idée :**
  - Définir une technologie générique (GPT) en trouvant des caractéristiques communes
  - Etude de ces caractéristiques au travers de deux exemples de GPT : l'électricité et l'informatique



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

- Qu'est-ce qu'une technologie générique ?
- Quels critères peut-on utiliser pour la distinguer des autres technologies ?
- Bresnahan et Trajtenberg (1996) distinguent les technologies generiques des autres technologies a travers 3 caractéristiques incontournables :
  1. Ampleur de la diffusion – S'étendre à la plupart des secteurs
  2. Amélioration – S'améliorer avec le temps, et ainsi réduire les coûts pour les utilisateurs
  3. Générateur d'innovations – Faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

•

1. **Ampleur de la diffusion – S'étendre à la plupart des secteurs**
2. Amélioration – S'améliorer avec le temps, et ainsi réduire les coûts pour les utilisateurs
3. Générateur d'innovations – Faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés



# DIFFUSION – NIVEAU AGRÉGÉ

- Electricité : symétrie entre la baisse de la part de la vapeur et la hausse de la part de l'électricité dans l'[input énergétique du secteur manufacturier
- On retrouve une courbe logistique, caractéristique de la diffusion des technologies génériques

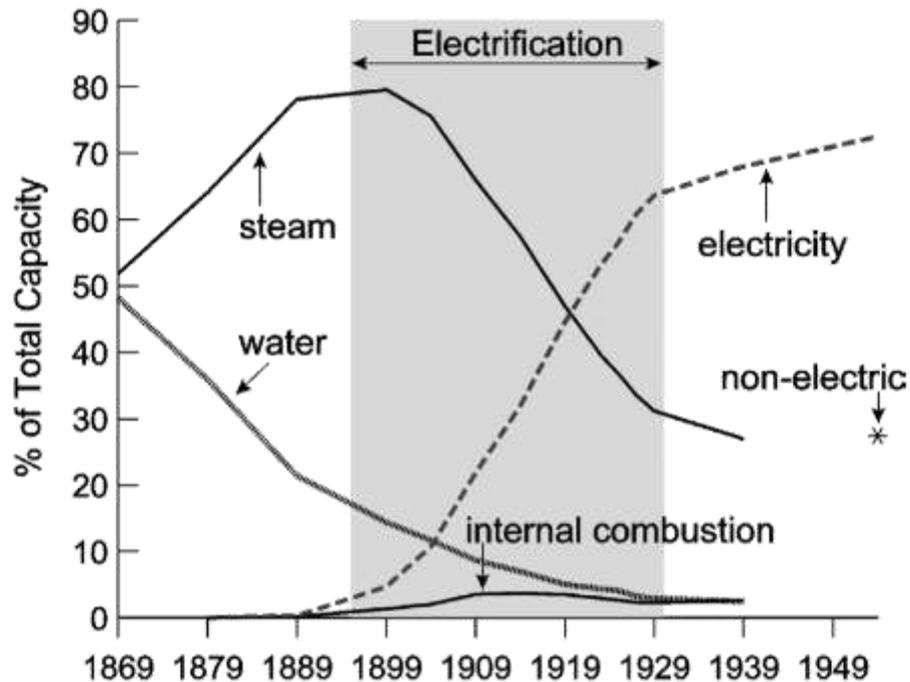


Figure 2. Shares of total horsepower generated by the main sources in U.S. manufacturing, 1869–1954.



# DIFFUSION – NIVEAU AGRÉGÉ

- Technologies de l'information :
- Début de fonction logistique, on n'observe pas encore le plateau au début des années 2000

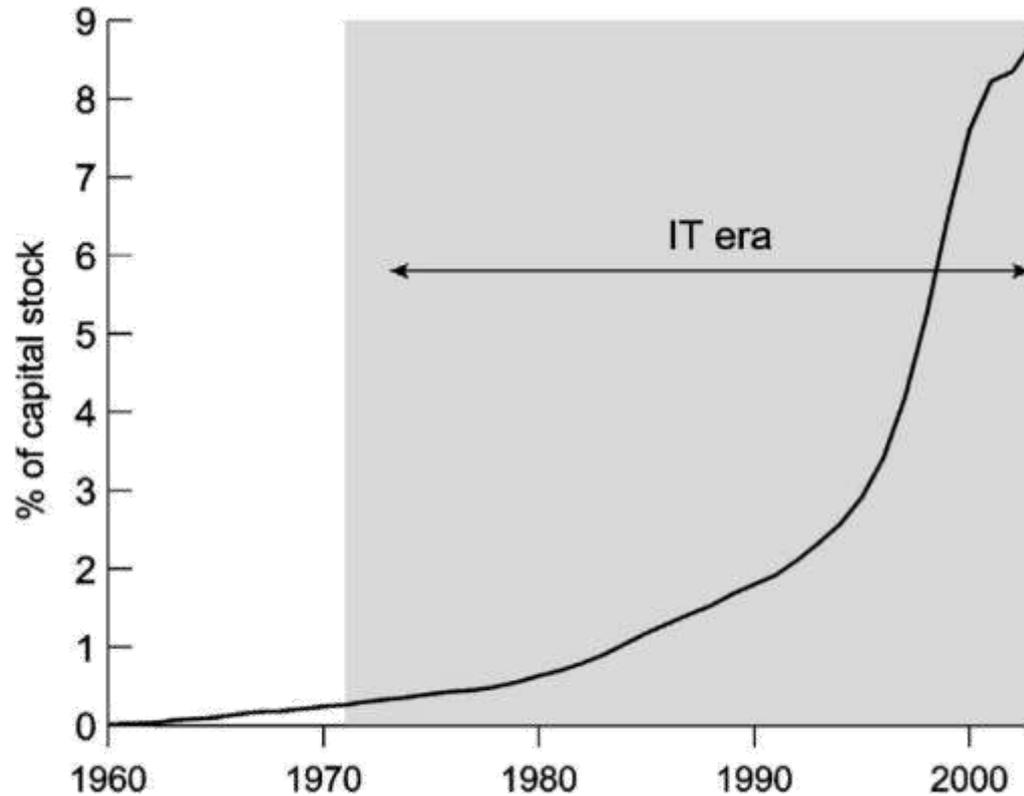


Figure 3. Shares of computer equipment and software in the aggregate capital stock, 1960–2003.



# DIFFUSION – NIVEAU AGRÉGÉ

- Dans les deux cas, on note le délai de mise en place de la GPT entre date d'invention et date d'adoption effective
- Comparaison des diffusions de l'électricité et des TIC :
  - Adoption des technologies de l'information durera plus longtemps que les 35 années d'électrification.
  - L'informatique représente une part moins importante du stock de capital physique que les machines à moteur électrique au même stade de développement
- Pourquoi la diffusion des GPT prend-elle du temps?
- Parce que ces deux technologies impliquent des externalité de réseau :
  - L'électricité: la mise en place d'un réseau de distribution à grande échelle est rentable uniquement si le nombre d'utilisateur est important
  - De même, le développement de l'informatique requiert une masse critique d'utilisateurs, en particulier pour l'utilisation de l'internet



# DIFFUSION – NIVEAU SECTORIEL

- Une technologie générique se diffuse sur l'ensemble des secteurs de l'économie.



# DIFFUSION – NIVEAU SECTORIEL

- L'électricité remplace progressivement la vapeur dans l'ensemble des secteurs jusqu'à atteindre un plateau dans les années 1930:

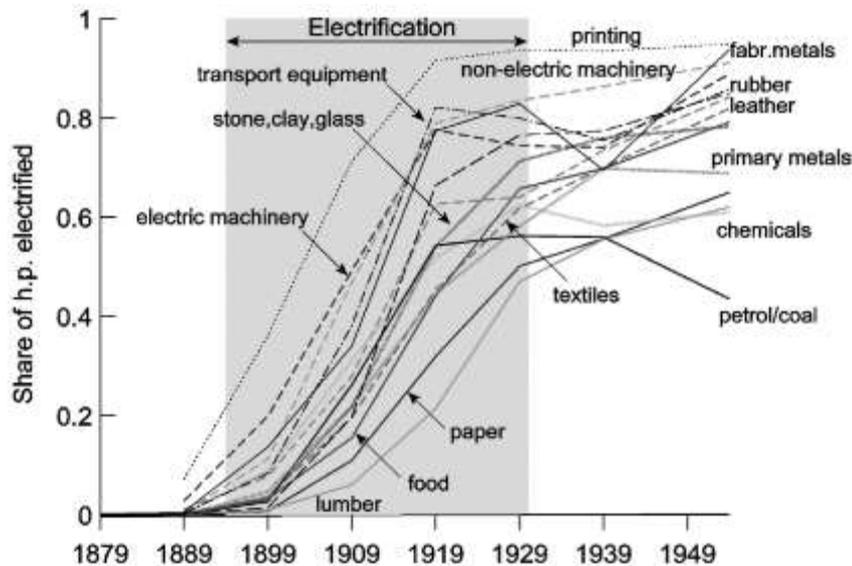


Figure 4. Shares of electrified horsepower by manufacturing sector, 1890–1954.

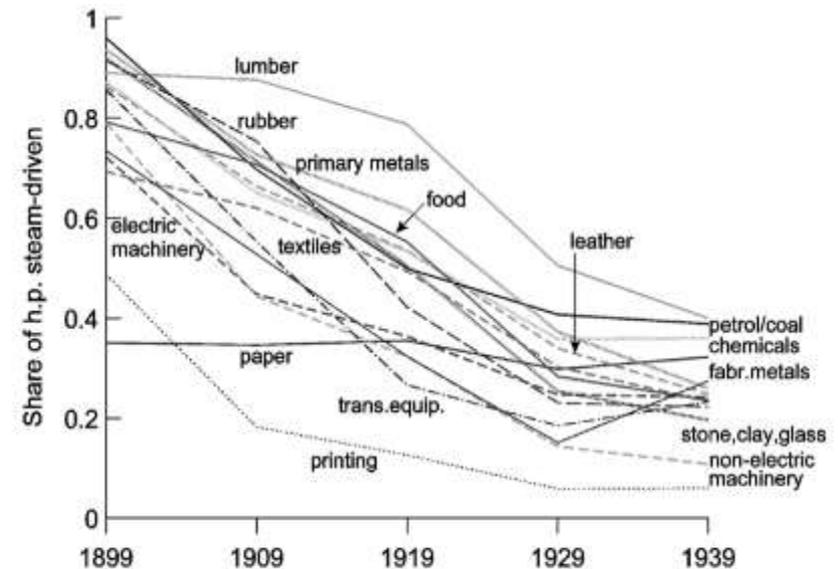


Figure 6. Shares of steam-driven horsepower by manufacturing sector, 1899–1939.



# DIFFUSION – NIVEAU SECTORIEL

- Informatique : encore dans la phase de décollage au début des années 2000
- Certains secteurs ont très vite adopté (le 90<sup>e</sup> centile) tandis que d'autres secteurs n'ont commencé à adopter les technologies de l'information qu'après 1985.

