

## **Comportement de demande de TIC : une comparaison internationale**

Gilbert Cette\* et Jimmy Lopez\*\*

### **Résumé :**

*Une abondante littérature a montré sur les dernières années que le niveau de diffusion des TIC, et en conséquence les effets favorables de cette diffusion sur la productivité, diffèrent grandement entre les principaux pays industrialisés, les Etats-Unis étant le pays où la diffusion serait la plus forte. Cependant, du fait de la difficulté à mobiliser pour cela des données appropriées, peu de modélisations économétriques ont encore été réalisées pour apporter des éléments d'explication aux importants écarts observés de diffusion des TIC entre pays. Dans le prolongement de quelques rares analyses antérieures, celle ici proposée vise à apporter des éléments d'explication empiriques des écarts de diffusion des TIC entre pays industrialisés, en particulier des pays du continent européen, vis-à-vis des Etats-Unis. Les données mobilisées concernent onze pays de l'OCDE : l'Autriche, le Danemark, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et les Etats-Unis. Elles sont macroéconomiques, annuelles et portent sur la période 1981-2005.*

*Les estimations réalisées fournissent une lecture des facteurs de diffusion des TIC et des écarts de cette diffusion vis-à-vis des Etats-Unis. Plusieurs résultats originaux ressortent de l'analyse : (i) l'influence du niveau d'éducation et des rigidités de marchés sur la diffusion des TIC se serait sensiblement modifiée dans le temps. La corrélation de la diffusion des TIC, positive avec le niveau d'éducation et négative avec les rigidités de marchés, est croissante (en valeur absolue) dans le temps pour se stabiliser vers le milieu des années 1990 ; (ii) Les estimations réalisées aboutissent dans tous les pays considérés à une baisse (en valeur absolue) au cours du temps de l'élasticité prix de la demande de TIC. Plus précisément, l'élasticité de substitution des TIC vis-à-vis de l'ensemble des facteurs de production serait proche ou supérieure à 2 au début de la décennie 1980 pour devenir très proche de 1 au milieu de la décennie 2000 ; (iii) Elles confirment également une influence (positive) de la proportion de diplômés du supérieur et (négative) des rigidités de marchés sur la diffusion des TIC. Ces effets sont accentués quand la diffusion des TIC est déjà importante.*

**Classification JEL :** E22, O47, O57, R24

**Mots clés :** TIC, investissement, demande de facteurs, productivité

\* : Banque de France et Université de la Méditerranée (DEFI)

\*\* : Banque de France

Les analyses présentées dans cette étude n'engagent que ses auteurs et non les institutions qui les emploient.

## **1. Introduction**

Sur le moyen-terme, les gains de productivité sont fortement liés aux transformations de la combinaison productive liées aux évolutions technologiques et à l'innovation. A ce titre, sur les dernières décennies, la révolution technologique associée à l'émergence et à la diffusion des technologies de l'information et de la communication (TIC par la suite) a apporté une contribution importante aux gains de productivité observés dans les pays industrialisés (voir par exemple, pour une revue de littérature, Cette, Kocoglu et Mairesse, 2008).

Une abondante littérature (par exemple OCDE, 2003) a montré sur les dernières années que le niveau de diffusion des TIC, et en conséquence les effets favorables de cette diffusion sur la productivité, diffèrent grandement entre les principaux pays industrialisés, les Etats-Unis étant le pays où la diffusion serait la plus forte. Cependant, du fait de la difficulté à mobiliser pour cela des données appropriées, peu de modélisations économétriques ont encore été réalisées pour apporter des éléments d'explication aux importants écarts observés de diffusion des TIC entre pays. Ces travaux aboutissent à écarter d'éventuelles différences d'élasticité prix, qui resteraient d'ailleurs à expliquer, des facteurs explicatifs (Cf. Cette, Lopez et Noual, 2004, 2005) et aboutissent à trouver une influence qui serait assez marquée de facteurs comme le niveau d'éducation supérieure de la population en âge de travailler et des rigidités sur les marchés de biens et du travail (Cf. Aghion et alii, 2007). Les résultats et les enseignements de ces premières analyses restent cependant à conforter et approfondir. Tel est l'objet de la présente étude.

L'analyse empirique ici proposée vise donc à apporter des éléments d'explication des écarts de diffusion des TIC entre pays industrialisés, en particulier des pays du continent européen, parmi lesquels la France, vis-à-vis des Etats-Unis. Elle se situe dans le prolongement des précédentes analyses qui viennent d'être rappelées.

Les données mobilisées pour cette analyse empirique concernent onze pays de l'OCDE : l'Autriche, le Danemark, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et les Etats-Unis. Elles sont annuelles et portent sur la période 1981-2005. Les données initiales sont essentiellement reprises de la base EU-KLEMS et des bases de l'OCDE. Certaines variables, comme les indices de prix de l'investissement (qui permettent le calcul du volume de l'investissement), le capital productif et le coût d'usage du capital ont fait l'objet d'une évaluation spécifique par pays et produit, sur la base d'hypothèses de calcul communes aux différents pays pour chaque produit. Ces données sont détaillées dans l'Annexe A.

Après avoir fournis de façon descriptive quelques repères empiriques concernant la diffusion des TIC et des principaux facteurs qui semblent influencer cette diffusion (2.), le modèle retenu pour représenter la demande de TIC et des autres facteurs de production considérés est présenté (3.). Les résultats obtenus dans l'estimation économétrique de ce modèle et les enseignements qui en ressortent sont alors commentés (4.) avant de finir par quelques remarques conclusives (5.).

## **2. La diffusion des TIC : quelques repères**

Des écarts importants de diffusion des TIC sont observés entre les pays (2.1.). Le niveau de formation de la population en âge de travailler ainsi que les rigidités de marchés apparaissent comme de bons candidats pour expliquer, au moins en partie, de tels écarts (3.2.).

### **2.1. Les écarts de diffusion des TIC**

Parmi les pays industrialisés considérés, des écarts importants apparaissent concernant la diffusion des TIC appréhendée ici par le taux d'investissement en TIC (Cf. Graphique 1a et 1b) et par le coefficient

de capital en TIC (Cf. Graphique 1c). Le constat de tels écarts a déjà été fait dès le début des années 2000 dans une littérature maintenant abondante (par exemple, Shreyer, 2000, Colecchia et Shreyer, 2001, Pilat et Lee, 2001, OCDE, 2002 et 2003, van Ark et al. 2002a et b) et confirmé dans des travaux plus récents (comme par exemple van Ark, O'Mahoney et Timmer, 2008). Trois groupes de pays peuvent être distingués :

- Les Etats-Unis sont le pays dans lequel la diffusion des TIC est la plus importante : le taux d'investissement en TIC et le coefficient de capital en TIC y dépassent respectivement 2 % et 8 % ;
- A l'autre extrême, l'Italie, l'Espagne, l'Allemagne, l'Autriche, la France et la Finlande sont les pays dans lesquels la diffusion des TIC est la plus faible : le taux d'investissement en TIC et le coefficient de capital en TIC s'y situent dans des fourchettes de, respectivement, 1,0 % à 1,5 % et 4,0 % à 5,5 % ;
- En situation intermédiaire se trouvent le Japon, les Pays-Bas, le Danemark et le Royaume-Uni : le taux d'investissement en TIC et le coefficient de capital en TIC s'y situent dans des fourchettes de, respectivement, 1,5 % à 2,0 % et 6,0 % à 8,0 %. Dans ce groupe intermédiaire, la position du Royaume-Uni apparaît très proche de celles des Etats-Unis.

L'avance des Etats-Unis en termes de diffusion des TIC, appréhendée par le coefficient de capital TIC, s'observe dès le début de la décennie 1980 (Graphique 1c). Au Royaume-Uni, le coefficient de capital TIC était équivalent à celui des autres grands pays européens jusqu'au début des années 1990 pour devenir nettement supérieur depuis, tout en demeurant inférieur au niveau observé aux Etats-Unis. La situation de la France est nettement plus défavorable.

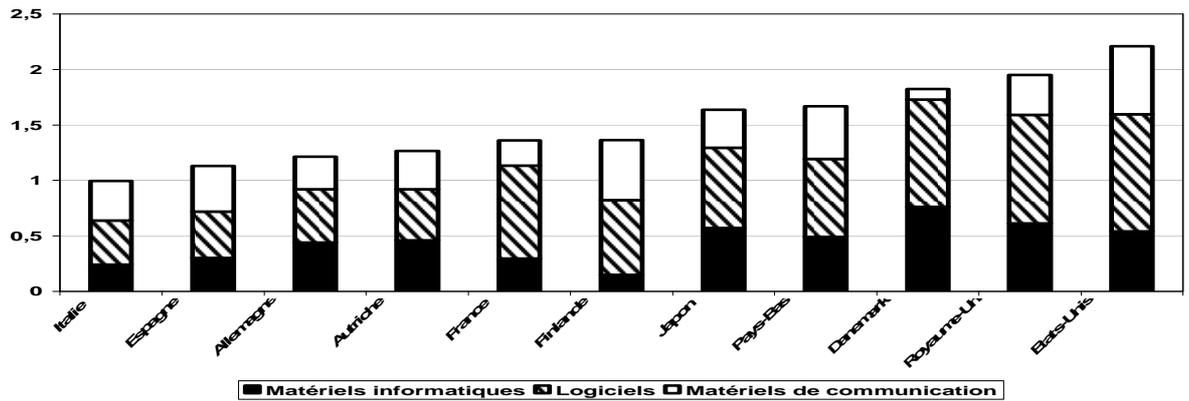
Dans tous les grands pays industrialisés à l'exception de l'Espagne et de l'Italie, le taux d'investissement en TIC et le coefficient de capital TIC augmentent continûment jusqu'à la fin des années 1990, avec une forte accélération sur la seconde moitié de la décennie 1990 (Graphiques 1b et 1c). L'accélération étant particulièrement prononcée aux Etats-Unis et dans le groupe intermédiaire, les écarts de diffusion des TIC se creusent sur cette demi-décennie. Le taux d'investissement en TIC baisse ensuite fortement en 2002, cette baisse se prolongeant en 2003 et 2004. Le taux d'investissement en TIC paraît connaître dans tous les pays une stabilisation, voire une légère augmentation en 2005. En conséquence de ces évolutions du taux d'investissement en TIC, le coefficient de capital en TIC se stabilise, voire baisse légèrement, à partir du début des années 2000.

La forte augmentation du taux d'investissement en TIC durant la seconde moitié de la décennie 1990 puis la baisse des années 2002-2004 peuvent recevoir deux types d'explication. Tout d'abord, le gonflement sur la seconde moitié de la décennie 1990 de ce que l'on a appelé la 'bulle Internet' s'est accompagné du développement des entreprises dans ces activités fortement consommatrices de TIC et la crevaisson de cette bulle au début des années 2000 a logiquement entraîné une baisse du taux d'investissement en TIC. Ensuite, la crainte du bug de l'an 2000 a amené, sur les années antérieures, une augmentation des dépenses d'investissement en TIC visant à s'en protéger, ces dépenses connaissant ensuite un retournement. Il est intéressant de souligner que, dans l'hypothèse non vérifiée d'un surinvestissement en TIC à la fin des années 1990, la suraccumulation en TIC correspondante paraît désormais résolue compte tenu de la stabilisation voire de la légère hausse récente du taux d'investissement en TIC. Les TIC ayant par nature une durée de vie courte, il paraît d'ailleurs assez logique qu'une éventuelle suraccumulation soit rapidement résorbée.

Graphique 1a

**Taux d'investissement en TIC (investissement rapporté au PIB), moyennes 2000-2005, en valeur**

Champ : ensemble de l'économie – En %

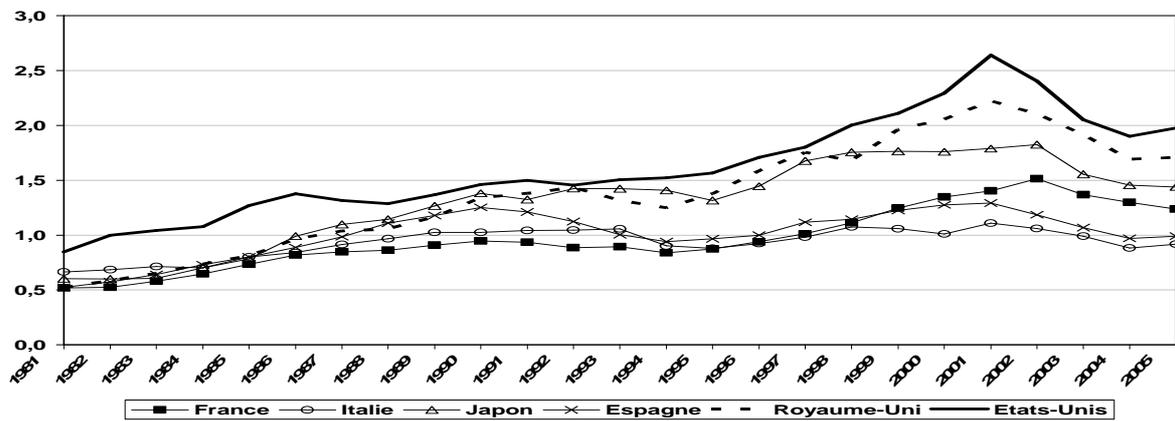


Source : Calculs des auteurs à partir des données de base fournies par l'Université de Groningen (Cf. Annexe A).

Graphique 1b

**Evolution du taux d'investissement en TIC (investissement rapporté au PIB), en valeur**

Champ : ensemble de l'économie, en %

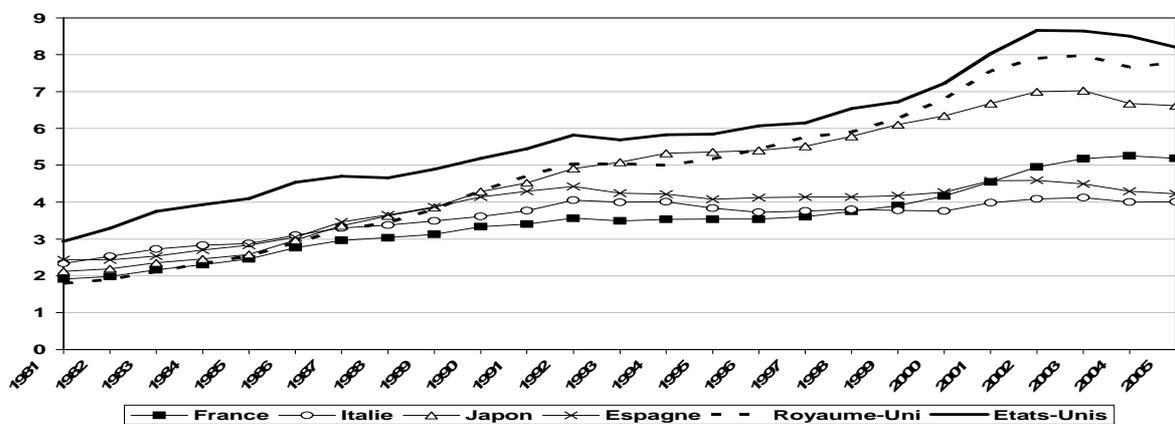


Source : Calculs des auteurs à partir des données de base fournies par l'Université de Groningen (Cf. Annexe A).

Graphique 1c

**Evolution du coefficient de capital TIC (x 100), en valeur**

Champ : ensemble de l'économie



Source : Calculs des auteurs à partir des données de base fournies par l'Université de Groningen (Cf. Annexe A).

