

CROISSANCE ET TIC

S8 SISN

Renaud Bourlès

CHAPITRE 1

LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE

QU'EST-CE QUE LA CROISSANCE?

- ▷ Indice du développement ÉCONOMIQUE
- ▷ Croissance de quoi?
 - ▶ du PIB? (Produit Intérieur Brut)
 - ▶ du PIB par habitant?
 - ▶ de la productivité (du travail)?

QU'EST-CE QUE LE PIB? (1)

- ▷ Mesure de la **création** de richesse
- ▷ Pas la somme des productions
 - ▶ on prend en compte le fait qu'une partie de la prod est utilisée comme **biens intermédiaires** (sinon double comptage)
 - ▶ On parle alors de **Valeur Ajoutée** (VA)
 - VA = Revenu - Coût des biens intermédiaires
 - = Revenu des facteurs de production
(capital et travail)

QU'EST-CE QUE LE PIB? (2)

- ▷ La VA mesure :
 - ▶ La contribution de chaque firme à la production totale...
 - ▶ ...le montant de "valeur de marché" produit par cette firme
- ▷ La **somme des VA** (le PIB) est donc une mesure de la production totale de l'économie
- ▷ Comment est calculé le PIB?
 - La valeur de la production domestique est égale
 - ▶ à la valeur des dépenses pour cette production
 - ▶ aux revenus générés par cette production

QU'EST QUE LE PIB? (3)

▷ Du côté des **dépenses**

$$\begin{aligned} \text{PIB} &= \text{Consommation} \\ &+ \text{Investissement} \\ &+ \text{Dépenses gouvernementales} \\ &+ \text{Exportations nettes des importations} \end{aligned}$$

▷ Du côté des **revenus**

$$\begin{aligned} \text{PIB} &= \text{Paiements des facteurs (K, L)} \\ &+ \text{Taxes indirectes (net de subventions)} \\ &+ \text{Dépréciations du capital} \end{aligned}$$

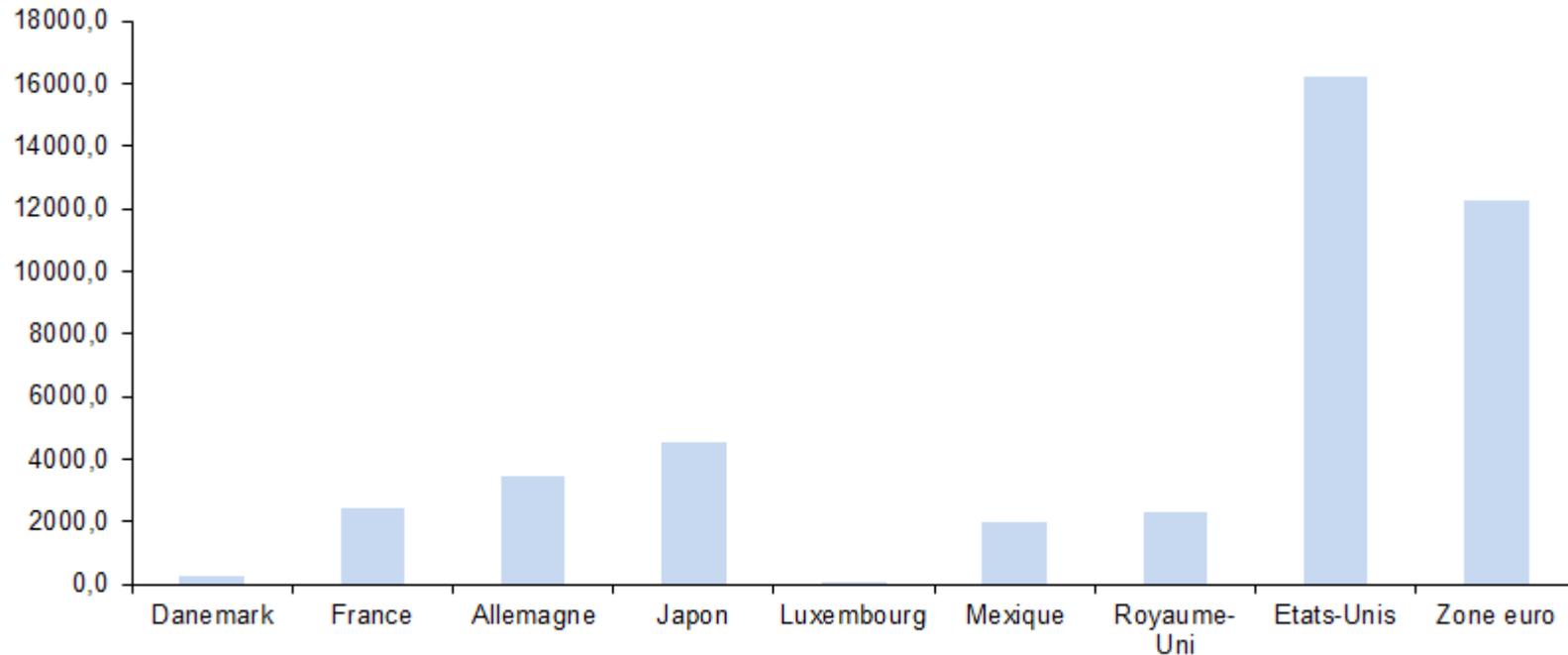
QU'EST QUE LE PIB? (4)

- ▷ Différence avec le **PNB** :
 - ▶ Différence entre revenu **produit** et revenu reçu (le PNB prend en compte les revenus la production à l'étranger des firmes du pays)

- ▷ Ce qui n'est pas dans le PIB :
 - ▶ L'économie **souterraine**

 - ▶ L'économie **domestique** (on prend en compte la "production" d'une femme de ménage mais pas du ménage fait soit-même)

LE PIB DE QUELQUES PAYS (EN 2012)



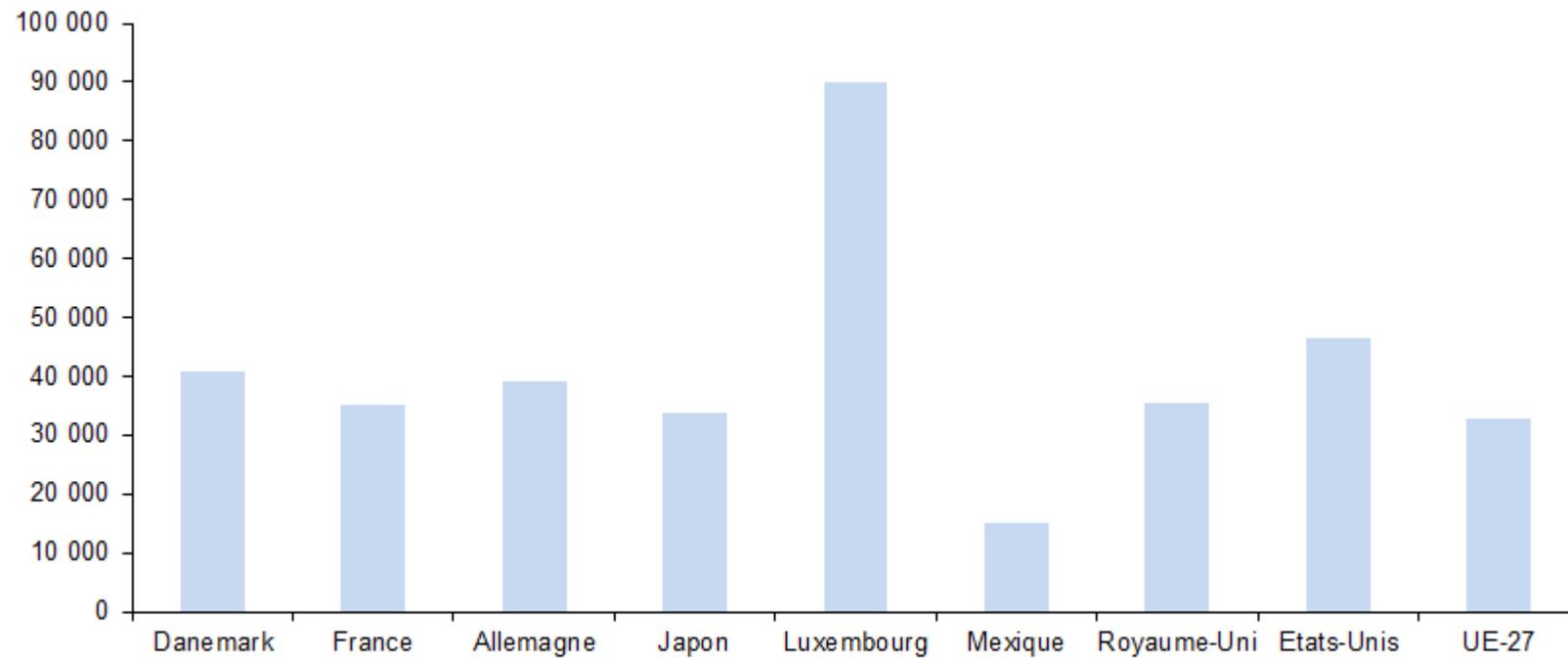
source : Tableaux-clés de l'OCDE

- ▷ Comparaisons internationales (Parité de Pouvoir d'Achat)
- ▷ Nécessité de prendre en compte l'effet taille

LE PIB PAR HABITANT

- ▷ Permet mieux de **comparer**
 - ▶ des pays entre eux
 - ▶ différentes périodes pour un même pays
- ▷ Problèmes
 - ▶ Ignore les **inégalités**
 - ▶ Une détérioration du PIB par habitant peut être lié à une amélioration du niveau de vie.
Exemple : réduction du temps de travail