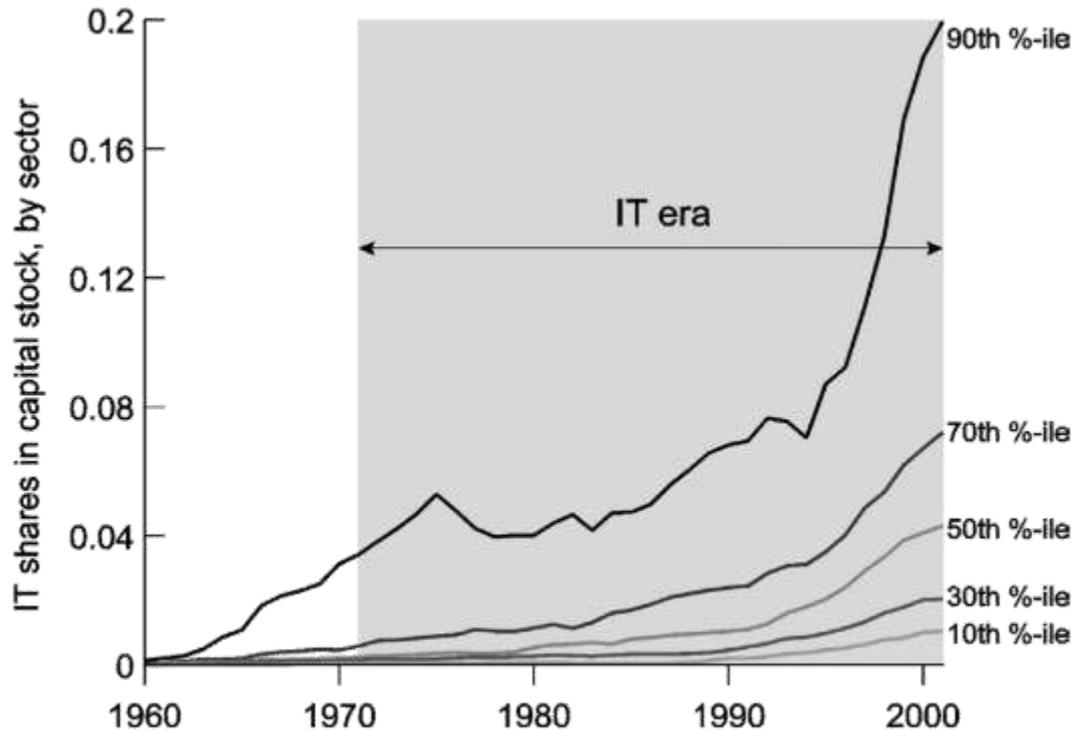


Figure 7. Shares of IT equipment and software in the capital stock by sector in percentiles, 1960–2001.



# DIFFUSION – NIVEAU MÉNAGE

- La diffusion de l'électricité et des technologies de l'information a également concerné les ménages
- On suit en parallèle l'évolution temporelle des deux technologies en considérant l'invention de l'électricité en 1894 et celle de l'ordinateur en 1971.

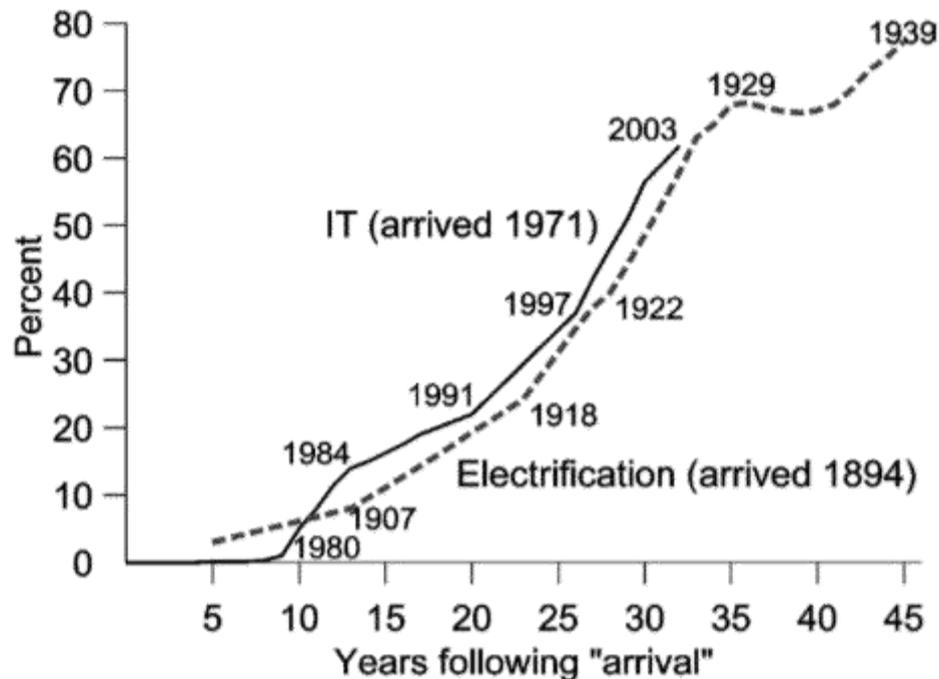


Figure 8. Percent of households with electric service and PCs during the two GPT eras.



# DIFFUSION – NIVEAU MÉNAGE

- Comme dans le cas des entreprises, la diffusion de l'électrification parmi les ménages atteint un premier plateau dans les années 1930, avant de croître de nouveau
- Avec les ménages, comme avec les entreprises, des retards de diffusion semblent se produire pour des raisons différentes pour les deux technologies (électricité et IT).
  - Difficulté d'électrification des zones rurales car elles nécessitent des coûts fixes importants d'installation de réseau
  - Pour la diffusion des ordinateurs, le principal obstacle semble être le coût d'apprentissage



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

1. Ampleur de la diffusion – S'étendre à la plupart des secteurs
2. **Amélioration – S'améliorer avec le temps, et ainsi réduire les coûts pour les utilisateurs**
3. Générateur d'innovations – Faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés



# AMÉLIORATION

- Une technologie générique doit, à mesure qu'elle vieillit, améliorer son efficacité, sa qualité. Cela se traduit donc par une baisse des prix à qualité donnée.
- C'est le principe du partage volume/prix, qui doit tenir compte des améliorations de qualité des produits pour calculer la croissance.
- L'idée est la suivante : à mesure que la technologie générique se diffuse au sein de l'économie, le prix du capital ajusté pour la qualité, baisse.
- La figure ci-après représente une série ajustée du prix relatif de l'équipement en général (capital) ajusté pour la qualité, par rapport à l'indice des prix à la consommation,  $p_k / p_c$ , depuis 1885



# AMÉLIORATION

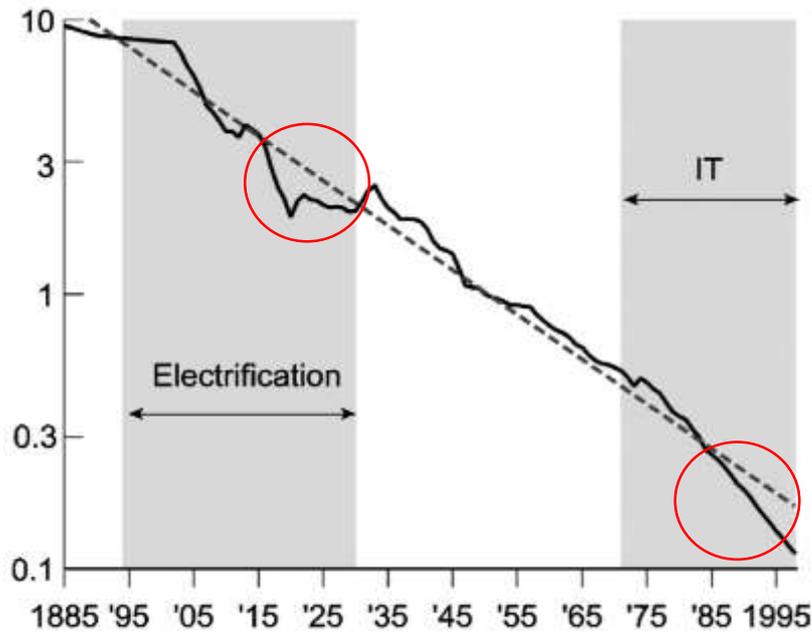


Figure 9. The price of equipment relative to consumption goods.

Par rapport à la tendance temporelle linéaire de baisse relative du coût du capital, on observe une forte baisse

- entre 1905 et 1920, ce qui correspond à la période de diffusion de l'électricité dans les entreprises et les ménages
- après 1975, ce qui correspond à la période de diffusion de l'ordinateur



# AMÉLIORATION

- Si le coût moyen du capital (ajuste pour la qualite) baisse particulièrement durant une période de diffusion d'une technologie générique, cette baisse devrait être particulièrement concentrée sur les biens capitaux qui sont au cœur de la revolution technologique



# AMÉLIORATION

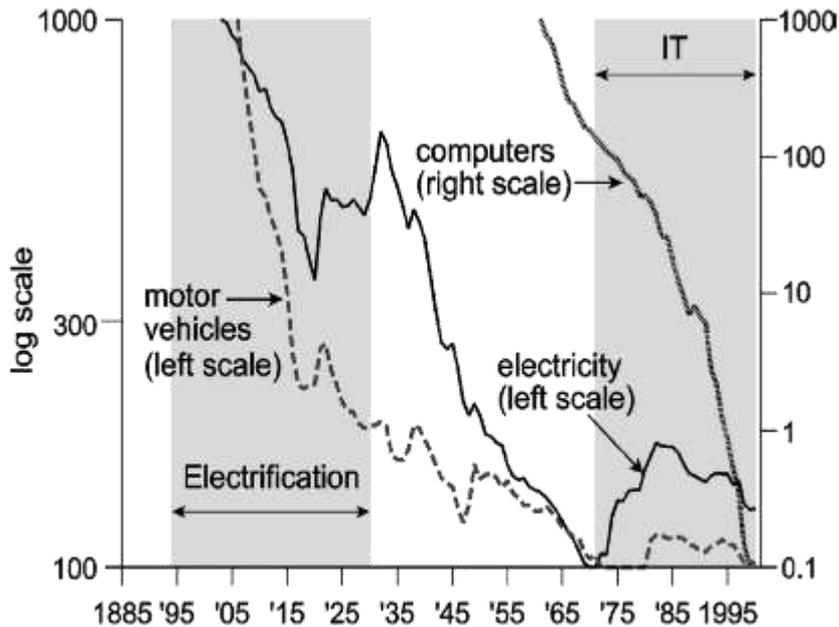


Figure 10. Price indices for products of the two GPT eras.

On observe une chute marquée de l'indice des prix pour les trois technologies. Cette chute est plus forte pour les ordinateurs avec un prix divisé par 10 000 en 25 ans (échelle de droite) que pour l'électricité ou les véhicules à moteur dont les prix ont été divisés par 10 en un siècle (échelle de gauche).

L'électricité a un avantage en termes de diffusion sur l'ordinateur, mais l'ordinateur a connu une baisse inégale des coûts, notamment lié à l'amélioration des puces.



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

1. Ampleur de la diffusion – S'étendre à la plupart des secteurs
2. Amélioration – S'améliorer avec le temps, et ainsi réduire les coûts pour les utilisateurs
3. **Générateur d'innovations secondaires– Faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés**



# **HELPMAN- TRAJTENBERG**

- **Quand apparait une nouvelle technologie generique, des ressources sont mobilisees pour la R&D afin de generer les innovations secondaires indispensable a la diffusion de la GPT**
- **Cette reallocation des ressources est source de reduction temporaire de la croissance de la productivite**

# GÉNÉRATEUR D'INNOVATIONS

- Une technologie générique affecte en profondeur les processus de production, y compris ceux d'innovation et d'invention.
- Les technologies génériques peuvent aussi bien aider à fabriquer les produits existants (innovation de procédé) que permettre de développer de nouveaux produits (innovation de produit).
- Exemples :
  - 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 informatiques, les TIC ont changé la façon de faire de la recherche empirique
  - Innovation de produit : Le développement des TIC a par exemple favorisé la création des smartphones.



