



<http://economix.fr>

Document de Travail

Working Paper

2012-51

Modélisation non-linéaire de l'impact des TIC sur la
productivité du travail

Benjamin David



UMR 7235

Université de Paris Ouest Nanterre La Défense
(bâtiment G)
200, Avenue de la République
92001 NANTERRE CEDEX

Tél et Fax : 33.(0)1.40.97.59.07
Email : nasam.zaroualete@u-paris10.fr



Modélisation non-linéaire de l'impact des TIC sur la productivité du travail *

Benjamin David **

Décembre 2012

Résumé : Cet article s'intéresse à la dynamique de diffusion des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et à leur impact sur la productivité du travail. Notre apport réside dans la prise en compte de la non-linéarité de cette relation faisant valoir successivement un temps d'intégration puis un temps où des gains de productivité nouveaux apparaissent. L'existence de cette séquence particulière est modélisée au moyen d'un modèle à changement de régime de type Logistic Smooth Transition (LSTR) qui permet de vérifier l'effet retard supposé pour neuf pays sur les douze étudiés. Les valeurs différentes des délais d'ajustement selon les pays sont reliés aux caractéristiques structurelles des économies considérées.

Mots-clés : TIC, Paradoxe de Solow, Productivité du travail, Effet retard, Modèle LSTR

Abstract : This paper focuses on dynamic of diffusion of Information and Communications Technology (ICT) and their impact on labor productivity. Our contribution lies in taking into account the non-linearity of this relationship arguing successively integration time and a time when new productivity gains appear. The existence of this particular sequence is modeled using a Logistic Smooth Transition model (LSTR) which permits to verify the delayed effect assumed for nine of the twelve countries studied. Different values of the adjustment periods across them are related to the structural characteristics of economies considered.

Mots-clés : ICT, Solow Paradox, Labor productivity, Delayed effect, LSTR model

Classification JEL : E22, J24, O33, O57

*, Je remercie Valérie Mignon pour son aide et ses suggestions.

**., Economix-CNRS, Université Paris Ouest, 200 Avenue de la république, 92001 Nanterre Cedex, Email : benjamin.david@u-paris10.fr

Introduction

L'émergence puis la diffusion des nouvelles technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ont laissé augurer un changement de paradigme sur le plan économique. Malgré cette perspective, les premières attentions portées aux effets des TIC sur la productivité se sont avérées décevantes amenant Solow (1987) à formuler le paradoxe de la productivité qui porte son nom. D'après lui, l'ère de l'informatique aurait débuté sans que cela provoque une amélioration visible de l'efficacité productive. Cette énigme économique et économétrique a fait l'objet d'un nombre important de publications¹ qui ont d'abord offert des résultats contradictoires soumis en plus à des difficultés méthodologiques. Progressivement, il semble que les travaux faisant état d'une infirmation du paradoxe de Solow, c'est-à-dire d'un impact positif des nouvelles technologies soient devenus dominants².

L'analyse de la dynamique de diffusion des TIC reste un champ à investir. Dans cette optique, nous proposons d'aller plus loin que la vérification d'une contribution positive des nouvelles technologies à la productivité en cherchant à mieux caractériser leur dissémination et en répondant à la séquence particulière des travaux ayant suivi la formulation du paradoxe de Solow. Nous cherchons notamment à déterminer si leur développement et leur adoption se caractérisent par une dynamique non-linéaire. L'intuition sous-jacente est que les TIC nécessitent un délai d'ajustement durant lequel elles ne produisent pas d'amélioration significative de la productivité allant même dans certains cas jusqu'à affecter négativement cet indicateur de performance. A la suite de ce temps d'intégration, elles produiraient les effets bénéfiques attendus.

L'objectif de cet article est ainsi de modéliser la relation entre TIC et productivité du travail en accordant une attention particulière à la non-linéarité potentielle d'une telle relation. Sur le plan méthodologique, nous recourons aux modèles à changement de régime avec une transition douce (modèle Logistic Smooth Transition) afin d'identifier la séquence en deux temps préalablement décrite. Ce choix ne semble pas avoir de précédent dans la littérature probablement du fait du manque de données qui a longtemps prévalu. Utilisant la base de données EU Klems, notre étude porte sur un ensemble de douze pays industrialisés sur la période 1970-2007. Outre l'apport méthodologique, une contribution notable de notre travail réside dans le recours à des variables d'investissements et de services issus du capital. La disponibilité de ces dernières est tout à fait intéressante car elles sont plus rares et peuvent permettre d'améliorer la qualité des analyses empiriques.

Cet article se décompose en trois sections. La première retrace l'émergence des Technologies de l'Information et de la Communication et la formulation du paradoxe de Solow qui leur a été associée. Cette description est complétée par une présentation des résultats empiriques portant sur l'incidence des TIC sur la productivité du travail puis par une justification du recours à l'hypothèse de non-linéarité. Dans la seconde section, nous présentons la méthodologie qui sous-tend l'analyse économétrique en

1. Voir la revue de littérature présentée dans la section 1.

2. *ibid*

décrivant le modèle, les données et les spécifications utilisés avant d'expliquer la séquence de modélisation étape par étape. La troisième section présente les résultats obtenus et donne des pistes d'interprétation théorique.

1 TIC et productivité : problématique et revue de la littérature

1.1 Essor des TIC et formulation du paradoxe de Solow

La seconde moitié du XX^{ème} siècle est le cadre de l'émergence puis de la diffusion des nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication. Ces dernières naissent en partie grâce aux travaux théoriques de Turing et Von Neumann sur l'ordinateur et ceux de Shannon qui crée la théorie mathématique de l'information. De ces approches découle une succession de réalisations techniques dont certains exemples sont la mise au point d'Arpanet en 1969, l'invention du microprocesseur en 1971 ou la commercialisation du premier micro-ordinateur Apple II en 1976. Ces développements pluriels se sont enchaînés de manière très rapide provoquant une amélioration constante de ces technologies symbolisée par la « loi de Moore » qui témoigne du doublement des capacités de calcul tous les dix-huit mois³.

Le déploiement des nouvelles technologies occupe une surface très large. En se cantonnant au niveau économique, cela implique des changements possiblement importants dans les manières de former la main d'œuvre, d'organiser le travail, de produire, de communiquer, de vendre et de consommer. En reprenant la typologie de Schumpeter (1934), les TIC semblent s'identifier à quatre des cinq types d'innovations postulées par cet auteur. Elles sont assimilables à des innovations de procédé (nouvelle manière de produire grâce à des outils informatiques), des innovations de produit (principalement des biens où la valeur ajoutée est de nature informationnelle), des innovations commerciales en permettant la création de nouveaux marchés et en ayant pour conséquences des innovations organisationnelles. Ces catégories suggèrent que sous le terme TIC, il est possible de regrouper à la fois un secteur producteur et une catégorie de biens spécifiques. Cette dualité de la définition sera visible dans les lignes suivantes. Ce potentiel lié à toutes ces innovations va clairement dans le sens de la thèse d'une « troisième révolution industrielle » défendue par Rifkin (2011) dont elles seraient l'un des piliers.

Parallèlement à cette évolution technologique, il a été constaté une croissance continue de la productivité sous toutes ses formes sur le long terme mais aussi sur les dernières décennies. Cette, Mairesse et Kocoglu (2009) ont calculé que pour la période 1980-2006, la productivité par heure de travail est multipliée par 2.2 en France, 2.4 Japon, 2.2 au Royaume-Uni et 1.6 aux Etats-Unis. Ce double mouvement alliant l'intégration des nouvelles technologies dans la sphère économique et l'accroissement de la productivité a amené naturellement à l'intuition de l'apparition d'une nouvelle

3. Cette loi est empirique et conjoncturelle. Moore (2005) a lui-même souligné sa prochaine obsolescence.

source de gains de productivité attribuable à l'évolution technique en cours. Or en 1987 a été formulé le paradoxe de Solow : « You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics ». Cette observation faite au détour d'une interview renvoyait à l'interrogation de Solow sur l'insensibilité des chiffres de la productivité américaine à l'adoption généralisée des TIC à cette époque. Contrairement à l'attente, les chiffres de la productivité ne semblaient pas affectés par cette mutation technologique supposée importante, mais par d'autres facteurs.

1.2 Enseignements des travaux empiriques

D'un point de vue historique, la quantification du lien éventuel entre la diffusion des nouvelles technologies et la productivité s'est rapidement avérée compliquée. David (1990) a souligné que ce type de difficulté est un trait commun à toutes les mutations technologiques majeures du fait de l'obsolescence des systèmes comptables prévalant avant leur émergence. Les économistes ont été confrontés à des problèmes de disponibilité des données⁴, de qualité (Siegel et Griliches (1992)) ou des difficultés au niveau du partage volume-prix (Oliner et Sichel (1994), Jorgenson et Stiroh (1995) ou Cette, Mairesse et Kocoglu (2009)).

La formulation du paradoxe de Solow a été suivie de nouveaux arguments empiriques susceptibles de le conforter⁵. Un certain nombre de publications ont même été plus loin en signalant une corrélation négative entre l'investissement en TIC et la variation de la productivité à l'image de Berndt et Morrison (1991) qui se sont intéressés à l'industrie américaine ou Roach (1987,1991) et Franke (1987) qui se sont penchés sur les activités de services pour cette même économie. Sans aller jusqu'à un effet négatif des nouvelles technologies sur la productivité, d'autres auteurs aboutissent à une absence d'impact positif comme Loveman (1988, 1994) ou un effet simplement temporaire (Osterman (1986)). Une autre catégorie de travaux (Oliner et Sichel (1994), Gordon (2000 b)) se démarque légèrement du paradoxe de Solow en reconnaissant un effet réel, mais relativement faible de la diffusion des TIC sur la productivité. Gordon va également chercher à situer ce changement technologique dans une large perspective historique. Selon lui, celui-ci a un impact plus faible que la diffusion de la machine à vapeur au XIXème siècle ou celle de l'électricité au siècle suivant, éloignant ainsi l'hypothèse d'un changement radical de paradigme.