LE PIB PAR HABITANT (EN 2011)



source : OCDE Factbook

LES LIENS COMPTABLES

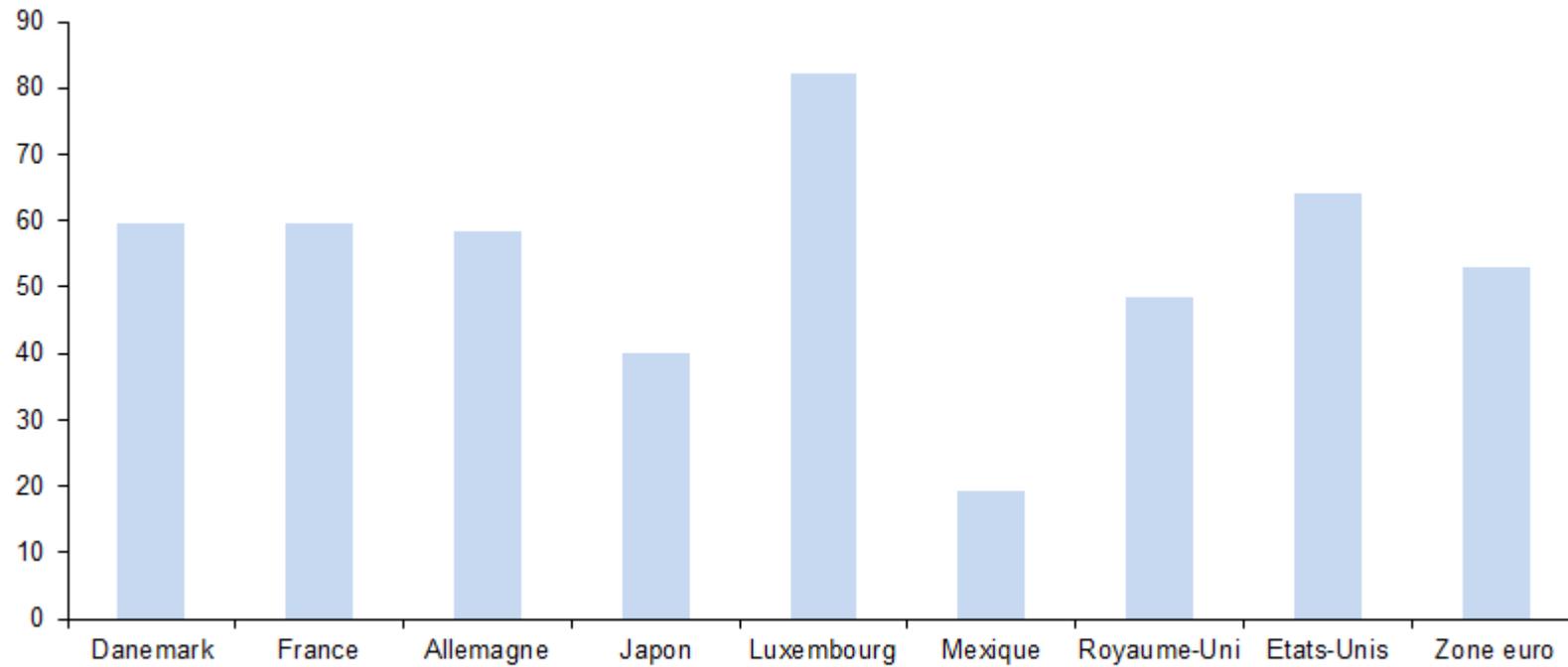
$$PHAB = Q/POP = \Pi_H \cdot H \cdot (1 - U) \cdot TPAR \cdot PAGE$$

$$PHAB = \Pi_N \cdot N = \Pi_H \cdot H \cdot N$$

Où :

- ▷ Q : volume du PIB
- ▷ POP : pop. résidente totale
- ▷ $PHAB$: PIB par habitant
- ▷ N : emploi
- ▷ Π_N : **productivité du travail par employé**
- ▷ Π_H : **productivité du travail par heure travaillée**
- ▷ H : durée moyenne du travail
- ▷ U : taux de chômage
- ▷ $PAGE$: population en âge de travailler
- ▷ $TPAR$: taux de participation de la PAGE

PRODUCTIVITÉ HORAIRE (EN 2012)



source : OCDE Factbook

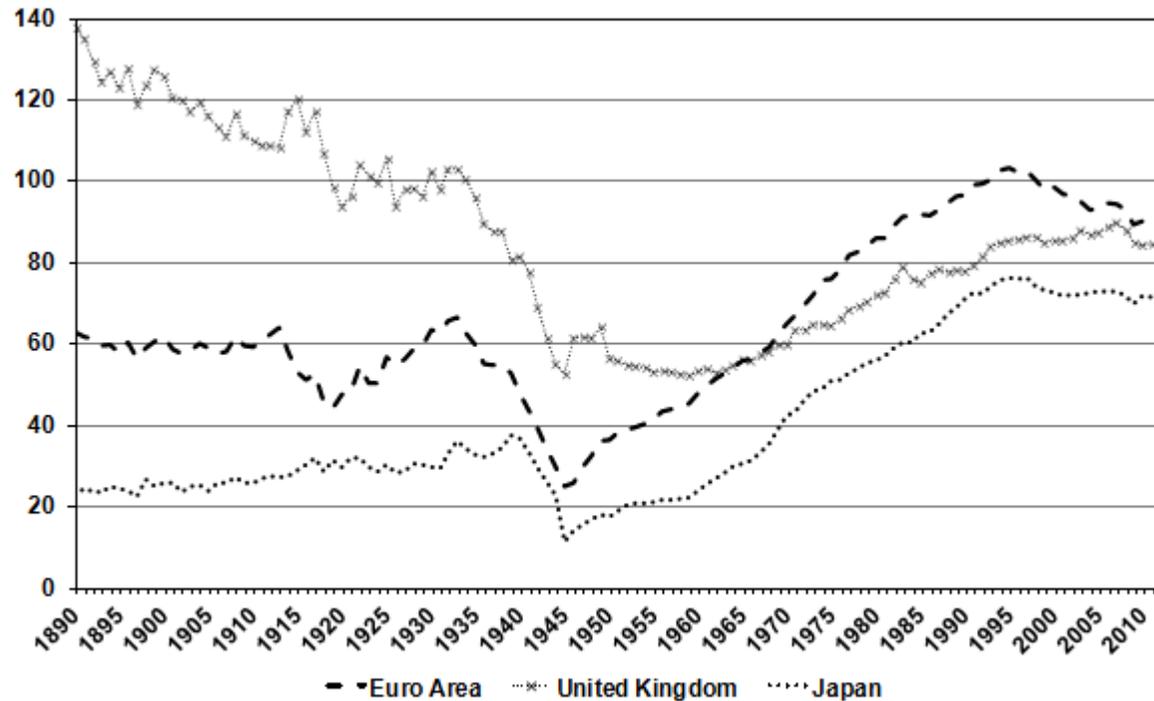
CROISSANCE DU PIB ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

Ainsi, en taux de croissance :

$$\dot{Q} = \dot{\Pi}_N + \dot{N} = \dot{\Pi}_H + \dot{H} + \dot{N}$$

- ▷ à niveau d'emploi et temps de travail constant, la croissance (du PIB) provient de la **croissance de la productivité**
- ▷ **Attention** : on étudie ici une relation comptable, on "oublie" donc les interdépendances qui peuvent exister entre les variables (effet fatigue, lien emploi - productivité,...)

PRODUCTIVITÉ HORAIRE EN % DU NIVEAU DES USA (PPA DOLLAR 2005)

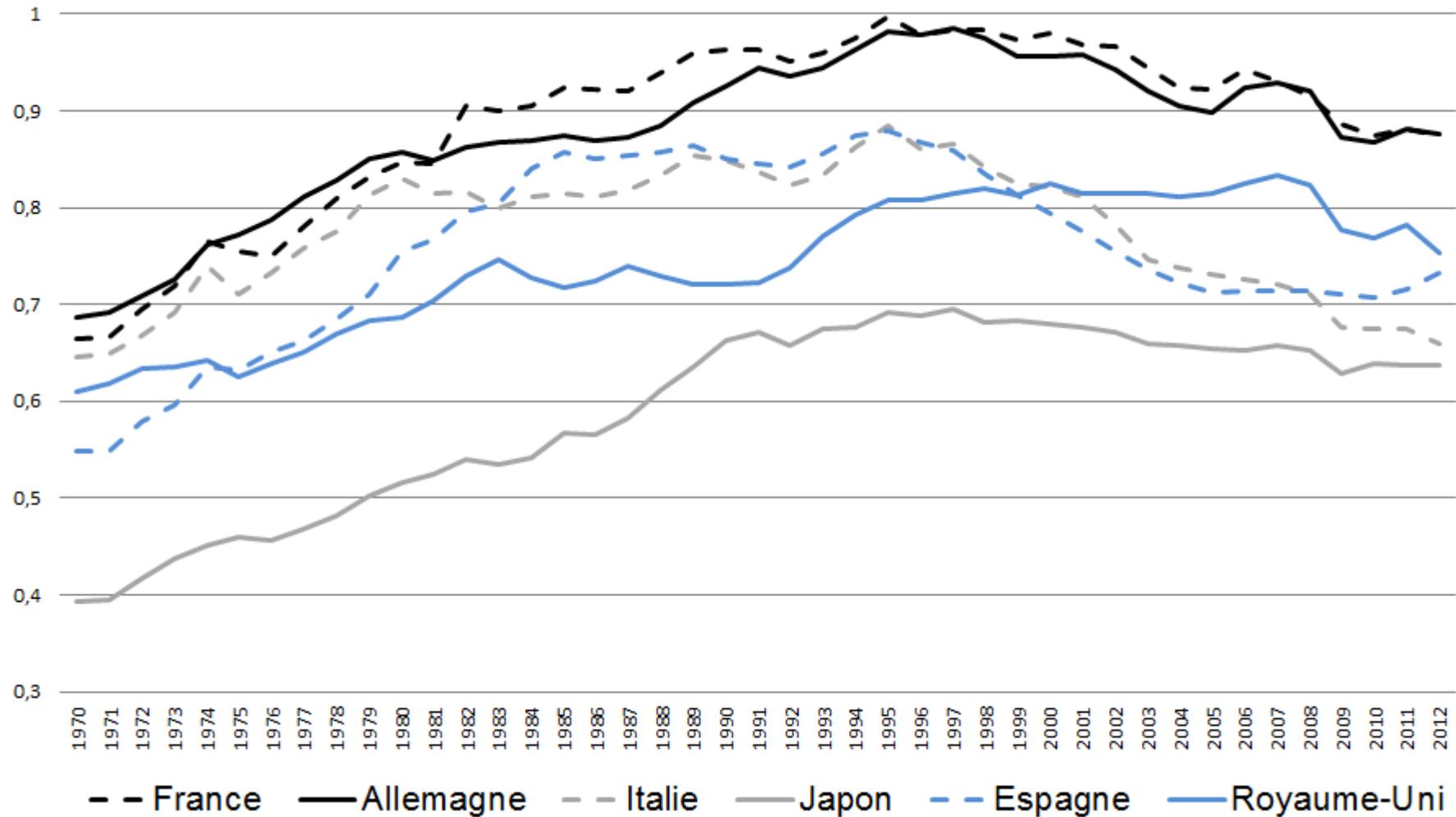


source : Bergeaud, Clette and Lecat (2014).

Euro Area = aggregation de l'Allemagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas et la Finland (représentent en 2012, 85% du PIB total de la zone Euro).