# BREVETS

- Brevets par habitant comme mesure de l'intensité d'innovation dans la société

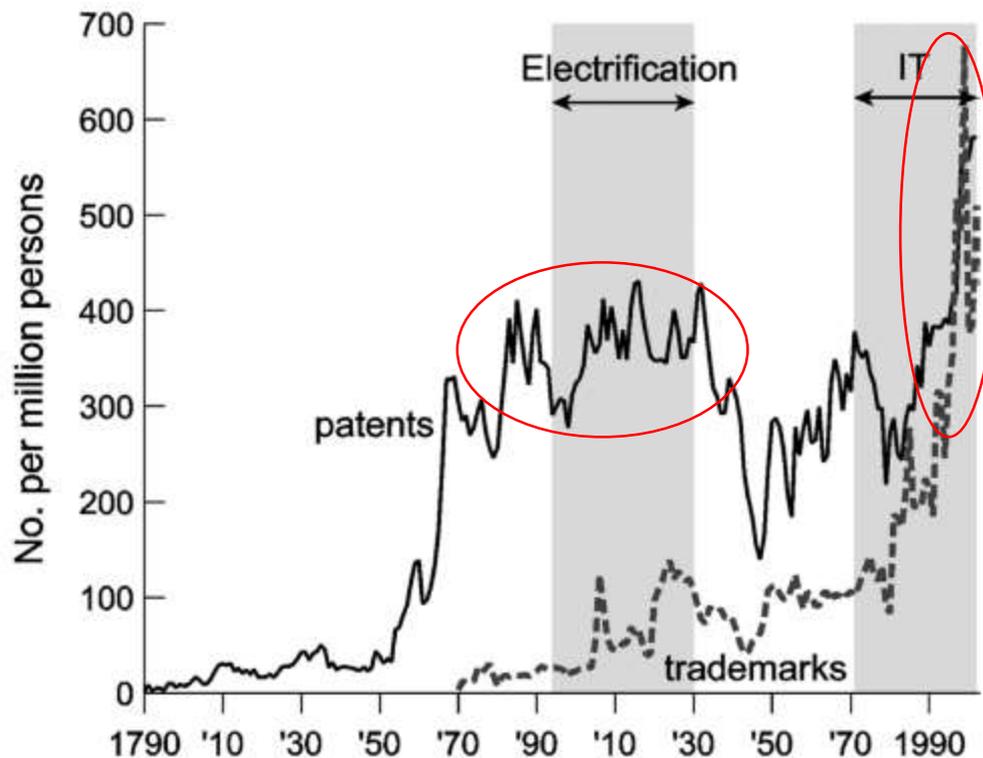


Figure 12. Patents issued on inventions and trademarks registered in the United States per million persons, 1790–2002.



# GÉNÉRATEUR D'INNOVATIONS SECONDAIRES

- 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)



# GÉNÉRATEUR D'INNOVATIONS

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 total de la bourse (courbe en trait plein).

On observe bien une hausse durant les deux périodes de diffusion des GPT

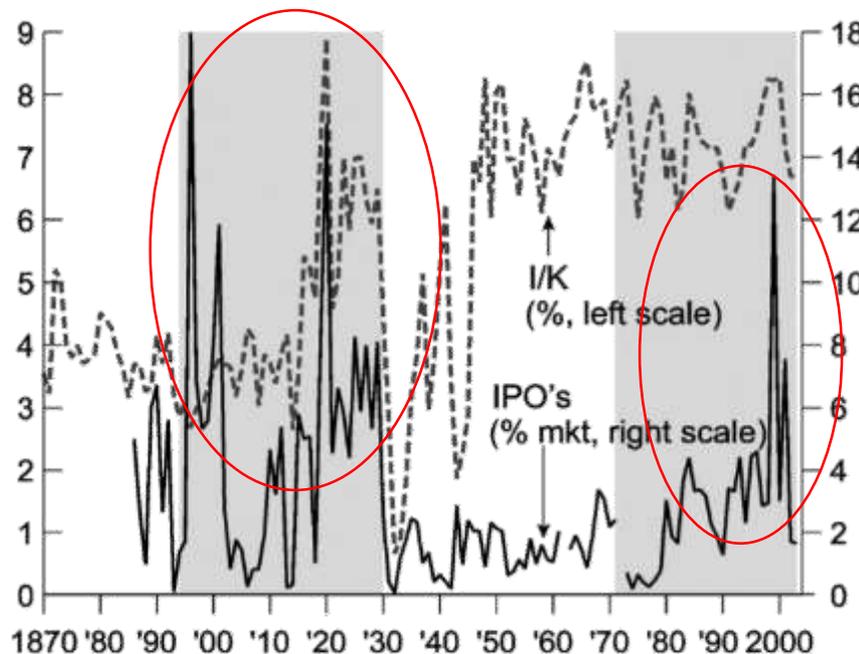


Figure 14. IPOs as a percent of stock market value, and private domestic investment as a percent of the net capital stock, 1870–2003.



# GENERAL PURPOSE TECHNOLOGY

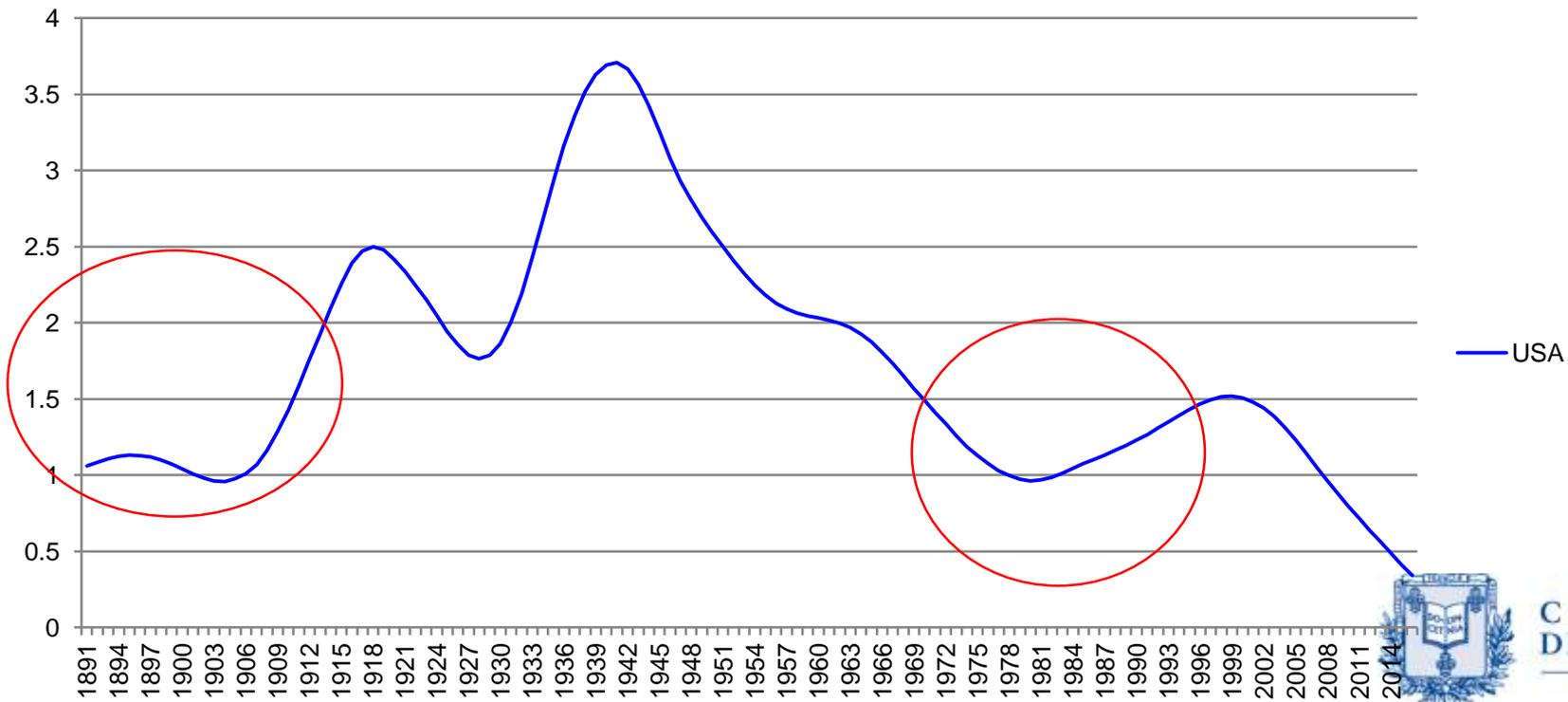
1. Ampleur de la diffusion – S'étendre à la plupart des secteurs
  2. Amélioration – S'améliorer avec le temps, et ainsi réduire les coûts pour les utilisateurs
  3. Générateur d'innovations – Faciliter l'invention et la production de nouveaux produits ou procédés
- **D'autres indices peuvent suggérer l'apparition d'une technologie générique**



# PRODUCTIVITÉ

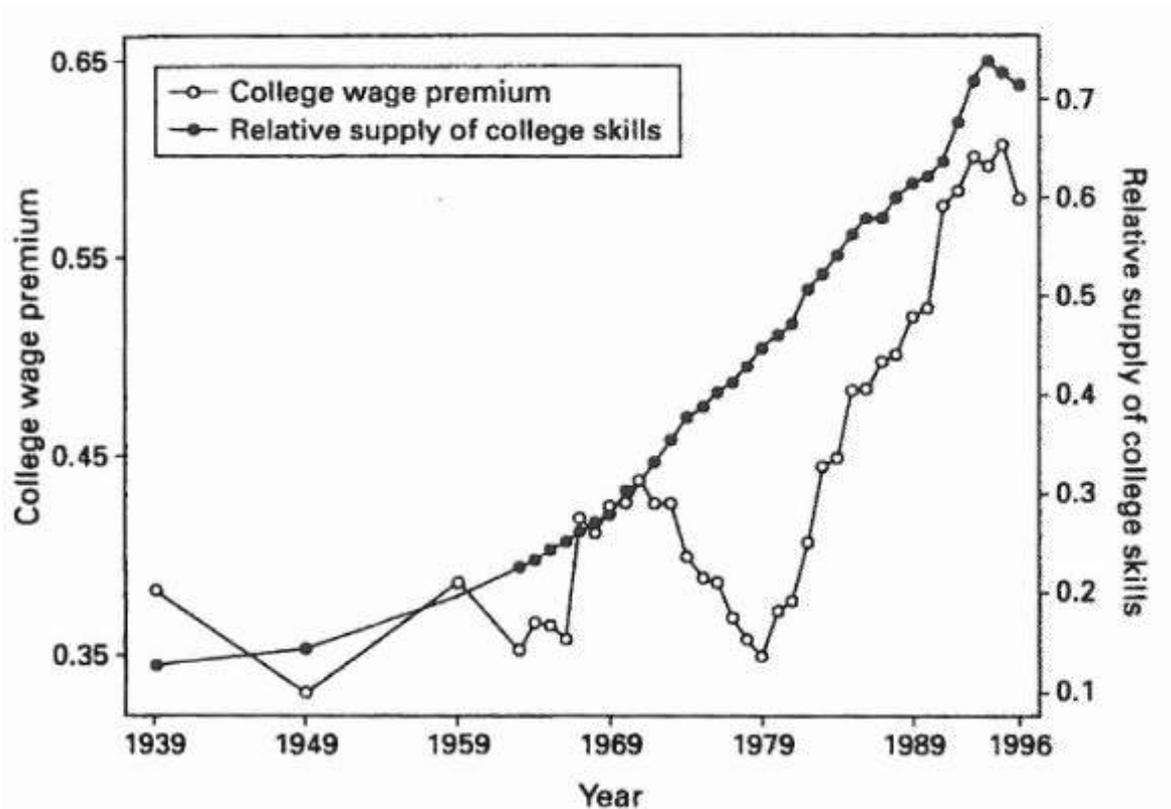
- A court terme, faible croissance de la productivité suite à l'arrivée d'une nouvelle technologie générique, qui traduit :
  - Le délai de diffusion de la nouvelle technologie
  - Ajustements et apprentissage par les entreprises
  - Effets de reallocation due aux innovations secondaires

Croissance de la PGF (en %)



# SKILL PREMIUM

- Nouvelles technologies, complémentaires des travailleurs qualifiés, devraient donc augmenter les revenus relatifs des travailleurs qualifiés.



**Figure I.2**  
Relative supply of college skills and college premium



# **GPT ET INEGALITES DE SALAIRE**

- **La diffusion d'une GPT augmente la demande pour des travailleurs qualifiés, et également pour des travailleurs adaptables**

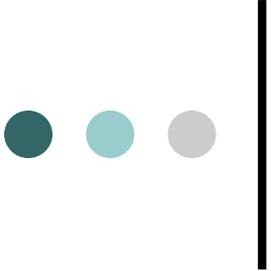
# CONCLUSIONS

- L'électricité et l'informatique sont, pour la plupart des observateurs, les deux technologies génériques les plus importantes du XXème siècle.
- Ces deux technologies remplissent les 3 critères proposés par Bresnahan et Trajtenberg (1996) pour définir une technologie générique :
  1. Ampleur de la diffusion
  2. Amélioration
  3. Générateur d'innovations
- Alors que l'électricité a été plus largement et plus rapidement adoptée, l'informatique semble être technologiquement plus révolutionnaire et induire des baisses de coûts plus importantes.