Parallèlement à ces travaux, il faut souligner l'existence d'études diagnostiquant un effet positif des nouvelles technologies sur la productivité aux Etats-Unis comme celles de Siegel et Griliches (1992) ou Siegel (1994). L'étude du cas américain et l'identification d'un impact favorable des TIC conduisent Jorgenson et Stiroh (2000) à directement « enterrer » le paradoxe de la productivité : « The pessimism of the

4. A titre d'illustration, Oliner et Sichel (1994) déploraient de n'avoir en leur possession que des chiffres renvoyant au nombre d'ordinateurs alors qu'ils auraient voulu les mettre aussi en relation avec des biens complémentaires comme les logiciels et les équipements de communication. Ce type de difficulté les a poussés comme d'autres auteurs à construire eux-mêmes des séries comme celle de l'indice des prix des ordinateurs qui sera reprise par Jorgenson et Stiroh (2000).

5. Voir par exemple Greenan et Mangematin (1999).

famous Solow (1987) paradox, that we see computers everywhere but in the productivity statistics, has given way to optimism of the information age »⁶. Ce constat sera une nouvelle fois appuyé par ces auteurs dans un article coécrit avec Ho (2007). Ce type d'analyses et de conclusions a également été porté sur d'autres économies, par exemple sur la France, par Cette, Mairesse et Kocoglu (2002 a) mais aussi sur le Japon, les Etats-Unis et le Royaume-Uni par ces mêmes auteurs (Cette et al (2009)). Dans cet article, ceux-ci identifient aussi deux voies par lesquelles les TIC accroissent l'efficacité productive. Ils relèvent d'abord des effets de « capital deepening » qui correspondent à l'accroissement de l'intensité capitaliste en capital TIC accompagné d'une baisse du prix relatif des biens TIC par rapport aux autres biens d'investissement⁷. Le deuxième biais en jeu concerne les gains de Productivité Globale des Facteurs (PGF) que les auteurs cités attribuent aux progrès des secteurs portant l'innovation et l'apparition d'externalités positives pour les utilisateurs. Le même diagnostic d'un impact positif des TIC sur la productivité a été établi pour les pays de l'Union Européenne par Timmer, Ypma et van Ark (2003) ou Van Ark, O'Mahony, Timmer (2008) qui ont utilisé des données provenant de la même source que celles que nous mobilisons dans cet article. D'autre part, l'infirmité du paradoxe de Solow est aussi mise en évidence sur les économies asiatiques notamment par Lee et Khatri (2003) qui ont effectué un travail très large mobilisant près de dix pays⁸.

A l'issue de ce retour rapide sur la littérature, il est important de noter la différence chronologique qui semble exister entre les travaux aboutissant à des résultats contraires. Plus précisément, ceux qui concluent à un impact négatif, très faible ou transitoire sont relativement datés. Ce constat nous pousse à postuler l'hypothèse d'un consensus actuel sur l'impact positif des TIC sur la productivité, idée défendue par exemple par Draca, Sadun et Van Reenen (2006). Cette affirmation ne signifie pas pour autant que l'effet soit uniformément distribué.

1.3 Diffusion des TIC et délai d'ajustement

Des conditions à l'expression positive des TIC

L'examen de la littérature semble montrer l'existence de facteurs complémentaires qui conditionnent la dynamique de diffusion des TIC, à commencer par la dimension organisationnelle. Ainsi que le soulignent Askenazy et Gianella (2000) : « L'apparente absence d'impact des technologies de l'information sur la productivité globale des facteurs cacherait en fait un double phénomène : de forts gains de productivité dans les entreprises ayant adopté simultanément des innovations technologiques et organisationnelles et un échec de l'informatisation dans les entreprises qui n'ont pas réorganisé leur processus de production »⁹. Cette complémentarité entre le capital

6. page 32

7. Les auteurs citent l'exemple des Etats-Unis où le prix des matériels informatiques a baissé de 15% par an en moyenne sur la période 1980-2005.

8. Inde, Chine, Thaïlande, Malaisie, Indonésie, Corée du Sud, Taiwan, Philippines, Singapour, Hong-Kong plus les Etats-Unis.

9. p219

TIC et les changements organisationnels a également été diagnostiquée entre autres par Crespi, Criscuolo, et Haskel (2007) et explicitée par Caroli et van Reenen (2001) et Kangasniemi et Robinson (2008).

Une seconde condition majeure à une expression positive des TIC est la qualité du capital humain. L'idée sous-jacente est que l'utilisation de ce type de capital requiert des compétences spécifiques. Plus le niveau d'éducation est élevé, plus des gains de productivité sont à attendre. Cette relation était présente dans le travail précurseur de Berndt, Morrison et Rosenblum (1992) ou plus récemment dans celui de Cette et Lopez (2008).

Le troisième facteur influençant le déploiement des TIC et son impact sur la productivité du travail est le degré de rigidité sur les marchés du travail et des biens. Cette et Lopez (2008) proposent théoriquement que le manque de souplesse sur les marchés des biens a une incidence négative sur la diffusion des nouvelles technologies du fait de l'insuffisance de pression concurrentielle. Précisément, cela nuit directement à l'incitation à innover et freine la déflation des produits TIC ce qui limite les effets de « capital deepening ». Sur cette base, ces biens sont moins nombreux, moins diversifiés et moins accessibles. Un second type de rigidités s'applique cette fois au marché du travail. Il renvoie au fait que la main d'œuvre qualifiée dont le rôle est important en matière de mobilisation des nouvelles technologies doit être sur le plan pratique disponible. Ces deux dimensions ont été testées par ces auteurs. Les résultats qu'ils obtiennent sont sans équivoque en faveur de l'impact négatif d'une trop forte rigidité sur la diffusion des TIC.

Ces trois premières conditions viennent converger sur une quatrième qui peut être vue comme une de leurs conséquences. L'intégration des TIC s'accompagne d'un coût d'ajustement important. Les TIC en plus de nécessiter des investissements en matériels spécifiques entraînent d'autres coûts liés aux processus de réorganisation, à la formation ou l'embauche d'une main d'œuvre plus chère. De plus, une rigidité sur le marché des biens peut entraîner une hausse du prix des biens TIC. A ce titre, Brynjolfsson, Hitt et Yang (2002) donnent une idée de l'ampleur du coût d'ajustement en estimant qu'un dollar d'investissement en TIC peut aller jusqu'à se coupler à neuf dollars de coûts associés. Cela expose très clairement la lourdeur de l'effort que les entreprises doivent assumer afin d'assurer leur transition technologique.

Approche en termes de bien-réseau

Un autre élément déterminant dans la compréhension de la nature des nouvelles technologies réside dans leur caractère de « bien-réseau ». En effet, une partie importante des biens assimilés aux nouvelles technologies tels que les ordinateurs reliés à Internet, certains logiciels¹⁰, les fax¹¹ ou la téléphonie ne peuvent être considérés isolément : ils ne sont que des éléments ponctuels dans un maillage plus large qui leur confère leur utilité. Or les réseaux se distinguent des marchés assez nettement

10. Les logiciels libres sont par exemple le fruit d'une collaboration décentralisée.

11. Ce matériel est aujourd'hui moins prisé mais a constitué une technologie importante dans les années 1980 et 1990.

dans les modes de production avec une structure de coûts très singulière caractérisée par des coûts fixes très élevés tandis que ceux liés à l'utilisation sont nuls¹². De plus, leur dynamique de diffusion est non-linéaire et alimentée par un ensemble de rétroactions positives (Rosenberg (1982)) à mesure que l'adhésion au réseau augmente. Du côté de l'offre, cela va surtout renvoyer à des économies d'échelle tandis que du côté des consommateurs cela va passer par des rendements croissants d'adoption assurés par des externalités (« effet de club » par exemple) et des effets d'apprentissage. La transition entre la phase poussive de déploiement du réseau et celle où son potentiel va être exploité va s'effectuer sur la base de l'atteinte d'une masse critique d'utilisateurs¹³.

Hypothèse sur la diffusion des TIC

Toutes les précisions apportées sur les conditions qui influencent la diffusion des TIC et sur leur nature de bien-réseau ont en commun d'impliquer un temps d'ajustement. Pour résumer, les TIC doivent être intégrées économiquement par une vague d'adaptations principalement au niveau de l'organisation de la production, du travail et de la circulation de l'information dans les entreprises. Ces technologies demandent aussi la mobilisation d'une main d'œuvre qualifiée ce qui suppose un temps d'embauche ou de formation. De plus, l'importance des rigidités de marchés conditionne la rapidité avec laquelle les TIC vont être admises. Ces points s'accordent sur l'existence d'un coût monétaire d'intégration qui demande un délai d'amortissement significatif. En outre, l'émergence des réseaux dont elles font partie est par nature laborieuse du fait de la structure particulière des coûts et de la nécessité d'avoir une quantité critique d'utilisateurs au-delà de laquelle des effets positifs sont perceptibles. Toutes ces raisons nous conduisent à retenir l'hypothèse selon laquelle les TIC nécessitent un temps d'ajustement avant d'engendrer une hausse de la productivité du travail. Cela pourrait par exemple expliquer la séquence particulière des résultats des travaux empiriques à savoir la confusion puis l'émergence progressive d'un consensus sur leur impact positif mais aussi les différences internationales. Ces dernières s'expliqueraient par un positionnement différencié dans ce cycle de diffusion. C'est cette problématique qui constitue notre hypothèse de travail et qui va guider par la suite notre application empirique.

Cette hypothèse d'un retard a déjà été posée en 1989 et 1990 par David sur la base d'une comparaison avec l'électrification aux États-Unis à la fin du XIX^{ème} siècle. D'après ses travaux, cette autre mutation technologique a connu une longue

12. L'exemple le plus clair que nous pouvons citer est le développement d'Internet. Les premiers pas de ce réseau ont été accompagnés de fortes dépenses de la part des opérateurs pour créer un support physique viable (adaptation du réseau téléphonique) tandis que les consommateurs et les entreprises ont dû s'équiper en matériels permettant d'assurer une connexion au réseau (nouveaux ordinateurs, modem, rajout de lignes téléphoniques...). Cette vague massive et brutale d'investissements vient faire écho à l'existence de coûts d'ajustement lourds évoqués précédemment.