PRODUCTIVITÉ HORAIRE

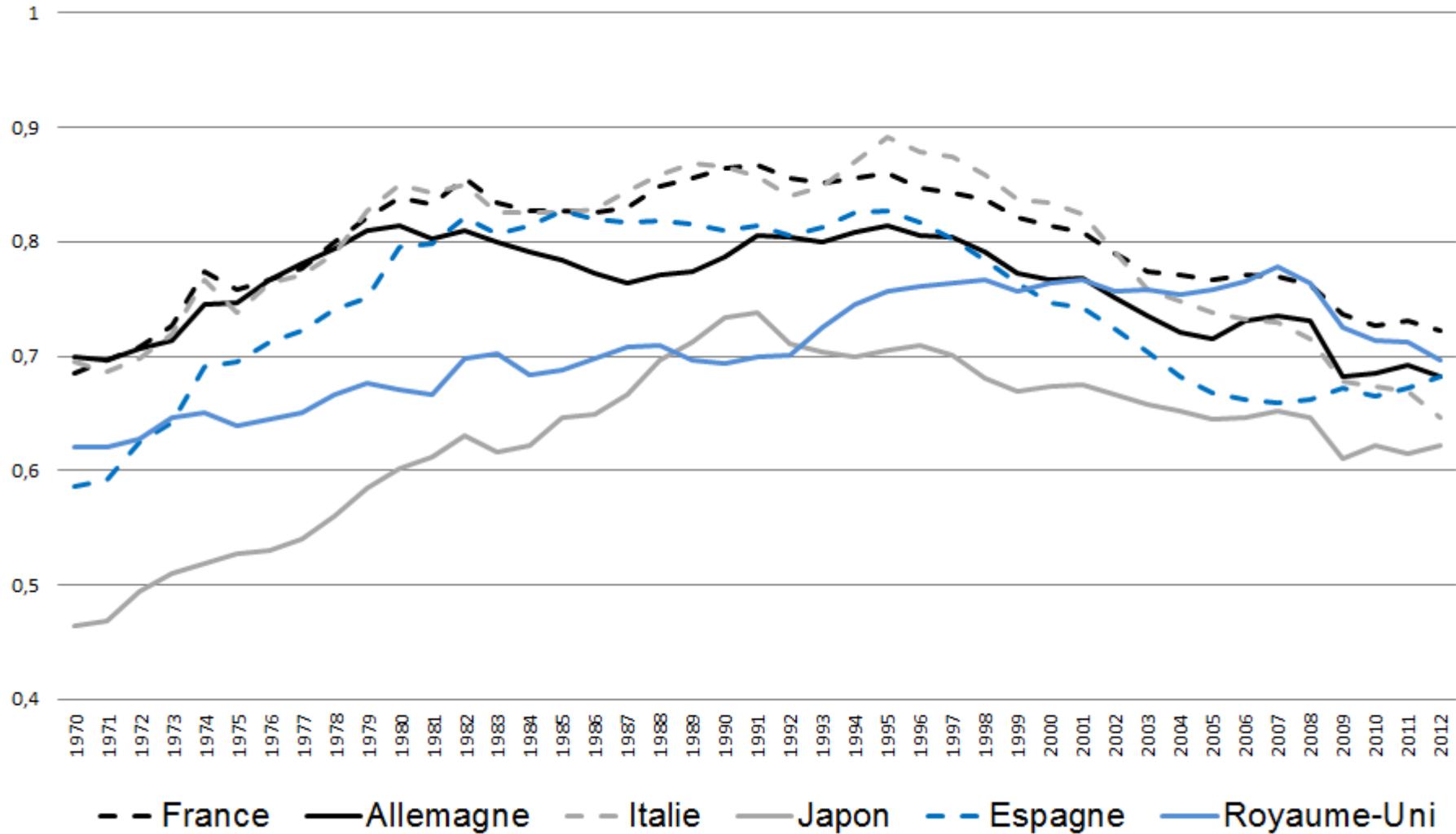
EN % DU NIVEAU DES USA (PPA DOLLAR 2005)



source : OECD.Stat

PRODUCTIVITÉ PAR EMPLOI

EN % DU NIVEAU DES USA (PPA DOLLAR 2005)



source : OECD.Stat

LA PRODUCTIVITÉ GLOBALE DES FACTEURS

▷ La décomposition précédente ne tient compte que d'un seul **facteur de production**

▷ Avec une vision plus générale on a :

$$Q = PGF.G(F_i)$$

: la production résulte de la mise en œuvre des facteurs de prod (F_i) auquel s'ajoute un effet résiduel, appelé **productivité globale des facteurs (PGF)**

▷ Souvent, on supposera que la fonction de production $G(.)$ est la moyenne géométrique des facteurs (fonction Cobb-Douglas)

COBB-DOUGLAS

- ▷ Si on considère deux facteurs de prod : le capital et le travail (avec rendement d'échelle unitaire), on a alors :

$$Q = PGF.K^\alpha.N^{1-\alpha}$$

où α : l'**élasticité de substitution** capital-travail

- ▷ Et

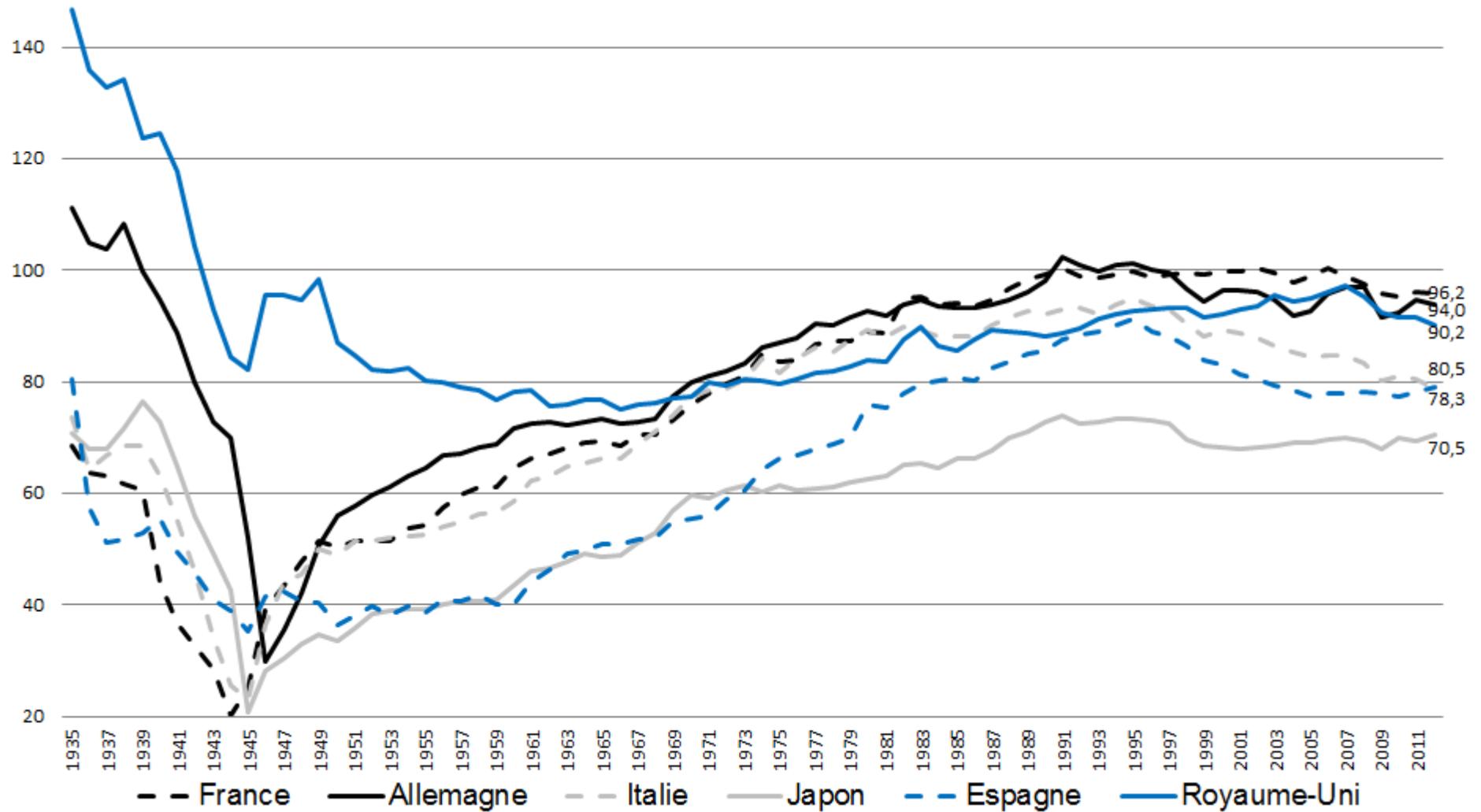
$$\dot{Q} = P\dot{G}F + \alpha.\dot{K} + (1 - \alpha).\dot{N}$$

- ▷ Par ailleurs,

$$\Pi_N = Q/N = PGF.(K/N)^\alpha$$

où K/N représente l'**intensité capitalistique**

PGF EN % DU NIVEAU DES USA (PPA DOLLAR 2005)



source : Bergeaud, Cete and Lecat (2014).

CHAPITRE 2

L'EFFET DES TIC SUR LA CROISSANCE

SECTION 2.1.

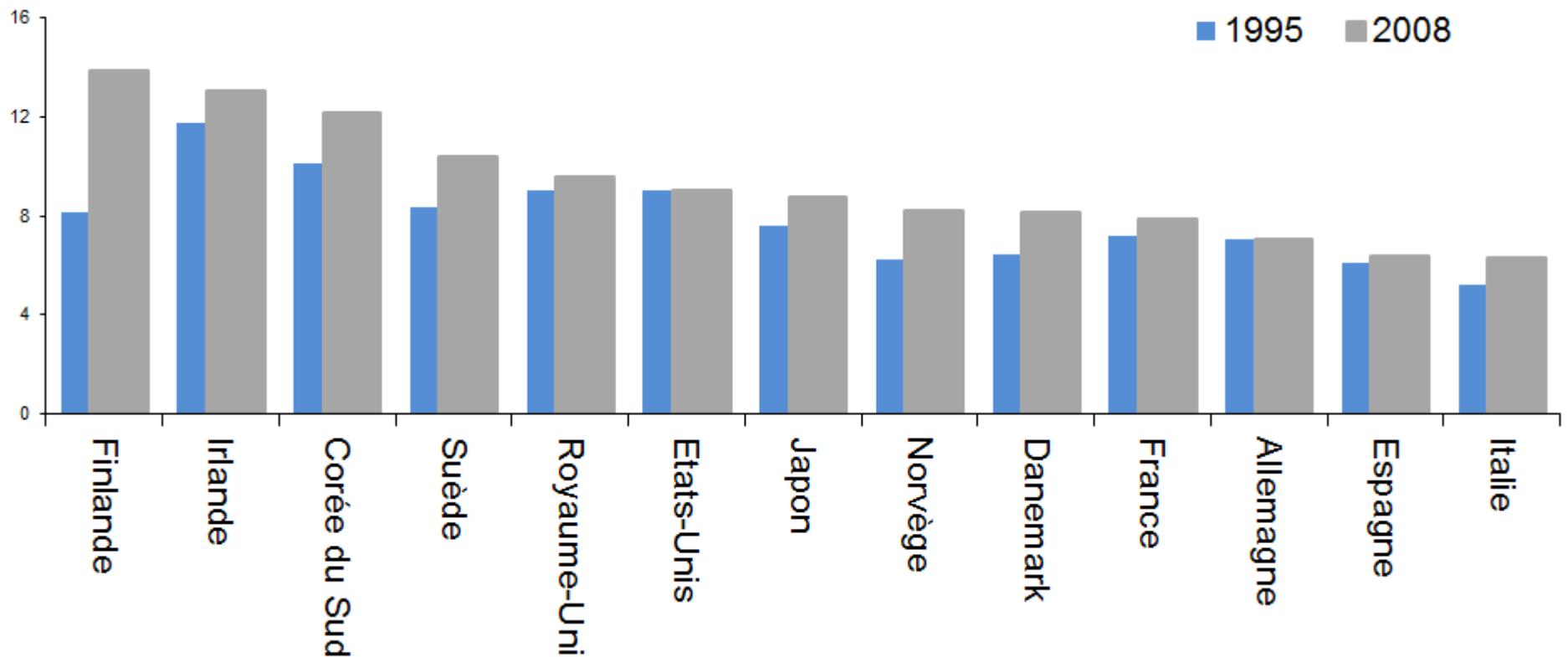
PRODUCTION DE TIC ET CROISSANCE

LE LIEN ENTRE TIC ET CROISSANCE : LES CANAUX

(1) LA PRODUCTION

- ▷ Si les secteurs **producteurs** des TIC sont plus ou moins productifs que les autres (% PGF moyenne) alors l'augmentation de leur part dans la PIB modifie la croissance
- ▷ Classification des activités productrices de TIC
 - ▶ **Biens** : Machines de bureaux et matériel informatique ; Fils et câbles ; composants électroniques ; appareils d'émission et de transmission ; appareils de réception, enregistrement ou reproduction du son et de l'image ; matériels médico-chirurgical et d'orthopédie
 - ▶ **Services** : Postes et télécommunication ; activités informatiques.