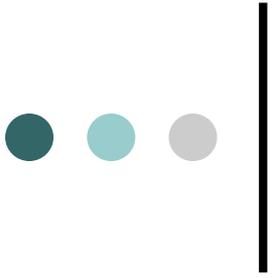


Comment surfer sur une  
vague Schumpeterienne?



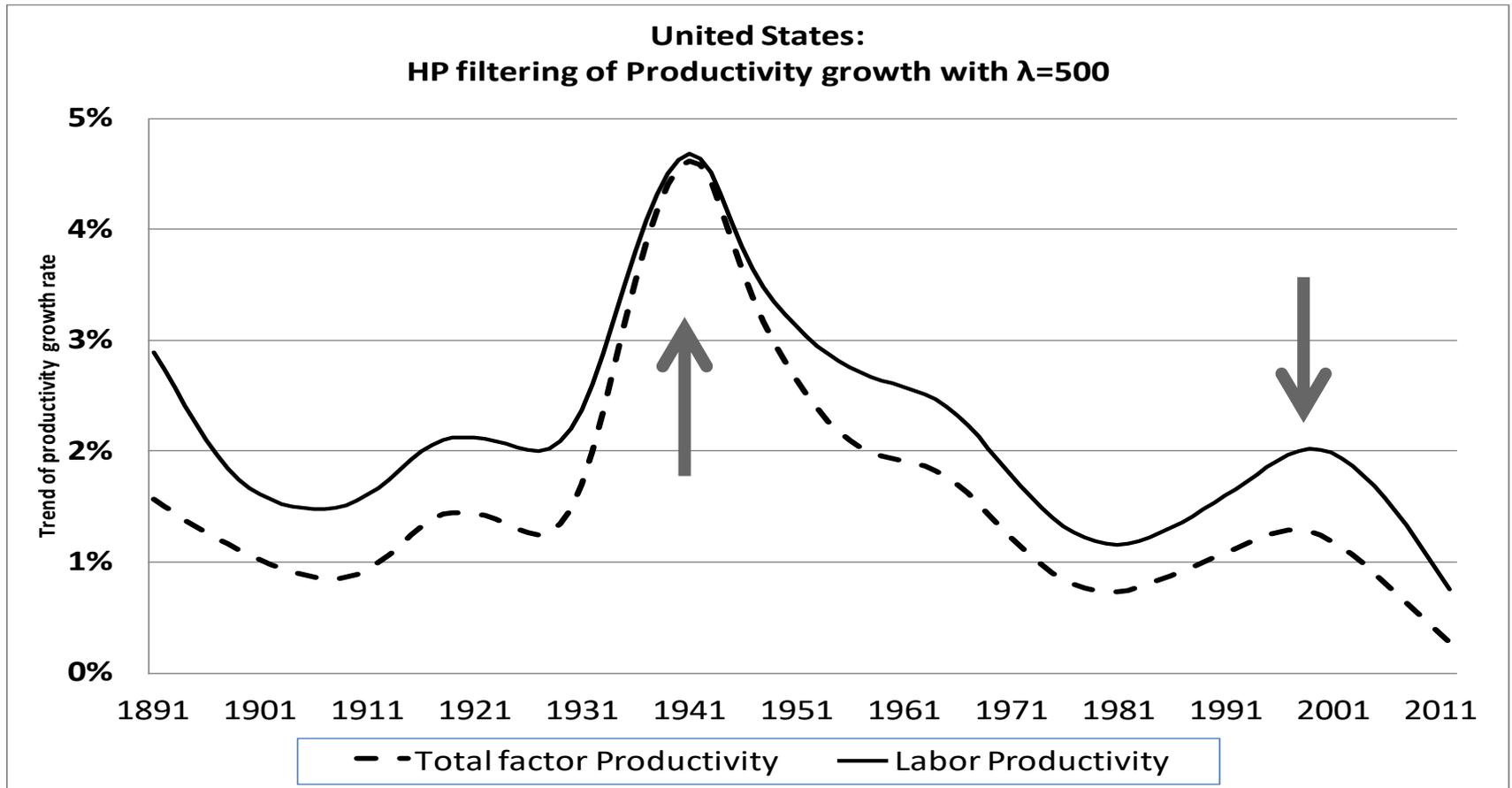
# Schumpeterian waves

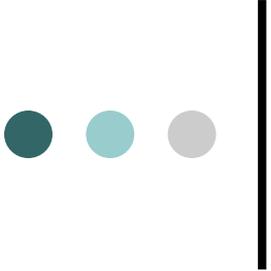
- Drawn from Gilbert Cetto et al (2014)
- Productivity over the period 1890-2012
  - Using annual and quarterly data
  - From the end of the Long Depression to the Great Crisis
- 13 advanced countries
  - G7: US, UK, Japan, France, Germany, Italy, Canada
  - + Spain, The Netherlands, Finland, Australia, Sweden, Norway
  - + reconstituted Euro area
- Labor Productivity and TFP



# 1. Two productivity growth waves in US

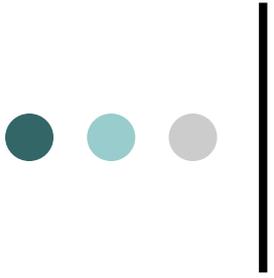
# Two productivity growth waves





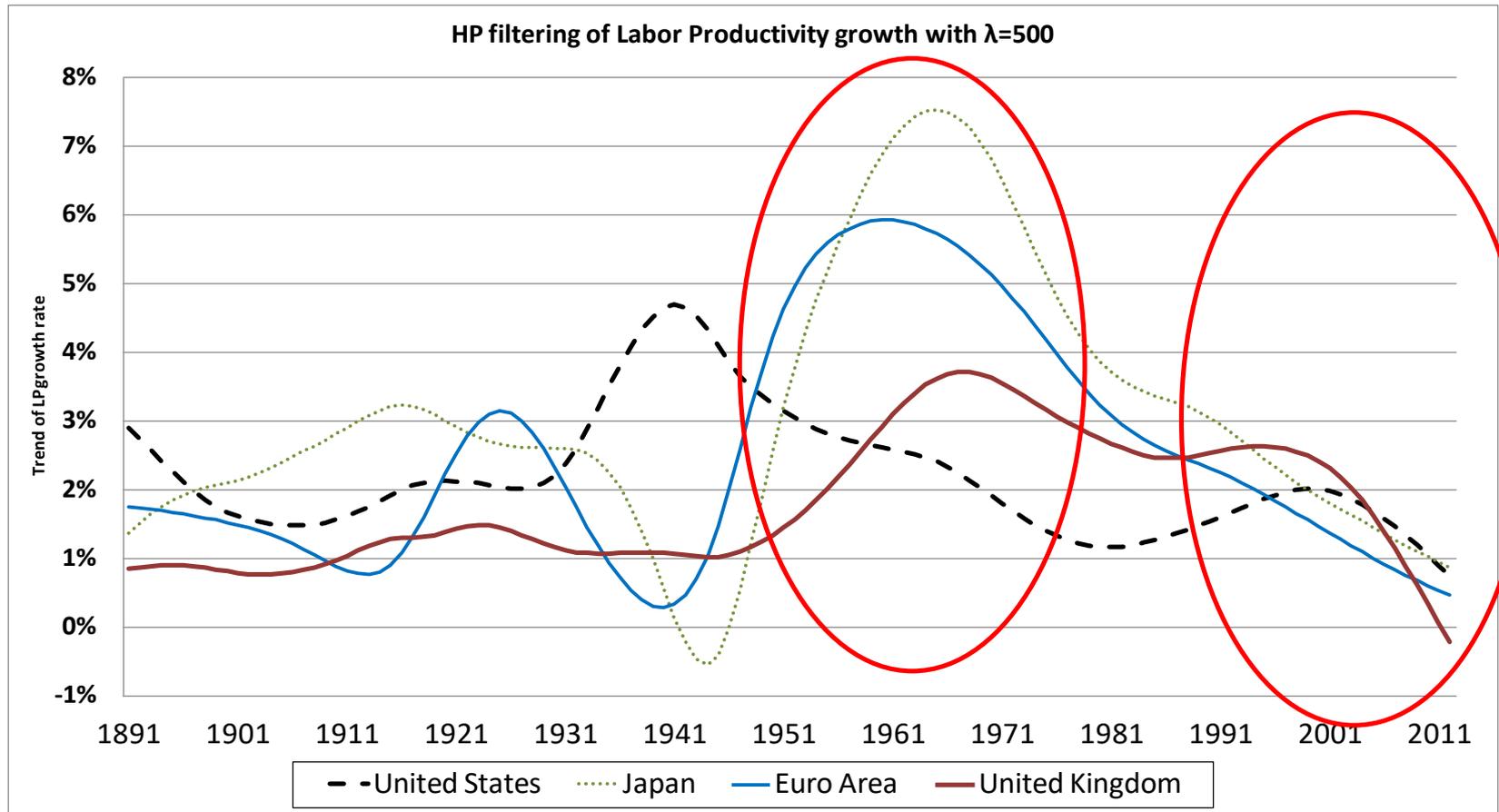
# Two productivity growth waves

- 1<sup>st</sup> productivity growth wave:
  - 2<sup>nd</sup> industrial revolution: electricity, internal combustion engine, chemistry, communication (Gordon, 2000)
  - But also organizational change and financial development (Ferguson and Washer, 2004)
  - Long lag in diffusion: cf. electricity (David, 1990)
- 2<sup>nd</sup> productivity growth wave: ICT
  - Smaller wave
  - Ended?