13. Un exemple instructif est celui du téléphone mobile qui a été lancé en France à la fin de l'année 1992 avec une diffusion lente jusqu'à ce que soit atteint le seuil du million d'abonnés début 1996. A partir de cette masse critique de consommateurs, l'adhésion à ce produit a crû très rapidement passant un an plus tard à 2,3 millions d'utilisateurs, puis six millions en 1998. En 2012, le nombre de ces appareils est maintenant supérieur à la population française.

période de développement avant sa généralisation produisant une absence d'impact immédiat des bienfaits de l'électricité sur l'efficacité productive. Il note même une première période entre 1890-1913 où les Etats-Unis ont subi un ralentissement de la productivité et souligne qu'à cette époque des économistes auraient largement pu énoncer un paradoxe de la productivité. Cette lente diffusion s'explique par une pluralité de facteurs comme l'adaptation des manufactures aux anciennes sources d'énergie (la vapeur et l'eau) ou l'attente de la dépréciation des investissements passés. L'incidence positive de l'électricité sur la productivité n'a été mise en lumière qu'à partir des années 1920 lorsque près de 70% de la production fut réalisée grâce à l'énergie électrique. Dans un autre article, coécrit avec Wright (David et Wright (2005)), David propose en dépit des spécificités nationales l'existence d'une trajectoire similaire en Grande-Bretagne et au Japon. Sur le plan économétrique, le diagnostic d'un effet retardé des TIC sur la productivité a déjà été mis en évidence par Brynjolfsson et Hitt (2003) et infirmé par Van Ark et Inklaar (2005).

2 Méthodologie et données

2.1 Méthodologie économétrique

La problématique va sous-entendre la présence de deux dynamiques successives dans la relation entre le déploiement de nouvelles technologies et la productivité du travail. Ce type de comportement peut être appréhendé par des outils de l'économétrie non-linéaire dont font partie les modèles à seuil. Ces derniers comprennent une pluralité de régimes (deux le plus souvent) qui représentent des trajectoires différentes pour une série temporelle ou une relation donnée. La localisation dans l'un ou l'autre des régimes se fait par rapport à une valeur seuil prise par la variable de transition choisie par l'économètre. Celle-ci n'est pas identifiée arbitrairement mais sur la base de la problématique économique ou grâce à des tests statistiques. Dans notre cas, les capacités de ce type de modèle font clairement écho à notre problématique car nous souhaitons vérifier l'hypothèse de la succession de deux régimes distincts quant aux effets de la diffusion des TIC sur la productivité du travail. La première dynamique renvoie à un impact nul voire négatif des nouvelles technologies tandis qu'une seconde exprime l'apparition de gains de productivité nouveaux. De plus, un modèle à changement de régime est également susceptible de rendre compte de la présence d'autres effets de seuil liés aux variations de la productivité ou de l'investissement en TIC à la période précédente. Nous chercherons donc également à déceler ce type de dynamiques.

Parmi les modèles à seuil, nous retenons un modèle Logistic Smooth Transition (LSTR) tel que formulé par Teräsvirta (1994). Ce choix méthodologique se justifie sur la base de deux éléments. Le premier est que l'hypothèse de travail suggère une transition progressive entre l'intervalle d'intégration des TIC et celui où des gains de productivité nouveaux peuvent être observés. Un modèle LSTR est donc tout à fait qualifié dans cette optique car sa spécificité est d'assurer une transition douce entre les régimes. Celle-ci n'est pas vue comme un passage instantané mais comme un continuum. La seconde justification a trait au caractère généralisateur d'un modèle

LSTR. Bien que sa fonction première soit d'assurer un franchissement progressif du seuil, celui-ci est en mesure *a priori* de capter un plus large spectre de dynamiques en faisant évoluer certains paramètres. En effet, le modèle LSTR est une généralisation qui englobe plusieurs modèles comme les modèles TAR ou LSTAR. Ainsi, même dans le cas où les données se prêteraient davantage à une transition brutale, la modélisation serait capable d'en rendre compte.

Formellement, un modèle LSTR s'écrit de la manière suivante :

$$y_t = \phi' z_t + \theta' z_t G(\gamma, c, s_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

où y_t correspond à la variable endogène, $z_t' = (1, x_{1,t}, \dots, x_{k,t-p})$ au vecteur des variables exogènes incluant des variables retardées, $\phi' = (\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_p)$ au vecteur des coefficients pour la partie linéaire du modèle, $\theta' = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p)$ au vecteur des coefficients pour la partie non-linéaire du modèle et ε_t au terme d'erreur usuel qui est iid $(0, \sigma^2)$. La fonction de transition $G(\gamma, c, s_t)$ est quant à elle déterminée par $\gamma > 0$ qui quantifie la vitesse de transition, c qui donne la valeur seuil (c_1 et c_2 s'il y a deux seuils), et s_t qui qualifie la variable de transition. Cette fonction est continue et comprise dans l'intervalle $[0; 1]$. Elle peut prendre trois formes. S'il s'agit une fonction de transition logistique (LSTR1), nous avons :

$$G(\gamma, c, s_t) = \{1 + \exp[-\gamma(s_t - c)]\}^{-1} \quad (2)$$

Pour une fonction de transition logistique quadratique (LSTR2), nous avons :

$$G(\gamma, c_1, c_2, s_t) = \{1 + \exp[-\gamma(s_t - c_1)(s_t - c_2)]\}^{-1} \quad (3)$$

Dans le cas où les seuils c_1 et c_2 sont égaux, nous avons une transition exponentielle (ESTR) :

$$G(\gamma, c, s_t) = \{1 + \exp[-\gamma(s_t - c)(s_t - c)]\}^{-1} \quad (4)$$

2.2 Données

Les données utilisées dans l'analyse empirique sont regroupées dans le tableau 1 :

TABLE 1 – Liste des variables utilisées

Variables	Unité	Notation
Variables de production		
Valeur Ajoutée	Valeur réelle	VA
Valeur Ajoutée par heure travaillée	Indice	VAHT
Nombre d'Heures Travaillées	Volume	NHT
Variables d'investissement		
Total de l'Investissement Hors TIC	Valeur réelle	IHTIC
Total de l'Investissement TIC dont :	Valeur réelle	ITIC
- Investissements en matériel informatique		
- Investissements en logiciel		
- Investissements en matériel de télécommunication		
Variables de services issus du capital		
Services issus du capital hors TIC en nombre d'heures travaillées	Indice	CSHTIC
Services issus du capital TIC en nombre d'heures travaillées	Indice	CSTIC

Toutes les données utilisées proviennent d'une source commune à savoir la base de données EU Klems et sont à fréquence annuelle. Les données en valeur sont en monnaie nationale et à prix constants. Notre étude porte sur un ensemble de douze pays sur la période 1970-2007. Il existe toutefois des différences de disponibilité des données et de période selon les pays et le temps que nous résumons dans le tableau 2.

TABLE 2 – Disponibilité des données par type

Pays	Variables de production	Variables d'investissement	Variables de service du capital	Intervalle temporel	Nombre d'observations
Australie	oui	oui	oui	1970-2007	38
Autriche	oui	oui	oui	1976-2007	32
Belgique	oui	non	oui	1970-2006	37
Danemark	oui	oui	oui	1970-2007	38
Espagne	oui	oui	oui	1970-2007	38
Etats-Unis	oui	oui	oui	1977-2007	31
Finlande	oui	non	oui	1970-2007	38
France	oui	non	oui	1970-2007	38
Italie	oui	oui	oui	1970-2007	38
Japon	oui	oui	oui	1973-2006	34
Pays-Bas	oui	oui	oui	1970-2007	38
Royaume-Uni	oui	oui	oui	1970-2007	38

Note : La mention « oui » renvoie à la disponibilité des variables et inversement pour la mention « non ».

Un autre point important à souligner dans la présentation des données utilisées est la présence de variables en termes de services issus du capital. Celles-ci renvoient à la quantité de services productifs qui peut être imputée à une unité de capital donnée. Ce choix méthodologique peut être justifié par les conclusions d'une publication de l'OCDE (2001) sur la mesure du capital : « il est désormais généralement admis qu'un indice de volume des services tirés du capital donne une meilleure représentation de l'apport du capital dans le processus de production que les stocks bruts ou nets de capital que habituellement utilisés à cet effet dans le passé »¹⁴. L'OCDE promeut aussi leur utilisation pour ce qui touche à la nouvelle économie¹⁵. Il est également important de souligner que ce type de variables a été utilisé dans des travaux portant sur le lien entre productivité et diffusion des TIC tels ceux de Jorgenson et Stiroh (2000), Timmer, Ypma et Van Ark (2003) ou encore Kanamori et Motohashi (2006). En plus de fournir potentiellement une meilleure représentation des quantités de capital en jeu, leur utilisation apparaît comme tout à fait intéressante du fait de leur moindre disponibilité. Ces données ont longtemps été indisponibles et ne faisaient pas partie des comptabilités nationales. Nous pouvons donc espérer qu'elles améliorent la capacité d'analyse par rapport à des études antérieures mobilisant des chiffres plus « classiques ».

2.3 Spécifications

Les données utilisées nous permettent de retenir deux spécifications différentes afin d'appréhender l'influence des TIC sur la productivité du travail.

Spécification 1

Cette première écriture s'inspire de celle utilisée par Hurlin (2006) pour appréhender l'impact des infrastructures sur la productivité du travail. Nous débutons par la considération d'une fonction de Cobb-Douglas incluant des variables d'investissement et le nombre d'heures travaillées :

$$VA_t = A * IHTIC_t^\alpha * ITIC_t^\beta * NHT_t^\eta \quad (5)$$

Nous divisons chaque variable par le nombre d'heures travaillées (NHT) et effectuons une transformation en logarithme pour linéariser le modèle. Ces variables sont ensuite différenciées à l'ordre 1 ce qui nous donne avec des notations simplifiées¹⁶ :

$$va_t = a + \alpha ihtic_t + \beta itic_t \quad (6)$$

où $va_t = \Delta(\log VA_t - \log NHT_t)$, $a = (\log A - \log NHT_t)$, $ihtic_t = \Delta(\log IHTIC_t - \log NHT_t)$, $itic_t = \Delta(\log ITIC_t - \log NHT_t)$.