LA PART DE LA VA DES ACTIVITÉS PRODUCTRICES DE TIC DANS LE PIB



source : OCDE - Key ICT Indicators.

LES SECTEURS PRODUCTEURS DE TIC SONT-ILS PLUS PRODUCTIF?

- ▷ But : cerner le rôle de la **production** des TIC dans la croissance
- ▷ Byrne, Oliner et Sichel (2013) décompose la croissance annuelle de la productivité horaire US en fonction des secteurs

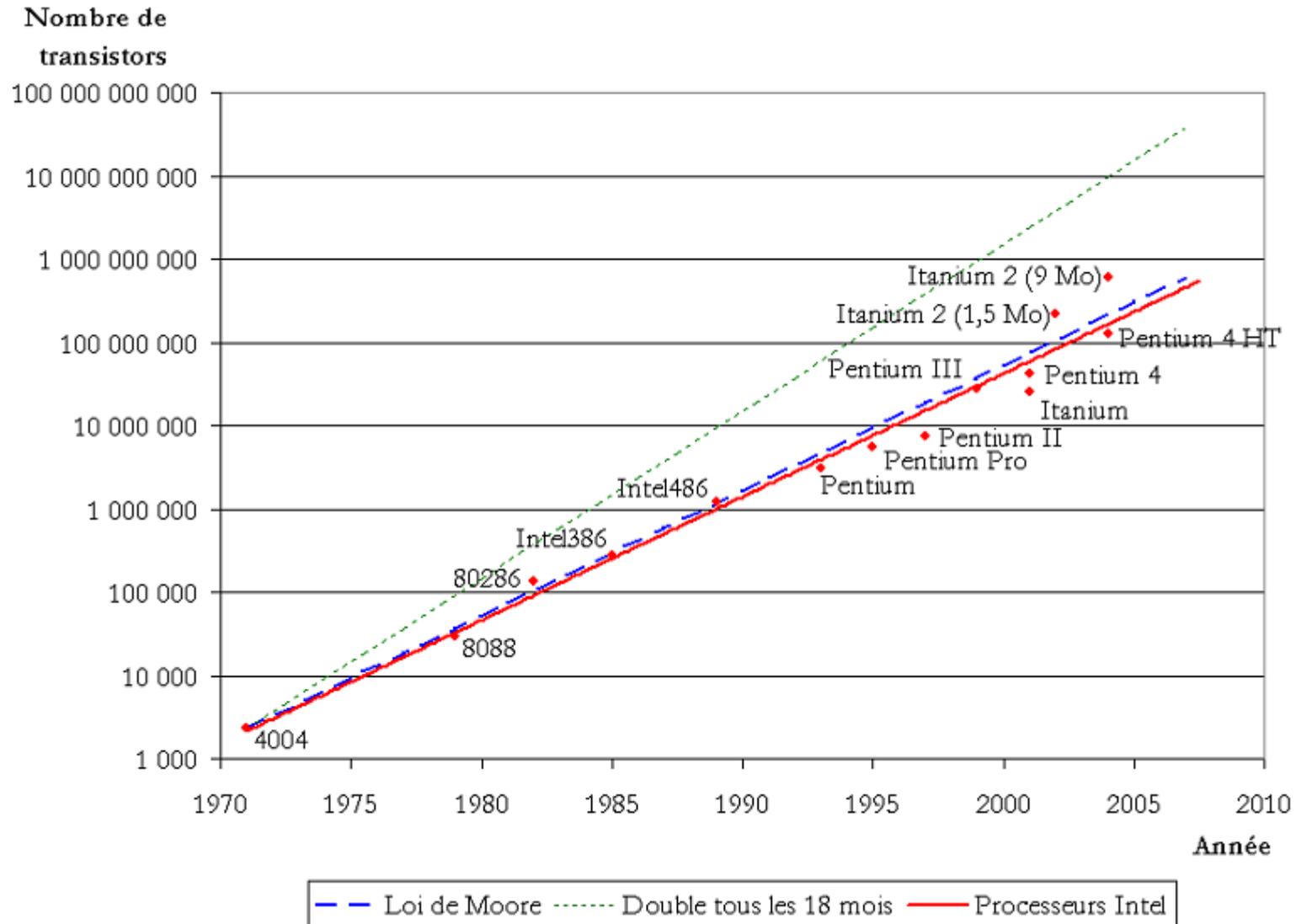
	1974-1995	1995-2004	2004-2012
Croissance de la PGF	0.56	1.62	0.48
Semi-conducteurs	0.09	0.37	0.14
Autres secteurs TIC	0.27	0.35	0.14

- ▷ Contrib des TIC importante : explique environ **la moitié** phénomène global
- ▷ Importance des **semi-conducteurs**

LOI DE MOORE (1)

- ▷ L'importance des semi-conducteurs peut être reliée à la "loi de Moore" (fondateur d'Intel)
- ▷ Loi empirique ou conjecture :
 - ▶ 1965 : "la complexité des semi-conducteurs proposés en entrée de gamme double tous les ans **à coût constant**"
 - ▶ Révisée en 1975 : "le nombre de transistors des microprocesseur sur une puce de silicium double tous les deux ans"

LOI DE MOORE (2)



source : Wikipedia.

CROISSANCE ANNUELLE DE LA PGF ET CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTS SECTEURS AUX US

	1974-1995	1995-2004	2004-2012
Croissance de la PGF	0.56	1.62	0.48
Semi-conducteurs	0.09	0.37	0.14
Autres secteurs TIC	0.27	0.35	0.14
Secteurs non-TIC	0.20	0.90	0.20

▷ La moitié de l'accélération de la PGF n'est **pas expliquée**
par la production de TIC

SECTION 2.2.

DIFFUSION DE TIC ET CROISSANCE

LE LIEN ENTRE TIC ET CROISSANCE : LES CANAUX

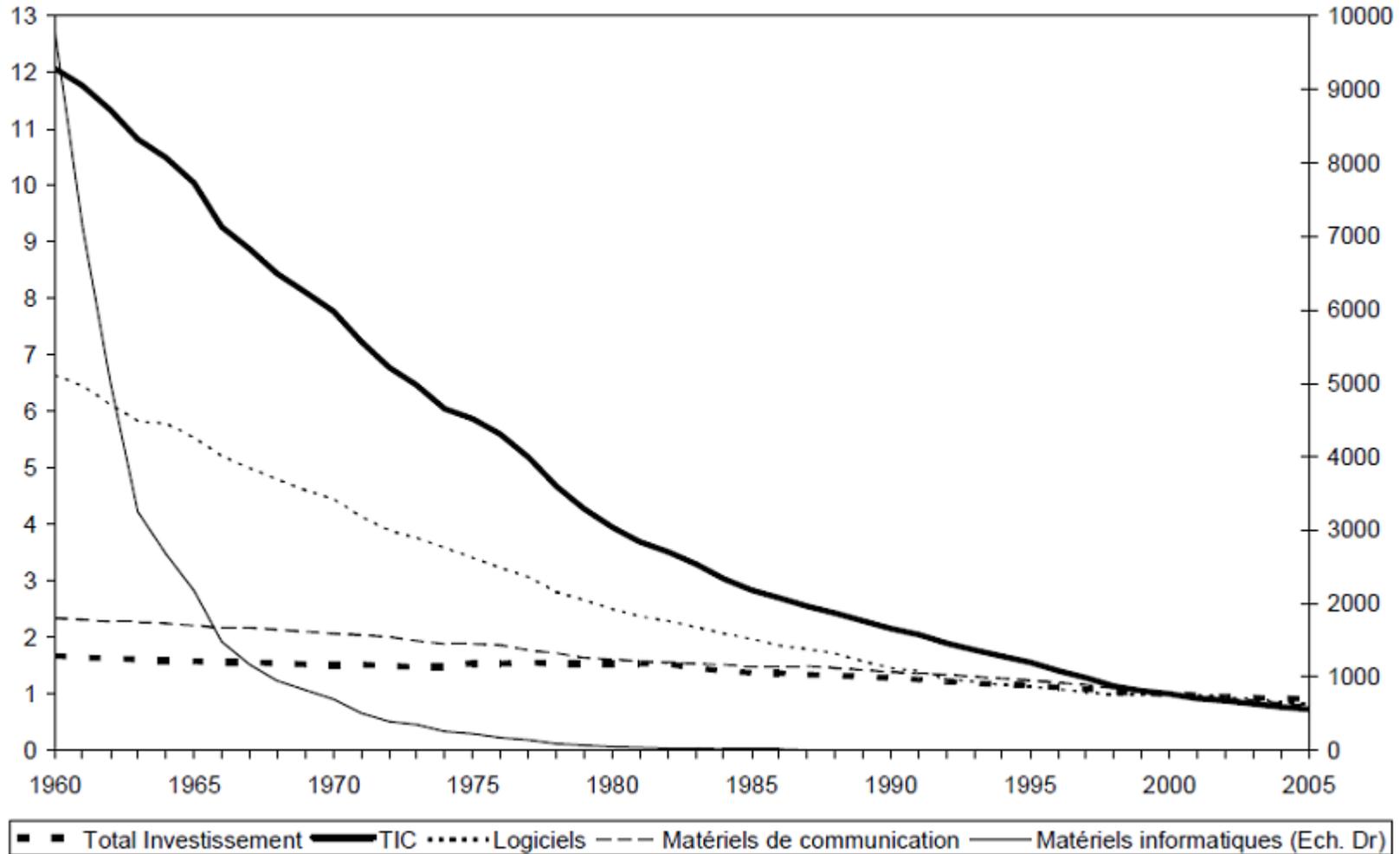
(2) LA DIFFUSION

- ▷ La diffusion des TIC (en tant que technique de production) dans le **reste de l'économie** induit des gains de productivité
- ▷ La **baisse du prix** des TIC favorise cette diffusion

Indice du prix des dépenses d'investissement relativement au prix du PIB

Etats-Unis – En %

Le niveau de ces indices est égal à l'unité en 2000



Source : Comptabilité Nationale des Etats-Unis (BEA)

VARIATION DE PRIX ET CROISSANCE (1)

▷ On reprend la définition comptable de la croissance vu supra :

$$\dot{Q} = P\dot{G}F + \alpha.\dot{K} + (1 - \alpha).\dot{N}$$

▷ Une condition d'équilibre est alors le coeff de capital (K/Q) reste constant en valeur :

$$\dot{P}_Q + \dot{Q}^* = \dot{P}_K + \dot{K}^*$$

▷ c'est-à-dire :