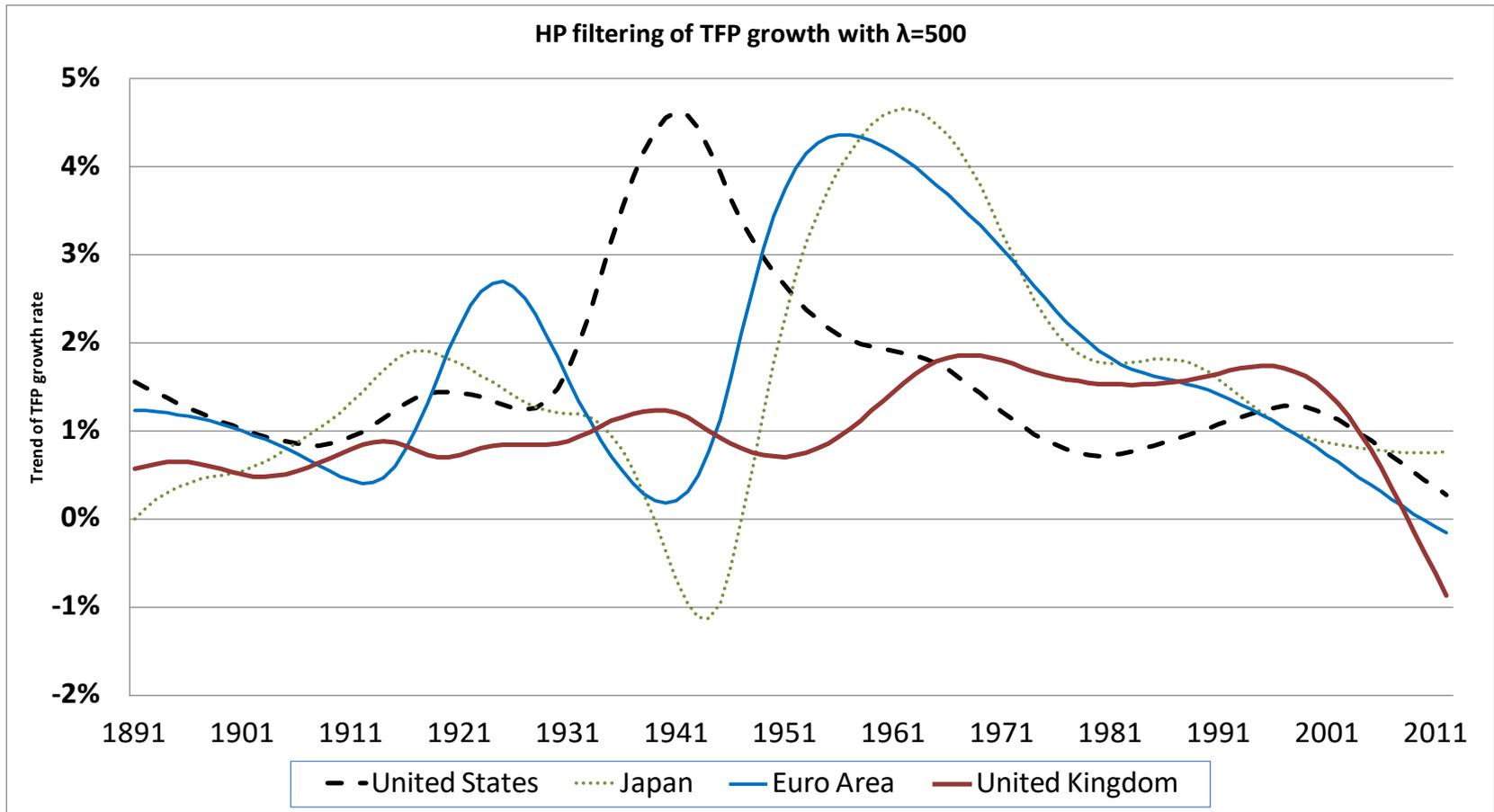


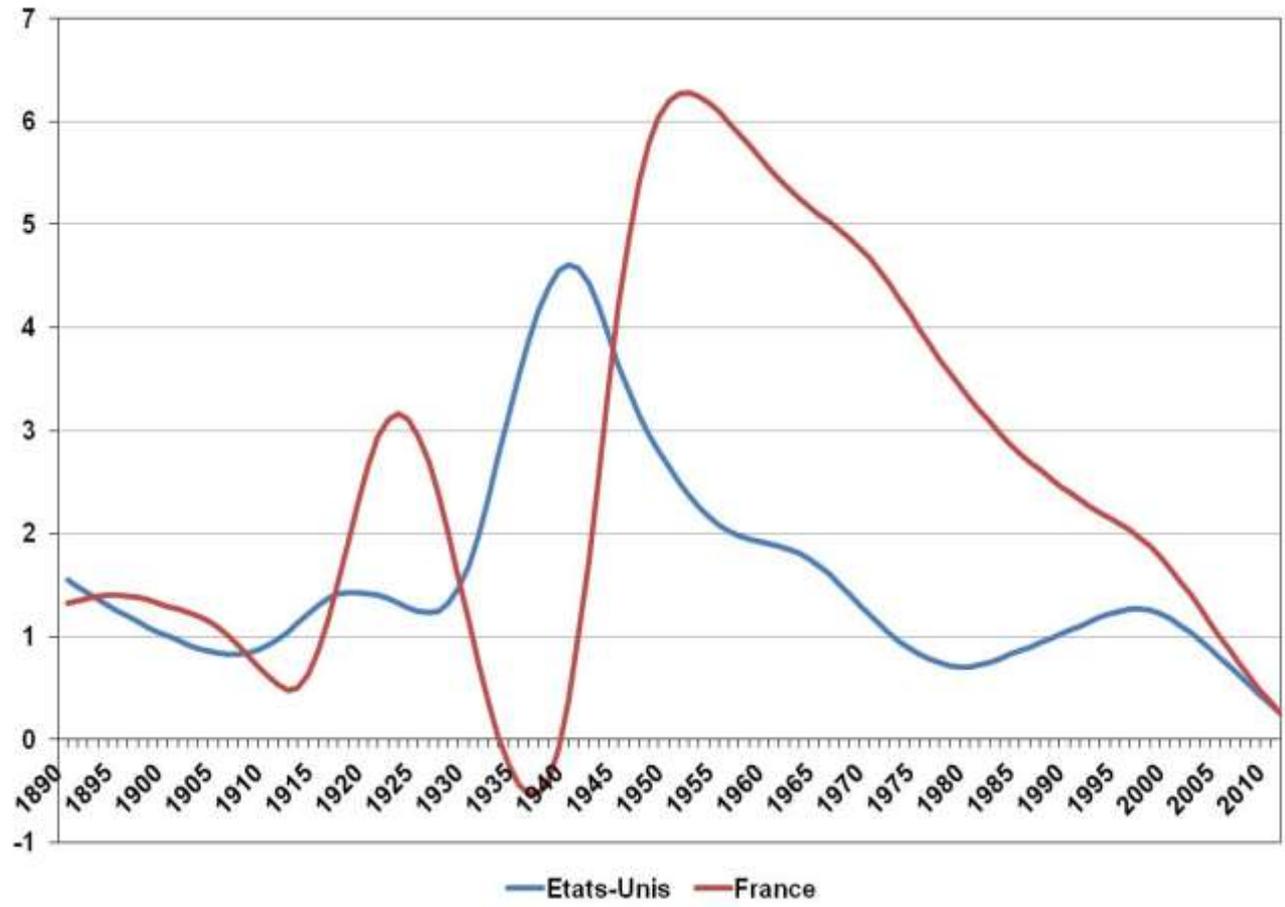
2. In other countries, delayed productivity growth waves (if any)

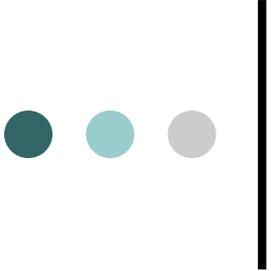
# Delayed productivity growth waves in other countries



# Delayed productivity growth waves in other countries

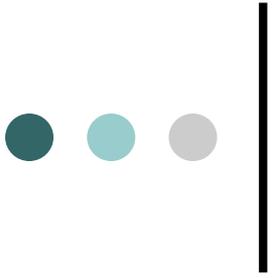






# Delayed productivity growth waves in other countries

- 1<sup>st</sup> productivity growth wave:
  - Hitting the euro area, Japan and UK after WWII
- 2<sup>nd</sup> productivity growth wave:
  - Absent so far in the euro area and Japan
  - Slow ICT diffusion: Role of market rigidities / education?

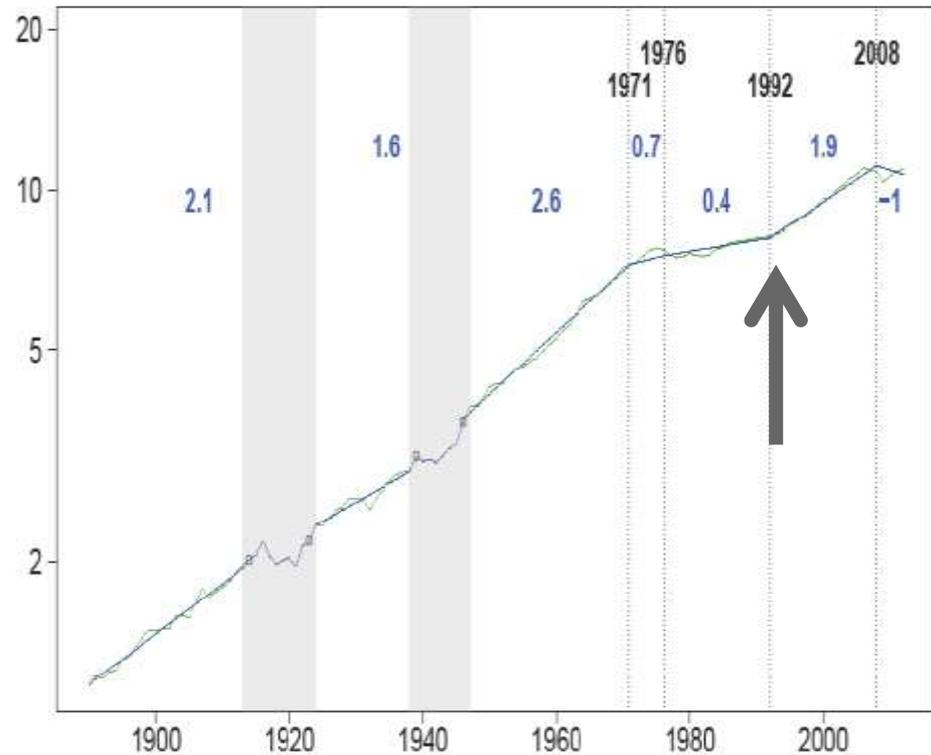
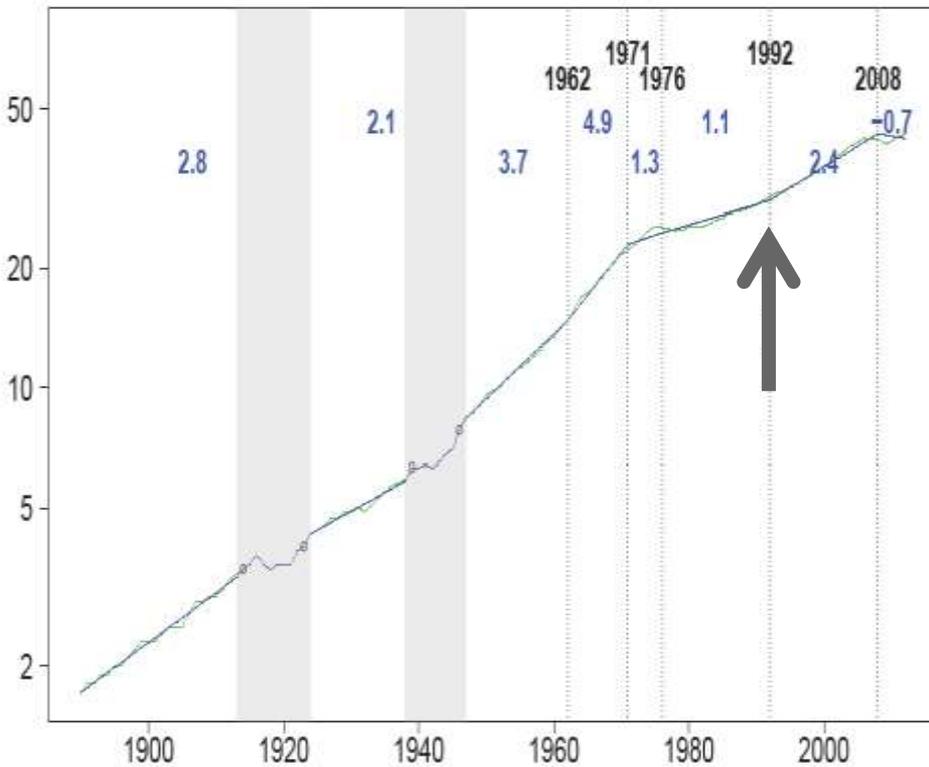