Nous supposons également que les valeurs retardées des variables explicatives et de la variable à expliquer peuvent avoir une incidence sur la variable exogène. Afin de

14. p39

15. p99

16. La différenciation des séries nous permet en outre de travailler sur des séries stationnaires, condition requise par l'utilisation des modèles LSTR.

ne pas trop alourdir le modèle, nous limitons le nombre de retards possibles à 3. En incluant ces variables additionnelles, nous avons donc :

$$va_t = a + \mu' \begin{pmatrix} va_{t-1} \\ va_{t-2} \\ va_{t-3} \end{pmatrix} + \alpha' \begin{pmatrix} ihtic_t \\ ihtic_{t-1} \\ ihtic_{t-2} \\ ihtic_{t-3} \end{pmatrix} + \beta' \begin{pmatrix} itic_t \\ itic_{t-1} \\ itic_{t-2} \\ itic_{t-3} \end{pmatrix} \quad (7)$$

avec $a = \text{PGF}$, $\mu' = (\mu_1 \ \mu_2 \ \mu_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables va , $\alpha' = (\alpha_0 \ \alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables $ihtic$, $\beta' = (\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables $itic$.

Enfin, nous transformons cette précédente écriture en un modèle LSTR :

$$va_t = \phi' z_t + \theta' z_t G(\gamma, c, s_t) + \varepsilon_t \quad (8)$$

avec : $\phi' = (1, \ \mu, \ \alpha, \ \beta) =$ coefficients linéaires, $\theta' = (1, \ \tilde{\mu}, \ \tilde{\alpha}, \ \tilde{\beta}) =$ coefficients non-linéaires, $z'_t = (a, \ va_t, \ \dots, \ ihtic_t, \ \dots, \ itic_t, \ \dots) =$ ensemble des variables explicatives, et $\varepsilon_t =$ terme d'erreur.

Spécification 2

La seconde écriture va mobiliser les variables de services issus du capital. Les transformations appliquées à cette spécification sont quasiment les mêmes que pour la spécification 1. Nous avons :

$$VAHT_t = A * CSHTIC_t^\alpha * CSTIC_t^\beta \quad (9)$$

Nous transformons les variables en logarithme et nous leur appliquons une différenciation à l'ordre 1 ce qui donne avec une écriture simplifiée :

$$vaht_t = a + \alpha * cshtic_t + \beta * cstic_t \quad (10)$$

où $vaht_t = \Delta(\log VAHT_t)$, $a = (\log A)$, $cshtic_t = \Delta(\log CSHTIC_t)$, $cstic_t = \Delta(\log CSTIC_t)$.

De la même manière que pour la spécification 1, nous allons supposer que les valeurs retardées des variables explicatives et de la variable endogène peuvent influencer cette dernière avec un retard maximum à l'ordre 3. Cela nous permet d'écrire :

$$vaht_t = a + \mu' \begin{pmatrix} vaht_{t-1} \\ vaht_{t-2} \\ vaht_{t-3} \end{pmatrix} + \alpha' \begin{pmatrix} cshtic_t \\ cshtic_{t-1} \\ cshtic_{t-2} \\ cshtic_{t-3} \end{pmatrix} + \beta' \begin{pmatrix} cstic_t \\ cstic_{t-1} \\ cstic_{t-2} \\ cstic_{t-3} \end{pmatrix} \quad (11)$$

avec $a = \text{PGF}$, $\mu' = (\mu_1 \ \mu_2 \ \mu_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables $vaht$, $\alpha' = (\alpha_0 \ \alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables $cshtic$, $\beta' = (\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3) =$ coefficients pour le vecteur des variables $cstic$.

Enfin, nous transformons cette précédente écriture en un modèle LSTR :

$$vaht_t = \phi' z_t + \theta' z_t G(\gamma, c, s_t) + \varepsilon_t \quad (12)$$

avec : $\phi' = (1, \mu, \alpha, \beta)$ = coefficients linéaires, $\theta' = (1, \tilde{\mu}, \tilde{\alpha}, \tilde{\beta})$ = coefficients non-linéaires, $z'_t = (a, vaht_t, \dots, cshtic_t, \dots, cstic_t \dots)$ = ensemble des variables explicatives et ε_t = terme d'erreur.

Partant de ces deux spécifications, nous considérons trois variables de transition distinctes. Tout d'abord, nous allons tenter de saisir l'effet retard explicité précédemment en retenant le temps comme variable de transition. Le passage entre les deux régimes s'effectue après l'écoulement d'une certaine durée correspondant au délai d'ajustement. Par la suite, pour tenter de mettre à jour d'autres types d'effet de seuil, nous remplacerons le temps par la variation de la productivité en (t-1) et la variable TIC. Cela permettra de vérifier si les gains de productivité liés aux nouvelles technologies ne se matérialisent qu'au-delà d'une certaine variation de l'efficacité productive ou de la quantité d'investissements ou de services spécifiques.

2.4 Etapes de la modélisation

Nous démarrons la modélisation en considérant toutes les écritures possibles, comprenant la totalité des combinaisons des variables avec trois retards au maximum pour chacune d'elles. Tous ces modèles candidats sont envisagés pour chacune des trois variables de transition définies préalablement. Sur cette base est appliquée la procédure définie par Teräsvirta (1994,1998) qui débute par l'application d'un test de linéarité. Cette démarche s'avère relativement compliquée au sens où il existe un problème d'identification. Précisément, le paramètre c et les coefficients non-linéaires ne sont pas identifiés sous l'hypothèse nulle. Pour surpasser cet obstacle, Luukkonen, Saikkonen et Teräsvirta (1998) ont proposé une solution basée sur un développement de Taylor à l'ordre 1 qui permet de remplacer la fonction de transition G par son approximation.

Il s'agit ensuite de choisir la fonction de transition qui peut être logistique, logistique quadratique ou exponentielle. Pour cela, nous recourons à l'utilisation de plusieurs tests de Fisher avec des hypothèses spécifiques et retenons la fonction correspondant au plus fort rejet de l'hypothèse nulle.

Dans le cas où l'hypothèse nulle de linéarité est rejetée, nous procédons à l'estimation. Celle-ci s'effectue via un algorithme d'optimisation adapté aux situations non-linéaires, à savoir l'algorithme de Newton-Raphson. La dernière étape consiste en l'application de cinq tests de bonne spécification¹⁷ qui vont chercher à confirmer :

- l'absence d'autocorrélation des erreurs au moyen d'une version spécifique du test de Godfrey (1988) créé par Teräsvirta (1998) (1)
- l'absence de non-linéarité restante (2)
- la constance des paramètres (3)
- l'homoscédasticité grâce au test ARCH-LM (4)
- la normalité des résidus par le test de Jarque-Bera (5)

L'objectif dans un souci de parcimonie est de conserver au mieux un seul modèle par variable de transition et par pays donné. Nous choisissons d'ajouter trois critères afin de départager les modèles susceptibles d'être en concurrence :

17. La numérotation des tests sera utile pour la présentation des résultats.

- Les signes des coefficients doivent correspondre aux attentes, c'est-à-dire mettre à jour une relation positive entre la variation des variables TIC et celle de productivité du travail.
- Les valeurs de ces coefficients doivent être « vraisemblables ».
- Les modèles candidats ayant franchi toutes les étapes précédentes sont départagés sur la base des critères d'information (AIC, BIC, SIC).

3 Application empirique

3.1 Résultats de la modélisation

Présentation des résultats

La première étape de la phase de modélisation correspond aux tests de linéarité qui conditionnent la suite du travail empirique. Les résultats présentés dans le tableau 6 en annexe convergent pour tous les modèles retenus vers un diagnostic de non-linéarité. La deuxième étape est celle de l'estimation dont les résultats sont présentés dans les tableaux 3, 4 et 5. Quelques éclaircissements sont nécessaires pour bien comprendre ces derniers. Le tableau 3 synthétise les principales caractéristiques des modèles retenus, le tableau 4 présente tous les coefficients se rapportant au premier régime de chaque modèle tandis que le tableau 5 intègre tous les coefficients relatifs au deuxième régime.

TABLE 3 – Caractéristiques structurelles des modèles estimés

Pays	Spécification	Variable de transition	Fonction de transition	Seuil(s)	γ	Fréquence de passage du seuil	Tests validés
Australie	2	val t_{t-1}	LSTR1	0.01097	562.01194	22/37	1,3,4,5
Autriche	2	cst t_t	LSTR1	0.17753	1297.73349	10/31	1,2,4,5
Belgique	2	val t_{t-1}	LSTR1	0.02820	0.31289	12/36	1,4,5
Belgique	2	cst t_t	LSTR1	0.21802	64.82678	16/36	1,4,5
Belgique	2	Temps	LSTR1	7.49094	644.90557		1,2,4,5
Danemark	2	Temps	LSTR1	5.10138	232.96899		1,4,5
Espagne	1	va t	LSTR1	0.02889	166.45754	11/37	1,4,5
Espagne	2	Temps	LSTR1	6.41868	10.31161		1,4,5
Etats-Unis	2	Temps	LSTR1	2.99261	159.2541		1,4,5
France	2	val t_{t-1}	LSTR1	0.0362	298.59925	6/37	1,4,5
France	2	cst t_t	LSTR1	0.188	7.33264	4/37	1,4,5
France	2	Temps	LSTR1	5.87861	15.21891		1,4,5
Italie	2	val t_{t-1}	LSTR1	0.02481	7.33597	10/37	1,4,5
Italie	2	Temps	LSTR1	9.50189	731.80847		1,3,4,5
Japon	1	va t	LSTR1	0.02883	0.15248	14/33	1,4,5
Japon	1	it t_t	LSTR1	0.10704	369.82183	16/33	1,2,4,5
Japon	1	Temps	LSTR1	4.3097	31.73511		1,2,4,5
Pays-Bas	1	Temps	LSTR1	5.13051	16.45753		1,4,5
Royaume-Uni	1	va t	LSTR1	0.02093	465.0509	17/37	1,4,5
Royaume-Uni	2	Temps	LSTR2	0.68234	23.76823		1,4,5
				11.01119			

Note : Les valeurs en gras représentent les délais d'ajustement avant une expression positive des TIC sur la productivité du travail.