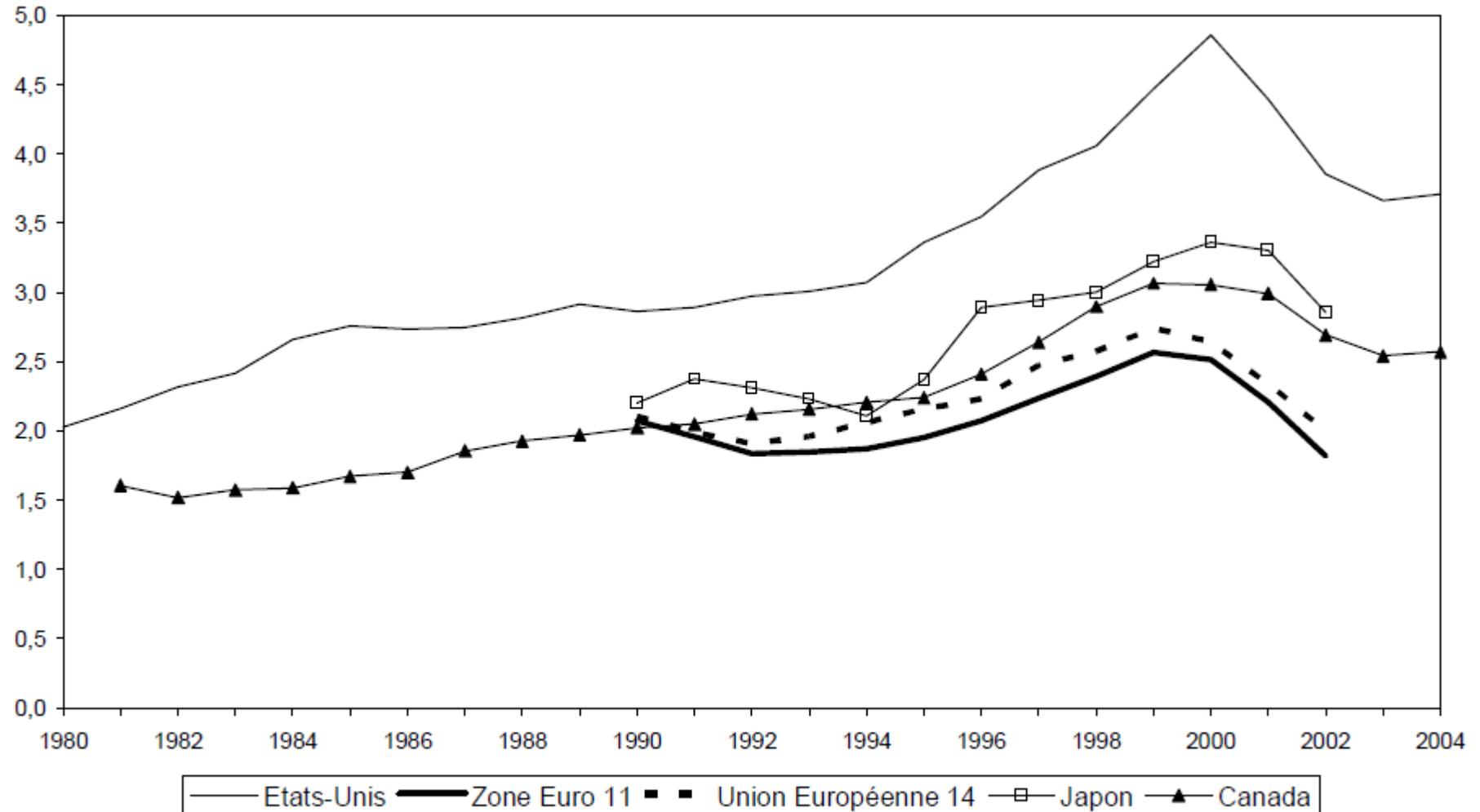
$$\dot{K}^* = \dot{Q}^* + (\dot{P}_Q - \dot{P}_K)$$

▷ on a alors :

$$\dot{Q}^* = \frac{1}{1 - \alpha} P\dot{G}F + \frac{\alpha}{1 - \alpha} (\dot{P}_Q - \dot{P}_K) + \dot{N}^*$$

TAUX D'INVESTISSEMENT EN TIC

Investissement en TIC / PIB



source : G. Cette : Productivité et croissance en Europe et aux États-Unis (Repère).

VARIATION DE PRIX ET CROISSANCE (2)

- ▷ Cette écriture permet de remarquer que l'effet sur la croissance de l'émergence et la diffusion des TIC peut passer
 - ▶ Par une croissance de la PGF, et
 - ▶ Par une réallocation des facteurs de production (substitution capital-travail) due à une variation des prix relatifs. On parle alors de **capital-deepening**

- ▷ Plusieurs auteurs ont essayé de quantifier l'importance relative de ces deux effets (Byrne, Oliner et Sichel, 2012 pour les USA; Cette, Mairesse et Kocoglu, 2004 pour la France)

CONTRIBUTION À LA CROISSANCE ANNUELLE MOYENNE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL

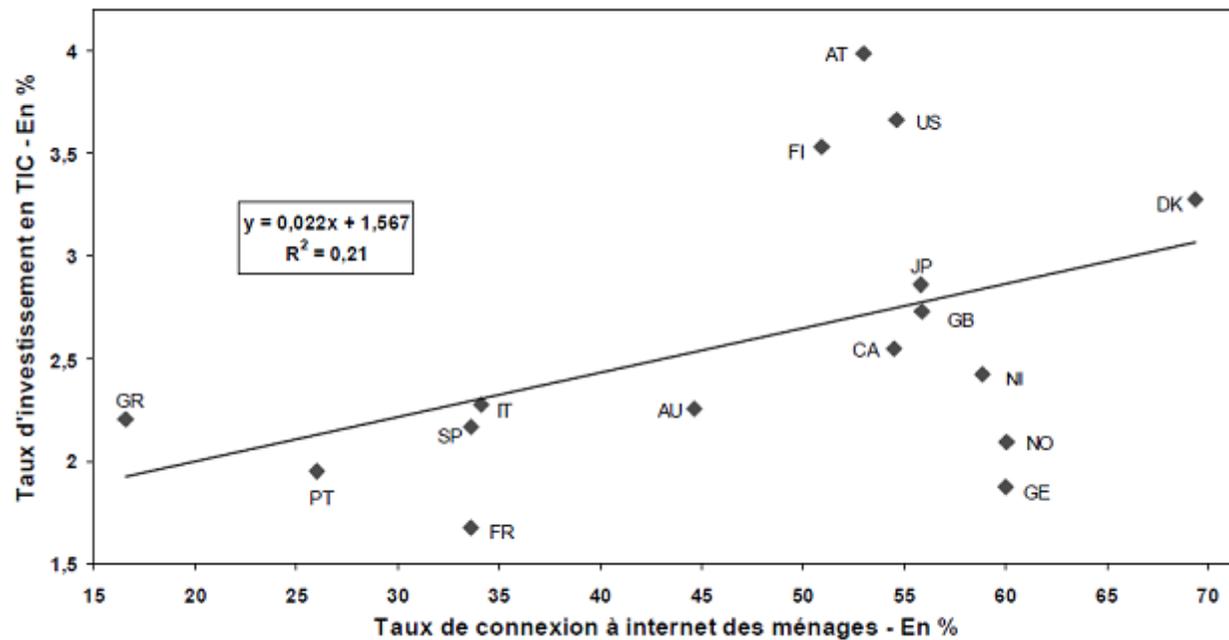
	États-Unis			France		
	1974 -1995	1995 -2004	2004 -2012	1974 -1990	1990 -1995	1995 -2001
Capital deepening	0.74	1.22	0.74	1.39	1.68	0.46
TIC	<i>0.41</i>	<i>0.78</i>	<i>0.36</i>	<i>0.23</i>	<i>0.19</i>	<i>0.37</i>
Autre capital	0.33	0.44	0.38	1.16	1.49	0.20
PGF	0.56	1.62	0.48	1.70	0.01	1.01
branches TIC	<i>0.36</i>	<i>0.72</i>	<i>0.28</i>	<i>0.41</i>	<i>0.14</i>	<i>0.64</i>
branches non TIC	0.20	0.90	0.23	1.29	-0.15	0.37
Effet travail (durée, éducation)	0.26	0.22	0.34	-0.40	-0.14	-0.59
Total	1.56	3.06	1.56	2.69	1.55	0.88

LE LIEN ENTRE TIC ET CROISSANCE : LES CANAUX

(3) LA DIFFUSION VIA LES MÉNAGES

- ▷ La diffusion des TIC (aux ménages par ex.) **élève les performances** des TIC déjà diffusés (dans les entreprises)

Taux de connexion à internet de l'ensemble des ménages (en 2004) et taux d'investissement en TIC (en 2003) – En %



Source des données : OCDE.

- ▷ effet de réseau, externalités

CHAPITRE 3

LIEN INNOVATION - CROISSANCE

UN MODÈLE SIMPLE

MOTIVATION

- ▷ L'idée est de construire un modèle simple dans lequel **l'innovation est source de croissance** de manière endogène
- ▷ La croissance provient alors d'une **succession d'innovations**
- ▷ On étudie ici un modèle simple dans lequel les **innovations** sont **verticales** (amélioration de la qualité d'un produit) et résultent d'activités de recherche (aléatoires)

DESTRUCTION CRÉATRICE

- ▷ Idée due à Schumpeter
- ▷ Une nouvelle innovation rend l'ancienne technologie **obsolète**
- ▷ Conséquences :
 - ▶ Les innovations courantes ont un **effet positif** sur la recherche future,
 - ▶ Mais un **effet négatif** sur les producteurs existants

LE MODÈLE DE BASE

- ▷ Aghion et Howitt 1998
- ▷ Pas de d'accumulation capital
- ▷ Masse L d'individu, offrant chacun une unité de travail
- ▷ Un seul **bien de consommation** (y)
- ▷ La production du ce bien dépend de la quantité de **bien intermédiaire** (x) utilisée :

$$y = A.x^\alpha$$

avec $0 < \alpha < 1$

INNOVATION ET RECHERCHE

- ▷ **Innovation** = une nouvelle variété de bien intermédiaire remplace l'autre, ce qui augmente A (la productivité) d'un facteur constant $\gamma > 1$

- ▷ Deux utilisations possibles du travail
 - ▶ Production de bien intermédiaire
 - ▶ **Recherche**

- ▷ $L = x + n$, où
 - ▶ x = quantité de travail utilisé dans la prod
 - ▶ n = quantité de travail utilisé dans la recherche

TECHNOLOGIE DE RECHERCHE

- ▷ si n travailleurs sont utilisés dans la recherche, alors
- ▷ les innovations arrivent de manière aléatoire selon un **taux d'arrivé** de Poisson $\lambda.n$
- ▷ λ représente la **productivité des chercheurs**
- ▷ La firme qui réussit à innover devient **monopolistique** sur le secteur du bien intermédiaire
- ▷ jusqu'à ce qu'elle soit remplacé par le prochain innovateur :
"business-stealing effect"
= "course au brevet"