### 3. Country-specific productivity breaks due to idiosyncratic shocks

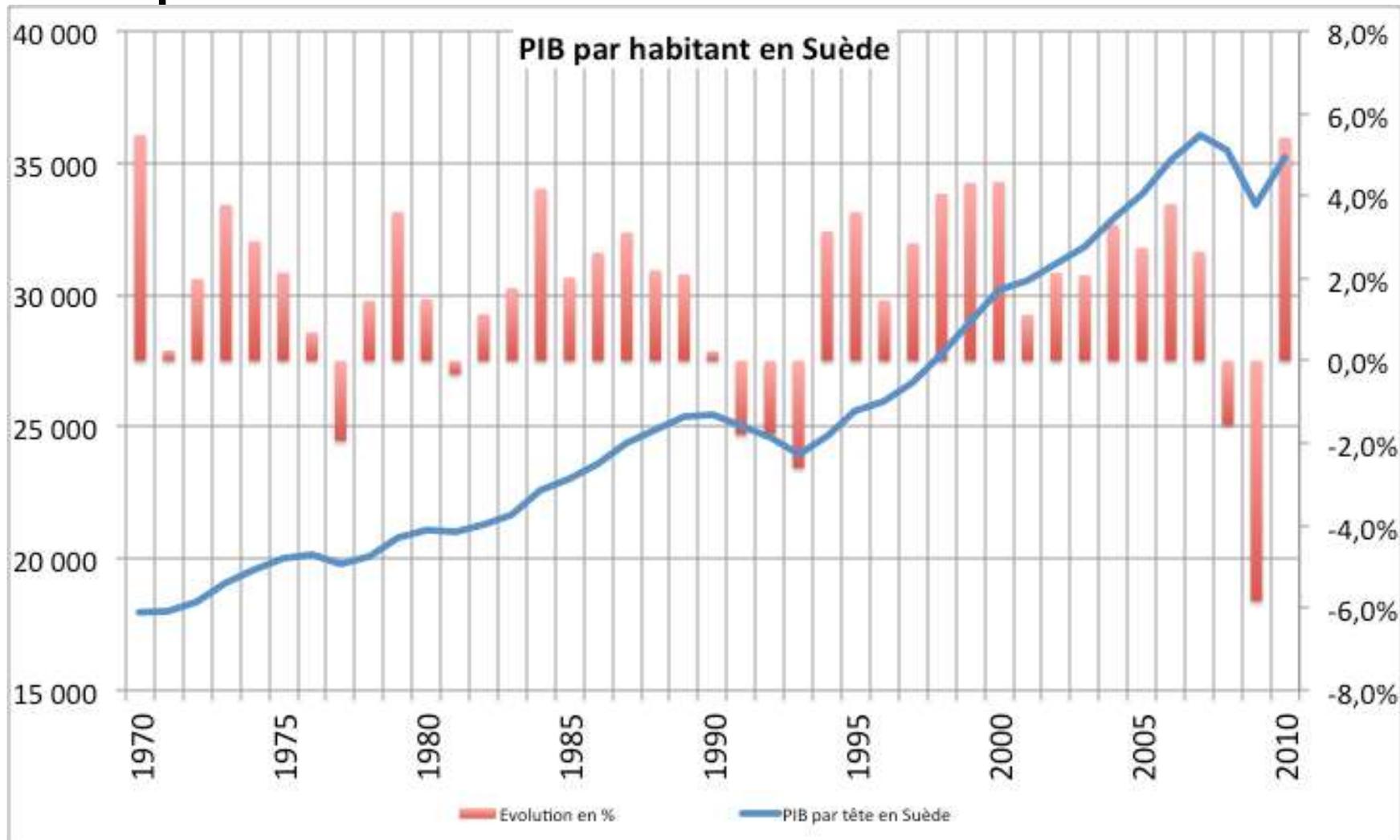
# Productivity breaks: country-specific shocks Sweden

## Labor productivity

## Total Factor Productivity

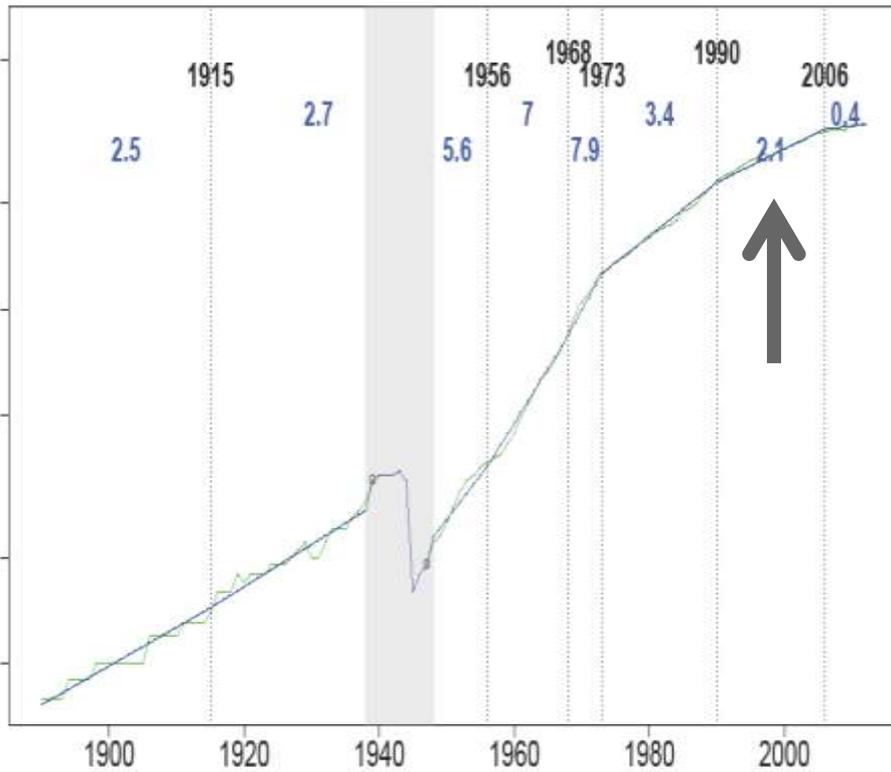


US\$ PPP of 2005 (log scale)  
Areas in grey: war periods

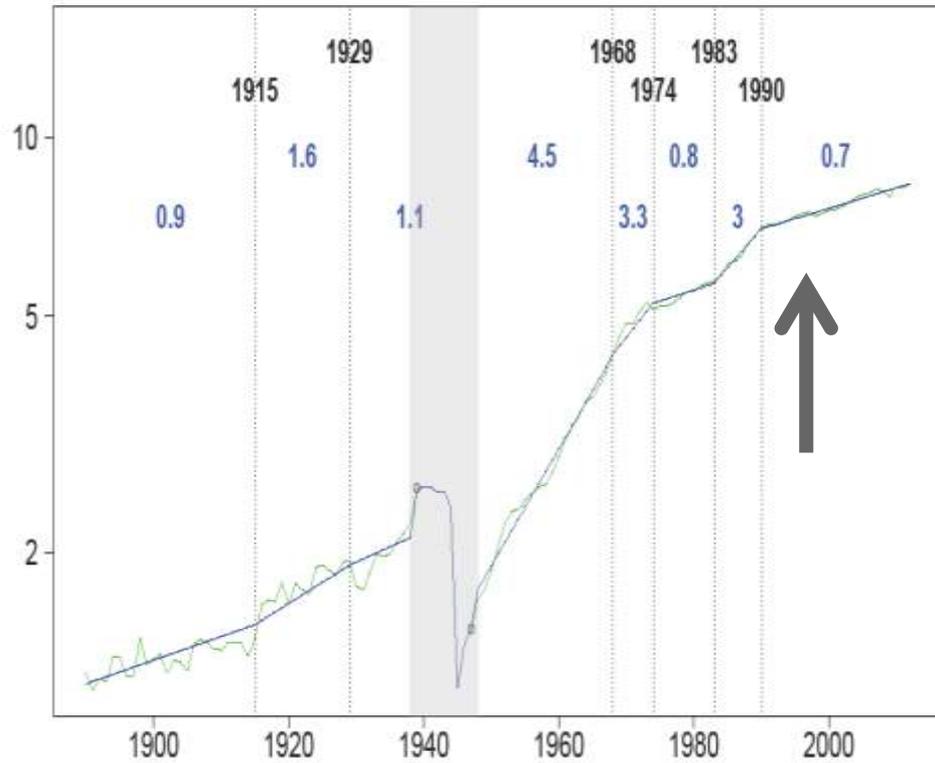


# Productivity breaks: country-specific shock Japan

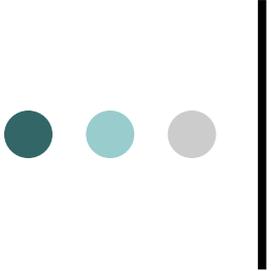
## Labor productivity



## Total Factor Productivity



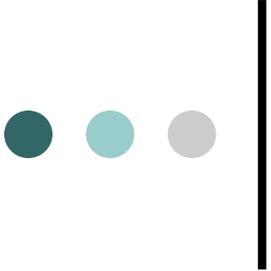
US\$ PPP of 2005 (log scale)  
Areas in grey: war periods



# Country-specific productivity breaks

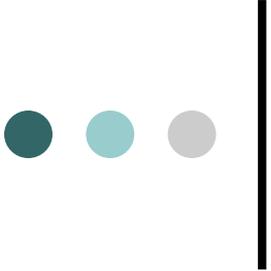
## ➤ Reformers

- **Netherlands:** Wassenaard agreement, 1982
  - TFP growth : 1977-1983 0,5 %, 1983-2002 1,5 %
- **Canada,** reforms initiated in early 1990s
  - TFP growth: 1974-1990 0,3 %, 1990-2000 1,1 %
- **Australia,** reforms initiated in early 1990s
  - TFP growth: 1971-1990 0,4 %, 1990-2002 1,4 %
- **Sweden,** reforms initiated in early 1990s
  - TFP growth: 1976-1992 0,4 %, 1992-2008 1,9 %

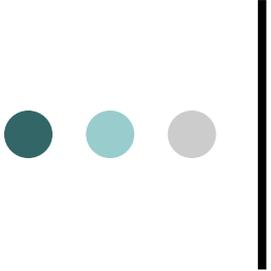


# Appropriate growth policies

- During the post-war period, growth in European countries was driven by imitation
- Over time, and particularly with globalization, innovation has become the driving force of growth
- Innovation requires flexibility and turnover, and different policies and institutions

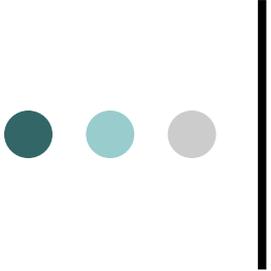


# Enhancing productivity growth in advanced countries



## Enhancing productivity growth in advanced countries

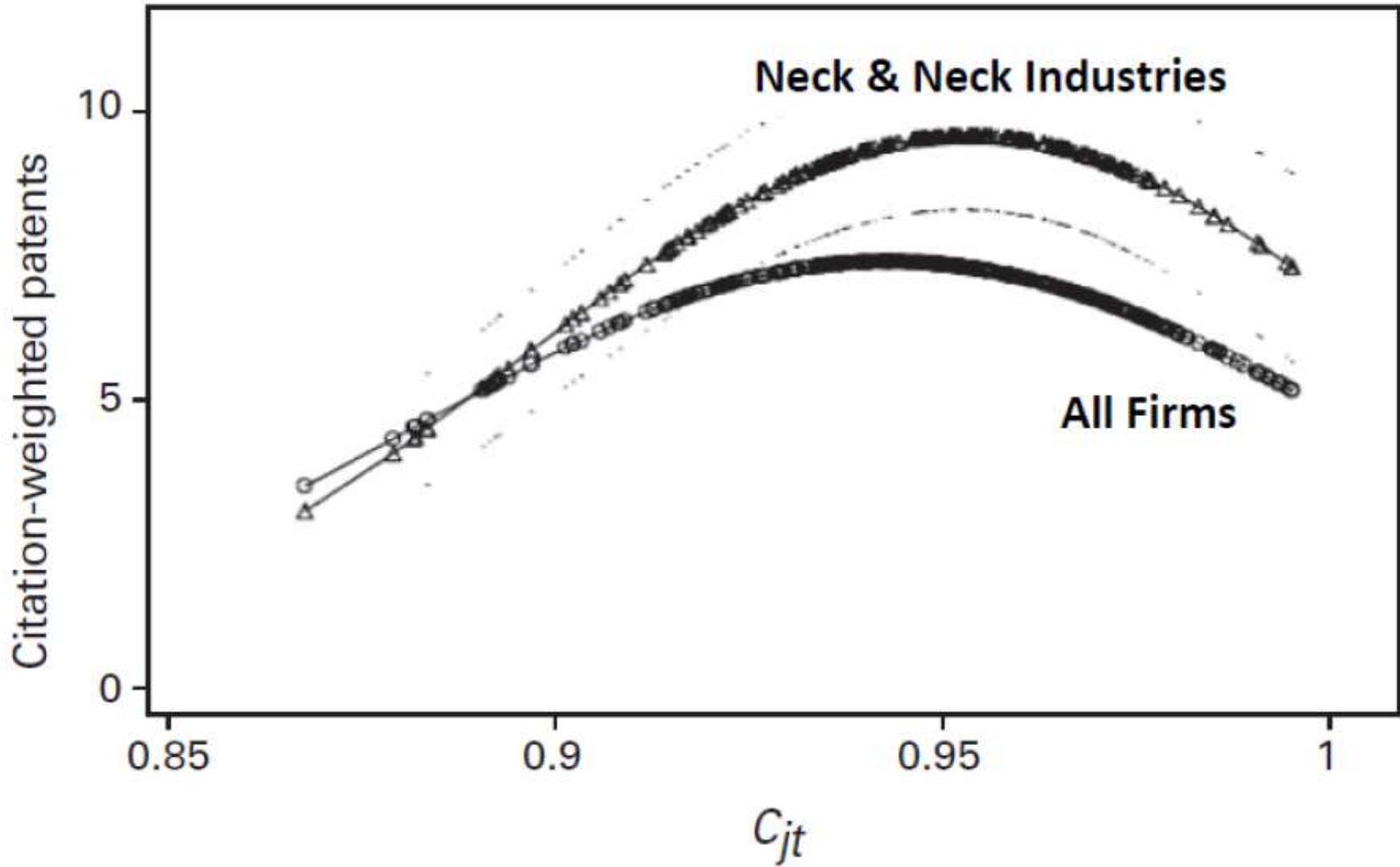
- Investment in higher education
- Liberalization of product market
- Liberalization of labor market