La stabilisation voire la légère baisse, sur les dernières années, du coefficient de capital, suggère que, dans tous les grands pays industrialisés, la diffusion des TIC serait à peu près achevée. Ce constat est d'une grande importance, pour deux raisons principales :

- Tout d'abord, cet aboutissement apparent de la diffusion des TIC s'opère à des niveaux de diffusion très différents. Les Etats-Unis connaîtraient une diffusion plus forte que les autres pays industrialisés, le Royaume-Uni se situant dans une position cependant très proche de ce pays leader. L'écart entre les Etats-Unis et les autres pays (à l'exception des Etats-Unis) est, on l'a vu, considérable ;
- Ensuite, cela pourrait induire un ralentissement des effets favorables de la diffusion des TIC sur la productivité. En effet, ces effets des TIC sur la productivité transitent à la fois par le renouvellement continu de technologies dont les performances productives progressent rapidement mais aussi par une diffusion croissante de ces technologies. Il est encore trop tôt pour avancer avec certitude le diagnostic d'une diffusion maintenant presque aboutie des TIC : la stabilisation sur les dernières années du taux d'investissement en TIC et de la part des TIC dans l'investissement peut encore correspondre à résorption d'une suraccumulation en TIC sur la décennie 1990. Les évolutions sur les prochaines années seront importantes pour consolider ce diagnostic, ou pour l'infirmier, si ces indicateurs s'orientent à nouveau à la hausse.

Les pays d'Europe continentale et le Japon semblent donc connaître un retard de diffusion des TIC et les Etats-Unis, suivis de peu par le Royaume-Uni, une forte avance, cette hiérarchie paraissant s'être stabilisée. Les conséquences d'un tel retard peuvent être un moindre bénéfice, en termes de gains de productivité du travail et donc (toutes choses égales par ailleurs) de croissance, des effets de substitution entre le capital TIC et les autres facteurs de production, capital non TIC et travail.

## **2.2. Les principaux facteurs des écarts de diffusion des TIC**

La diffusion rapide des TIC dans les pays industrialisés s'explique assez logiquement par la baisse continue et importante du prix relatif de ces biens et services, autrement dit par leurs gains de performances productives également rapides et importants. Pour autant, il reste à expliquer les écarts constatés entre pays concernant cette diffusion.

La modélisation très simplifiée du comportement d'investissement en TIC proposée sur cinq grands pays industrialisés (Allemagne, Etats-Unis, France, Pays-Bas et Royaume-Uni) par Cette, Lopez et Noual (2005) montre que l'élasticité-prix des dépenses d'investissement en TIC ne différerait pas aux Etats-Unis et dans les quatre autres pays. Les écarts de diffusion des TIC ne pourraient donc s'expliquer par une différence de cette élasticité-prix. Les résultats de cette modélisation expliquent les écarts de diffusion des TIC par des constantes-pays qui traduisent l'effet de caractéristiques sans doute structurelles. C'est le contenu de ces caractéristiques qu'il convient d'analyser.

Une part des écarts de diffusion vis-à-vis des Etats-Unis peut venir de l'importance relativement plus grande du secteur producteur de TIC dans ce pays. L'explication serait ici liée à des interactions bénéfiques, via des effets de *spillover* associés par exemple à une certaine mobilité du capital humain entre activités productrices et utilisatrices de TIC. Si ces interactions sont importantes, le retard européen pourrait être durable. Pilat et Lee (2001, p. 21-22) avancent cependant plusieurs raisons pour lesquelles disposer d'un important secteur producteur de TIC ne serait pas une condition nécessaire pour en tirer un plein bénéfice en termes de croissance pour l'utilisateur. Ainsi, la proximité avec les producteurs de logiciels pourrait être plus importante que celle avec les producteurs de matériels. Or, les écarts entre pays concernant l'importance des activités productrices de logiciels sont sensiblement plus faibles que les écarts concernant les matériels. Par ailleurs, plusieurs pays (l'Australie ou le Royaume-Uni par exemple) semblent tirer un grand bénéfice de l'utilisation des TIC sans disposer d'un important secteur producteur de ces mêmes TIC.

Dans cette optique, Gust et Marquez (2000) avancent que les écarts de diffusion des TIC entre pays industrialisés, et en particulier le retard européen vis-à-vis des Etats-Unis, ne peuvent être que temporaires, liés à une initialisation favorable de pays producteur des Etats-Unis, et qu'ils devraient très progressivement disparaître. Les TIC apporteraient ainsi une contribution à la croissance du PIB et de la productivité qui devrait s'amplifier à moyen terme en Europe. Cependant, à l'échelle de plusieurs décennies, la stabilité voire l'élargissement des écarts de diffusion des TIC entre l'Europe et les Etats-Unis qui viennent d'être rappelés relativise cette approche.

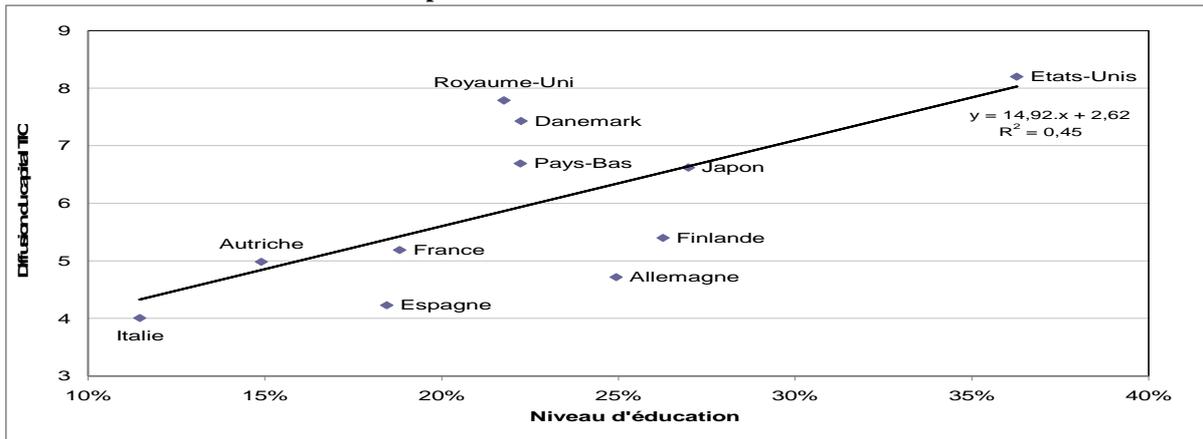
De nombreux travaux (une synthèse en est proposée dans OCDE, 2003b) apportent d'autres éléments d'explications au retard européen de diffusion des TIC, à partir d'approches descriptives (par exemple Antipa et alii, 2007) ou économétriques (par exemple Gust et Marquez 2004, Aghion et Alii, 2008), qui demeurent cependant inévitablement assez fragiles. Deux facteurs explicatifs sont en particulier souvent évoqués : le niveau d'éducation et les rigidités de marchés.

La mobilisation performante des TIC appelle des réorganisations et des formes de flexibilité organisationnelles spécifiques, qui peuvent être bridées par une trop forte réglementation qui par ailleurs, sur le marché des biens, réduit la pression concurrentielle et donc la nécessité d'utiliser les techniques de production les plus performantes dont le contenu en TIC peut être plus important que les autres. D'autre part, l'usage des TIC appelle en moyenne une main d'œuvre plus qualifiée que les autres techniques de production. En conséquence, les effets précédemment estimés de l'influence de la réglementation et de la formation sur les gains de PGF peuvent correspondre à des effets réduits traduisant leur impact direct mais aussi leur impact indirect via la diffusion des TIC. Or, les rigidités réglementaires sont réduites et le niveau d'éducation moyen de la population en âge de travailler élevé aux Etats-Unis relativement aux autres pays industrialisés, l'écart étant cependant faible concernant les rigidités réglementaires vis-à-vis d'autres pays anglo-saxons comme le Royaume-Uni ou le Canada.

Les Graphiques 2 illustrent que de telles corrélations de la diffusion des TIC positives concernant le niveau d'éducation et négatives concernant la réglementation sur le marché des biens et du travail paraissent confirmées par les données disponibles.

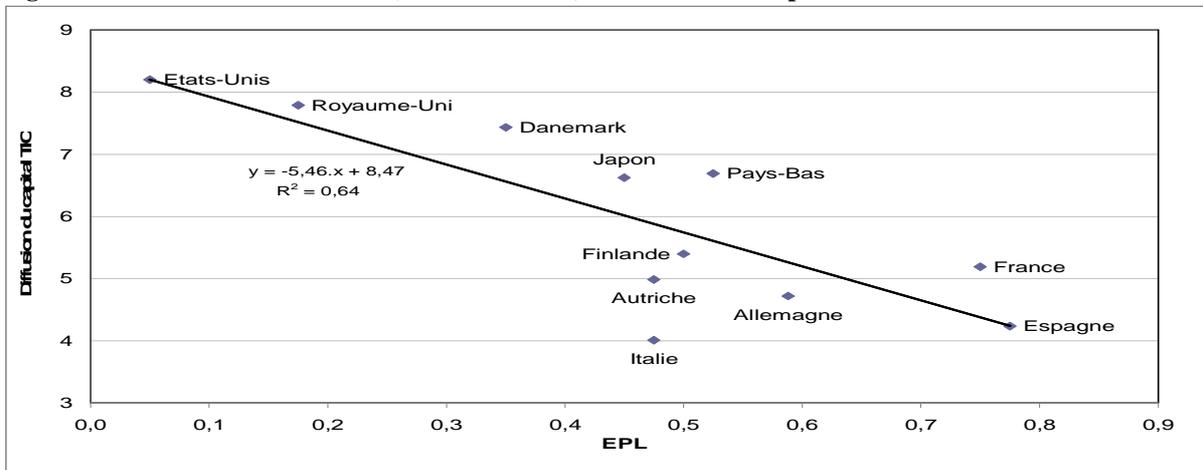
Graphique 2a

## Niveau d'éducation et diffusion du capital TIC en 2005\*



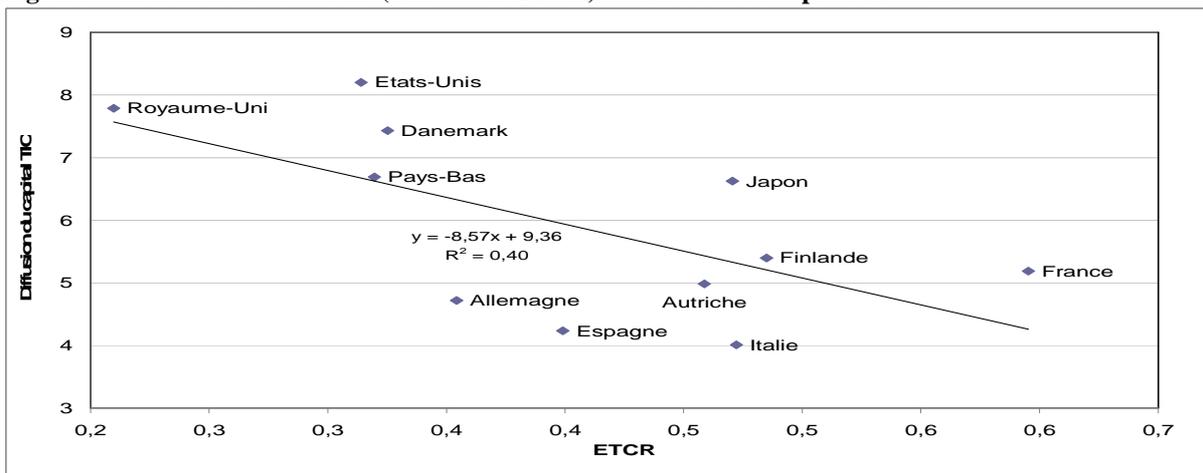
Graphique 2b

## Rigidités sur le marché du travail (indicateur EPL) et diffusion du capital TIC en 2005\*



Graphique 2c

## Rigidités sur le marché des biens (indicateur ETCR) et diffusion du capital TIC en 2005\*



\* : Le niveau d'éducation est mesuré par le pourcentage de diplômés du supérieur dans la population en âge de travailler (source OCDE). Les rigidités sur les marchés du travail et des produits sont appréhendés par les indicateurs respectivement EPL et ETCR (source OCDE) dont le contenu est explicité en Annexe A. La diffusion du capital TIC est mesurée par le coefficient de capital en TIC en valeur (x 100, calcul des auteurs). Champ des 3 graphiques : ensemble de l'économie.

La modélisation économétrique la plus avancée de la diffusion des TIC au niveau macro-économique est celle proposée par Aghion et alii (2008) sur un panel de 17 pays européens et sur la période 1985-2003. Dans cette analyse, la diffusion des TIC est appréhendée par le taux d'investissement en TIC. Dans la spécification estimée, le taux d'investissement en TIC est expliqué par la part de diplômés du supérieur et les rigidités croisées sur le marché des biens et du travail, ces variables étant éventuellement croisées avec la proximité par rapport à la frontière technologique. Sont également retenues comme variables explicatives l'indicateur de taux d'utilisation des capacités de production qui devrait logiquement influencer (par un effet d'accélérateur) la diffusion des TIC et alternativement différentes variables de rigidités sur le marché des capitaux. Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants : (i) Le niveau de formation supérieure de la population en âge de travailler n'influence pas significativement la diffusion des TIC dans les pays éloignés de la frontière technologique. Pour les pays proches de la frontière, l'influence est significative et favorable ; (ii) Les rigidités croisées sur les marchés de biens et du travail influencent significativement et négativement la diffusion des TIC, cet effet étant plus important pour les pays proches de la frontière technologique que pour les autres ; (iii) Les tensions sur l'utilisation du capital appréhendées par le taux d'utilisation des capacités de production influence significativement et positivement la diffusion des TIC ; (iv) Parmi les différentes variables de concurrence sur le marché des capitaux qui ont été prises en compte comme variables explicatives, la seule dont le coefficient estimé apparaît significatif et du signe attendu est la variable de concentration du secteur bancaire. Pour autant, l'interprétation de cet effet est délicate : de nombreuses études sur données sectorielles ont montré que le secteur bancaire est l'un de ceux qui recourt le plus aux TIC. On ne peut complètement exclure que le coefficient significatif de cette variable traduit au moins en partie un effet spécifique des investissements en TIC de ce secteur<sup>1</sup> plutôt qu'un effet plus général.

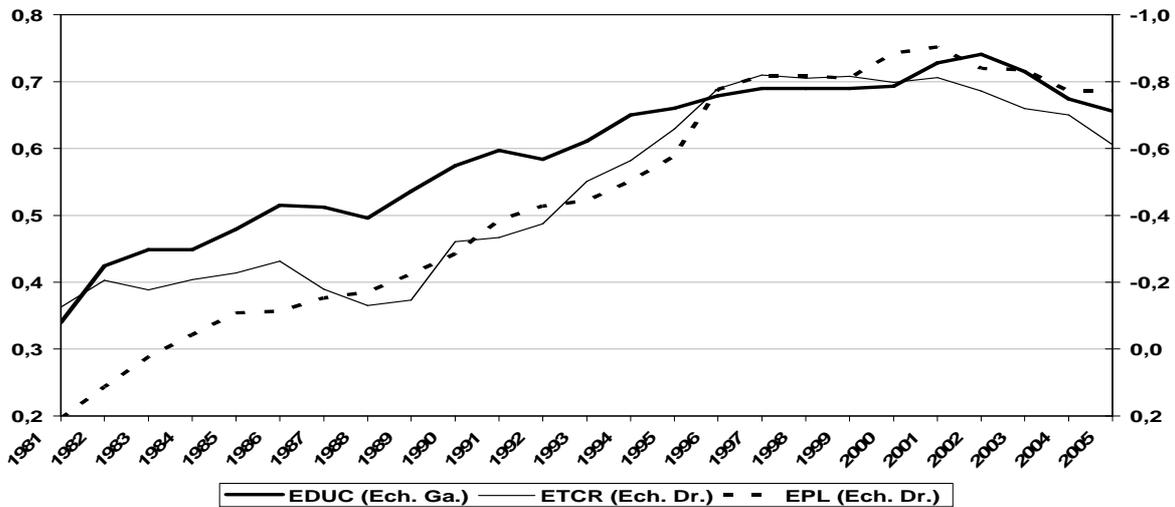
Concernant l'influence du niveau d'éducation et des rigidités de marchés sur la diffusion des TIC, un aspect important n'a pas encore été relevé à notre connaissance dans la littérature : cette influence s'est sensiblement modifiée dans le temps. Le Graphique 3 montre ainsi que la corrélation de la diffusion des TIC, positive avec le niveau d'éducation et négative avec les rigidités de marchés, est croissante (en valeur absolue) dans le temps pour se stabiliser vers le milieu des années 1990. Ce constat suggère une discontinuité dans l'effet du niveau d'éducation et des rigidités sur la diffusion des TIC, cet effet progressant avec la diffusion généralisée des TIC dans les différents pays pour se stabiliser ensuite à partir d'un certain seuil de diffusion. C'est une spécification simplifiée qui suppose une telle discontinuité qui va être proposée et estimée dans la suite de la présente étude.