ALLOCATION DES TRAVAILLEURS

- ▷ La quantité de travail alloué à la recherche est déterminée par la condition d'**arbitrage** suivante
- ▷ Valeur d'une unité de travail dans le secteur manif = valeur **espérée** d'une unité de travail en recherche = productivité marginale de la recherche (marché du travail parfaitement compétitif):

$$w_t = \lambda \cdot V_{t+1}$$

▷ Où

- ▶ t = **nombre d'innovations**
- ▶ w_t = salaire dans le secteur manufacturé
- ▶ V_{t+1} = la valeur espérée escomptée de la $(t+1)^{\text{ième}}$ innovation

LA VALEUR D'UNE INNOVATION

▷ Le **revenu espéré** d'une innovation sur un intervalle de temps est égal :

▶ Au flux de profit gagné par le monopole

▶ moins la perte du monopole si le monopole est **remplacé** par un autre innovateur

$$V_{t+1} = \delta.\Pi_{t+1} + \delta^2.(1 - \lambda.n_{t+1})\Pi_{t+1} + \delta^3.(1 - \lambda.n_{t+1})^2\Pi_{t+1} + \dots$$

▷ Où $\delta = 1/(1 + r)$ représente le taux d'**escompte**

▷ On a donc

$$\begin{aligned} V_{t+1} &= \delta.\Pi_{t+1} \cdot \sum_{i=0}^{+\infty} [\delta.(1 - \lambda.n_{t+1})]^i \\ &= \Pi_{t+1} \left(\frac{1}{r + \lambda.n_{t+1}} \right) \end{aligned}$$

LE COMPORTEMENT DU MONOPOLE

- ▷ Une unité de travail dans le secteur de bien intermédiaire produit une unité de bien intermédiaire

$$\Pi_t = \max_x (p_t(x) \cdot x - w_t \cdot x)$$

- ▷ Hypothèse : secteur du bien final **concurrentiel**

→ price **taker**

▶ profit = $p_y \cdot y - p_t(x) \cdot x$

▶ normalisation (numéraire) : $p_y = 1$

⇒ profit = $A_t \cdot x^\alpha - p_t(x) \cdot x \Rightarrow p_t(x) = A_t \cdot \alpha \cdot x^{\alpha-1}$

- ▷ On a donc :

$$\begin{cases} x_t = \arg \max_x \{ A_t \alpha x^\alpha - w_t \cdot x \} \\ \Pi_t = A_t \alpha x_t^\alpha - w_t \cdot x_t \end{cases}$$

PRIX ET PROFIT OPTIMAUX

▷ A l'optimum, on a donc :

$$A_t \alpha^2 x_t^{\alpha-1} - w_t = 0$$

▷ C'est-à-dire

$$\begin{cases} x_t = \left(\frac{\alpha^2}{w_t/A_t} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \equiv \tilde{x} \left(\frac{w_t}{A_t} \right) \\ \Pi_t = A_t \alpha x_t^\alpha - w_t \cdot x_t = \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) w_t \cdot x_t = A_t \tilde{\Pi} \left(\frac{w_t}{A_t} \right) \end{cases}$$

▷ Remarque : x_t et Π_t sont tous deux **décroissants** avec le taux de salaire ajusté de la productivité : $\omega_t \equiv \frac{w_t}{A_t}$

LA DYNAMIQUE DU MODÈLE

▷ En reportant ces valeurs dans l'équation d'arbitrage, on obtient

$$\begin{aligned} \omega_t = \lambda.V_{t+1} &= \lambda.\Pi_{t+1} \left(\frac{1}{r + \lambda.n_{t+1}} \right) = \lambda \frac{A_{t+1}.\tilde{\Pi}(\omega_{t+1})}{r + \lambda.n_{t+1}} = \lambda \frac{\gamma.A_t.\tilde{\Pi}(\omega_{t+1})}{r + \lambda.n_{t+1}} \\ &\Rightarrow \omega_t = \lambda \frac{\gamma.\tilde{\Pi}(\omega_{t+1})}{r + \lambda.n_{t+1}} \end{aligned}$$

▷ qui avec l'équation du marché du travail

$$L = n_t + \tilde{x}(\omega_t)$$

▷ caractérise totalement le modèle et sa dynamique

L'ÉQUILIBRE STATIONNAIRE

▷ A partir de ce système, on peut étudier l'équilibre stationnaire, c'est-à-dire l'équilibre défini par la **solution stationnaire** ($\forall t, \omega_t = \omega$ et $n_t = n$) du système précédent :

$$\begin{cases} \omega = \lambda \cdot \frac{\gamma \cdot \tilde{\Pi}(\omega)}{r + \lambda \cdot n} \\ L = n + \tilde{x}(\omega) \end{cases}$$

▷ ces deux équations définissant respectivement une relation décroissante et croissante dans le plan (n, ω) , l'équilibre stationnaire est **unique**

- ▶ d'un côté, un salaire plus élevé réduit les profits futurs et donc le rendement de la recherche
- ▶ de l'autre, cela réduit l'emploi dans le secteur des biens intermédiaire et donc augmente l'emploi en recherche

STATIQUE COMPARÉ

A partir de cette relation, on peut par ailleurs montré que le **nombre de chercheurs** à l'équilibre (\hat{n}) est d'autant plus grand que :

- ▷ le **taux d'intérêt** (r) est petit
- ▷ le **nombre de travailleurs** (L) est important
- ▷ la **productivité de la recherche** (λ) est élevée
- ▷ la **taille de l'innovation** (γ) est importante

En effet, à l'équilibre \hat{n} est implicitement défini par

$$1 = \lambda \frac{\gamma \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot (L - \hat{n})}{r + \lambda \cdot \hat{n}}$$

MONOPOLE ET INNOVATION

- ▷ On peut également déduire de l'équation précédente qu'à l'équilibre : \hat{n} est décroissant en α
- ▷ Or un faible niveau de α correspond à un fort **pouvoir de monopole** sur le marché des biens intermédiaires
 - ▶ en effet l'**élasticité** prix de la demande de biens intermédiaires vaut $\frac{1}{1-\alpha}$

$$p_t = A_t \cdot \alpha \cdot x^{\alpha-1} \Rightarrow D(p_t) = \left(\frac{p_t}{A_t} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$
$$\Rightarrow \varepsilon_D(p_t) \equiv \frac{-p_t \cdot D'(p_t)}{D(p_t)} = \frac{1}{1-\alpha}$$

⇒ Le **pouvoir de monopole** sur le marché du bien intermédiaire est **bon pour l'innovation** : il augmente les rentes que peut s'approprier l'innovateur

LA CROISSANCE D'ÉQUILIBRE (1)

- ▷ À l'équilibre stationnaire, on a : $y_t = A_t \cdot x^\alpha = A_t \cdot (L - \hat{n})^\alpha$
- ▷ ainsi : $y_{t+1} = \gamma \cdot y_t$
- ▷ **Attention** : t ne représente **pas le temps**, mais le nombre d'innovations! Le taux de croissance n'est donc pas γ
- ▷ On cherche donc comment varie y en fonction du **temps réel** τ .
- ▷ On sait que $\ln y_\tau$ croit d'un montant $\ln \gamma$ à chaque fois qu'il y a une innovation
- ▷ Cependant la période de temps entre deux innovations est **aléatoire**

LA CROISSANCE D'ÉQUILIBRE (2)

▷ Ainsi $\ln y_\tau$ correspondra à une **marche aléatoire** de pas $\ln \gamma$

▷ On a en fait : $\ln y_{\tau+1} = \ln y_\tau + \varepsilon(\tau) \cdot \ln \gamma$

où $\varepsilon(\tau)$ représente le nombre d'innovations entre τ et $\tau + 1$

▷ Comme $\varepsilon(\tau) \sim \mathcal{P}(\lambda \cdot \hat{n})$, on a donc comme **croissance es-pérée** à l'équilibre stationnaire :

$$g = \mathbb{E}(\ln y_{\tau+1} - \ln y_\tau) = \lambda \cdot \hat{n} \cdot \ln \gamma \quad (1)$$

▷ + de chercheurs \rightarrow + d'**innovation** \rightarrow + de **croissance**

▷ On obtient donc que le taux de croissance est

► croissant en L , γ et λ ► décroissant en r et α

▷ le **pouvoir de monopole** sur le marché du bien intermédiaire a un effet **positif sur la croissance**

OPTIMUM SOCIAL (1)

- ▷ Comparons l'équilibre précédent, dit de "**laissez-faire**"
- ▷ à ce que choisirait un **planificateur social**
- ▷ qui maximise la valeur présente espérée des consommations futures y_τ :

$$U = \int_0^{\infty} e^{-r.t} y_\tau d\tau = \int_0^{\infty} e^{-r.t} \left(\sum_{t=0}^{+\infty} \mathbb{P}(t, \tau) \cdot A_t \cdot x^\alpha \right) d\tau$$

où $\mathbb{P}(t, \tau)$ est la proba qu'il y ait eu exactement **t innovations à la date τ**

- ▷ or les innovations suivent un processus de Poisson($\lambda.n$)

$$\Rightarrow \mathbb{P}(t, \tau) = \frac{(\lambda.n.\tau)^t}{t!} \cdot e^{-\lambda.n.\tau}$$

OPTIMUM SOCIAL (2)

FAUT-IL SUBVENTIONNER LA RECHERCHE?

▷ En utilisant $A_t = A_0 \cdot \gamma \cdot t$ et $L = x + n$, on obtient :

$$U(n) = \int_0^{\infty} e^{-r \cdot t - \lambda \cdot n \cdot \tau} \left(\sum_{t=0}^{+\infty} \frac{(\lambda \cdot n \cdot \tau \cdot \gamma)^t}{t!} \cdot A_0 \cdot x^\alpha \right) d\tau = \frac{A_0 \cdot (L - n)^\alpha}{r - \lambda \cdot n \cdot (\gamma - 1)}$$

▷ dont l'optimum est atteint en $n^* / U'(n^*) = 0$, c.-à.-d.

$$1 = \frac{\lambda \cdot (\gamma - 1) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot (L - n^*)}{r - \lambda \cdot n^* \cdot (\gamma - 1)}$$

▷ en comparant cette solution à celle du laissez-faire, on peut déterminer si le laissez-faire conduit à **trop ou pas assez** de recherche par rapport à l'optimal social, i.e. s'il faut **subventionner ou taxer** la recherche

OPTIMUM SOCIAL VS. LAISSEZ-FAIRE (1)

3 différences :

- ▷ $r - \lambda.n.(\gamma - 1)$ au dénominateur au lieu de $r - \lambda.n$: le planificateur prend en compte que le bénéfice de l'innovation (en terme de pvté) continuera toujours → innovation **insuffisante** en laissez-faire
- ▷ $1/\alpha$ au lieu de $(1 - \alpha)/\alpha$ au numérateur : le monopole ne capte qu'une proportion $(1 - \alpha)$ du flux de production → innovation **insuffisante** en laissez-faire
- ▷ $\gamma - 1$ contre γ au numérateur : contrairement au monopole, le planificateur prend en compte que l'inno a fait perdre son pouvoir de monopole au précédent innovateur → **trop** d'innovation en laissez-faire

FAUT-IL SUBVENTIONNER OU TAXER LA RECHERCHE?

Quel effet domine?