## First pillar: Competition

- Competition/entry is more growth-enhancing for countries or sectors that are closer to technological frontier
- Competition/entry is more growth enhancing in countries or states with less regulated labor markets

# COMPETITION VS INNOVATION



Neck-and-neck split with year and industry effects

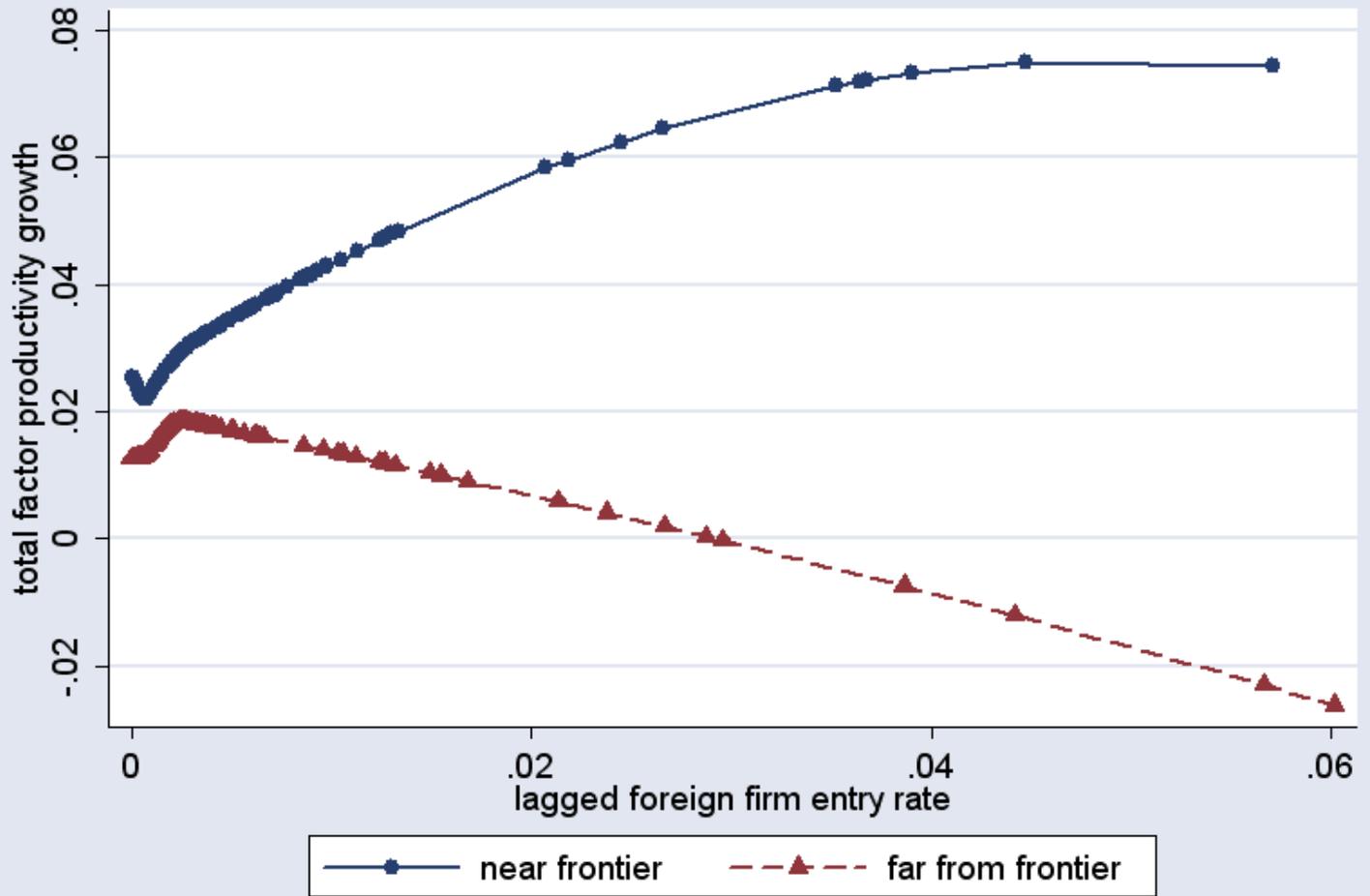


Fig 11.2a: HIGH BARRIERS

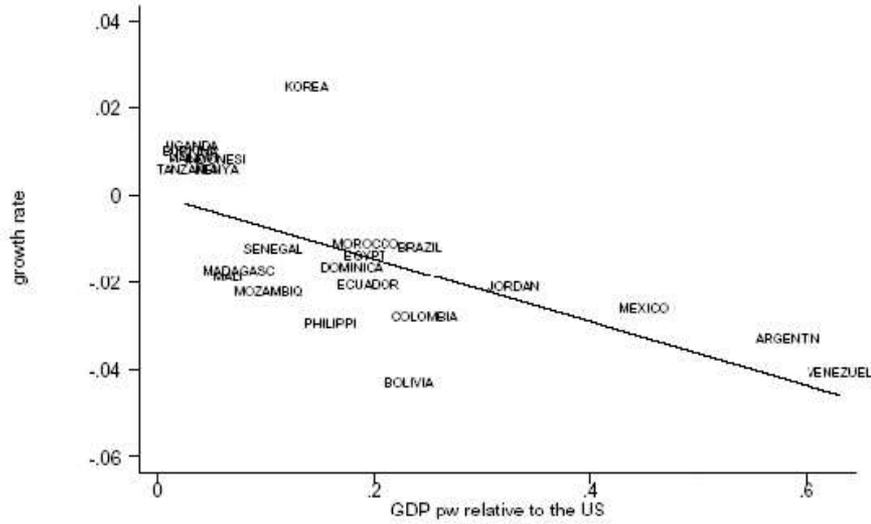


Fig 11.2b: LOW BARRIERS

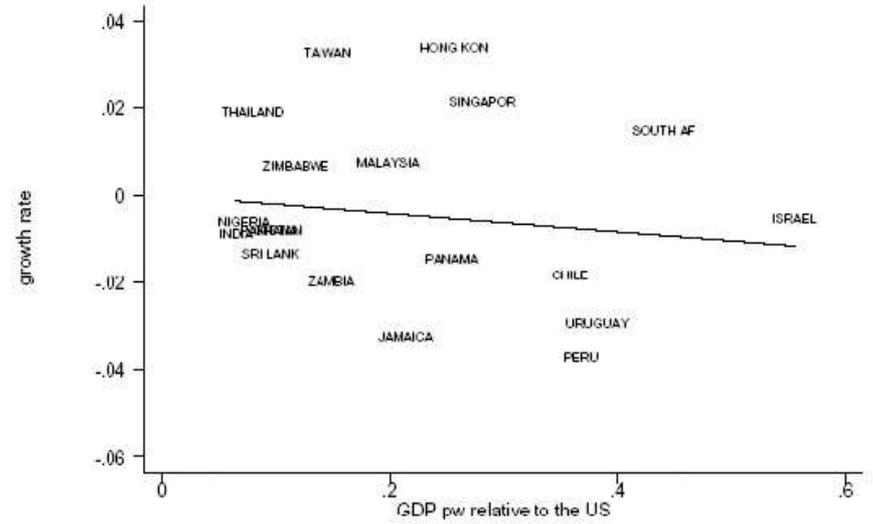


Fig 11.2c: HIGH BARRIERS (FE)

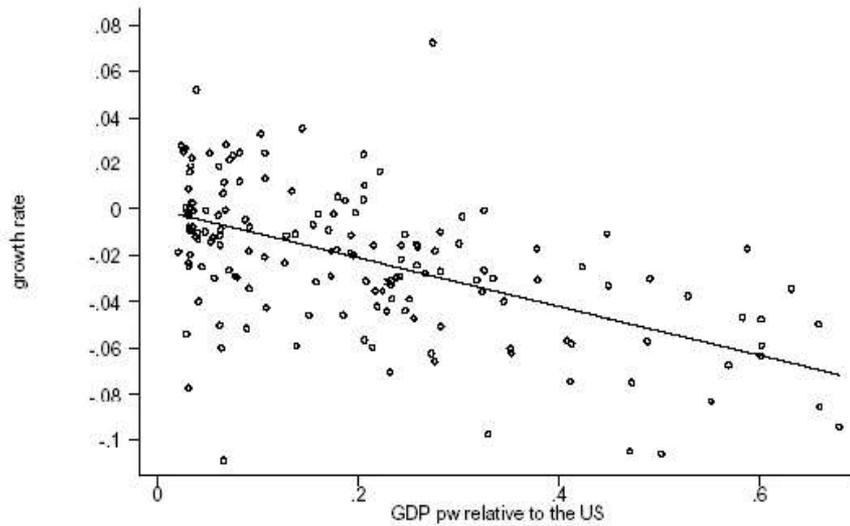
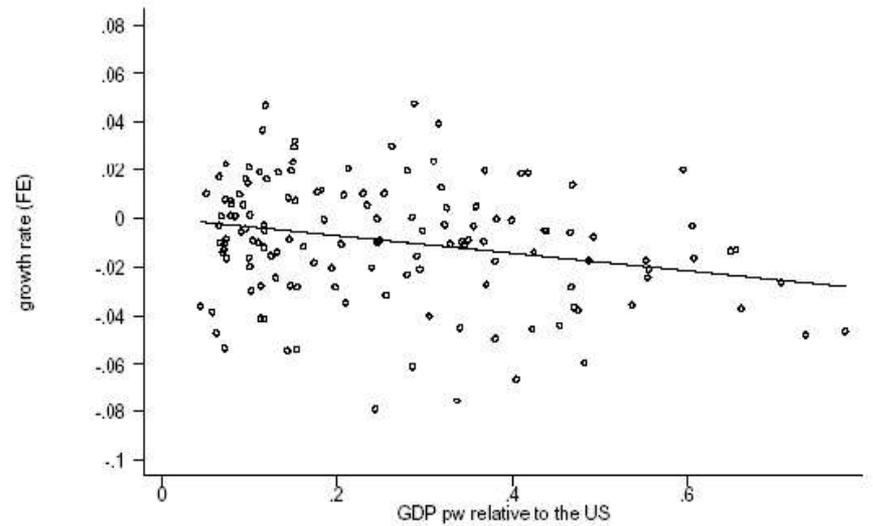
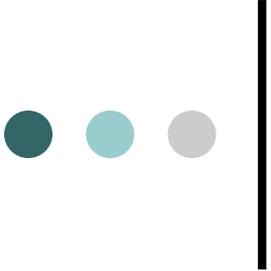


Fig 11.2d: LOW BARRIERS (FE)