---

<sup>1</sup> Par exemple : plus cette activité est concentrée et moins la pression concurrentielle y est forte et en conséquence moins les investissements en TIC de ce secteur sont importants.

Graphique 3

**Corrélation du coefficient de capital TIC avec les niveaux d'éducation (EDUC) et des rigidités sur les marchés des biens (ETCR) et du travail (EPL)**



EDUC est, dans la population salariée, le pourcentage de personnes ayant une formation de niveau supérieur. ETCR et EPL sont les indicateurs synthétiques de rigidités sur les marchés respectivement des biens et du travail. La construction de ces 3 indicateurs est détaillée dans l'Annexe A.

### 3. Le modèle estimé

La spécification retenue, ici rapidement rappelée, est très proche de celle détaillée dans Cette, Lopez et Noual (2004, pp. 66 à 71) à laquelle on peut se reporter pour plus de détail.

On présente successivement le modèle de base (3.1.), certaines difficultés liées aux erreurs de mesure sur les variables et la façon de les traiter (3.2.), la prise en compte des effets des rigidités de marchés et du niveau d'éducation de la population en âge de travailler (3.3.) pour aboutir enfin aux relations estimées (3.4.)

#### 3.1. Le modèle de base

La faible dimension temporelle conduit à l'estimation d'un modèle statique correspondant à une relation de long terme à partir d'une spécification simple et partiellement calibrée de la demande de facteur. La demande de facteur issue d'une spécification très générale de la fonction de production et d'hypothèses peu restrictives, principalement l'approximation locale de la fonction de production par une CES et des rendements d'échelle supposés constants. La demande du facteur  $j$  s'écrit alors :

$$(1) \quad f_j^* = q^* + \beta_j \cdot (c_j^* - p_q^*) - \gamma_t + cte$$

avec  $f_j$  et  $q$  le logarithme du volume respectivement du facteur  $j$  et du produit intérieur brut,  $c_j$  et  $p_q$  le logarithme respectivement du coût d'usage du facteur  $j$  et du prix du produit intérieur brut,  $\beta_j$  l'élasticité de substitution du facteur  $j$  avec, simultanément, l'ensemble des facteurs de production,  $\gamma_T$  l'effet du progrès technique autonome au sens de Hicks, autrement dit la productivité globale des facteurs (la PGF) à la date  $t$ , supposé exogène, et  $cte$  une constante issue de la fonction de production<sup>2</sup>. Une '\*' en exposant d'une variable indique qu'il s'agit du niveau optimal, à l'équilibre, de cette variable. Afin d'alléger les notations, les indices temporels  $t$  et de pays  $k$  des variables et

<sup>2</sup> Dans l'ensemble de cette analyse, les niveaux et les logarithmes des variables sont notés respectivement avec des majuscules et des minuscules.

éventuellement de leur coefficient ne sont pas reportés avant les relations estimées. L'interprétation de cette relation est assez intuitive.

### 3.2. Diverses difficultés liées aux erreurs de mesure sur les variables

Des erreurs de mesures de type bruits blancs ou correspondant à des biais de simultanéité sont traitées par l'usage, au moment de l'estimation, de variables instrumentales appropriées. On évoque à ce stade des erreurs de mesures plus spécifiques à nos données et les façons dont la modélisation retenue les prend en compte.

Les conventions de comptabilité nationale pour le partage des dépenses des entreprises entre utilisations intermédiaires et finales diffèrent pour chaque facteur d'un pays à l'autre, ces écarts pouvant être assimilés à des erreurs de mesure. En supposant ces écarts de partage invariants dans le temps, l'erreur de mesure correspondante peut être prise en compte par des constantes pays-produits. Le signe de ces constantes est *a priori* indéterminé et leurs valeurs estimées ne sont pas directement interprétables car elles peuvent ajouter aux effets des erreurs de mesure indiquées les effets d'éventuels désajustements quantitatifs structurels (moyens sur la période d'estimation) de chaque facteur de production et chaque pays par rapport aux autres facteurs-pays<sup>3</sup>.

Les coûts relatifs des facteurs peuvent également être entachés d'erreurs de mesure importantes. Dans la construction des variables mobilisées, il a été supposé que le prix relatif de chaque composante de l'investissement par rapport au prix du PIB est identique dans tous les pays à celui observé aux États-Unis. Ce choix a été retenu du fait d'une méthodologie plus avancée aux États-Unis dans la prise en compte de l'amélioration des performances de certaines composantes du capital, en particulier les TIC. Pour autant, les prix relatifs peuvent aussi dépendre, dans chaque pays, de déterminants spécifiques habituels comme le taux de change et les comportements de marges à l'importation et à l'exportation. Signalons d'ailleurs que le contenu en importations des diverses composantes de l'investissement est généralement, tout particulièrement pour le capital TIC, plus élevé que celui de l'ensemble de la production. L'erreur de mesure associée à cette difficulté peut affecter de façon complexe à la fois la mesure du coût et celle du volume des différentes composantes du capital. Elle est ici prise en compte de façon fruste par l'ajout des variables de taux de change et d'âge moyen des équipements dans la liste des variables explicatives de la demande des différentes composantes du capital. Ces variables additionnelles cherchant à corriger des erreurs de mesure de variables tant expliquées qu'explicatives, leurs coefficients sont *a priori* indéterminés.

Enfin une autre source d'erreurs à signaler est la prise en compte insuffisante, par les prix d'investissement, de l'évolution des performances des composantes du capital, principalement pour le capital TIC. Comme la précédente, cette erreur de mesure affecte de façon complexe la mesure du coût mais aussi celle du volume des facteurs. L'ajout de l'âge moyen des équipements dans la liste des variables explicatives de la demande des différentes composantes du capital permet également de capter au moins en partie l'effet de cette erreur de mesure.

### 3.3. La prise en compte des rigidités des marchés et du niveau d'éducation

Pour tenter d'expliquer les écarts persistants de diffusion des TIC évoqués plus haut, la relation de demande de facteur estimée est complétée par l'ajout, dans la liste des variables explicatives, d'indicateurs du niveau d'éducation et de rigidités des marchés. On a vu en effet que ces indicateurs paraissent corrélés avec ces écarts. La variable privilégiée pour représenter le niveau d'éducation est la part des personnes ayant suivi des études supérieures, complétées ou non, au sein de la population âgée de vingt-cinq à soixante-quatre ans (EDUC). Afin de prendre plus finement en compte l'effet de

<sup>3</sup> Pour le facteur travail, l'ajout de constantes pays-produits se justifie par un problème de "normage" : la variable expliquée n'est pas indépendante de l'unité monétaire.

l'éducation sur la demande de capital TIC, un impact quadratique de cette variable est testé. Concernant les rigidités de marchés, les indicateurs de protection réglementaire de l'emploi (EPL) pour le marché du travail et de réglementation des secteurs de l'énergie, des transports et des communications (ETCR) pour le marché des biens sont mobilisés<sup>4</sup>. Ces indicateurs sont construits par l'OCDE et une description plus détaillée en est faite en Annexe A<sup>5</sup>.

Les deux indicateurs de rigidités de marchés additionnent souvent les défauts de faibles volatilités et de fortes corrélations entre eux. Cela impacte l'estimation de leurs effets estimés quand ils sont introduits simultanément. Une première réponse à ce problème consiste à introduire alternativement les deux indicateurs dans la relation estimée<sup>6</sup>. Une autre réponse consiste à croiser les deux indicateurs de rigidités. Ce croisement est aussi légitimé par une littérature déjà abondante (Cf. en particulier Amable et Gatti, 2006, Koeniger et Vindigni, 2003, Blanchard et Giavazzi, 2003, Blanchard, 2005, Aghion et alii, 2008...) suggérant une interaction des effets des régulations sur les deux marchés. L'indicateur obtenu par le croisement des deux indicateurs de rigidités présente l'avantage d'une variabilité plus importante que chacun des deux indicateurs pris séparément. Différentes possibilités de croisement sont alternativement retenues dans les estimations.

La spécification de la relation estimée tient compte de deux autres éléments apportés par l'analyse descriptive qui précède. Tout d'abord, le Graphique 3 montre une évolution de la corrélation entre le niveau d'éducation, les rigidités des marchés et la diffusion des TIC. Cette évolution peut être une explication des écarts de diffusion des TIC et de leur amplification sur la décennie 1990. Les Graphiques 2 suggèrent que les pays où la diffusion des TIC est la plus forte sont ceux pour lesquels les rigidités sont les plus faibles et le niveau d'éducation le plus élevé. Par ailleurs, une littérature récente met en avant l'importance de la distance à la frontière technologique dans l'impact des rigidités sur la productivité et sur l'investissement en TIC (voir en particulier Aghion et Howitt, 2006, Aghion et alii, 2008). Nous spécifions ici ces deux aspects supplémentaires (évolution des corrélations et effet de distance à la frontière) de façon simple, en introduisant un effet de seuil de diffusion des TIC sur les paramètres représentant l'impact sur la demande de facteurs des niveaux d'éducation et des rigidités<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> Pour faciliter la lecture des résultats des estimations, l'échelle de ces indicateurs est ramenée à 0-1, avec 1 pour la rigidité la plus forte.

<sup>5</sup> Les estimations réalisées à l'aide d'autres variables indicatrices de rigidités des marchés apportent certains enseignements supplémentaires et sont présentées dans le tableau B6 de l'annexe B. Pour le marché du travail, les autres indicateurs utilisés sont les taux de remplacement de l'indemnité chômage initial et moyen, de syndicalisation et de couverture des négociations collectives. Pour le marché des biens et services, il s'agit des quatre indices composant l'indicateur ETCR, qui mesurent pour chaque secteur considéré les barrières à l'entrée, la part du gouvernement dans la plus grande entreprise de chaque secteur, la part de marché de cette entreprise et le degré d'intégration verticale.

<sup>6</sup> Puisqu'il y a de fortes corrélations positives entre les indicateurs de rigidités, prendre en compte alternativement chacun des deux indicateurs revient à surestimer son impact spécifique, une partie du pouvoir explicatif de l'indicateur omis étant reportée sur l'indicateur présent. Par contre, le contenu spécifique de l'indicateur omis n'est alors pas pris en compte et en conséquence l'indicateur présent ne prend en compte qu'une partie des effets des rigidités sur les deux marchés qui sont en conséquence sous-estimés dans leur ensemble.

<sup>7</sup> Le choix de la valeur de ce seuil est développé plus loin.

### 3.4. Les relations estimées

La prise en compte des différents types d'erreurs de mesure et l'introduction des indicatrices d'éducation et de rigidités dans la relation (1) conduit à la relation (2) suivante :

$$(2) \quad f_{j,k,t} - q_{k,t} = a1_{j,k,t} \cdot (c_{j,k,t} - p_{q,k,t}) + a2_{k,t} + a3_{j,k,t} \cdot AGE_{j,k,t} + a4_{j,k,t} \cdot chg_{k,t} \\ + (a5_j + d \cdot a5'_j) \cdot EDUC_{k,t} + e \cdot a6_j \cdot EDUC_{k,t}^2 \\ + (a7_j + d \cdot a7'_j) \cdot RIGID_{k,t} + a8_{j,k} + u_{j,k,t}$$

Dans cette relation le logarithme du coefficient de capital du facteur  $j$   $f_{j,k,t} - q_{k,t}$  dépend, pour chaque pays  $k$  et pour l'année  $t$  : (i) du logarithme du coût d'usage du facteur  $j$  relativement au prix de tous les autres facteurs  $c_{j,k,t} - p_{q,k,t}$  ; (ii) des effets de la productivité globale des facteurs (PGF) représentés par les constantes  $a2_{k,t}$  ; (iii) des variables de correction des erreurs de mesure, à savoir l'âge moyen des équipements en facteur  $j$   $AGE_{j,k,t}$  et le logarithme du taux de change  $chg_{k,t}$  ; (iv) du niveau d'éducation moyen de la population en âge de travailler  $EDUC_{k,t}$  et, pour les seuls TIC, de son carré  $EDUC_{k,t}^2$ , ainsi que du niveau des rigidités  $RIGID_{k,t}$  ; (v) des constantes pays-produits  $a8_{j,k}$  ; (vi) de termes d'erreurs supposés identiquement et indépendamment distribués ( $u_{j,k,t} \sim N(0, \sigma^2)$ ).

Le coefficient  $a1_{j,k,t}$  est l'élasticité de substitution du facteur  $j$  avec, simultanément, l'ensemble des facteurs de production ; son signe est attendu négatif. En toute généralité, il est supposé à ce stade que ce coefficient peut varier selon le produit  $j$ , le pays  $k$  ou l'année  $t$ . Les coefficients  $a2_{k,t}$  et  $a8_{j,k}$  sont de signes incertains. Les coefficients  $a3_{j,k,t}$  et  $a4_{j,k,t}$  sont nuls pour le facteur travail et de signes incertains sinon. Les effets des niveaux d'éducation et des rigidités des marchés sur la demande de facteur peuvent, pour la demande de TIC et la demande de travail, être différents selon le niveau de diffusion des TIC dans le pays, la variable  $d$  étant égale, pour ces deux facteurs de production (TIC et travail), à un au dessus du seuil de diffusion et à zéro sinon. Les signes des coefficients  $a5_j$ ,  $a6_j$  et  $a7_j$  ainsi que  $a5_j + a5'_j$ ,  $a6_j + a6'_j$ ,  $a7_j + a7'_j$  seront discutés dans la présentation des résultats des estimations. Pour le coefficient de capital TIC, un effet global positif de l'éducation et un effet négatif des rigidités des marchés sont attendus. L'effet inverse est attendu pour le coefficient du facteur travail<sup>8</sup>. Pour les autres produits, le signe attendu de ces deux coefficients est incertain et dépend des effets de substitutions entre les facteurs.

A partir de cette relation, de nombreuses alternatives ont été retenues, visant principalement à réduire le nombre de coefficients à estimer<sup>9</sup> :

- Cette même relation, simplifiée sans prendre en compte les variables d'éducation et de rigidités de marchés. Les écarts structurels entre pays concernant la diffusion des TIC ne sont alors expliqués que par les constantes pays produits  $a8_{j,k}$ . Cette première étape d'estimation est légitimée par le fait que les élasticité prix ainsi estimées de la demande de TIC sont très proches de celles obtenues par l'estimation de la relation prenant en compte le niveau d'éducation et les rigidités. On retrouve alors une formulation très proche de celle estimée par Cette, Lopez et Noual (2004, 2005) :

$$(2') \quad f_{j,k,t} - q_{k,t} = a1_{j,k,t} \cdot (c_{j,k,t} - p_{q,k,t}) + a2_{k,t} + a3_{j,k,t} \cdot AGE_{j,k,t} + a4_{j,k,t} \cdot chg_{k,t} + a8_{j,k} + u_{j,k,t}$$

<sup>8</sup> Celui-ci s'interprète comme l'inverse de la productivité.

<sup>9</sup> Sur les données mobilisées, les dimensions de  $j$ ,  $k$  et  $t$  sont respectivement de 5, 11 et 25, ce qui aboutit à 1375 observations. La relation (2) suppose ainsi, telle quelle, autant de coefficient  $a1_{j,k,t}$  que d'observations, 275 coefficients  $a2_{k,t}$ , 55 coefficients  $a8_{j,k}$ , et 5 coefficients pour  $a3_j$ ,  $a4_j$ ,  $a5_j$ , et  $a7_j$ , deux coefficients pour  $a5'_j$  et  $a7'_j$  et un coefficient pour  $a6_j$ .