TABLE 4 – Coefficients estimés pour la partie linéaire des modèles (régime 1)

Pays	Spécification	Variable transition	a	μ_1	μ_3	α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2
Australie	2	vaht _{t-1}	0.03455**	-1.3746***							
Autriche	2	cstic _t	0.01665**			0.48755**					
Belgique	2	vaht _{t-1}	2.25255*				0.85415**				
Belgique	2	cstic _t				-0.9016***			-0.5112**	0.6431***	
Belgique	2	Temps									
Danemark	2	Temps	0.04477***								
Espagne	1	va _t		0.66531**		0.22327*					
Espagne	2	Temps		3.74553***							
Etats-Unis	2	Temps									
France	2	vaht _{t-1}	0.01752***								
France	2	cstic _t	0.02279***								
France	2	Temps					2.54395**	3.92087**	-3.1232**	0.76992*	
Italie	2	vaht _{t-1}	0.01266**								
Italie	2	Temps	0.03295***								
Japon	1	va _t			0.32587**						
Japon	1	itic _t	0.01895***			0.19161***					
Japon	1	Temps	0.04014***								
Pays-Bas	1	Temps	0.06789***								
Royaume-Uni	1	va _t	0.01987***								
Royaume-Uni	2	Temps				2.17954***	1.25857***	0.86394***		-0.1669***	-0.3671***

Note 1 : Les valeurs en gras représentent les coefficients TIC estimés.

Note 2 : Les symboles *, **, *** renvoient respectivement à une significativité à 10%, 5% et 1%.

TABLE 5 – Coefficients estimés pour la partie non-linéaire des modèles (régime 2)

Pays	Spécification	Variable	a	μ_1	μ_2	α_0	α_1	α_2	α_3	β_0	β_1	β_2
Australie	2	vaht _{t-1}	1.50312**							0.45924***	-0.22266***	
Autriche	2	cstic _t								0.28589**	0.33333**	
Belgique	2	vaht _{t-1}					1.54089**			0.29846***		
Belgique	2	cstic _t								0.1394***	-0.08979***	
Danemark	2	Temps	0.006***			0.42421**	0.50049*			0.074**		
Espagne	1	va _t	-0.04797**		-1.0275***	-0.40334***				0.62572***		
Espagne	2	Temps		-0.3575***		0.81269***				0.22508**		
Etats-Unis	2	Temps						0.58141***	0.43528***	0.08401**		
France	2	vaht _{t-1}								1.56219*		
France	2	cstic _t								0.62933*		
France	2	Temps					0.48492**	-0.0193**	0.23297*	0.09492**		
Italie	2	vaht _{t-1}								0.67007*	-0.40177*	
Italie	2	Temps								0.1293*		
Japon	1	va _t				2.88386*				0.09543**		
Japon	1	itic _t	0.00017*			1.02514**				0.12927**		
Japon	1	Temps	0.01793**							0.05196*		
Pays-Bas	2	Temps	0.00251***			-0.2083***				0.13871*		0.0612*
Royaume-Uni	1	va _t	-0.12918***	2.90964***		0.2445**	-0.4066***				0.22741**	0.14676*
Royaume-Uni	2	Temps				0.20543***	0.37384***	0.08694***		0.21538***		-0.0652***

Note 1 : Les valeurs en gras représentent les coefficients TIC estimés.

Note 2 : Les symboles *, **, *** renvoient respectivement à une significativité à 10%, 5% et 1%.

Enseignements méthodologiques

Nous pouvons d'abord tirer des enseignements de nature méthodologique :

- La spécification 2 affiche clairement de « meilleurs » résultats que la spécification 1 et ce pour toutes les variables de transition considérées. En dépit de la moindre disponibilité des autres variables, cela vient confirmer assez nettement l'intérêt des variables en termes de services du capital pour apprécier la quantité de capital et son lien avec la productivité.
- Le temps est la variable de transition la plus fréquemment retenue sur les trois considérées puisque c'est le cas pour neuf pays sur douze si l'on cumule les deux spécifications.
- Les « meilleurs » résultats sont obtenus avec une fonction de transition de type logistique simple. Seul, le Royaume-Uni rend compte d'un effet positif des nouvelles technologies sur la productivité du travail au moyen d'une fonction logistique quadratique¹⁸.
- La totalité des modèles est validée par les trois tests les plus importants à savoir l'absence d'autocorrélation des erreurs, l'homoscédasticité et la normalité des résidus. En revanche, les résultats issus des deux autres tests sont plus mitigés. Tout d'abord, pour certains modèles les hypothèses nulles renvoyant à l'absence de non-linéarité restante et de constance des paramètres sont rejetées. Dans ce cas nous avons conservé les modèles concernés en signifiant que la modélisation est informative mais qu'elle n'a pu « capturer » la totalité de la non-linéarité à l'œuvre dans le processus étudié. Nous pouvons penser que la dynamique observée est bien plus complexe ce qui rend notre modèle incapable d'en rendre compte intégralement. Mentionnons qu'une autre difficulté de nature numérique est apparue dans certains cas où l'algorithme n'a pu déboucher sur une solution satisfaisante. Nous attribuons cette difficulté à une quantité insuffisante de données.

Nature des résultats

La phase de modélisation permet de donner quelques éléments d'appréciation quant à la solidité de l'hypothèse de travail relative à un effet retardé des TIC sur la productivité. Nous relevons :

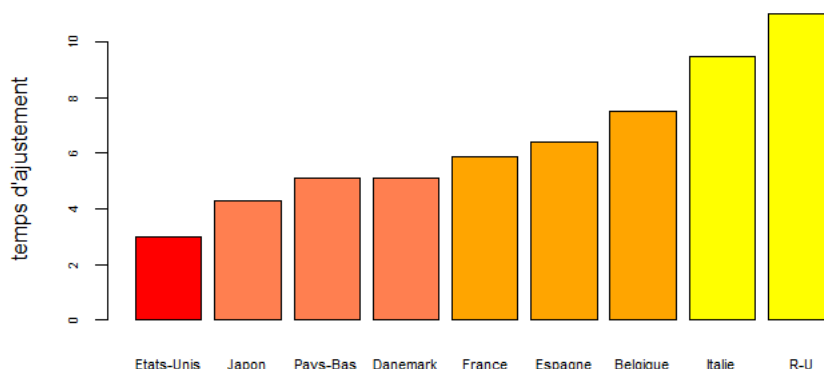
- l'absence d'effet positif et immédiat des TIC sur la productivité du travail. Dans tous les cas de figure hormis celui de la Belgique, elles n'ont pas d'impact bénéfique à court terme ce qui tend à conforter l'hypothèse de travail¹⁹. De manière inverse, dans la plupart des économies considérées, l'investissement hors nouvelles technologies peut avoir des conséquences positives immédiates tandis qu'un résidu assimilable à la variation de la PGF est observable dans les deux régimes des modèles. De plus nous notons pour certains pays l'existence d'une dépendance aux variables de productivité retardées.
- l'existence d'une hiérarchie temporelle entre les pays. Cela signifie que tous

18. Néanmoins sur cet exemple, le premier des trois intervalles de temps délimité est très court (inférieur à un an) ce qui suggère un quasi-découpage en deux périodes rapprochant le cas britannique d'une évolution logistique simple.

19. Précisons que nous trouvons néanmoins une cohérence du modèle concernant la Belgique car le coefficient TIC est négatif et qu'il n'est compensé que par un coefficient retardé.

n'ont pas le même temps d'ajustement avant l'expression positive des nouvelles technologies sur la productivité du travail. Ces différences peuvent être importantes (voir figure 1). Par exemple, le temps d'intégration des TIC est de l'ordre de 3 ans aux Etats-Unis alors qu'il est de près de 9 ans pour l'Italie ou 11 ans pour le Royaume-Uni. La position avancée des Etats-Unis semble en conformité avec l'état de la littérature²⁰.

FIGURE 1 – Comparaison du délai d'intégration des TIC par pays



Note : Les pays sont classés selon le délai nécessaire avant l'incidence positive des TIC. Les résultats présentés combinent les temps d'ajustement obtenus à l'aide des deux spécifications.

- la possibilité d'un effet négatif de court terme est visible dans les résultats, ce qui est le cas pour le Royaume-Uni et la France. Dans un premier temps, c'est-à-dire dans la composante linéaire du modèle (régime 1), les TIC ont une incidence négative sur la productivité du travail. Cela vient faire écho à la possibilité d'un coût significatif à l'introduction des TIC, argument avancé par Brynjolffson, Hitt et Yang (2002) et déjà mesuré par Berndt, Morrison et Rosenblum (1992). En revanche, ce comportement n'est pas dans notre étude vérifié à grand échelle. Le délai d'ajustement consacre plutôt en général une absence d'effet visible.
- un phénomène de compensation concernant le lien entre la fréquence de passage du seuil et la valeur du coefficient TIC lorsque la variable de transition est la variation du niveau d'investissement en TIC ou celle de la productivité en $(t-1)$. Plus le seuil est franchi fréquemment, moins la valeur de l'élasticité TIC est importante et inversement. On pourrait représenter ce comportement par une courbe décroissante sur la figure 4²¹.

20. Voir Colecchia et Schreyer (2001), Gordon (2002) et Cette, Mairesse et Kocoglu (2005).

21. Voir en annexe.

3.2 Le rôle des facteurs complémentaires

Nos résultats présentés dans les lignes précédentes peuvent en partie être interprétables sur la base des facteurs complémentaires énoncés dans la première section.

Facteur organisationnel

L'hypothèse d'une détermination du cadre organisationnel semble être présente dans nos résultats. Sur ce point, il faut remarquer par exemple que les Etats-Unis qui affichent le temps d'intégration des TIC le plus court à l'issue des estimations proposent de manière globale une forte fluidité organisationnelle comme l'a souligné Gordon (2002). Ce dernier note qu'une des raisons qui explique la meilleure synergie entre nouvelles technologies et productivité dans ce pays est la qualité du management qui serait plus souple et enclin à réformer certains modes de fonctionnement internes aux entreprises.