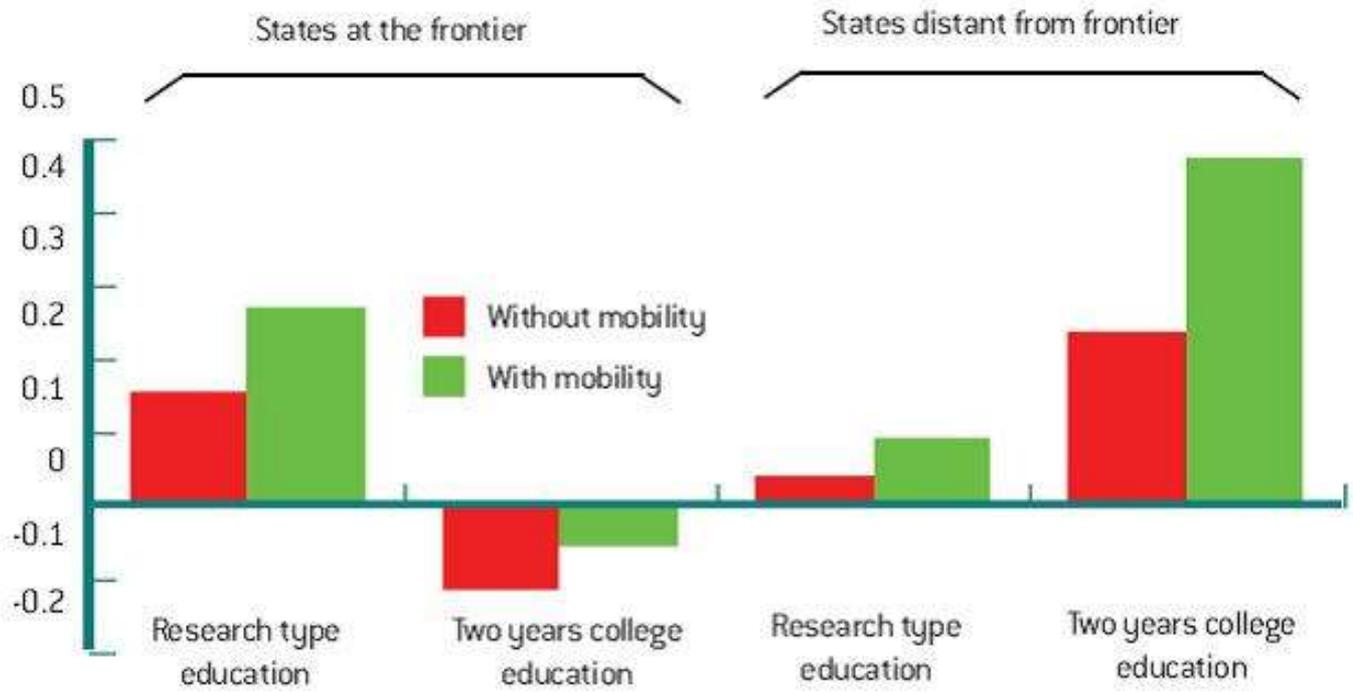




## Second pillar: education and universities

- Need good primary/secondary education...importance of good PISA performance
- Having well-ranked universities is more growth-enhancing closer to technological frontier....importance of good Shanghai rankings

**Fig. 3**  
**Long-term growth effects of \$1000 per person spending on education, US States**



Source: Aghion, Boustan, Hoxby and Vandebussche (2005)

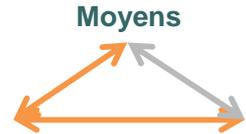
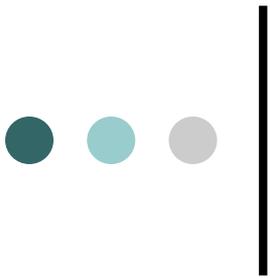
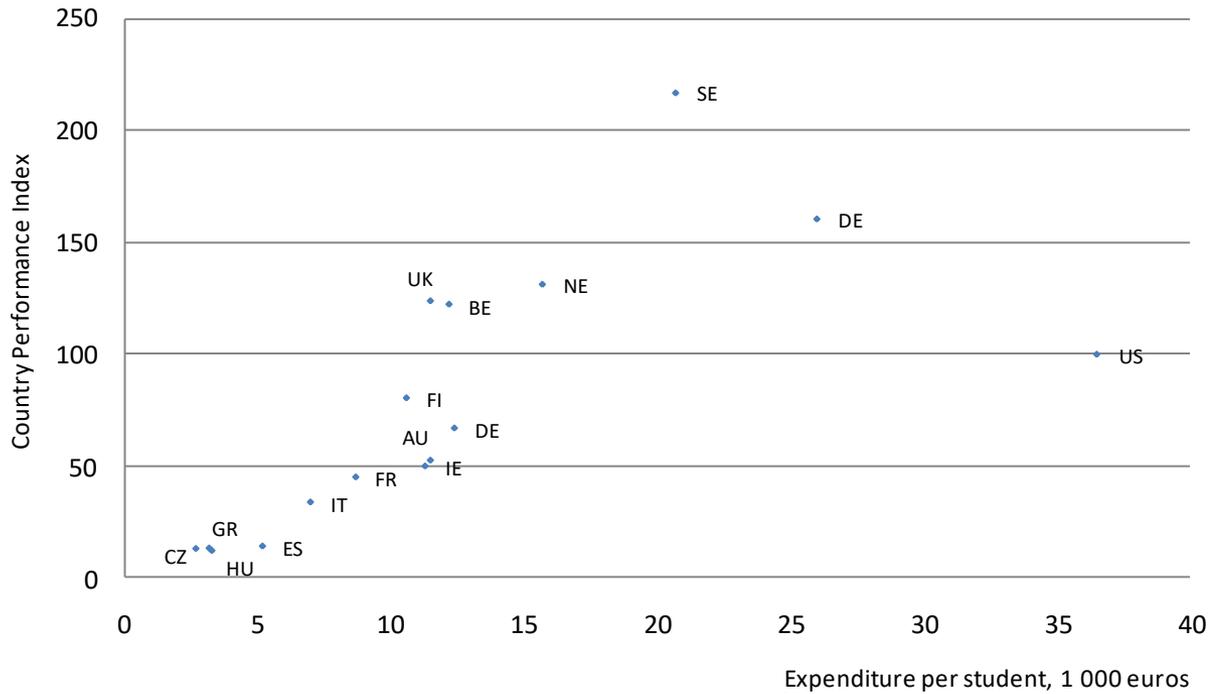
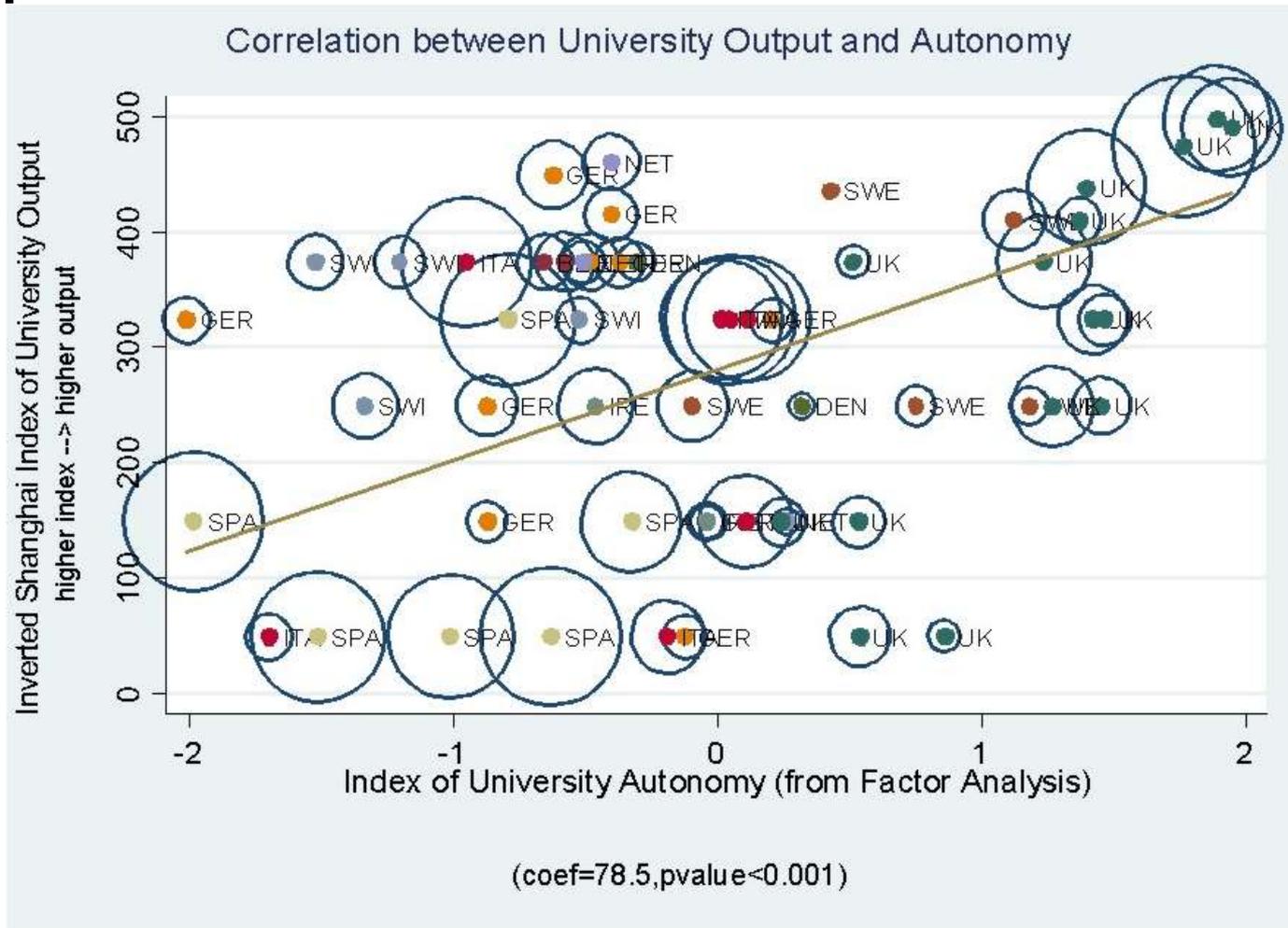
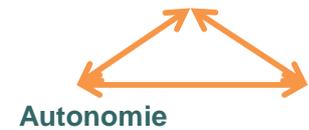


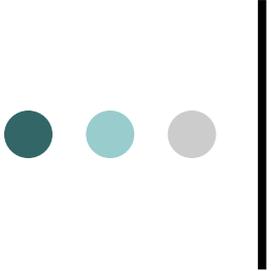
Figure 2: Relationship between expenditure per student and country performance



- Autant les meilleures universités de recherche américaines apparaissent comme des modèles, autant le système américain présente-t-il une performance globale très médiocre au regard des moyens mis en oeuvre

# Autonomy of universities





## Third pillar: Labor market flexibility: “flexsecurity”

- Labor market flexibility is more growth enhancing the closer a country is to the technological frontier
- Need to combine labor market flexibility with reasonable unemployment benefits conditional upon training for new jobs: flexsecurity!

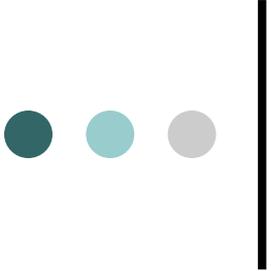
Panel : Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Iceland, Italy, Japan, Korea, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, the United Kingdom and the United States.

Times period : 1995-2007

Dependant variable : Hourly labour productivity growth (instrumental variables method)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Changes in capacity utilization rate	0.00200*** (0.000622)	0.00190*** (0.000499)	0.00161*** (0.000475)	0.000908 (0.000648)	0.000634 (0.000702)
Growth in working time	-0.583*** (0.170)	-0.787*** (0.138)	-0.797*** (0.138)	-0.784*** (0.157)	-0.698*** (0.172)
Changes in the employment rate	-0.529*** (0.177)	-0.641*** (0.165)	-0.653*** (0.160)	-0.878*** (0.203)	-0.809*** (0.217)
Share of ICT production in total VA	0.930*** (0.261)	0.344* (0.195)	0.372** (0.179)	0.0614 (0.164)	0.170 (0.178)
Share of pop. (>15) w/ some higher educ.		0.0808** (0.0348)			
EPL			-0.00726** (0.00307)		
PMR(t-2)				-0.0103** (0.00486)	
EMPL* PMR(t-2)					-0.00368*** (0.00130)
Constant	-0.0376** (0.0160)	-0.0199 (0.0153)	0.0107 (0.0118)	0.0296** (0.0137)	0.0197* (0.0113)
Observations	163	149	142	95	95
P-value of the Durbin-Wu-Hausman endogeneity test	0.00066	0.02912	0.03388	0.02966	0.01112
P-value of Basmann test of overidentifying restrictions	0.6354	0.2581	0.4140	0.2075	0.7716

Standard errors in parentheses  
 \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1



# Conclusion

## ○ Waves

- Leader and followers
- Structural reforms help wave diffusion