- Concernant l'élasticité prix de la demande de facteurs  $a_{j,k,t}$  et les coefficients  $a_{3j,k,t}$  et  $a_{4j,k,t}$ <sup>10</sup> il faut bien sûr envisager une plus grande parcimonie du nombre de coefficients à estimer. L'hypothèse emboîtée d'une égalité des élasticités-prix entre les pays est rejetée pour les TIC par un test de Fisher aux seuils usuels (5 % et même 1 %). Pour autant, comme on le verra plus loin, les résultats d'estimations aboutissent pour les TIC à des valeurs très proches de cette élasticité entre les onze pays considérés. En conséquence, deux hypothèses alternatives seront retenues à l'estimation :

- (i) L'élasticité est spécifique à chaque facteur  $j$  et identique et invariante dans le temps pour chaque facteur dans tous les pays :

$$(3) \quad a_{1j,k,t} = a_{1j}, \quad a_{2j,k,t} = a_{2j}, \quad a_{3j,k,t} = a_{3j} \quad \forall k, t$$

- (ii) L'élasticité est spécifique à chaque facteur  $j$ . Elle est supposée invariante dans le temps et, pour les facteurs non TIC, identique pour chaque facteur dans tous les pays. Concernant les TIC, elle est supposée spécifique à chaque pays. Cette hypothèse s'écrit :

$$(3') \quad a_{1j,k,t} = a_{1j}, \quad a_{2j,k,t} = a_{2j}, \quad a_{3j,k,t} = a_{3j} \quad \forall k, t \text{ si } j \neq \text{TIC} \\ \text{et } a_{1j,k,t} = a_{1j,k}, \quad a_{2j,k,t} = a_{2j,k}, \quad a_{3j,k,t} = a_{3j,k} \text{ si } j = \text{TIC}$$

- (iii) L'élasticité est spécifique à chaque facteur  $j$ . Elle est supposée identique pour chaque facteur dans tous les pays et, pour les facteurs non TIC, invariante dans le temps. Concernant les TIC, on suppose une simple évolution quadratique dans le temps, identique dans tous les pays, de cette élasticité. Cette évolution quadratique traduit le fait que la diffusion des TIC liée à leurs gains de performances correspond à la fois à un élargissement de la diffusion des équipements en TIC (qui sont installés là où ils ne l'étaient pas encore) et à une intensification de cette diffusion (remplacement des équipements TIC installés mais devenus obsolètes par de nouveaux équipements TIC plus performants). Le premier effet s'épuise progressivement tandis que le second continue d'accompagner les gains de performances des TIC, l'ensemble se traduisant par un ralentissement de la diffusion des TIC et une baisse de l'élasticité prix de la demande de TIC (en valeur absolue). Une telle temporalité de l'élasticité prix de la demande de TIC a été évoquée (sans reposer sur des estimations empiriques) par Oulton (2002). Cette hypothèse s'écrit :

$$(3'') \quad a_{1j,k,t} = a_{1j} \quad \forall k, t \text{ si } j \neq \text{TIC} \text{ et } a_{1j,k,t} = a_{1j} + a_{1j}' \cdot t + a_{1j}'' \cdot t^2 \quad \forall k, t \text{ si } j = \text{TIC} \\ a_{3j,k,t} = a_{3j} \text{ et } a_{4j,k,t} = a_{4j} \quad \forall k, t^{11}$$

- (iv) La dernière spécification est une extension de la précédente relation (3'') et suppose que les élasticités prix de la demande de TIC sont spécifiques à chaque pays :

$$(3''') \quad a_{1j,k,t} = a_{1j} \quad \forall k, t \text{ si } j \neq \text{TIC}, \quad l=1,3,4 \text{ et si } j = \text{TIC} \quad a_{1j,k,t} = a_{1j,k} + a_{1j,k}' \cdot t + a_{1j,k}'' \cdot t^2 \quad \forall t \\ a_{3j,k,t} = a_{3j,k} \text{ et } a_{4j,k,t} = a_{4j,k} \quad \forall t$$

- Concernant les constantes pays-année  $a_{2k,t}$  correspondant aux effets de la PGF, il faut également envisager une plus grande parcimonie du nombre de coefficients à estimer. L'hypothèse simplificatrice retenue consiste à distinguer trois composantes dans la PGF : une composante annuelle identique pour tous les pays et tous les facteurs, une composante tendancielle spécifique à chaque pays et une composante cyclique spécifique à chaque pays et

<sup>10</sup> Les variables d'âge moyen du capital et de taux de change permettent la prise en compte d'erreurs de mesures spécifiques du coût d'usage. Les coefficients de ces variables dépendent de l'élasticité prix par une relation dont une spécification est disponible sur demande auprès des auteurs.

<sup>11</sup> Les coefficients  $a_{3j,k,t}$  et  $a_{4j,k,t}$  sont supposés invariants dans le temps.

liée au taux d'utilisation des capacités de production (TUC)<sup>12</sup>. Cette hypothèse est validée empiriquement<sup>13</sup> et a donc été retenue pour tous les pays dans les principales estimations présentées ci-dessous. On aboutit ainsi à la spécification suivante, en notant N l'emploi total qui est la mesure retenue du facteur travail :

$$(4) a_{2_{k,t}} = a_{2_t} + a_{2_k}' \cdot t + a_{2_k}'' \cdot TUC_{k,t} \quad \forall j \neq N \text{ et } a_{2_{k,t}} = a_{2_t} + a_{2_k}' \cdot t \text{ si } j = N$$

- Concernant les constantes pays-produit  $a_{8_{j,k}}$  visant à prendre en compte l'effet d'erreurs de mesure, l'hypothèse d'une égalité entre pays pour chaque produit ( $a_{8_{j,k}} = a_{8_j} \quad \forall k$ ) a été testée mais rejetée pour tous les pays par les tests de Fisher usuels (aux seuils de 5 % et 1 %). Ces constantes pays-produits sont donc conservées dans toutes les estimations.

#### **4. L'estimation du comportement de demande de capital TIC**

##### **4.1. Les données mobilisées**

La construction des données, qui s'appuie essentiellement sur la base EU-KLEMS, est détaillée dans l'Annexe A. Certaines variables, comme les indices de prix de l'investissement (qui permettent le calcul du volume de l'investissement), le capital productif et le coût d'usage du capital ont fait l'objet d'une évaluation spécifique par pays et produit, sur la base d'hypothèses de calcul communes aux différents pays pour chaque produit.

Les relations sont estimées sur les données poolées correspondant au croisement :

- Des cinq facteurs de production : ensemble des TIC, équipements de transport, autres équipements, structures et nombre d'employés. Le capital TIC a été évalué en distinguant les trois composantes usuelles (matériels informatiques, logiciels et matériels de communication). A l'estimation, la fragilité des résultats généralement obtenus en conservant cette distinction a incité à considérer les TIC dans leur ensemble. Cette fragilité des résultats d'estimation peut entre autres aspects s'expliquer par les difficultés du partage comptable entre ces composantes (bien illustrée par les logiciels intégrés aux matériels informatiques, qui sont comptabilisés avec ces derniers) ;
- Des onze pays pour lesquels la construction des données a paru suffisamment robuste, l'information étant pour certaines variables insuffisante sur les autres pays. Ces onze pays sont : l'Autriche, le Danemark, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et les Etats-Unis ;
- Sur la période 1981-2005 de disponibilité qui nous paraît suffisamment robuste pour les différentes séries mobilisées.

<sup>12</sup> Les estimations réalisées avec un coefficient du taux d'utilisation spécifique pour chaque produit aboutit à une valeur estimée de ce coefficient significativement différente de zéro pour tous les facteurs à l'exception du facteur travail (Cf. Tableau B1 de l'Annexe B). Aussi, il est supposé par la suite que le taux d'utilisation n'influence pas la demande de travail ( $a_{2_{k,t}} = a_{2_t} + a_{2_k}' \cdot t$  si  $j = N$ ).

<sup>13</sup> L'hypothèse de nullité jointe de constantes annuelles par pays ajoutées à une spécification correspondant à la relation (2') sous les hypothèses (3) et (4) ne peut être rejetée, avec une statistique de Fisher de 0,82 et une p-valeur de 0,968. Ce résultat justifie de spécifier les constantes années-pays par la relation (4).

## 4.2. Les élasticités prix de la demande de TIC

Le Tableau 1 présente les résultats d'estimations de la relation (2') sous les hypothèses simplificatrices correspondant aux relations (3), (3') et (3''). Les résultats d'estimation obtenus avec les hypothèses simplificatrices correspondant à la relation (3'''), dont la présentation est plus lourde, sont fournis dans l'Annexe B. Enfin, pour toutes ces estimations, les hypothèses simplificatrices correspondant à la relation (4) sont retenues.

Ces estimations ont été réalisées par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) et par la méthode des variables instrumentales (VI), afin de corriger des biais d'erreurs de mesure et de simultanéité signalés plus haut concernant les variables de coût d'usage du capital, d'âge moyen du capital et de taux d'utilisation des capacités de production. De nombreuses batteries d'instruments ont été alternativement tentées, celle finalement retenue aboutissant aux meilleurs résultats concernant le test de Sargan (1958) d'exogénéité des instruments et le test de Davidson et McKinnon (1993) de convergence de l'estimateur des moindres carrés ordinaires. Les instruments ainsi retenus sont les différences premières des variables instrumentées retardées d'une et deux périodes.

Les résultats d'estimation apparaissent très robustes à la méthode d'estimation retenue (MCO ou VI) : lorsqu'elles sont significativement différentes de zéro, les élasticités estimées par les deux méthodes sont très proches.

Lorsqu'elles sont significativement non nulles, les élasticités prix estimées ont toujours le signe négatif attendu. Les deux méthodes d'estimation (MCO et variables instrumentales) aboutissent par ailleurs à des valeurs estimées très proches des élasticités prix de la demande de TIC pour chaque pays.

Un test d'hypothèses emboîtées concernant l'égalité entre pays des élasticités prix de la demande de chacun des cinq facteurs de production aboutit à accepter (au seuil de 1 %) cette hypothèse d'égalité pour les trois facteurs 'équipements de transport', 'autres équipements' et 'structures non résidentielles' mais à la rejeter pour les deux autres facteurs 'travail' et 'TIC' (les résultats sont présentés dans le Tableau B2 de l'Annexe B). Ce résultat concernant les TIC diffère de celui obtenu sur seulement cinq pays (France, Allemagne, Pays-Bas, Royaume-Uni et Etats-Unis) par Cette, Lopez et Noual (2004, 2005). Cet écart nous paraît pouvoir être expliqué par la plus grande précision d'estimation ici obtenue grâce à une mesure améliorée des différentes variables mobilisées.

Que les élasticités prix soient contraintes à être égales pour chaque pays (relations (3) et (3'')) ou puissent différer (relations (3') et (3''')), l'hypothèse d'une tendance quadratique dans le temps de l'élasticité prix des TIC est toujours confortée par le rejet de l'hypothèse de nullité des deux coefficients, pris séparément<sup>14</sup> ou ensemble, spécifiant la tendance<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> Comme on peut le voir dans les colonnes [5] et [6] du Tableau 1 sous (3'') et dans le Tableau B4 de l'Annexe B sous (3''').

<sup>15</sup> En effet, à partir de l'équation (2') sous l'hypothèse (4), le test de nullité jointe des paramètres est réalisé successivement sous les hypothèses (3'') et (3'''), ce qui permet de discriminer entre les hypothèses (3'') par rapport à (3) et (3''') par rapport à (3'). L'hypothèse nulle est toujours rejetée confirmant la tendance quadratique dans le temps. Les statistiques de Fisher des tests sont respectivement de 108,99 et 19,15 et les p-valeurs de 0 toutes deux.

Tableau 1  
 Résultats d'estimation de la relation (2')

		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Hypothèses simplificatrices - Relation(s)		(3) et (4)		(3') et (4')		(3'') et (4'')	
Méthode d'estimation		MCO	VI	MCO	VI	MCO	VI
TIC	Autriche			-1,351** (-35,6)	-1,306** (-6,00)		
	Danemark			-1,117** (-31,2)	-1,490** (-7,98)		
	Finlande			-1,415** (-36,9)	-0,536 (-1,62)		
	France			-1,415** (-41,3)	-1,518** (-5,21)		
	Allemagne			-1,077** (-28,1)	-1,114** (-6,61)		
	Italie	-1,311** (-107)	-1,249** (-24,3)	-1,078** (-23,2)	-0,895** (-5,27)	-2,017** (-32,3)	-2,498** (-20,4)
	Japon			-1,297** (-22,4)	-1,921** (-2,89)		
	Pays-Bas			-1,303** (-36,2)	-1,430** (-7,90)		
	Espagne			-1,136** (-28,6)	-1,100** (-9,46)		
	Royaume-Uni			-1,414** (-30,4)	-1,081** (-4,29)		
	Etats-Unis			-1,418** (-41,2)	-1,197** (-8,52)		
	t					0,061** (-7,00)*	0,115** (6,00)
	t <sup>2</sup>					-0,001** (-4,15)	-0,003** (-4,15)
<b>Equipements de transport</b>		-0,186** (-3,86)	0,474 (0,18)	-0,191** (-4,27)	-0,086 (-0,22)	-0,162** (-3,62)	-0,012 (-0,05)
<b>Autres équipements</b>		-0,159** (-3,28)	-0,075 (-0,42)	0,150** (-3,32)	0,002 (0,01)	-0,119** (-2,63)	-0,017 (-0,10)
<b>Structures non résidentielles</b>		-0,032 (-3,81)**	-0,076** (-3,12)	-0,029** (-3,73)	-0,075* (-2,27)	-0,024** (-3,08)	-0,064** (-2,82)
<b>Travail</b>		-0,814 (-12,91)**	-0,582 (-1,49)	-0,819** (-14,0)	-0,684 (-1,13)	-0,783** (-13,4)	-0,877* (-2,46)
<b>Test de Davidson et McKinnon</b>							
Statistique			2,805		3,630		3,397
P-Valeur			0		0		0
<b>Test de Sargan</b>							
Statistique			17,284		30,699		32,951
P-Valeur			0,836		0,855		0,164
<b>R<sup>2</sup></b>		0,935	0,928	0,946	0,883	0,944	0,938

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$ .

La valeur estimée de l'élasticité-prix de la demande de TIC est toujours inférieure à -1. Ce résultat d'estimation apparaît directement lorsque l'élasticité prix est supposée invariante dans le temps et identique entre les différents pays (colonnes [1] et [2]) ou spécifique à chaque pays (colonnes [3] et [4]). Il est ainsi semblable à celui de Cette, Lopez et Noual (2004, 2005). Il est également observé mais doit être calculé sur la période d'estimation lorsque l'élasticité prix est supposée quadratique par rapport au temps et identique entre les différents pays (colonnes [5] et [6]).

Le fait que l'élasticité prix de la demande de TIC soit inférieure à -1 paraît correspondre à une situation, décrite par Oulton (2002) et déjà évoquée plus haut, où la diffusion des TIC liée à leurs gains de performances traduit à la fois l'impact d'un élargissement de la diffusion des équipements en TIC (qui sont installés là où ils ne l'étaient pas encore) et celui d'une intensification de cette diffusion (remplacement des équipements TIC installés mais devenus obsolètes par de nouveaux équipements TIC plus performants). Le premier effet s'épuise progressivement tandis que le second continue d'accompagner les gains de performances des TIC, l'ensemble devant se traduire par un ralentissement de la diffusion des TIC et une baisse de l'élasticité prix de la demande de TIC (en valeur absolue).