Afin d'expliquer pourquoi d'autres pays font valoir un délai d'ajustement relativement plus important que les Etats-Unis, le critère de l'organisation peut également être mobilisé. En plus de nous renseigner sur les situations relatives, il peut également nous éclairer sur la nature du délai d'ajustement qui n'est pas forcément identique pour toutes les économies. En s'intéressant aux résultats spécifiques du Japon, nous pouvons le situer dans les pays ayant tiré bénéfice des nouvelles technologies rapidement. Néanmoins, il cède presque un an et demi de délai supplémentaire aux Etats-Unis. Parmi les facteurs rendant potentiellement compte de cette situation, Kanamori et Motohashi (2007) signalent une certaine inertie dans la structure sociale des entreprises japonaises dans l'absolu et en comparaison avec leurs homologues sud-coréennes. Selon eux, une certaine frilosité face au changement, l'absence de prise de décisions rapides et la forte hiérarchisation ont pu provoquer une sous-utilisation des capacités informationnelles et technologiques disponibles. Cet argument est tout à fait intéressant au sens où il vient expliquer pourquoi ce pays très avancé sur le plan technologique a besoin d'un temps d'ajustement. La poussée technologique serait freinée par l'organisation verticale des entreprises locales alors que les TIC selon Kangasniemi et Robinson (2008) nécessitent un cadre plus décentralisé et horizontal.

Rôle du capital humain

Le second argument ayant justifié l'hypothèse de travail est le rôle crucial du capital humain. Certains éléments dans les résultats viennent appuyer cette idée. Cette et Lopez (2008) y voient par exemple la clé du décalage d'ajustement entre les Etats-Unis d'une part et la France et le Japon d'autre part. Cette observation est bien présente dans nos résultats.

Par ailleurs, ce type de justification peut probablement aussi être appliqué à d'autres cas. Nous pouvons supposer par exemple que les temps d'ajustement assez faibles (relativement à d'autres pays) du Danemark et des Pays-Bas s'expliquent en partie par le haut niveau de qualification de leur population active. Pour le premier de ces deux pays, le constat est fait dans une étude publiée par l'OCDE (2009) qui voit l'influence ancienne de la qualité de l'éducation danoise sur ses performances écono-

miques. De surcroît, à partir des années 1990, ces deux pays se sont lancés dans une politique dite de « Flexisécurité » qui implique ce que Madsen (2006) appelle un « triangle d'or » alliant une forte souplesse dans les embauches et les licenciements, des indemnités chômage très importantes et une contrepartie obligatoire de formation. Cette option politique bien que tardive dans l'intervalle ayant servi à l'estimation peut clairement jouer dans la dynamique non-linéaire des modèles finaux.

Il est également tout à fait envisageable d'interpréter des positions reculées dans la hiérarchie obtenue grâce à l'étude économétrique par des considérations sur le capital humain. L'Italie est, abstraction faite du Royaume-Uni, le pays ayant le temps d'ajustement le plus long à hauteur de 9.5 années. Cette position peut être partiellement expliquée par le travail de Mas, Milana et Serrano (2008) qui se sont intéressés spécifiquement aux variations de la productivité en Espagne et en Italie. Concernant l'Italie, il a été constaté sur les trois dernières décennies une augmentation générale de la part de la main d'œuvre qualifiée dans le nombre d'heures travaillées mais celle-ci est bien plus faible qu'au Japon, aux Etats-Unis ou par rapport à la moyenne de l'Union Européenne. Cette divergence est observée aussi bien en 1980, 1995 ou en 2005 soit trois dates incluses dans l'intervalle de diffusion des TIC. Cela peut nettement contribuer à expliquer la position reculée de l'Italie en matière de délai d'ajustement. Ce pays souffrirait d'un déficit de main d'œuvre qualifiée et/ou d'un manque de secteurs mobilisant ce type de main d'œuvre et donc utilisant des technologies avancées.

Flexibilité des marchés du travail et des biens

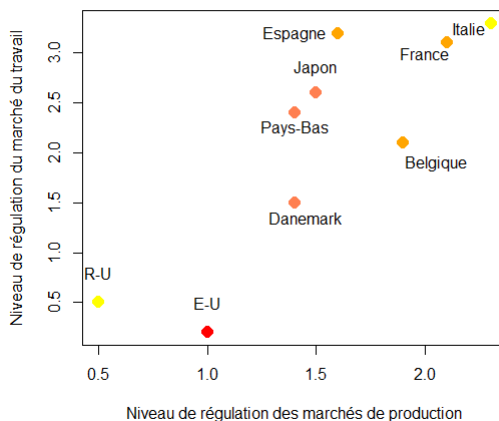
Le troisième facteur explicatif ayant servi à justifier notre hypothèse de non-linéarité est la flexibilité des marchés du travail et des biens. Cet argument est naturellement relié aux deux précédents car il est un vecteur qui influence le degré de souplesse de l'organisation des entreprises et la facilité de mobilisation de la main d'œuvre qualifiée. Il conditionne également l'accessibilité des produits technologiques et informationnels pour les entreprises consommatrices.

Sur cette base, il semble possible de rendre compte de la situation différenciée des pays en termes de temps d'ajustement. Pour cela nous pouvons nous appuyer sur le travail de Nicolletti, Scarpetta et Boylaud (2000) qui ont mis au point des indicateurs de flexibilité pour les marchés des biens et celui du travail²². La figure 2 reprend les résultats obtenus par ces auteurs pour les pays qui nous intéressent spécifiquement.

Cette représentation est intéressante car elle montre une forte correspondance entre nos résultats et les niveaux de flexibilité des pays étudiés. En effet, les pays présentant un délai d'intégration des TIC court affichent une faible rigidité des marchés du travail et des biens et inversement. A deux exceptions près (Japon et

22. Il est important de préciser que ces indicateurs sont calculés pour l'année 1998 ce qui pourrait poser problème car il ne s'agit que d'une mesure ponctuelle alors que nous nous intéressons à une diffusion dans un intervalle d'un peu moins de quarante ans. Ce risque est minimisé par les résultats pour l'année 1990 présentés dans la même étude qui montrent une évolution très faible des valeurs calculées. Cela semble affirmer que les cadres institutionnels sont relativement stables et que nous pouvons donc utiliser ces indicateurs dans une perspective plus large.

FIGURE 2 – Niveau de flexibilité des marchés de production et du travail



Royaume-Uni), nous retrouvons la hiérarchie des groupes établie par notre analyse économétrique.

3.3 L'influence d'autres différences structurelles

Niveau et dynamique de productivité

Les valeurs des coefficients TIC et surtout des délais d'ajustement peuvent sans doute être mises en lien avec les niveaux et les taux de croissance de la productivité pour les pays considérés. Dans cet ordre d'idée, il est possible de supposer l'existence d'une corrélation entre un fort niveau ou taux de croissance de la productivité et un impact rapide et important des TIC. Les gains de productivité nouveaux seraient soit conditionnés à l'atteinte préalable d'un niveau suffisant d'efficacité, soit à une forte variation de celle-ci. Il semble également plausible d'envisager un phénomène inverse caractérisé par un rattrapage de l'efficacité pour les pays les moins productifs grâce aux nouvelles technologies. Gerschenkron (1962) qui parlait de « the advantages of economic backwardness » notait que le Japon avait comblé son retard économique sur la fin du XIXème siècle grâce à l'adoption de technologies étrangères.

Un regard attentif sur les résultats ne semble pas confirmer cette dernière hypothèse. Si nous nous intéressons d'abord à la productivité du travail en termes de niveau, l'impression d'une corrélation positive entre forte productivité dans l'absolu et contribution des nouvelles technologies paraît acquise. Par exemple, Kegels, Pender et van der Wiel (2008) relèvent que les Pays-Bas affichent un niveau d'efficacité productive très important et dans le même temps ils apparaissent dans nos résultats à une position de tête dans l'ampleur de la séquence d'intégration des TIC. Ce rapprochement ne peut par contre pas être fait pour la Belgique, pays également efficace mais dont l'ajustement apparaît plus étendu. Sur le même plan mais pour appuyer des situations inverses, les observations faites par Mas, Milana et Serrano (2008) sur l'Espagne et Italie nous poussent à lier une faible productivité (relativement aux autres pays considérés) à une diffusion plus lente des nouvelles technologies.

En s'arrêtant à présent sur la dynamique de la productivité, nous pouvons aussi remarquer que les pays ayant un délai d'ajustement relativement court observent une croissance importante de la productivité sous toutes ses formes que ce soit à long ou court terme. Cette, Mairesse et Kocoglu (2009) montrent que c'est le cas pour les Etats-Unis, la France et le Japon. En revanche, le Royaume-Uni, bien qu'ayant gagné en efficacité sur la même période, obtient une valeur de seuil beaucoup plus importante.

Orientation productive

Il est également possible d'anticiper une éventuelle liaison entre la nature du tissu productif des économies étudiées et la sensibilité de la productivité à l'introduction des nouvelles technologies. Certains pays occupant une place en fin de classement montrent une orientation productive moins favorable aux nouvelles technologies relativement aux autres pays considérés. Par exemple, l'Italie est marquée par une très forte prégnance du secteur touristique tout comme l'Espagne qui s'est aussi longtemps appuyée sur la construction et l'immobilier. L'importance de ces secteurs pour ces pays peut traduire une moins grande exposition à la diffusion des TIC et donc aux possibles effets positifs sur l'efficacité du travail.

De manière inverse, nous pouvons lier la nature de l'orientation productive avec un impact plus rapide des nouvelles technologies sur la productivité du travail. Le cas américain est ici très informatif. Gordon (2005) justifie la spécificité américaine en partie par la présence plus forte dans son économie d'activités usant massivement des TIC avec en plus un appui des pouvoirs publics en faveur de cette orientation. Au niveau producteur, il évoque aussi l'existence de mesures publiques adaptées qui favoriseraient le financement des innovations. Ces dernières bénéficieraient d'une bonne complémentarité entre la recherche publique et la recherche privée. La vigueur de ce secteur producteur de TIC est manifeste comme en atteste la très grande représentation d'entreprises américaines à l'échelle mondiale. Un autre exemple est celui du Japon qui occupe la seconde place au niveau du temps d'intégration. Cela peut être mis en relation avec la forte implication des entreprises japonaises sur des secteurs clés. En effet, ce pays est numéro un mondial²³ sur le plan de la production de matériel électronique et se positionne massivement dans des domaines comme la construction automobile, les télécommunications et la fabrication de matériel informatique.