- ▷ Si la taille des innovations γ est élevée alors $\hat{n} < n^*$ et la croissance en laissez-faire est sous optimale : **il faut subventionner la recherche**
- ▷ Si la taille des innovations γ est faible alors $\hat{n} > n^*$ et la croissance en laissez-faire est excessive (par rapport à l'optimum social) : **il faut taxer la recherche**

EXTENSION 1 : INNOVATIONS NON-DRASTIQUES

- ▷ Le modèle précédent peut facilement être étendu au cas d'innovations non-drastiques
- ▷ C'est-à-dire d'innovations qui **ne font pas disparaître** le producteur précédent (il peut toujours faire un profit positif)
- ▷ On retrouve alors les **mêmes résultats** de statique comparée et d'analyse du bien-être

EXTENSION 2 : INNOVATION VS. IMITATION

- ▷ Notion de leader / de frontière technologique
- ▷ Un non leader doit d'abord **imiter** avant d'innover
- ▷ Résultat nouveau : l'élasticité de la demande de bien intermédiaire (mesure de la compétition) a un **effet en U inversé** sur la croissance
 - ▶ 2 effets contradictoires de la compétition :
 - ▶ réduit les rentes que peut s'approprier l'innovateur : effet "**Schumpeterien**" précédemment identifié
 - ▶ réduit fortement les rentes en cas d'oligopole sur le marché des biens inter. ("neck-to-neck compet.") → encourage l'innovation : effet "**escape competition**"
 - ▶ le dernier effet domine quand il y a peu de compétition

EXTENSION 3 : TAILLE DE L'INNOVATION ENDOGÈNE

- ▷ Les innovateurs potentiels peuvent **choisir la taille** de leur innovation
- ▷ La **probabilité** de réussite est **décroissante** avec la taille
- ▷ Résultat : la taille de l'innovation est **inférieure** à ce qui serait socialement optimal : un tout petit incrément est **suffisant pour monopoliser** le marché

CHAPITRE 4

TIC ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ UNE ÉTUDE ÉCONOMÉTRIQUE

RETOUR À L'EMPIRIQUE

- ▷ Jusqu'ici étude de **liens comptables**
- ▷ Nécessité de prendre en compte les **interdépendances**
 - ▶ Effet **fatigue** (lien durée du travail / pvté)
 - ▶ Lien emploi / productivité (on emploie d'abord les + productifs)
 - ▶ Lien **éducation** supérieur / TIC ; âge / TIC
 - ▶ Effet du **cycle** économique
 - ▶ ...

PRINCIPE DE LA RÉGRESSION MULTI-LINÉAIRE (1)

- ▷ On aimerait donc connaître l'effet de l'**augmentation** d'une variable
 - ▶ **Production** de TIC
 - ▶ **Diffusion** de TIC

- ▷ en gardant les autres
 - ▶ Emploi, Durée du travail, Education, Cycle

- ▷ **constantes**

PRINCIPE DE LA RÉGRESSION MULTI-LINÉAIRE (2)

▷ Problème des **corrélations** :

- ▶ Deux variables sont corrélées entre elles
- ▶ si elles sont toutes deux **corrélées à une troisième**
- ▶ **Exemple** : corrélation entre port de la mini-jupe et tourisme (toutes deux liés au temps)...Cela signifie-t-il que les touristes sont attirés par les mini-jupes?

PRINCIPE DE LA RÉGRESSION MULTI-LINÉAIRE (3)

- ▷ À travers la régression linéaire on peut résoudre ces problèmes.
- ▷ **Idée** : trouver les coefficients β_i qui minimise la **somme des carrés des erreurs** (u_i) dans la relation :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{1i} + \beta_2 \cdot X_{2i} + \dots + \beta_n \cdot X_{ni} + u_i$$

▷ où

- ▶ i est l'indice d'une observation (pays, année)
- ▶ Y_i est la var. qu'on cherche à expliquer (la **croissance**)
- ▶ les X_{ji} sont les var. **explicatives** (taux d'emploi, durée du travail, production de TIC, diffusion de TIC,...)
- ▶ les u_i sont supposés suivre des $\mathcal{N}(0, 1)$ i.i.d

PRINCIPE DE LA RÉGRESSION MULTI-LINÉAIRE (4)

- ▷ Ces estimations (de β_i) sont accompagnées d'**écarts-types**
- ▷ Qui permettent d'étudier si l'effet de la variable X_i est **significatif** au niveau α , c'est-à-dire si 0 appartient à l'intervalle de confiance de niveau α pour β_i
- ▷ L'effet de X_i sera significatif à 5% si 0 n'appartient pas à l'**intervalle de confiance** de niveau 95% :
$$\left[\beta_i - 1,96 \cdot \sigma_{\beta_i} \quad \beta_i + 1,96 \cdot \sigma_{\beta_i} \right]$$

MÉTHODE DES MOMENTS GÉNÉRALISÉE ET VARIABLES INSTRUMENTALES

- ▷ Afin de répondre aux problèmes
 - ▶ d'erreurs de **mesures**, ou
 - ▶ de biais de **simultanéité**

- ▷ des méthodes un petit peu plus **complexes** sont parfois utilisés
 - ▶ Méthode des variables **instrumentales** (ou 2SLS, 2-step least square)
 - ▶ Méthode des moments généralisée (**GMM**)

GUST ET MARQUEZ (2004)

- ▷ analysent l'effet de la **production** et de l'**investissement** en TIC
- ▷ sur la croissance de la **productivité du travail**
- ▷ en **contrôlant** de multiples variables, dont
 - ▶ le taux d'emploi
 - ▶ le taux d'investissement
 - ▶ la différence entre PIB potentiel et PIB observé ("output gap")
 - ▶ ...

DONNÉES

▷ 13 pays **développés**

▶ Allemagne, Angleterre, Australie, Canada, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Italie, Japon, Norvège, Pays-Bas, Suède.

▷ Sur la période **1993-2000**

RÉSULTATS D'ESTIMATION (1)

Parameter estimates for labour productivity growth equation—country fixed effects^a

Lagged regressors ^b	M1	M2	M3	M4	M5	M6
IT production/GDP	1.071 0.374	1.058 0.341	1.411 0.512	1.082 0.414	0.934 0.346	1.071 0.377
IT expenditures/GDP	1.150 0.422	1.119 0.649	1.226 0.426	0.896 0.683	0.928 0.595	1.150 0.698
$\Delta(\text{Employment/population})$	-0.786 0.112	-0.791 0.127	-0.769 0.123	-0.788 0.109	-0.810 0.118	-0.786 0.134
Government/GDP		-0.006 0.064				
R&D spending/GDP			-1.179 1.243			
Investment/GDP				0.066 0.108		
Output gap					0.085 0.119	
Per-capita GDP (1983–1990)						0.000 0.154
Joint significance of IT variables ^c	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001

(première ligne : estimateur ; deuxième ligne : écart-type)

RÉSULTATS D'ESTIMATION (2)

- ▷ Une augmentation d'un point de la part des TIC dans la production ou dans l'investissement **augmenterait la croissance d'un point**
- ▷ Une augmentation du taux d'emploi a un **effet négatif** sur la croissance de la productivité. Conforme à l'intuition qui veut que les plus productifs soient employés les premiers
- ▷ Une fois qu'on contrôle de l'effet des TIC
 - ▶ les dépenses de R&D, ou
 - ▶ le taux d'investissementn'ont **pas d'effet** significatif sur la croissance
- ▷ La position dans le **cycle économique**, mesuré par l'output gap n'a pas non plus d'effet significatif!

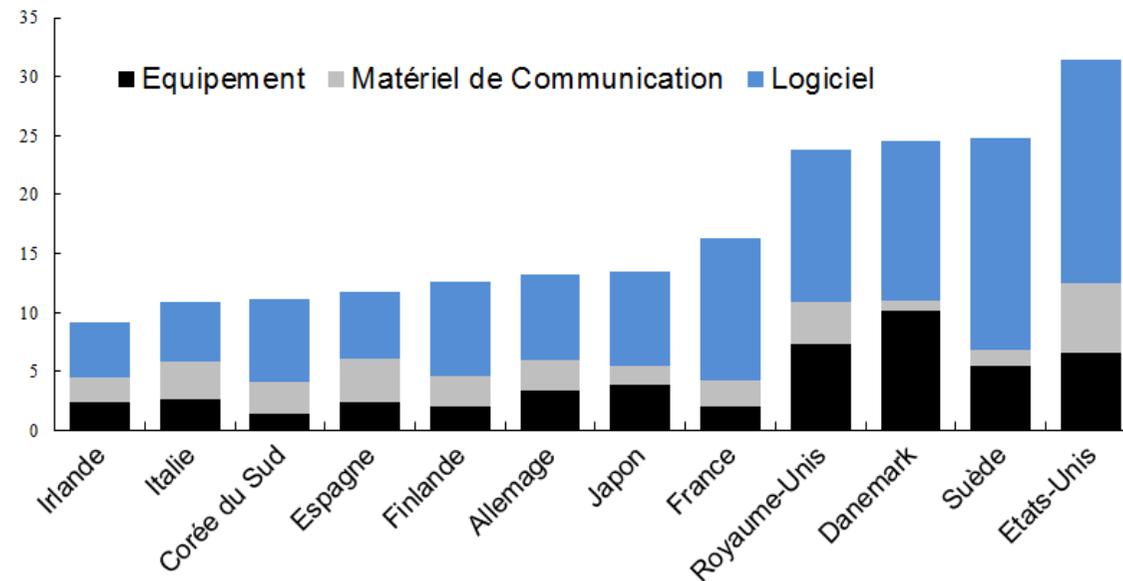
RÉSULTATS D'ESTIMATION (3)

- ▷ Quand on contrôle du taux d'investissement (global) ou de la position dans le cycle
- ▷ Seul l'effet **production de TIC** est significatif
- ▷ On ne peut pas rejeter avec un seuil d'erreur de 5% l'hypothèse que **l'investissement en TIC n'a pas d'effet sur la croissance**

INVESTISSEMENT EN TIC

COMMENT EXPLIQUER LES DIFFÉRENCES ENTRE PAYS?