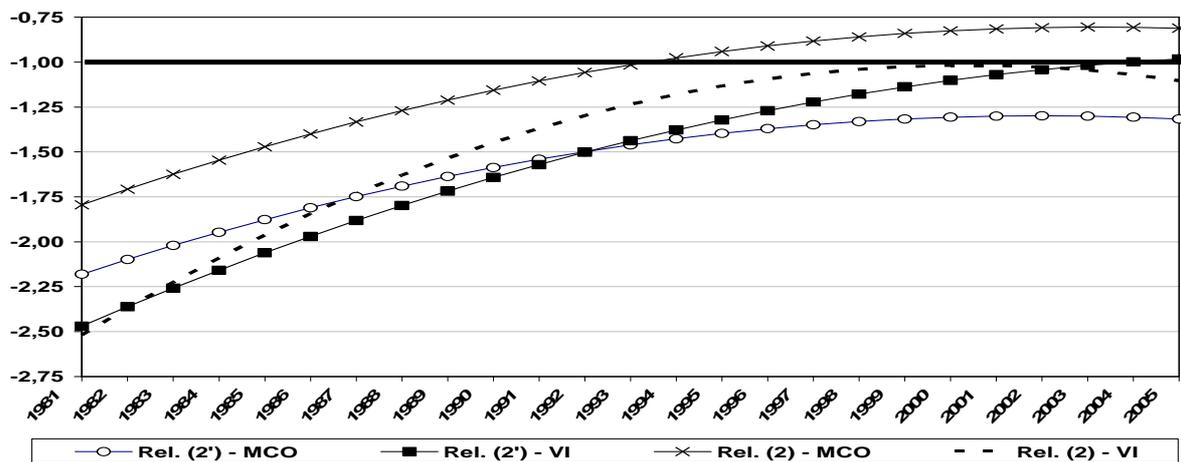
Les données ici mobilisées paraissent fournir une forte confirmation empirique d'une telle interprétation. Le passage à l'hypothèse simplificatrice (3'') correspondant à l'estimation d'une évolution quadratique par rapport au temps et identique dans tous les pays de l'élasticité prix de la demande de TIC fait bien apparaître une baisse (en valeur absolue) dans le temps de l'élasticité prix de la demande de TIC (Graphique 4). Cette élasticité prix serait ainsi proche ou supérieure (en valeur absolue) à -2 au début de la décennie 1980, selon la méthode d'estimation (MCO ou VI), pour devenir très proche de -1 au milieu de la décennie 2000.

Graphique 4

#### Valeur estimée de l'élasticité prix de la demande de capital TIC

Résultats d'estimation des relations (2) et (2'') sous les hypothèses simplificatrices correspondant aux relations (4) et (3''), par la méthode des MCO ou des VI.

La relation (3'') suppose une évolution quadratique dans le temps identique dans tous les pays de l'élasticité prix de la demande de capital TIC.



Les quatre courbes de ce Graphique correspondent aux résultats d'estimations, sous les hypothèses simplificatrices correspondant aux relations (4) et (3'') :

- de la relation (2'), par la méthode des MCO (résultats fournis colonne [5] du Tableau 1) ou des VI (colonne [6] du Tableau 1) ;
- de la relation (2), par la méthode des MCO (résultats fournis colonne [5] du Tableau 2) ou des VI (colonne [6] du Tableau 2).

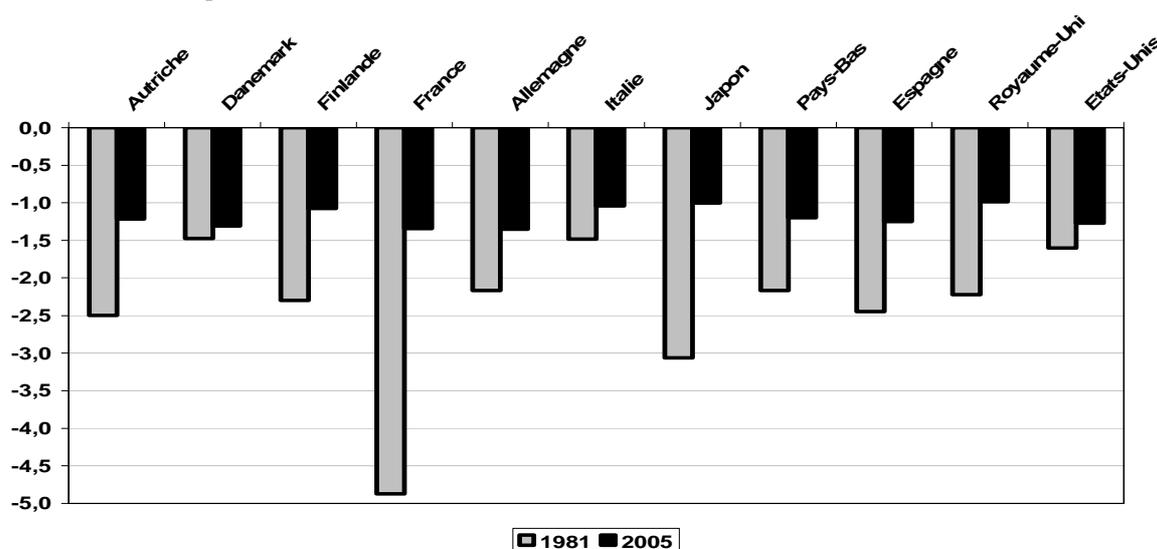
Les résultats d'estimation obtenus passage à l'hypothèse simplificatrice (3''') correspondant à l'estimation d'une évolution également quadratique par rapport au temps mais spécifique à chaque

pays de l'élasticité prix de la demande de TIC confirme (Cf. Graphique 5) que la baisse (en valeur absolue) dans le temps de l'élasticité prix de la demande de TIC s'observerait dans chacun des onze pays ici considérés (Cf. Tableau B4 de l'Annexe B). Partant, au début de la décennie 1980, de niveaux très différents selon les pays et toujours nettement supérieurs à l'unité (en valeurs absolues), les élasticités prix estimées de la demande de capital TIC diminueraient sur la période pour devenir partout très proches de l'unité au milieu de la décennie 2000.

Graphique 5

#### Valeur estimée de l'élasticité prix de la demande de capital TIC

Résultats d'estimation de la relation (2') sous les hypothèses simplificatrices (4) et (3'''), par la méthode des VI/ La relation (3''') suppose une évolution quadratique dans le temps et spécifique à chaque pays de l'élasticité prix de la demande de capital TIC.



Les élasticités prix représentées dans ce Graphique correspondent aux résultats d'estimations fournis dans le Tableau B4 de l'Annexe B.

Les résultats empiriques qui viennent d'être commentés sont, à notre connaissance, originaux par rapport à la littérature existante. Ils paraissent importants puisqu'ils confirment un ralentissement de la diffusion globale des TIC induite par les gains de performance de ces produits. Ce ralentissement peut lui-même aboutir à celui de la contribution des TIC à la croissance. Il apparaît tout à fait cohérent avec la stabilisation apparente, sur les dernières années, du coefficient de capital TIC en valeur qui faisait suite à une augmentation continue sur la période antérieure. Ces résultats apparaissent tout à fait cohérent avec l'intuition rapidement énoncée par Oulton (2002) et rappelée ci-dessus.

Ces résultats aboutissent cependant à supposer un arrêt dans tous les pays ici considérés de l'élargissement de la diffusion des TIC, cette diffusion se limitant ainsi désormais au renouvellement continu de produits TIC déjà installés, alors même que le niveau de diffusion des TIC mesuré par le coefficient de capital TIC en valeur diffère fortement entre les pays. Autrement dit, ils n'apportent aucune explication des écarts, qui paraissent assez stabilisés, de la diffusion des TIC entre pays. Les estimations qui vont maintenant être commentées visent à expliquer ces écarts à partir des effets des différences entre pays des niveaux observés d'éducation supérieure et de rigidités de marchés.

### 4.3. Le rôle des rigidités et de l'éducation

Les estimations de la relation (2) peuvent aider à savoir si les écarts constatés entre les pays concernant la diffusion des TIC peuvent être expliqués par les différences des niveaux observés d'éducation supérieure et de rigidités de marchés. Concernant le niveau d'éducation, l'indicateur

retenu (EDUC) correspond à la proportion de personnes ayant bénéficié d'une formation supérieure dans la population en âge de travailler. Les indicateurs de rigidités de marchés correspondent aux indicateurs de rigidités liés à la législation sur la protection du travail (EPL) et à la réglementation du marché des biens et services (ETCR). Des estimations mobilisant d'autres indicateurs de rigidités de marchés sont présentées dans le Tableau B5 de l'Annexe B. Elles ne remettent pas en cause les conclusions de la présente section. Les principaux enseignements apportés par les indicateurs alternatifs succèdent aux commentaires des estimations privilégiées.

Les estimations des élasticités prix de la demande de TIC présentées dans la précédente section indiquent que les écarts temporels de cette élasticité sont plus importants que les écarts entre pays et que ces derniers ne peuvent en conséquence réellement contribuer à expliquer les différences de coefficients de capital TIC. Aussi, afin de restreindre le nombre de coefficients à estimer, il est supposé par la suite que les élasticités prix sont quadratiques par rapport au temps et identiques dans les différents pays (hypothèse représentée par la relation (3'')).

Une étape importante de l'estimation est le choix de la valeur du seuil de diffusion des TIC (au dessus de laquelle la variable  $d$ , nulle sinon, est égale à l'unité). Comme indiqué plus haut, utiliser un seuil est une méthode assez fruste pour traiter de l'évolution de paramètres selon la diffusion des TIC, mais c'est la seule compatible avec les dimensions de l'échantillon. Plusieurs valeurs de seuil ont été retenues dans des estimations préalables, avec comme contrainte de conserver de chaque côté du seuil un nombre d'observations suffisant pour tester l'égalité statistique des valeurs estimées des coefficients au dessous et au dessus du seuil. Sur l'ensemble des 11 pays et des 25 années des données mobilisées, le coefficient de capital TIC médian est 2,25 %. Pour autant, il semble pertinent de retenir un seuil plus en rapport avec les écarts de diffusion des TIC observés en fin de période. Des seuils de 2,25 %, 3 %, 4 % et 5 % ont donc été essayés. Quel que soit le seuil, les tests d'égalités jointes des coefficients avant et après le seuil concluent toujours au rejet de l'hypothèse nulle d'égalité pour la demande de capital TIC. La statistique de Fisher du test d'égalité jointe et le  $R^2$  de la régression sont tous deux maximaux pour une valeur du coefficient de capital TIC de 3 % si les rigidités sont représentées par EPL et de 4 % si elles sont représentées par ETCR<sup>16</sup>. Dans la suite de la section le seuil retenu est de 4 % mais des estimations aux seuils de 3 % et de 5% présentées dans le Tableau B7 de l'Annexe B montrent la robustesse des estimations à ce choix. Sur les données ici mobilisées, le pourcentage d'observations supérieures à ce seuil de 4 % est de 26,91 % sur l'ensemble de la période 1981-2005, 65,45% sur les dix dernières années 1996-2005 et de 100% sur la seule dernière année 2005<sup>17</sup>.

Les deux indicateurs de rigidités de marchés (EPL et ETCR) sont fortement corrélés entre eux : sur l'ensemble des pays et de la période de l'analyse, leur corrélation est de 0,78. Pour cette raison, ces deux indicateurs ne sont pas introduits simultanément dans les estimations, mais alternativement.

Les principaux résultats d'estimation de la relation (2), sous les hypothèses simplificatrices représentées par les relations (3'') et (4), sont fournis dans le Tableau 2.

<sup>16</sup> Les statistiques de Fisher et  $R^2$  sont présentés dans le Tableau B7 de l'Annexe B.

<sup>17</sup> Par ailleurs, ce seuil est atteint en 1994 pour le Danemark, en 1996 pour le Royaume-Uni et les Etats-Unis, en 1997 pour le Japon et les Pays-Bas, en 1998 pour la Finlande, en 1999 pour l'Allemagne et l'Espagne, en 2000 pour l'Autriche et l'Italie et en 2001 pour la France

Tableau 2

Résultats d'estimations de la relation (2), sous les hypothèses simplificatrices représentées par les relations (3'') et (4)

			[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Indicateur de rigidité retenu			EPL		ETCR		MAX	
Méthode d'estimation			MCO	VI	MCO	VI	MCO	VI
Elasticités prix	TIC	Cte	-1,801** (31,05)	-2,453** (20,10)	-1,82** (30,90)	-2,520** (20,13)	-1,795** (30,34)	-2,519** (20,88)
		t	0,084** (10,61)	0,133** (6,81)	0,087** (10,43)	0,146** (7,19)	0,089** (10,82)	0,155** (7,43)
		t <sup>2</sup>	-0,002** (7,50)	-0,003** (4,93)	-0,002** (6,79)	-0,003** (5,24)	-0,002** (7,39)	-0,004** (5,45)
	Equipements de transport		-0,119** (2,87)	0,129 (0,47)	-0,076 (1,76)	-0,004 (0,02)	-0,11** (2,59)	0,248 (0,96)
		Autres équipements	-0,131** (3,19)	-0,050 (0,30)	-0,129** (3,07)	-0,045 (0,27)	-0,128** (3,07)	0,078 (0,49)
		Structures non résidentielles	0,004 (0,49)	-0,048 (1,68)	-0,006 (0,67)	-0,029 (1,08)	-0,003 (0,40)	-0,04 (1,44)
		Travail	-0,713** (7,57)	0,237 (0,54)	-0,734** (7,75)	0,280 (0,62)	-0,728** (7,67)	0,344 (0,85)
Education	TIC avant le seuil	9,871** (9,26)	6,796** (3,48)	8,157** (7,31)	6,226** (3,49)	8,431** (7,44)	7,832** (4,39)	
	TIC après le seuil	11,150** (9,64)	7,802** (3,67)	9,686** (7,85)	7,520** (3,80)	9,98** (8,00)	9,294** (4,72)	
	TIC, composante quadratique	-14,540** (6,70)	-12,632** (4,32)	-12,090** (5,29)	-10,972** (3,75)	-12,171** (5,29)	-12,705** (4,35)	
	Equipements de transport	-2,524** (4,78)	-0,916 (0,86)	-4,084** (6,69)	-2,650** (2,77)	-3,202** (5,44)	-1,190 (1,37)	
	Autres équipements	-3,014** (5,74)	-1,730 (1,88)	-3,335** (5,44)	-2,019* (2,03)	-3,550** (6,00)	-1,777* (2,08)	
	Structures non résidentielles	-1,282* (2,39)	-0,714 (0,71)	0,654 (1,06)	1,723 (1,61)	-0,179 (0,30)	1,424 (1,56)	
	Travail	-2,587** (4,59)	-4,239** (3,54)	-1,818** (2,84)	-3,742** (2,93)	-1,831** (2,92)	-3,721** (3,27)	
Rigidités de marchés	TIC avant le seuil	0,616** (7,03)	0,771** (7,03)	-0,114 (1,23)	0,124 (0,88)	-0,217* (2,24)	-0,055 (0,36)	
	TIC après le seuil	0,191 (1,77)	0,446** (3,04)	-0,629** (4,96)	-0,284 (1,45)	-0,697** (6,51)	-0,519** (2,93)	
	Equipements de transport	-0,357** (4,20)	-0,357** (3,02)	-0,386** (4,59)	-0,345* (2,27)	-0,265** (3,03)	-0,375** (2,82)	
	Autres équipements	-0,126 (1,47)	-0,080 (0,69)	-0,063 (0,76)	-0,020 (0,19)	-0,150 (1,72)	-0,214 (1,94)	
	Structures non résidentielles	-0,034 (0,40)	0,133 (1,20)	0,437** (5,18)	0,535** (4,71)	0,326** (3,66)	0,417** (3,47)	
	Travail avant le seuil	-0,012 (0,14)	0,251 (1,88)	0,164 (1,94)	0,195 (1,82)	0,199* (2,27)	0,144 (1,39)	
	Travail après le seuil	0,021 (0,21)	0,151 (1,40)	0,199 (1,90)	0,274* (2,11)	0,224* (2,38)	0,225* (1,99)	
P-valeurs des tests :								
a <sub>5TIC</sub> ' = 0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
a <sub>7TIC</sub> ' = 0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
a <sub>7Travail</sub> ' = 0			0,392	0,112	0,462	0,217	0,492	
Test de Davidson et McKinnon								
Statistique				10,155		10,865	16,950	
P-valeur				0,000		0,000	0,000	
Test de Sargan								
Statistique				29,343		29,374	49,649	
P-valeur				0,135		0,135	0,032	
R <sup>2</sup>			0,959	0,946	0,958	0,945	0,958	

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$ .