23. Voir le classement établie par *Fortune* : <http://money.cnn.com/magazines/fortune/global500>

Conclusion

L'objet de cet article est d'étudier la relation entre la diffusion des TIC et la productivité du travail en accordant une attention particulière à la présence de non-linéarité dans cette relation. Cette non-linéarité est justifiée par l'existence d'un effet retard dans l'impact sur la productivité du travail. Au-delà de ce temps d'intégration, elles engendreraient des gains de productivité d'une nature nouvelle. Cette proposition s'est appuyée sur des arguments théoriques empruntant à une littérature spécifique et au corpus de l'économie des réseaux. Elle sous-entend que les TIC nécessitent une quantité importante d'ajustements de diverses natures pour avoir un rendement plein. L'identification de ce type de dynamique est effectuée grâce à l'utilisation d'un modèle à changement de régime avec une transition douce (modèle LSTR) auquel nous avons intégré des données d'investissement et de services issus du capital. L'application économétrique a porté sur un échantillon de douze pays sur la période 1970-2007.

Nos résultats ont mis en évidence l'existence d'un temps d'intégration des TIC pour la majorité des pays étudiés (neuf sur douze). Ce délai d'ajustement est en outre variable selon les pays. Nous avons pu relier partiellement ces variations à des différences structurelles existant entre les économies considérées en termes de facteur organisationnel, de qualité de capital humain, de degré de rigidité des marchés du travail et des biens, de dynamique de la productivité, et d'orientation productive.

Plusieurs extensions peuvent être suggérées. Il serait intéressant de mener une analyse sectorielle afin de mettre à jour des différenciations importantes selon les secteurs. L'investissement hors TIC pourrait être retenu comme variable de transition afin de saisir la complémentarité des types de capitaux. Enfin, il pourrait être pertinent d'approfondir la modélisation de la dynamique non-linéaire en tenant compte d'un nombre de régimes supérieur à deux.

Bibliographie

van Ark et Inklaar (2005) « Catching Up or Getting Stuck? Europe's Problems to Exploit ICT's Productivity Potential », Working paper nr. 7, September.

van Ark, B., O'Mahony, M. et Timmer, M.P. (2008) « The productivity gap between Europe and the U.S. : trends and causes », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 22(1), vol. 25–44.

Askenazy P. et Gianella C. (2000) « Le paradoxe de productivité : les changements organisationnels, facteur complémentaire à l'informatisation », *Économie et statistique*, Vol. 339, No 339-340, pages 219–241.

Berndt, E. R. et Morrison C. J. (1991) « Computers Aren't Pulling Their Weight », *Computerworld*, December 9, pp. 23-25.

Berndt, E. R., Morrison, C. J. et Rosenblum L. S. (1992) « High-tech Capital Formation and Labor Composition in U.S. Manufacturing Industries : an Exploratory Analysis », National Bureau of Economic Research Working Paper No. 4010, March.

Brynjolfsson, E., Hitt, L. M., et Yang, S. (2002) « Intangible Assets : Computers and Organizational Capital », *Brookings Papers on Economic Activity : Macroeconomics*, 1, 137-99.

Brynjolfsson E. et Hitt L.M. (2003) « Computing Productivity : Firm-Level Evidence », *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 85(4), pages 793-808, November.

Caroli E. et van Reenen J. (2001) « Skill Biased Organisational Change? Evidence from British and French Establishments », *Quarterly Journal of Economics*, CXVI(4), 1449-1492.

Cette G. et Lopez J. (2008) « What Explains the ICT Diffusion Gap Between the Major Industrialized Countries : An Empirical Analysis? », *International Productivity Monitor*, no 17.

Cette G., Mairesse J. et Kocoglu Y. (2002a) « Croissance économique et diffusion des TIC : le cas de la France sur longue période (1980-2000) », *Revue Française d'Économie*, Vol.XVI, no 3, janvier.

Cette G., Mairesse J. et Kocoglu Y. (2005) « Effets de la diffusion des technologies de l'information sur la croissance potentielle et observée », *L'Actualité Économique*, Société Canadienne de Science Économique, vol. 81(1), pages 203-230, Mars-Juin.

Cette G., Mairesse J. et Kocoglu Y. (2009) « La productivité en France, au Japon, aux États-Unis et au Royaume-Uni au cours du XXe siècle », *Revue de l'OFCE*, 2009/4 no 111, p. 5-37.

Colecchia, A. et P. Schreyer (2001) « ICT Investment and Economic Growth in the 1990s : Is the United States a Unique Case? A Comparative Study of Nine OECD Countries », *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2001/7, OECD Publishing.

- Crespi G., Criscuolo C., et Haskel J. (2007) « Information Technology, Organisational Change and Productivity Growth : Evidence from UK Firms », CEP Discussion Paper,783.
- Curien N. (2005) « L'économie des réseaux », Editions La découverte, Paris.
- David P.A. (1989) « Computer and dynamo : The Modern Productivity Paradox in a Not-Too-Distant Mirror », Center for economic Policy Research, No 172, Stanford University, July.
- David, P. A. (1990) « The Dynamo and the Computer and Dynamo : A Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox », American Economic Review Papers and Proceedings, Vol. 80(2) : 355-361, May.
- David P.A. et Wright G. (2005) « General Purpose Technologies and Productivity Surges : Historical Reflections on the Future of the ICT Revolution », All souls college, Stanford University.
- Draca M., Sadun R. et Van Reenen J. (2006) « Productivity and ICT : A Review of the Evidence », CEP Discussion Paper No 749 August.
- FMI (2001) « World economic outlook », October (Washington).
- Franke R. H. (1987) « Technological Revolution and Productivity Decline : Computer Introduction in the Financial Industry », Technological Forecasting and Social Change, Vol. 31 : 143-154.
- Gerschenkron A. (1962) « Economic backwardness in historical perspective ».
- Godfrey L.G. (1988) « Misspecification tests in econometrics », Cambridge.
- Gordon R. J. (2000 b) « Does the new economy measure up to the great inventions of the past ? », Journal of Economic Perspectives, Vol.14, No 4.
- Gordon R. J. (2002) « Technology and Economic Performance in the American Economy », NBER Working Papers 8771, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Gordon R. J. (2005) « Pourquoi, pendant que la locomotive de la productivité se mettait en branle aux Etats-Unis, l'Europe est-elle restée en gare ? », L'Actualité économique, Revue d'analyse économique, Vol. 81, no 1-2, mars-juin.
- Greenan N. et Mangematin V. « Informatisation et performances : contradictions et analogies à l'ombre de l'organisation », in Foray, D., Mairesse, J., Innovations et performances : Approches interdisciplinaires, Editions de l'EHESS, pp. 43-76.
- Hurlin C. (2006) « Networks Effects in the Productivity of Infrastructures in Developing Countries », World Bank Policy Research Working Papers 3808.
- Jorgenson, D. W. et K. J. Stiroh (1995), « Computers and Growth », Economics of Innovation and New Technology, Vol. 3, No. 3-4, 295-316.

Jorgenson, D. W. et K. J. Stiroh (2000) « Raising the Speed Limit : US Economic Growth in the Information Age », OECD Economics Department Working Papers, No. 261, OECD Publishing.

Jorgenson, D. W., M. S. Ho et K. J. Stiroh (2007) « A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence », Federal Reserve Bank of New York Staff Reports, no. 277.

Kanamori T. et Motohashi K. (2006) « Centralization or Decentralization of Decision Rights? Impact on IT Performance of Firms », RIETI Discussion Paper Series 06-E-032, Tokyo.

Kangasniemi M. et Robinson C. (2008) « The impact of organisational change on productivity. Sectoral evidence from the UK », 1995-2005, EU Klems project, August.

Kegels C., Peneder M. et van der Wiel H. (2008) « Productivity performance in three small European countries : Austria, Belgium and the Netherlands », April.

Lee Y. et Khatri H. (2003) « Information technology and productivity growth in asia », FMI Working Paper 03/15.

Loveman G.W. (1988) « An Assessment of the Productivity Impact of Information Technologies », Management in the 1990s, The MIT Press, July 1988.

Loveman G.W. (1994), « Information Technology and the Corporation of the 1990s », Assessing the Productivity Impact of Information Technologies, Oxford University Press, New York.

Lutkepohl H. et Kratzig M. (2004) « Applied Time Series Econometrics », Cambridge University Press, Cambridge.

Luukkonen R., Saikkonen P. et Teräsvirta T. (1998) « Testing Linearity against Smooth Transition AutoRegressive Models », *Biometrika*, 75, pp. 491-499.

Madsen P.-K. (2006) « How Can It Possibly Fly? The Paradox of a Dynamic Labour Market in a Scandinavian Welfare State », in Campbell J. L., Hall J. A., Pedersen O. K. (eds.), *National Identity and the Varieties of Capitalism. The Danish Experience*, DJØF Publishing, Copenhagen.

Mas M., Milana C. et Serrano L. (2008) « Spain and Italy : Catching up and falling behind. Two different tales of productivity slowdown », EU Klems project.

Moore G. (2005) « Gordon Moore, cofondateur d'Intel : "La loi de Moore continuera de se vérifier à court terme" », interview de Michael Kanellos, ZDNet France. Publié le mercredi 13 avril, <http://www.zdnet.fr/actualites/gordon-moore-cofondateur-d-intel-la-loi-de-moore-continuera-de-se-verifier-a-court-terme-39217351.htm>.

Nicoletti G., Scarpetta S., et Boylaud O. (2000) « Summary indicators of product market regulation with an extension to employment protection legislation », Economics Department Working

Paper 226, OECD, April.

OCDE(2001) « La mesure du capital, La mesure des stocks de capital, de la consommation de capital fixe et des services du capital », Manuel de l'OCDE.

OCDE (2009) « Etude économique du Danemark », Synthèse, Novembre.

Oliner S. D. et Sichel D. E. (1994) « Computer and Output Growth Revisited : How Big Is the Puzzle? », Brookings Papers on Economic Activity, vol. 2, pp. 273-317.

Osterman P. (1986) « The Impact of Computers on the Employment of Clerks and Managers », Industrial and Labor Relations Review, Vol. 39 : 175-186.

Rifkin J. (2011) « The Third Industrial Revolution : How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World », Palgrave Macmillan.

Roach, S. S. (1987) « America's Technology Dilemma : A Profile of the Information Economy », Morgan Stanley Special Economic Study, April.

Roach, S. S. (1991) « Services under Siege : the Restructuring Imperative », Harvard Business Review 39(2) : 82-92, September-October.

Rosenberg N. (1982) « Inside the Black Box : Technology and Economics », Cambridge University Press, Cambridge.