- ▷ Gust et Marquez analysent également les variables qui **influencent la diffusion** des TIC
- ▷ **Les technologies existent**, pourquoi certains les utilisent d'autres non?
- ▷ Part des TIC dans l'investissement en 2009 (**source** : OCDE Factbook)



INVESTISSEMENT EN TIC : COMMENT EXPLIQUER LES DIFFÉRENCES ENTRE PAYS? (1)

Parameter estimates for IT expenditures equation^a

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Constant (α)	-5.38 1.259	-5.32 1.310	-4.34 1.558	-4.43 1.546	-4.37 1.710	-4.37 1.573
Years of schooling	0.29 0.045	0.25 0.039	0.26 0.041	0.25 0.040	0.25 0.042	0.26 0.043
Service employment, percent of total	0.10 0.016	0.10 0.018	0.09 0.019	0.10 0.018	0.09 0.020	0.09 0.019
Regulatory burdens, index	-0.24 0.105		-0.17 0.116	-0.09 0.139	-0.14 0.135	-0.17 0.121
Employment protection legislation, Index		-0.22 0.098	-0.17 0.104	-0.13 0.111	-0.17 0.122	-0.16 0.105
Regulatory burdens on startups, index				-0.13 0.106		
Stock market capitalization, percent of GDP					0.15 0.176	
Real interest rate						-0.02 0.040

INVESTISSEMENT EN TIC : COMMENT EXPLIQUER LES DIFFÉRENCES ENTRE PAYS? (2)

▷ Fort effet :

- ▶ du niveau d'**étude**,
- ▶ de la répartition sectorielle,
- ▶ des **réglementations** (anti-concurrentielles, douanières ou du marché du travail)

BELORGEY, LECAT ET MAURY (2006)

- ▷ complètent l'analyse précédente
- ▷ en incluant parmi les variables explicatives
 - ▶ les variations de la **durée du travail**
 - ▶ le **taux d'utilisation** du capital (à la place de l' \check{S} output gap), pour mesurer la position dans le cycle
- ▷ 25 pays
 - ▶ **Ajoutent** : Autriche, Belgique, République Tchèque, Danemark, Grèce, Hongrie, Irlande, Mexique, Pologne, Portugal, Slovaquie
- ▷ Sur la période 1992-2000

RÉSULTATS D'ESTIMATION (1)

Productivity growth regression with ICT production and expenditures

Baseline equation with GMM $\Delta Y_{i,t} = a.\Delta Y_{i,t-1} + b.ITP_{i,t} + c.ITS_{i,t} + d.\Delta H_{i,t} + e.\Delta TE_{i,t} + g.INV_{i,t} + f.\Delta TUC_{i,t} + u_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t}$

	Baseline equation	Excluding ITS	Excluding ITP
Autoregressive term $\Delta Y(-1)$	0.248**	0.326***	0.253 **
GDP share of ICT production (ITP)	1.586	3.228***	–
GDP share of ICT expenditures (ITS)	1.354	–	2.789 **
Change in hours worked (ΔH)	0.477***	0.437***	0.388 ***
Change in employment rate (ΔTE)	–0.378*	–0.332*	–0.307 *
Investment ratio (INV)	0.116*	0.119**	0.101 *
Change in capacity utilisation rate (ΔTUC)	0.0010**	0.0012**	0.0015 **
Joint significance of ICT	0.009	–	–
Number of countries: 25			
Number of points: 149			

* Indicates that the estimate is significant at 10%, ** at 5% and *** at 1%.

The Wald test gives the significance level needed to reject the null hypothesis that the two ICT variables are jointly zero.

- ▷ Effet fortement significatif des "nouvelles" variables
 - ▶ ouf on retrouve un **effet du cycle** ;-)
 - ▶ effet positif de la **durée du travail** car productivité par employé

RÉSULTATS D'ESTIMATION (2)

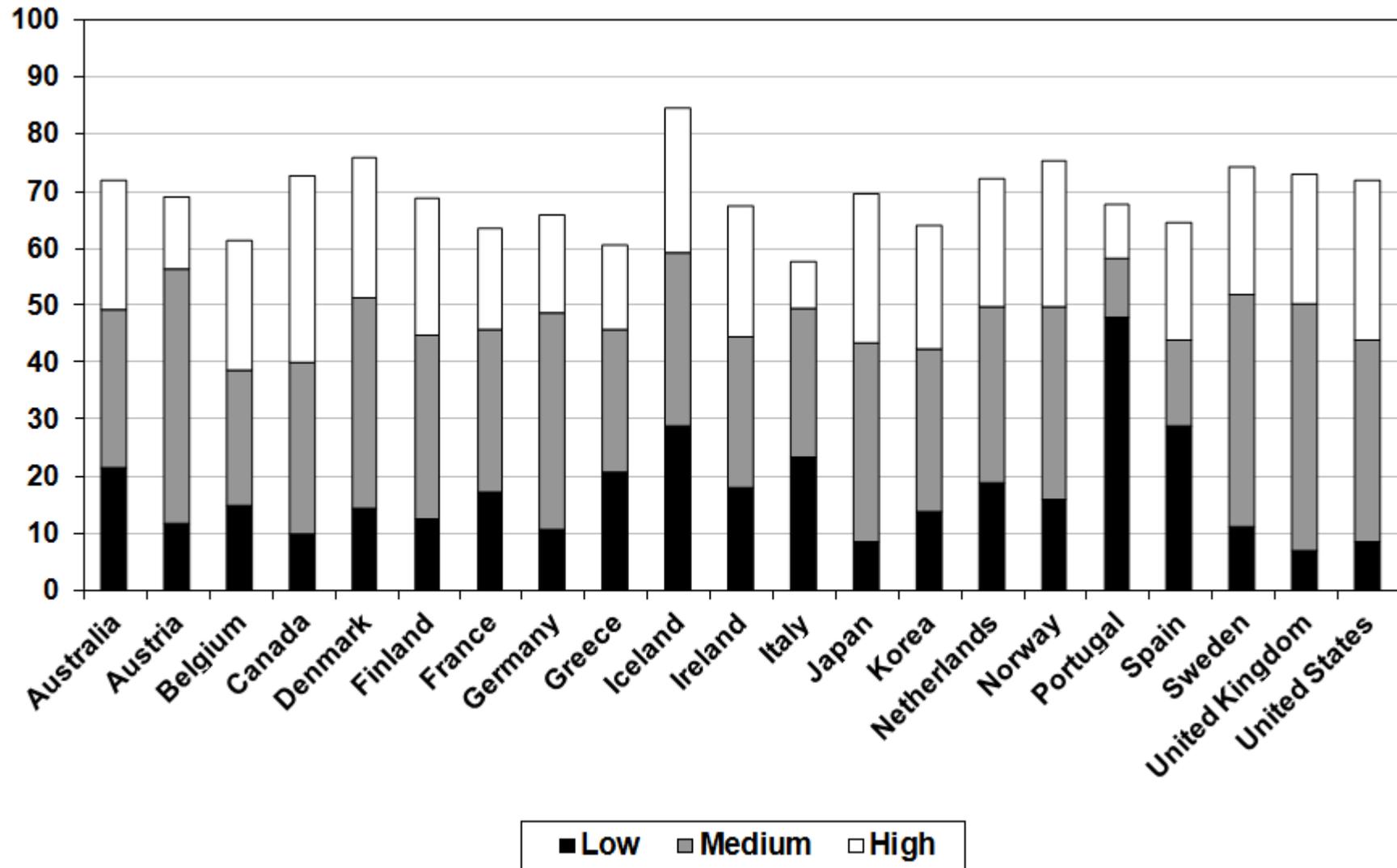
- ▷ La production et l'investissement en TIC ne semblent pas avoir d'effet significatif quand on les met **ensemble** (fortement corrélés?)
- ▷ Le **taux d'investissement** (global) apparaît cette fois significatif
- ▷ Les effets TIC (prod et inv.) redeviennent significatifs quand on les étudie **séparément** (fortement **corrélés!**)
- ▷ Une augmentation de la part des TIC dans la production (ou dans l'investissement) d'un point **augmenterait la croissance** de la productivité par employé **de 3 points**

BOURLÈS, CETTE ET COZARENCO (2012)

- ▷ Productivité **horaire**
- ▷ Contrôlent effets d'éducation
- ▷ En décomposant l'emploi en trois **catégories d'éducation**
 - ▶ moins que secondaire
 - ▶ niveau secondaire
 - ▶ niveau supérieur

$$TE = \frac{E}{P} = \frac{E_1}{P} + \frac{E_2}{P} + \frac{E_3}{P}$$

TAUX D'EMPLOI ET CONTRIBUTION DE CHAQUE GROUPE



DONNÉES

▷ 21 pays

- ▶ Allemagne, Angleterre, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Corée, Danemark, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Japon, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Suède.

▷ Sur la période **1995-2005**

RÉSULTATS D'ESTIMATION (1)

Variable expliquée : croissance de la productivité horaire

	(1)	(2)	(3)
ΔTE	-0.529*** (0.177)		
ΔTE_1		-0.600*** (0.200)	
ΔTE_2		-0.589*** (0.181)	
$\Delta TE_{1,2}$			-0.594*** (0.163)
ΔTE_3		-0.112 (0.294)	-0.108 (0.285)
Δh	-0.583*** (0.170)	-0.555*** (0.158)	-0.555*** (0.158)
ΔTUC	0.002*** (0.001)	0.002*** (0.001)	0.002*** (0.001)
Production de TIC	0.930*** (0.261)	0.770*** (0.214)	0.773*** (0.206)
Constante	-0.038** (0.016)	-0.030** (0.013)	-0.031** (0.013)
Nombre d'observations	163	163	163
P-value du test [ΔTE_1] = [ΔTE_2]		96%	
P-value du test [$\Delta TE_{1,2}$] = [ΔTE_2]			7.5%

* : significatif à 10% ; ** significatif à 5% ; *** significatif à 1%

RÉSULTATS D'ESTIMATION (2)

- ▷ Effet (néгатif) du taux d'emploi
 - ▶ important pour les **faibles niveaux de qualification** (conforme à l'intuition)
 - ▶ non significatif pour la catégorie la plus haute
 - ▶ Pas de différence significative des effets des deux premiers niveaux de qualif

- ▷ La **prise en compte** de l'effet du niveau de **qualification** **réduit l'effet** sur la productivité de la production de TIC

- ▷ Une augmentation d'un point de la part des TIC dans la production **augmenterait la croissance de la productivité horaire de 0,8 point**

CONCLUSION

- ▷ Qu'est-ce que la **croissance**?
- ▷ Comment les **TIC** peuvent influencer la croissance?
 - ▶ **Production**
 - ▶ **Diffusion** / Investissement
- ▷ Lien **théorique** entre innovation et croissance
- ▷ Évaluation **quantitative** des différents effets

LIMITES

- ▷ Est-ce que les effets des TIC sur la croissance sont **durables**?
 - ▶ Gain de productivité : jusqu'à quand? Loi de Moore extrapolable à l'**infini**? Capacité humaine à mobiliser ces capacités croissantes?
 - ▶ **Élasticité** prix de la demande en TIC décroissante
 - ▶ Manque de **main d'œuvre** qualifié peut freiner la diffusion

BIBLIOGRAPHIE

- ▷ P. Aghion et P. Howitt, "Endogenous Growth Theory", MIT Press, 1998.
- ▷ P. Artus et G. Cette, "Productivité et Croissance", rapport du CAE 48, La Documentation française, 2004.
- ▷ N. Belorgey, R. Lecat et T.-P. Maury, "Determinants of productivity per employee: An empirical estimation using panel data", Economics Letters, 91, 2006.
- ▷ A. Bergeaud, G. Cette et R. Lecat, "Productivity trends from 1890 to 2012 in advanced countries", mimeo, 2013.
- ▷ R. Bournès, G. Cette et A. Cozarenco, "Employment and productivity: disentangling employment structure and qualification effects", International Productivity Monitor, 23, pp. 44-54, 2012.
- ▷ D. Byrne, S. Oliner et D. Sichel : "Is the information technology revolution over?", International Productivity Monitor, 25, pp. 20-36, 2013.
- ▷ G. Cette, Jacques Mairesse et Yusuf Kocoglu : "Diffusion des TIC et croissance potentielle," Revue d'économie politique, Dalloz, vol. 114(1), pages 77-97, 2004.
- ▷ C. Gust et J. Marquez, "International comparisons of productivity growth: the role of information technology and regulatory practices", Labour Economics, 11, 2004