Les coefficients estimés des indicateurs de rigidités indiquent que les rigidités sur les marchés des produits (mesurées par l'indicateur ETCR) n'auraient pas d'effets significatifs sur la diffusion des TIC avant le seuil de diffusion des TIC puis un effet négatif au-delà de ce seuil (colonnes [3] et [4]). Les résultats obtenus concernant les rigidités sur le marché du travail (mesurées par l'indicateur EPL) apparaissent contre-intuitif : ces rigidités auraient un effet positif sur la diffusion des TIC (colonnes [1] et [2]). Comme indiqué plus haut, les indicateurs de rigidités des marchés présentent des fragilités de divers types pour l'analyse statistique, en particulier une faible variabilité temporelle pour chaque pays et en conséquence une corrélation avec les effets individuels spécifiques. Les deux types de rigidités ont donc été associés, afin de réduire cette difficulté. Ce choix présente également l'avantage d'une cohérence avec la littérature signalée plus haut mettant en avant la complémentarité des rigidités sur les deux marchés quant à leur impact en termes de performances.

Différentes associations entre les indicateurs de rigidités sur les deux marchés ont été essayées pour prendre en compte l'hypothèse de complémentarité des réformes : le croisement par multiplication des deux indicateurs en niveau, en log ou en exponentielle, et le maximum des deux indicateurs. Le critère de choix de la meilleure association a simplement été le  $R^2$  de la régression. Sur cette base, l'association finalement retenue est la fonction maximum d'EPL et ETCR, appelé MAX par la suite<sup>18</sup>. Les résultats d'estimation obtenus avec l'indicateur MAX sont fournis dans les colonnes [5] et [6] du Tableau 2. Ce sont ces résultats qui vont être commentés.

Concernant l'estimation par la méthode des variables instrumentales (colonnes [2], [4] et [6]) comme pour le tableau 1 les variables de coût d'usage et d'âge moyen du capital ainsi que de taux d'usage des capacités de production sont instrumentées par leurs différences premières retardées d'une et deux périodes. Les valeurs estimées des paramètres sont assez robustes à l'usage de variables instrumentales, mais la significativité de ces paramètres est souvent fortement réduite.

Les élasticités prix estimées sont très peu modifiées par l'introduction des indicateurs des niveaux d'éducation et de rigidités des marchés<sup>19</sup>. Concernant les TIC, cette proximité apparaît dans la représentation de l'évolution quadratique par rapport au temps de l'élasticité prix (Graphique 4).

Concernant l'éducation, il apparaît ainsi que plus la proportion de diplômés du supérieur est élevée, plus (à niveau de production donné) la diffusion des TIC est importante (le coefficient de la variable TIC avant le seuil est positif). Cet effet est accentué quand la diffusion des TIC est déjà importante (le coefficient de la variable TIC après le seuil est positif). Pour autant, cet effet s'atténue progressivement avec le niveau d'éducation (la composante quadratique est négative). L'effet de seuil peut s'interpréter simplement : le besoin de personnes qualifiées pour faciliter la diffusion des TIC est lui-même fortement croissant avec le niveau déjà atteint de diffusion des TIC. La concavité liée au terme quadratique signifie cependant le caractère progressivement décroissant de l'effet de la qualification de la main d'œuvre sur la diffusion des TIC. Ce résultat est cohérent mais plus complet que celui obtenu par Aghion et alii (2008). Les résultats d'estimation font également apparaître que, si l'élévation du niveau de qualification de la population en âge de travailler augmente la diffusion des TIC, elle réduit (à volume de production donnée) la demande d'équipements de transports et la demande de travail, ce dernier effet traduisant évidemment l'effet favorable de l'éducation sur la productivité.

Concernant les rigidités de marchés, il apparaît (par l'indicateur associant les rigidités sur les deux marchés) que la demande de TIC est décroissante avec l'importance des rigidités (le coefficient de la variable de rigidités avant le seuil est négatif). Cet effet est accentué quand la diffusion des TIC est déjà importante (le coefficient de la variable TIC après le seuil est également négatif). Ce résultat est

<sup>18</sup> Le Tableau B9 de l'Annexe B présente les  $R^2$  de chacune des régressions correspondant aux différents croisements.

<sup>19</sup> On peut le constater précisément en comparant les colonnes [5] et [6] du Tableau 2 avec les colonnes [5] et [6] du Tableau 1.

cohérent avec celui d'études antérieures, comme celle de Aghion et alii (2008). Comme dans ces précédents travaux, l'effet de seuil peut s'interpréter comme un effet de distance à la frontière : plus un pays est proche de la frontière, plus les gains de performances, en partie portés par l'utilisation des TIC, appelle de nouvelles formes de flexibilités sur les marchés des biens et du travail. Les rigidités ont aussi un impact défavorable sur la demande d'équipements de transports mais un impact favorable sur la demande de structures non résidentielles et, au-delà du seuil de diffusion des TIC, sur la demande de travail. Ce dernier résultat est également en cohérence avec de précédents travaux (Cf. par exemple Aghion et alii, 2008) qui montrent que les rigidités ont un impact défavorable sur la productivité des pays proches de la frontière technologique, un tel impact n'apparaissant pas pour les pays éloignés de cette frontière.

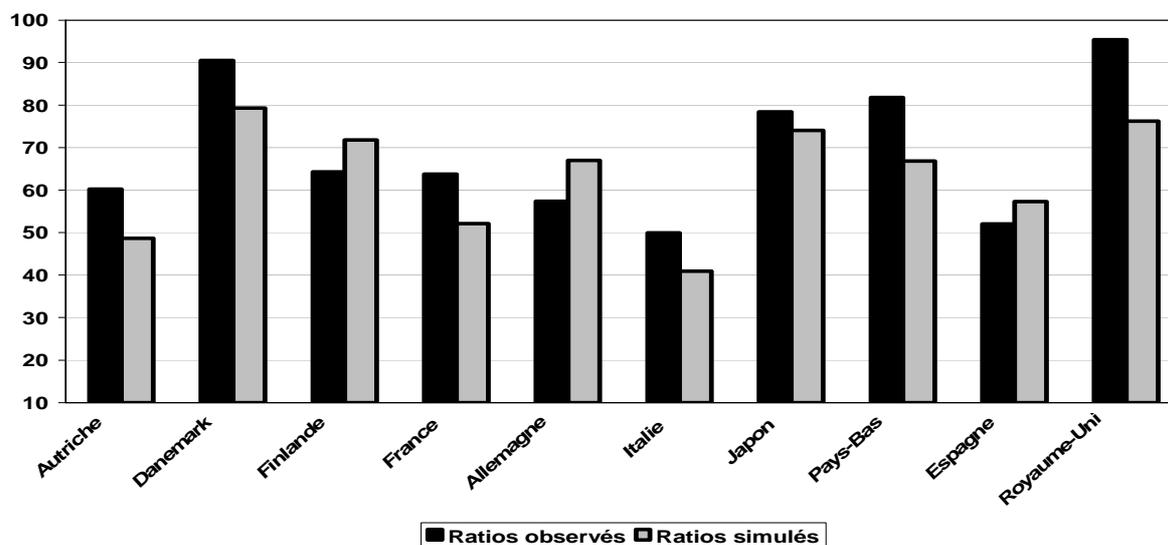
#### 4.4. Une lecture des écarts de diffusion des TIC

Les résultats de l'estimation réalisée par la méthode des variables instrumentales (colonne [6] du Tableau 2) fournissent une représentation satisfaisante du comportement de demande de TIC. Les paramètres d'élasticité-prix, d'influence de l'éducation et des rigidités, ces trois variables concentrant l'intérêt de l'étude, suffisent pour appréhender avec une bonne précision les écarts de diffusion des TIC, vis-à-vis des Etats-Unis, des 10 autres pays de notre échantillon (cf. Graphique 6 pour l'année 2005).

Graphique 6

#### Diffusion des TIC dans les différents pays relativement aux Etats-Unis Rapport du coefficient de capital TIC domestique au coefficient Américain

Année 2005 – En %



Les ratios observés correspondent aux niveaux relatifs de diffusion des TIC commentés précédemment (Partie2). Les ratios simulés sont reconstitués à partir des niveaux de diffusion des TIC calculés à partir uniquement des variables de coût d'usage, d'éducation et de rigidités en reprenant les résultats d'estimation, fournis dans la colonne [6] du Tableau 2, de la relation (2) sous les hypothèses correspondant aux relations (3'') et (4).

Ces résultats d'estimation permettent également de décomposer l'écart de diffusion des TIC simulé pour chaque pays vis-à-vis des Etats-Unis en trois contributions : les effets des écarts de coûts d'usage du capital<sup>20</sup> ; les effets des écarts d'éducation supérieure de la population en âge de travailler et les

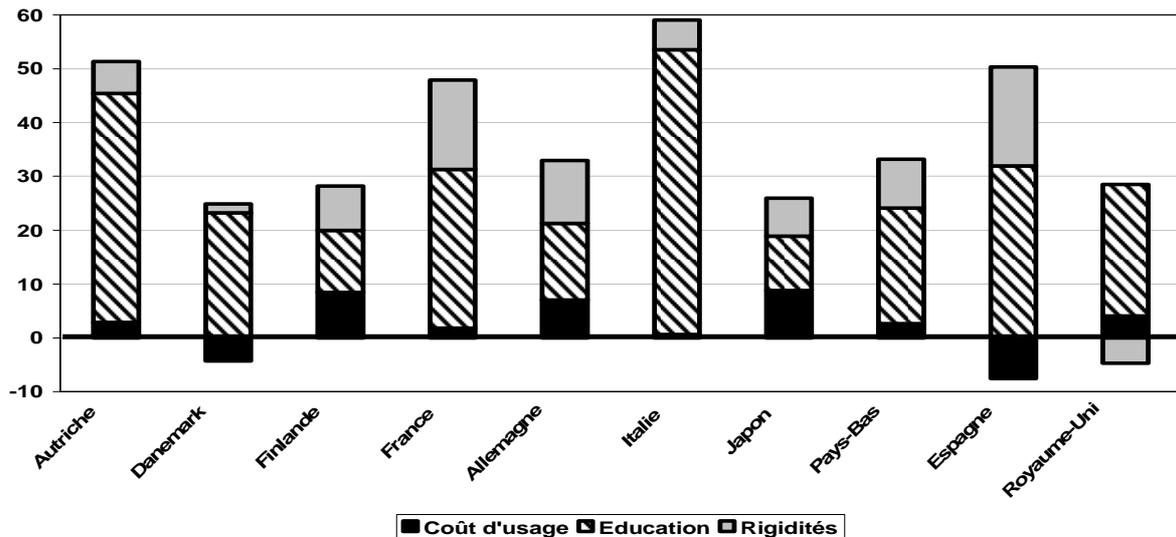
<sup>20</sup> Les écarts de coûts d'usage du capital peuvent venir d'écarts : (i) de taux d'intérêt réel ; (ii) de taux de déclasserement moyen des TIC induits par une structure différente dans les trois produits TIC considérés, le taux

effets des écarts de rigidités de marchés. Cette décomposition est illustrée sur l'année 2005 par le Graphique 7. Il apparaît que la contribution des écarts de coût d'usage du capital est, dans tous les pays, très faible : elle est partout inférieure à 10 points. La contribution des écarts d'éducation supérieure est, dans tous les pays, la plus importante : elle varie de 10 points au Japon à 53 points en Italie. La contribution des rigidités est également très variable selon les pays : elle est négative et de -5 points au Royaume-Uni, où les rigidités de marchés sont en 2005 plus réduites qu'aux Etats-Unis à 18 points en Espagne où elles sont relativement fortes.

Graphique 7

### Les différents facteurs de l'écart simulé de diffusion des TIC vis-à-vis des Etats-Unis

Année 2005 – En points



Ces contributions aux écarts simulés de diffusion des TIC vis-à-vis des Etats-Unis sont reconstitués à partir des résultats d'estimation, fournis dans la colonne [6] du Tableau 2, de la relation (2) sous les hypothèses correspondant aux relations (3'') et (4).

Une telle décomposition des différentes contributions à l'écart de diffusion des TIC de différents pays vis-à-vis des Etats-Unis est, à notre connaissance, originale par rapport à la littérature existante. Elle permet de mieux cibler où des efforts sont à faire, dans chaque pays, afin de réduire cet écart. Ainsi, en France, l'écart la diffusion des TIC est d'environ 48 % inférieure à celles observée aux Etats-Unis. L'effort principal à faire pour réduire cet écart concerne l'éducation supérieure (dont la contribution à l'écart est d'environ 29 points) et, dans une moindre mesure mais de façon cependant non négligeable, les rigidités de marchés (la contribution de ces dernières étant d'environ 17 points).

## 5. Remarques conclusives

Plusieurs résultats originaux par rapport à l'abondante littérature consacrée aux TIC ressortent de la présente analyse :

- l'influence du niveau d'éducation et des rigidités de marchés sur la diffusion des TIC s'est sensiblement modifiée dans le temps. La corrélation de la diffusion des TIC, positive avec le niveau d'éducation et négative avec les rigidités de marchés, est croissante (en valeur absolue) dans le temps pour se stabiliser vers le milieu des années 1990. Ce constat suggère une discontinuité dans l'effet du niveau d'éducation et des rigidités sur la diffusion des TIC, cet effet

---

de déclassement des matériels informatiques et des logiciels étant sensiblement supérieur, du fait d'une durée de vie plus courte, à celui des matériels de communication.

progressant avec la diffusion généralisée des TIC dans les différents pays pour se stabiliser ensuite à partir d'un certain seuil de diffusion ;

- Les estimations réalisées de la demande de TIC aboutissent dans tous les pays considérés à une baisse (en valeur absolue) de l'élasticité prix de la demande de TIC. Plus précisément, l'élasticité de substitution des TIC vis-à-vis de l'ensemble des facteurs de production serait proche ou supérieure à 2 au début de la décennie 1980 pour devenir très proche de 1 au milieu de la décennie 2000. Cette évolution paraît correspondre à une situation, décrite par Oulton (2002), où la diffusion des TIC liée à leurs gains de performances traduit à la fois l'impact d'un élargissement de la diffusion des équipements en TIC (qui sont installés là où ils ne l'étaient pas encore) et celui d'une intensification de cette diffusion (remplacement des équipements TIC installés mais devenus obsolètes par de nouveaux équipements TIC plus performants). Le premier effet s'épuise progressivement tandis que le second continue d'accompagner les gains de performances des TIC, l'ensemble se traduisant par un ralentissement de la diffusion des TIC et une baisse de l'élasticité prix de la demande de TIC (en valeur absolue) ;
- Les estimations réalisées confirment également une influence (positive) de la proportion de diplômés du supérieur est élevée et (négative) des rigidités de marchés sur la diffusion des TIC. Ces effets sont accentués quand la diffusion des TIC est déjà importante. Concernant le niveau d'éducation supérieure, il ressort cependant que cet effet s'atténue progressivement avec le niveau d'éducation, ce qui suggère une décroissance de l'effet de la qualification de la main d'œuvre sur la diffusion des TIC. Ces résultats sont cohérents mais plus complets que ceux obtenus par Aghion et alii (2008).