Siegel D. et Griliches, Z. (1992) « Purchased Services, Outsourcing, Computers, and Productivity in Manufacturing », in Griliches et al. (Ed.), Output Measurement in the Service Sectors, University of Chicago Press.

Siegel D. (1994) « The Impact of Computers on Manufacturing Productivity Growth : A Multiple-Indicators, Multiple-Causes Approach », SUNY at Stony Brook Working Paper, May.

Solow R. (1987) « We'd better watch out », New York Times Book Review, page 36, 12 juillet.

Teräsvirta T. (1994) « Specification, Estimation and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models », Journal of the American Statistical Association, vol. 89, pp. 208-218.

Teräsvirta T. (1998) « Modelling economic relationships with smooth transition regression », In : Handbook of Applied Economic Statistics. Marcel Dekker : New York. pp. 507-522.

Timmer M.P., Ypma G. et van Ark B. (2003) « IT in the European Union : driving productivity divergence? », GGDC Research Memorandum 200363, Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen.

Schumpeter J. (1934) « The Theory of Economic Development », Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Annexes

TABLE 6 – Résultats des tests de linéarité pour les modèles sélectionnés

Pays	Spécification	Variable de transition	F	F4	F3	F2	Transition suggérée
Australie	2	vah_{t-1}	4.0183e-02**	5.5905e-02*	8.6779e-01	2.0341e-02**	LSTR1
Autriche	2	$cstict$	2.1784e-02**	4.5299e-02**	4.7537e-02**	4.9998e-01	LSTR1
Belgique	2	vah_{t-1}	3.8393e-04***	2.4871e-02**	1.3571e-03***	1.5298e-01	LSTR2
Belgique	2	$cstict$	3.2461e-02**	5.2408e-02*	2.1496e-01	1.6993e-01	LSTR1
Belgique	2	$Temps$	5.6390e-03***	2.1840e-02**	3.6841e-02**	2.7282e-01	LSTR1
Danemark	2	$Temps$	4.8984e-02**	8.2177e-02*	9.9555e-01	4.4297e-03	LSTR1
Espagne	1	vat	7.8372e-04***	5.3532e-03***	1.6936e-01	1.0496e-02	LSTR1
Espagne	2	$Temps$	6.8369e-03***	1.7692e-01	2.1972e-03***	1.4935e-03***	LSTR1
Etats-Unis	2	$Temps$	7.0672e-03***	1.4278e-02**	1.8725e-01	1.1162e-01	LSTR1
France	2	vah_{t-1}	1.8089e-04***	8.7782e-02*	2.9549e-02**	4.6281e-04***	LSTR1
France	2	$cstict$	9.0451e-06***	1.2880e-01	1.6403e-01	1.2601e-06***	LSTR1
France	2	$Temps$	4.8332e-02**	4.8008e-02**	4.2856e-01	3.9635e-01	LSTR1
Italie	2	vah_{t-1}	8.7792e-05***	4.7086e-05***	9.2290e-01	2.4744e-02**	LSTR1
Italie	2	$Temps$	2.3356e-02**	1.7339e-02**	8.4905e-01	4.3965e-02**	LSTR1
Japon	1	vat	2.3168e-05***	8.0959e-02*	2.0507e-01	3.7011e-06***	LSTR1
Japon	1	$itict$	3.2426e-02**	1.7465e-01	9.1660e-01	4.6372e-03***	LSTR1
Japon	1	$Temps$	2.5867e-03***	1.9142e-01	1.0931e-02**	6.2132e-03***	LSTR1
Pays-Bas	1	$Temps$	3.4087e-02**	3.0889e-01	2.2947e-02**	2.6446e-02**	LSTR1
Royaume-Uni	1	vat	5.5411e-04***	7.7646e-04***	3.1028e-01	9.0755e-02*	LSTR1
Royaume-Uni	2	$Temps$	4.6364e-02**	5.7317e-01	3.2602e-03***	7.0190e-02*	LSTR2

Note 1 : Les notations F, F4, F3, F2 correspondent à des F-statistiques et les valeurs à des p-values. Le rejet de l'hypothèse nulle correspond à la présence de non-linéarité, de non-linéarité de type LSTR1, de non-linéarité de type LSTR2 et de non-linéarité de type Teräsvirta (1998). Pour accéder au détail de cette procédure voir Teräsvirta (1998).

FIGURE 3 – Graphiques récapitulatifs des résultats de la modélisation

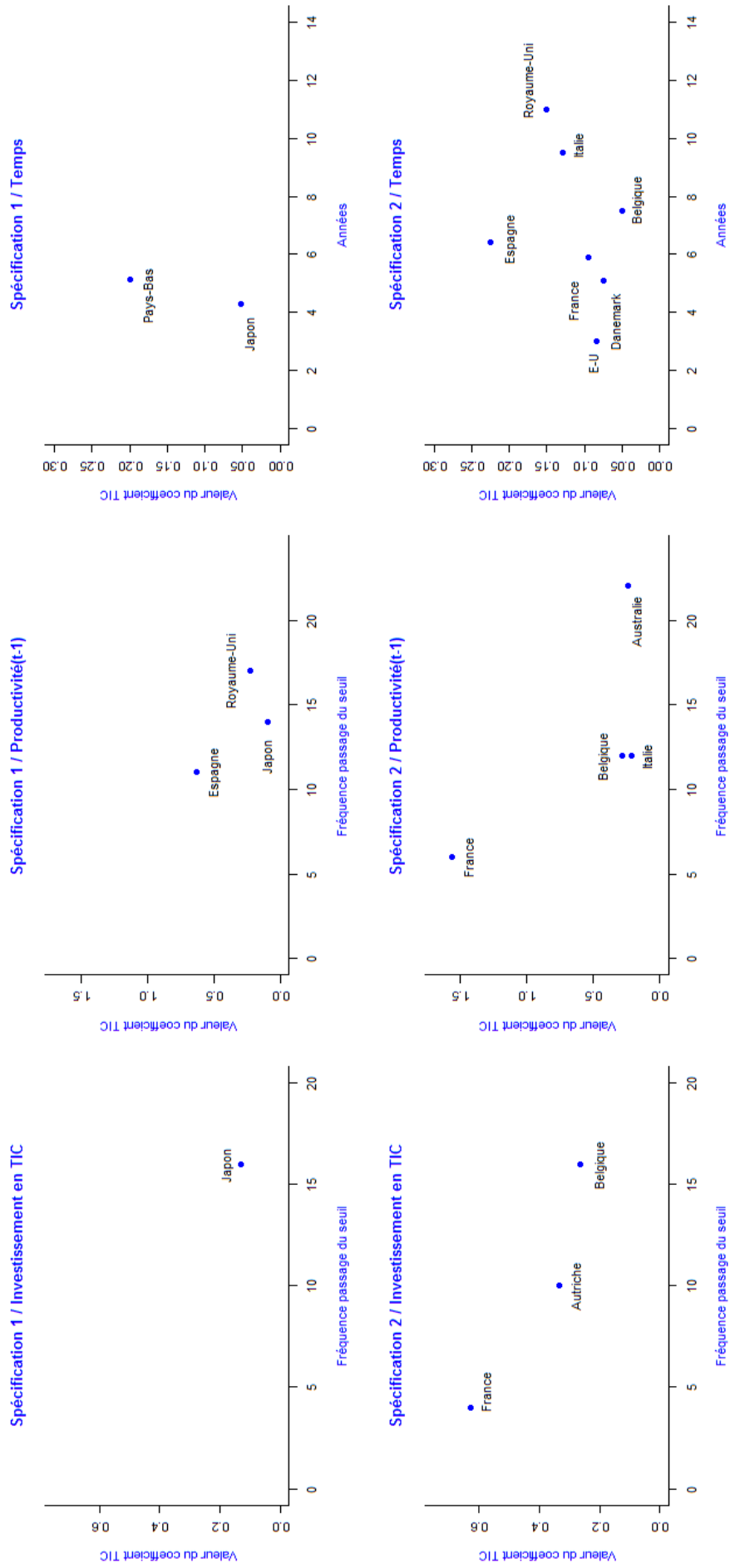


TABLE 7 – Récapitulatif des facteurs influençant l'impact des TIC sur la productivité par pays

Pays	Facteur organisationnel	Flexibilité des marchés du travail et des biens	Capital humain	Niveau et variation productivité	Diffusion des TIC	Orientation productive	Autres
Belgique		Rigidité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)		Haut niveau de productivité (Kegels et al, 2008)			
Danemark		Fort flexibilité du marché du travail (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000), Flexisécurité	Système éducatif performant (OCDE, 2009)		Diffusion précoce TIC (graphique 6)		
Espagne		Rigidité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)		Faible niveau de productivité (Mas et al, 2008)		Poids important de secteurs non-technologiques	
Etats-Unis	Management adapté (Gordon, 2002)	Fort flexibilité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)	Main d'oeuvre très qualifiée (Certe et Lopez, 2008)	Niveau important et évolution positive de la productivité (Certe et al, 2009)	Plus forte présence d'entreprises consommatrices de TIC (Gordon, 2005)	Fort implication des entreprises américaines sur les secteurs hautement technologiques	Partenariat public-privé dans la recherche particulièrement efficace (Gordon, 2005)
France		Rigidité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)		Niveau important et évolution positive de la productivité (Certe et al, 2009)			
Italie		Rigidité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)	Déficit de main d'oeuvre qualifiée (Mas et al, 2008)			Poids important de secteurs non-technologiques	
Japon	Rigidités organisationnelles (Kanamori et Motohashi, 2007)	Rigidité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000), Importance de l'emploi à vie « <i>shushin koyo seido</i> »	Dualité des qualifications	Niveau important et évolution positive de la productivité (Certe et al, 2009)		Fort implication des entreprises japonaises sur les secteurs hautement technologiques	
Pays-Bas		Flexibilité importante des marchés des biens du travail (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000), Flexisécurité		Haut niveau de productivité (Kegels et al, 2008)			
Royaume-Uni		Fort flexibilité des marchés du travail et des biens (Nicoletti, Scarpetta et Boylaud, 2000)		Niveau important et évolution positive de la productivité (Certe et al, 2009)			

Note : Chaque argument est justifié par une référence. En cas d'absence, cela renvoie aux analyses propres à l'auteur explicitées dans les paragraphes précédents.