Ces résultats suggèrent que la révolution technologique portée par les TIC serait, depuis le début de l'actuelle décennie, entrée dans une nouvelle phase où la diffusion des TIC correspond moins qu'auparavant à une extension et une généralisation de la présence de ces biens et services qu'à une intensification et des gains de performances. Mais cette nouvelle phase correspond à un niveau de diffusion des TIC nettement supérieur aux Etats-Unis que dans les autres pays, en particulier les grands pays du continent européen parmi lesquels la France. Ces résultats apportent ainsi un éclairage utile pour la politique économique, puisqu'ils permettent de fournir une première quantification des effets à attendre, en termes de diffusion des TIC et tout particulièrement en Europe, d'une augmentation de la formation supérieure de la population en âge de travail et de baisses des rigidités de marchés. Cependant, la robustesse des résultats obtenus et en conséquence leurs enseignements mériteraient d'être confortés par d'autres analyses empiriques, réalisées sur données macro-sectorielles ou sur données individuelles d'entreprises. Pour autant, ils prolongent et complètent ceux d'analyses antérieures et paraissent conformes à l'intuition.

#### Références bibliographiques citées dans le texte

- **Aghion, P., P. Askenazy, R. Bourlès, G. Cette et N. Dromel (2008)** : « Distance à la Frontière Technologique, Rigidités de Marché, Education et Croissance », mimeo, avril ;
- **Aghion, P. et P. Howitt (2006)** : "Joseph Shumpeter Lecture – Appropriate Growth Policy : A Unifying Framework", *Journal of the European Economic Association*, Vol. 4, Issue 2-3, April-May ;
- **Amable, B. et D. Gatti (2006)** : "Labor and product Market Reforms : Questioning Policy Complementarity", *Industrial and Corporate Change*, 15, No.1, 101-122 ;
- **Antipa, P., G. Cette, L. Frey, R. Lecat et O. Vigna (2007)** : « Evolutions récentes de la productivité : accélération structurelle dans la zone euro et ralentissement structurel aux Etats-Unis ? », *Bulletin de la Banque de France*, n° 164, août ;
- **van Ark, B., R. Inklaar et R. McGuckin (2002)** (van Ark et alii (2002b) dans le texte) : *Productivity, ICT and Services Industries : Europe and the United States* », mimeo, Groningen Growth and Development Center, December ;
- **van Ark, B., J. Melka, N. Mulder, M. Timmer et G. Ypma (2002)** (van Ark et alii (2002a) dans le texte) : « ICT investment and Growth Accounts for the European Union, 1980-2000 », mimeo, June ;

- **van Ark, B., M. O'Mahoney et M. P. Timmer (2008)** : "The Productivity Gap between Europe and the United States : Trends and Causes", *The Journal of Economic Perspectives*, Winter, Vol. 22, n° 1 ;
- **Askénazy, P. et C. Gianella (2000)** : « Le paradoxe de la productivité : les changements organisationnels, facteur complémentaire à l'informatisation », *Economie et Statistique*, n° 339-340, 2000-9/10 ;
- **Blanchard, O., (2005)** : "European Unemployment: the evolution of fact and ideas", NBER Working Paper 11750, Cambridge Mass ;
- **Blanchard, O. et F. Giavazzi (2003)** : "Macroeconomic effects of regulation and deregulation in goods and labor markets", *Quarterly Journal of Economics*, August, 879-907;
- **Cette, G., Y. Kocoglu et J. Mairesse (2008)** : « A Comparison of Productivity Growth in France, the United Kingdom and the United States over the Past Century », mimeo, mai ;
- **Cette, G., J. Lopez et P.-A. Noual (2004)** : « Le comportement de demande en capital TIC : une analyse empirique sur quelques grands pays industrialisés », *Economie Internationale*, n° 98, 2<sup>ème</sup> trimestre ;
- **Cette, G., J. Lopez et P.-A. Noual (2005)** : « Investment in Information and Communication Technologies : an empirical analysis », *Applied Economics Letters*, vol. 12, n° 5, 15 April ;
- **Cette, G., J. Mairesse et Y. Kocoglu (2002)** : « Croissance économique et diffusion des TIC, le cas de la France sur longue période », *Revue Française d'Economie*, XVI, 3, janvier ;
- **Cette, G. et P.-A. Noual (2003)** : « L'investissement en TIC aux Etats-Unis et dans quelques pays européens », CEPII, Document de Travail, 2003-03, mars ;
- **Cohen, D., et M. Soto (2007)** : « Growth and Human Capital: Good Data, Good Results », *Journal of Economic Growth*, vol. 12, issue 1, March, 51-76 ;
- **Colecchia, A. et P. Schreyer (2001)** : « ICT Investment and Economic Growth in the 1990s: Is the United States a Unique Case? », OECD, DSTI/DOC(2001)7, 25 octobre ;
- **Conway, P. et G. Nicoletti (2006)** : « Product Market Regulation in the Non-Manufacturing Sectors of OECD Countries : Measurement and Highlights », OECD Economic Department Working Paper, vol. 58, December
- **Davidson, R. et J. McKinnon (1993)** : « Estimation and Inference in Econometrics », Oxford University Press;
- **Gust, C. et J. Marquez (2000)** : « Productivity Developments Abroad », *Federal Reserve Bulletin*, October ;
- **Gust, C. et J. Marquez (2004)** : « International Comparisons of Productivity Growth : The Role of Information Technology and Regulatory Practices », *Labour Economics*, vol. 11 ;
- **Koeniger, W. et A. Vindigni (2003)** : "Employment Protection and Product Market Regulation", IZA Discussion Papers N° 880 ;
- **Nickell, S., L. Nunziata, W. Ochel & G. Quintini (2001)** : « The Beveridge Curve, Unemployment and Wages in the OECD from the 1960's to the 1990's », CEP Discussion Paper, LSE ;
- **Nicoletti, G. et S. Scarpetta (2005)** : « Regulation and Economic Performance : Product Market Reforms and Productivity in the OECD », OECD Economic Department Working Paper, n° 460 ;
- **OCDE (1999)** : « Employment Protection and Labour Market Performance », *Employment Outlook*, chapter 2
- **OCDE (2002)** : « Measuring the Information Economy », mimeo ;
- **OCDE (2003)** : « ICT and Economic Growth » ;
- **Oulton (2002)** : "ICT and the Productivity Growth in the United Kingdom", *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 18, n° 3;
- **Pilat, D. et F. C. Lee (2001)** : « Productivity growth in ICT-producing and ICT-using industries : a source of growth différentiels in the OECD ? », mimeo, DSTI/DOC(2001)4, 18-jun-2001 ;
- **Sargan, J. (1958)** : « The Estimation of Economic Relationships Using Instrumental Variables », *Econometrica*, Vol. 26, Issue 393-415 ;
- **Shreyer, P. (2000)** : The contribution of information and Communication technology to output growth: A study on the G7 countries", OCDE, STI working Paper, 200/2, mars.

## **Annexe A**

### **Les données mobilisées : sources et hypothèses**

Les données mobilisées proviennent principalement de la base EU-KLEMS de l'Université de Groningen, complétées par des données OCDE prioritairement et parfois d'autres sources si nécessaire. On ne détaille donc ici la construction de données basées sur des hypothèses spécifiques à la présente étude.

Toutes les données en volume sont en base 2000. Les données en volume de la base EU-KLEMS sont en prix de l'année 1995, et nous les avons donc transformées en volume aux prix de l'année 2000.

### **Le PIB**

Les données de PIB en valeur et de son déflateur sont directement issues de la base EU-KLEMS.

### **L'investissement**

Les données d'investissement en valeur agrégées au niveau national sont issues de la base en libre accès de l'Université de Groningen<sup>21</sup>. Elles ont fait l'objet d'une homogénéisation entre les pays. Parmi les données disponibles sur cette base, nous avons repris celles renseignées sur la période 1970 – 2004, soit celles concernant le Danemark, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume-Uni et les Etats-Unis, ainsi que celles concernant l'Autriche qui ont cependant été complétées la période 1970-1975 (Cf. infra). Pour chaque pays, ces données distinguent sept actifs : équipements informatiques, équipements de communications, logiciels, équipements de transport, autres machines et équipements, structures non résidentielles et autres actifs<sup>22</sup>.

Le calcul du volume d'investissement nécessite la mobilisation des séries de prix de l'investissement. Ces dernières sont calculées à partir des données de prix de la comptabilité nationale des Etats-Unis, en supposant, pour chaque pays et chaque produit d'investissement, un même écart relatif au prix du PIB qu'aux Etats-Unis, conformément à la méthode appliquée dans Cette et Noul (2003)<sup>23</sup>.

### **Le volume du stock de capital**

Pour chacun des sept actifs et chacun des pays, le stock de capital est construit à partir des données d'investissement en volume selon la méthode dite de l'inventaire permanent par la relation :

$$K_t = (1 - \delta) \cdot K_{t-1} + I_t$$

où  $K_t$  est le volume du stock de capital installé à la fin de l'année  $t$ ,  $I_t$  le volume de l'investissement durant l'année  $t$  et  $\delta$  le taux de déclassement spécifique à chaque produit mais supposé constant dans le temps et identique pour chaque produit dans les différents pays.

Les taux de déclassement retenus sont indiqués dans le tableau A1. Ils sont usuels, et par exemple proches de ceux retenus par Cette, Mairesse et Kocoglu (2002) ou dans Cette, Lopez et Noul (2004, 2005) et pour la construction de la base EU-KLEMS.

<sup>21</sup> Ce sont les données ayant servies à la construction des séries de services du capital de la base EU-KLEMS.

<sup>22</sup> Pour plus de précision cf. la documentation de la base EU-KLEMS.

<sup>23</sup> Pour plus de précisions et un commentaire sur les avantages et inconvénients de la méthode se reporter à l'annexe 1 de Cette et Noul (2003).

Tableau A1 :

**Hypothèses de taux de déclassement annuel des différentes catégories d'actifs**

Actif	Taux de déclassement (en %)
Equipements informatiques	30
Equipements de communication	12,5
Logiciels	30
Equipements de transports	17,5
Autres machines et équipements	12,5
Structures non résidentielles	2,5
Autres actifs	12,5

Pour initialiser le calcul du capital, nous utilisons les données de stock pour l'année 1970 fournies par l'Université de Groningen. Les hypothèses sous-jacentes au calcul de capital par l'Université de Groningen diffèrent légèrement de celles retenues ici, en particulier pour les taux de déclassement et les déflateurs de l'investissement. Toutefois, la présente étude ne mobilise des données sur les stocks de capital qu'à partir de l'année 1981, ce qui réduit l'impact de tels écarts.

Une fois le volume de capital de chacun des sept actifs ainsi déterminé, les trois actifs correspondants aux technologies de l'information et de la communication (TIC), à savoir les équipements informatiques, les équipements de communications et les logiciels, sont agrégés en un actif TIC. D'autre part, les actifs 'autres machines et équipements' et 'autres actifs' sont également agrégés en un seul actif 'autres équipements'. Finalement, quatre actifs sont ainsi distingués : TIC, équipements de transport, structures non résidentielles et autres équipements.

**Le coût d'usage du capital**

Le coût d'usage des équipements est dérivé d'un modèle d'arbitrage de l'investisseur ou aussi bien d'une maximisation intertemporelle des profits. Pour chacun des quatre actifs et chaque pays, il est calculé à partir de la relation usuelle :

$$C = p \cdot (i + \delta - \Delta \log(p))$$

Dans cette relation interviennent les prix de l'investissement  $p$  (dont le calcul pour chaque pays et chaque produit est indiqué plus haut), le taux de déclassement  $\delta$  (dont le niveau pour chaque produit est indiqué plus haut) et le taux d'intérêt nominal  $i$ .  $\Delta \log(p)$  correspond à la variation du logarithme népérien du prix  $p$ , et en approxime le taux de croissance. Le taux d'intérêt nominal utilisé est, pour chaque pays, celui de long terme sur les bons du trésor issus des Perspectives Economiques de l'OCDE.

Pour les TIC, le prix d'investissement mobilisé est celui (en termes relatifs pour chaque pays par rapport au prix du PIB) directement fourni par la comptabilité nationale des Etats-Unis. Pour l'actif 'autres équipements' est retenu l'indice « Ideal » de Fisher, conformément à la méthodologie du BEA, déterminé à partir des prix BEA et des volumes de capitaux des deux actifs composites.

Pour l'actif structures non résidentielles, compte tenu du faible taux de déclassement, le coût d'usage ainsi calculé pourrait certaines années prendre dans quelques pays des valeurs négatives. Pour cette raison, la composante  $(i + \delta - \Delta \log(p))$  a été bornée à 0,005. Cette limite inférieure ne concerne de fait que peu d'observations.

**Les autres variables:**

Le facteur de production non encore mentionné est **l'emploi**. Cette grandeur a été préférée au nombre d'heures travaillées pour mesurer le facteur travail, car elle est mieux renseignée. Le prix de ce facteur est alors le salaire moyen par travailleur. Le nombre de travailleurs et la masse salariale sont issus de la base EU-KLEMS.

**L'âge moyen du capital** est calculé avec les hypothèses d'une usure des équipements résumée par le paramètre de dépréciation et d'un déclassement résiduel de l'investissement à partir d'un certain âge. Cet âge maximal, qu'il faut ici imposer pour réaliser le calcul, est de onze ans pour l'actif TIC et de quinze pour les autres actifs.

**Les taux de change** exprimés en monnaie domestique par dollars US (en pourcentage) sont issus de la base Perspectives Economiques de l'OCDE.

**Les taux d'utilisation des capacités de production (TUC)** sont issus de la base OCDE 'Principaux Indicateurs Economiques'. Ils ont ici été normés sur celui des Etats-Unis (même moyenne et même écart type), mais cela est sans influence sur les coefficients estimés des autres variables puisque les estimateurs sont propres à chaque pays.

**Le niveau d'éducation (EDUC)** est représenté par la part, au sein de la population âgée de vingt-cinq à soixante-quatre ans, des personnes ayant suivi des études supérieures, complétées ou non. Les données proviennent des bases de données Education OCDE et UNESCO de Cohen et Soto (2001). Ces données sont décennales et sont ici annualisées pour les besoins de l'estimation par interpolation linéaire au sein d'une décennie, ce qui n'est sans doute pas une hypothèse forte pour une variable assez inerte.

Le niveau des **rigidités dans la législation sur la protection de l'emploi (EPL)** correspond à l'indicateur composite calculé par l'OCDE. Pour les estimations, cet indicateur est divisé par quatre afin de prendre des valeurs comprises entre zéro et un. Les autres indicateurs de rigidités du marché du travail utilisés sont les taux de remplacement de l'indemnité chômage initial et moyen, de syndicalisation et de couverture des négociations collectives, calculés eux aussi par l'OCDE, ainsi que les deux composantes de l'indicateur EPL agrégé, soit l'indicateur de la législation sur la protection de l'emploi des contrats réguliers et celui concernant les contrats temporaires. Pour plus d'information se référer à OCDE (1999)

L'indicateur de **réglementation des marchés des biens (ETCR)** provient de la base OCDE 'Réglementation Internationales'. C'est un indicateur synthétique obtenu par l'agrégation de 4 autres indicateurs de base mesurant les barrières à l'entrée, la part du gouvernement dans la plus grande entreprise de chaque secteur, la part de marché de cette entreprise et le degré d'intégration verticale. Ces indices sont composés en tenant compte du niveau de rigidités sur les marchés des biens dans sept industries non-manufacturières : gaz, électricité, postes, télécommunication, transport aériens, ferrés et routiers. Pour les estimations, l'indicateur ETCR est divisé par six afin de prendre des valeurs comprises entre zéro et un. Pour plus d'information se référer à Conway et Nicoletti (2006).

Les instruments 'externes' utilisés pour mettre en œuvre la régression sur variables instrumentales sont **le nombre moyen d'années d'études** chez les plus de vingt cinq ans, provenant des bases de données Education OCDE et UNESCO de Cohen et Soto (2001), **la dépense totale des administrations publiques, la recette totale des administrations publiques, la part des salaires dans la valeur ajoutée et le taux d'activité**. Ces variables sont toutes issues des Perspectives Economiques de l'OCDE.

### Les données manquantes

Certaines données manquantes ont été construites par extra- ou rétro-polations réalisées sous l'hypothèse d'égalité des taux de croissance de la série insuffisamment renseignées avec celui de la même variable d'une autre source si possible, ou sinon avec le taux de croissance moyen de la série sur les quatre dernières années<sup>24</sup>. Les cas de séries complétées par ces méthodes ainsi que d'autres cas particuliers sont les suivants :

- Le PIB en valeur en 2005 et son déflateur ainsi que les données sur l'emploi ont été extrapolé à partir des Perspectives Economiques de l'OCDE ;
- L'investissement en valeur Allemand avant 1991 est rétro-polé sur les données de l'Allemagne de l'Ouest ;
- L'investissement en valeur en Autriche pour la période 1970-1975 est complété à partir de la formation brute de capital fixe renseigné par les Perspectives Economiques de l'OCDE, en faisant l'hypothèse d'une même évolution de la composition par actifs de l'investissement qu'en Allemagne ;

<sup>24</sup> Ce dernier cas a été utilisé pour au plus deux données manquantes en fin de période.

- L'investissement en équipements de communication en valeur aux Pays-Bas est construit à partir des données d'investissement en équipements informatiques et logiciels dans ce pays en considérant que la part des équipements de communication dans les équipements TIC est égale à la part moyenne dans les autres pays<sup>25</sup> ;
- Un âge maximum des actifs non TIC de quinze ans ne permet pas d'avoir un résultat pour les années 1981-1983. Une rétropolation est alors réalisée, à partir de l'âge moyen calculé pour un âge maximal de onze ans, préalablement harmonisé sur celui à quinze ;
- Le TUC est renseigné de façon incomplète pour quatre pays : Autriche (1996-2005), Danemark (1987-2005), Finlande (1993-2005) et Royaume-Uni (1985-2005). Par contre, nous disposons des évaluations complètes des écarts de PIB de ces pays, réalisées par l'OCDE et fournies dans les Perspectives Economiques. Les TUC harmonisés des sept pays complets sont régressés sur les écarts de PIB, puis ces résultats d'estimations sont utilisés pour calculer les TUC des quatre pays pour lesquels l'information est incomplète. Les TUC ainsi calculés servent ensuite à la rétropolation des séries ensuite harmonisés sur les Etats-Unis ;
- L'indicateur de rigidités sur le marché du travail est renseigné uniquement pour la période 1982-2003. Les rétro- et extrapolations sont réalisés à l'aide des données de Nickell & al. (2001). Seuls l'Autriche, la France, l'Espagne et le Royaume-Uni ont connu des changements de législation sur la protection du travail dans les années concernées et pour les autres pays les séries sont donc simplement complétées en supposant une constance de l'indicateur. Lorsque les rigidités sont modifiées, la nouvelle valeur de l'indicateur est celle des données de Nickell & al. (2001) harmonisée sur celles de l'indicateur OCDE ;
- L'indicateur de rigidités sur le marché des biens et services est extrapolé pour l'année 2004 à partir du taux de croissance des quatre années précédentes ;
- La dépense totale des administrations publiques de l'Allemagne est complétée pour la période précédent la réunification sous l'hypothèse d'égalité du taux de croissance de cette dépense et de la moyenne de celles de l'Autriche et des Pays-Bas.

---

<sup>25</sup> Danemark excepté car pour ce pays, la répartition entre les trois actifs TIC est atypique.

**Annexe B**  
**Résultats d'estimation complémentaires**

Tableau B1

**Tests de nullité jointe par produit des paramètres de TUC pays\*produits**

	TIC	Equipements de transport	Autres équipements	Structures non-résidentielles	Travail
<b>F-stat</b>	12,39	2,42	1,97	3,17	0,61
<b>P-valeur</b>	0,000	0,008	0,034	0,001	0,803

Les tests sont réalisés à partir de l'équation (2') sous l'hypothèse (3) et l'hypothèse (4) modifiée en permettant aux paramètres de la variable du taux d'utilisation des capacités de production de différer d'un produit à l'autre.

Tableau B2

**Tests d'hypothèses emboîtées d'égalité des élasticités prix**

	Equipements TIC	Equipements de transport	Autres équipements	Structures non-résidentielles	Travail
<b>F-stat</b>	15,99	1,94	1,07	2,16	3,55
<b>P-valeur</b>	0,000	0,037	0,380	0,022	0,000

Les tests sont réalisés à partir de l'équation (2') et sous les hypothèses (4) et (3), cette dernière étant modifiée séparément pour chaque test d'un facteur en permettant au paramètre d'élasticité prix et aux coefficients d'âge moyen du capital et du taux de change de différer selon le pays.

Tableau B3

**Tests d'hypothèses emboîtées d'égalité des élasticités prix**

	Equipements TIC	Equipements de transport	Autres équipements	Structures non-résidentielles	Travail
<b>F-stat</b>	15,99	1,94	1,07	2,16	3,55
<b>P-valeur</b>	0,000	0,037	0,380	0,022	0,000

Les tests sont réalisés à partir de l'équation (2') sous les hypothèses (3) et (4).

Tableau B4

**Résultats d'estimations de la relation (2') sous les hypothèses (3''') et (4)**

Ne sont fournies dans ce Tableau que les élasticités prix estimées

Elasticités-prix		MCO			VI		
		cst	t	t <sup>2</sup>	cst	t	t <sup>2</sup>
TIC	<b>Autriche</b>	-1,672** (-8,90)	0,023 (0,92)	-0,0003 (-0,39)	-1,475** (-4,78)	-0,021 (-0,42)	0,001 (0,71)
	<b>Danemark</b>	-2,190** (-14,4)	0,123** (5,84)	-0,003** (-4,61)	-2,229** (-6,54)	0,116* (2,31)	-0,003 (-1,72)
	<b>Finlande</b>	-4,462** (-17,8)	0,321** (10,1)	-0,008** (-8,43)	-4,874** (-13,8)	0,353** (7,25)	-0,009** (-5,74)
	<b>France</b>	-2,266** (-12,3)	0,096** (3,89)	-0,002** (-3,15)	-2,166** (-7,64)	0,070 (1,74)	-0,001 (-1,20)
	<b>Allemagne</b>	-1,337** (-9,03)	0,022 (1,04)	-0,0004 (-3,94)	-1,484** (-6,21)	0,022 (0,61)	-0,0002 (-0,13)
	<b>Italie</b>	-2,685** (-10,7)	0,155** (5,03)	-0,004** (-3,94)	-3,067** (-7,33)	0,168** (3,44)	-0,003* (-2,42)
	<b>Japon</b>	-1,866** (-7,01)	0,045 (1,61)	-0,001 (-0,84)	-2,167** (-5,92)	0,067 (1,42)	-0,001 (-0,68)
	<b>Pays-Bas</b>	-2,639** (-10,0)	0,143** (4,71)	-0,004** (-4,16)	-2,445** (-6,79)	0,087 (1,82)	-0,002 (-1,04)
	<b>Espagne</b>	-2,441** (-10,5)	0,094** (3,24)	-0,001 (-1,63)	-2,220** (-6,20)	0,049 (1,02)	0,0001 (0,07)
	<b>Royaume-Uni</b>	-1,782** (-13,5)**	0,014 (0,75)	0,0002 (0,37)	-1,601** (-6,18)	-0,019 (-0,49)	0,001 (1,08)
	<b>Etats-Unis</b>	-1,737** (-9,88)	0,015 (0,59)	0,0001 (0,13)	-1,600** (-5,12)	-0,026 (-0,56)	0,002 (1,05)
	<b>Equipements de transport</b>		-0,139** (-3,66)			-0,441 (-1,94)	
<b>Autres équipement</b>		-0,080* (-2,07)			-0,213 (-1,41)		
<b>Structures non-résidentielles</b>		-0,018** (-2,79)			-0,080** (-3,87)		
<b>Travail</b>		-0,786** (-15,8)			-0,626 (-1,71)		
<b>Test de Davidson et McKinnon</b>							
Statistique					2,704		
P-Valeur					0,000		
<b>Test de Sargan</b>							
Statistique					70,051		
P-Valeur					0,230		
<b>R<sup>2</sup></b>		0,962			0,951		

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$ .

Tableau B5

Estimation de (2) sous les hypothèses (3'') et (4) avec des indicateurs de rigidités du marché du travail alternatifs

		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
Indicateur de rigidité retenu		EPL-reg	EPL-temp	RR1	ARR	UNDENS	UNCOV	
Elasticités prix	TIC	Cte	-1,831** (-30,6)	-1,880** (-30,9)	-1,842** (-31,1)	-1,841** (-30,7)	-1,664** (-26,5)	-1,822** (-30,3)
		t	0,091** (11,0)	0,084** (10,1)	0,085** (10,4)	0,083** (9,95)	0,073** (8,93)	0,081** (9,70)
		t <sup>2</sup>	-0,002** (-7,42)	-0,002** (-6,43)	-0,002** (-6,80)	-0,002** (-6,43)	-0,001** (-5,13)	-0,002** (-6,35)
		Equipements de transport	-0,124** (-2,90)	-0,137** (-3,15)	-0,140** (-3,30)	-0,154** (-3,55)	-0,107* (-2,56)	-0,149** (-3,45)
	Autres équipements	-0,124** (-2,93)	-0,144** (-3,36)	-0,133** (-3,17)	-0,140** (-3,28)	-0,129** (-3,14)	-0,148** (-3,46)	
	Structures non résidentielles	0,007 (0,88)	0,003 (0,30)	0,006 (0,74)	0,005 (0,64)	0,006 (0,68)	0,004 (0,47)	
	Travail	-0,685** (-6,66)	-0,681** (-6,83)	-0,724** (-7,60)	-0,691** (-7,17)	-0,756** (-8,09)	-0,703** (-7,09)	
Education	TIC avant le seuil	9,214** (7,93)	6,246** (5,88)	6,946** (6,59)	5,898** (5,44)	7,271** (7,11)	7,266** (6,31)	
	TIC après le seuil	10,559** (8,32)	7,092** (6,19)	8,400** (7,31)	7,029** (6,01)	8,434** (7,60)	8,363** (6,66)	
	TIC, composante quadratique	-13,196** (-5,55)	-9,022** (-3,84)	-8,180** (-3,61)	-6,620** (-2,77)	-4,944* (-2,33)	-9,093** (-3,82)	
	Equipements de transport	-2,170** (-3,97)	-2,247** (-4,07)	-2,176** (-4,05)	-2,422** (-4,44)	-2,695** (-5,05)	-2,267** (-4,14)	
	Autres équipements	-2,775** (-5,09)	-2,912** (-5,27)	-2,917** (-5,43)	-3,040** (-5,59)	-3,207** (-5,99)	-2,963** (-5,41)	
	Structures non résidentielles	-0,983 (-1,76)	-1,095 (-1,94)	-1,261* (-2,29)	-1,327* (-2,38)	-1,121* (-2,04)	-1,304* (-2,32)	
	Travail	-2,315** (-3,81)	-2,775** (-4,76)	-2,602** (-4,61)	-2,652** (-4,63)	-2,214** (-3,85)	-2,617** (-4,41)	
Rigidités de marchés	TIC avant le seuil	-0,131** (-3,64)	0,014 (0,98)	0,005** (5,83)	0,006** (3,91)	-0,007** (-2,90)	0,011** (2,63)	
	TIC après le seuil	-0,210** (-5,41)	-0,018 (-0,94)	0,001 (0,55)	0,002 (1,01)	-0,011** (-4,50)	0,008* (1,99)	
	Equipements de transport	-0,092** (-2,66)	0,036* (2,49)	0,003** (3,55)	0,005** (3,72)	-0,004 (-1,87)	-0,009* (-2,25)	
	Autres équipements	0,001 (0,02)	0,049** (3,42)	0,002** (2,71)	0,003 (1,84)	0,0001 (0,03)	-0,004 (-1,07)	
	Structures non résidentielles	0,071* (2,07)	0,076** (5,32)	0,001 (1,62)	0,001 (0,89)	0,007** (3,07)	-0,003 (-0,63)	
	Travail avant le seuil	0,033 (0,95)	-0,005 (-0,35)	-0,0003 (-0,34)	-0,001 (-0,52)	0,008** (3,62)	-0,001 (-0,33)	
	Travail après le seuil	0,030 (0,84)	-0,017 (-0,97)	0,0001 (0,19)	-0,0003 (-0,19)	0,009** (3,72)	-0,001 (-0,28)	
<b>P-valeurs des tests</b>								
a5 <sub>TIC</sub> ' = 0		0	0	0	0	0	0	
a7 <sub>TIC</sub> ' = 0		0	0,001	0	0	0	0	
a7 <sub>Travail</sub> ' = 0		0,807	0,153	0,248	0,379	0,352	0,523	
<b>R<sup>2</sup></b>		0,956	0,955	0,957	0,956	0,959	0,956	

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$

Les indicateurs alternatifs employés pour la régulation du marché du travail sont : EPL sur les emplois réguliers (EPL-reg.), EPL sur les emplois temporaires (EPL-temp.), ces deux indicateurs étant noté sur 0-4, le taux de remplacement de l'indemnité chômage la première année (RR1) et en moyenne sur les cinq premières années (ARR), le taux de syndicalisation (UNDENS) et le taux de couverture des conventions collectives (UNCOV), ces derniers étant notés en points de pourcentage.

Les estimateurs des élasticités prix et des coefficients de l'éducation sont très peu sensibles au choix de l'indicateur de rigidité des marchés. L'estimation à l'aide de la composante d'EPL concernant les emplois réguliers (EPL-reg) donne les résultats attendus sur la demande de TIC (contrairement à EPL agrégé) alors que la composante de l'emploi temporaire (EPL-temp) n'a pas d'effet significatif. Le taux de remplacement de l'indemnité chômage (RR1 et ARR) semble avoir un effet positif sur la demande de TIC avant le seuil mais plus après, la capacité offerte par l'indemnité d'attendre une rencontre de meilleure qualité semble s'être détérioré. Le taux de syndicalisation (UNDENS) apparaît défavorable à l'accumulation de capital TIC, mais cela doit être relativisé par la présence de deux tendances fortes et de sens opposés entre l'évolution du coefficient TIC et le taux de syndicalisation. Enfin le taux de couverture des conventions collectives (UNCOV) a un effet positif sur la demande de TIC.

Tableau B6

## Estimation de (2) sous les hypothèses (3'') et (4) avec les sous-indicateurs d'ETCR

Indicateur de rigidité retenu			[1]	[2]	[3]	[4]
			ENTREE	PUB	MARCHE	VERT
Elasticités prix	TIC	Cte	-1,831** (-30,9)	-1,858** (-30,5)	-1,795** (-29,44)	-1,825** (-29,5)
		t	0,079** (9,36)	0,081** (9,46)	0,080** (9,45)	0,079** (9,31)
		t <sup>2</sup>	-0,001** (-5,68)	-0,002** (-5,75)	-0,002** (-6,02)	-0,002** (-5,72)
		Equipements de transport	-0,070 (-1,61)	-0,135** (-3,09)	-0,134** (3,07)	-0,134** (-3,06)
	Autres équipements	-0,126** (-2,98)	-0,141** (-3,25)	-0,131** (-3,07)	-0,140** (-3,22)	
	Structures non résidentielles	-0,008 (-0,89)	0,004 (0,41)	0,006 (0,66)	0,004 (0,43)	
	Travail	-0,740** (-7,80)	-0,747** (-7,54)	-0,680** (-6,66)	-0,736** (-7,42)	
Education	TIC avant le seuil	7,843** (6,97)	6,671** (6,04)	8,886** (7,67)	7,077** (5,87)	
	TIC après le seuil	9,139** (7,31)	7,646** (6,37)	10,161** (8,04)	8,239** (6,09)	
	TIC, composante quadratique	-10,611** (-4,62)	-8,763** (-3,80)	-11,053** (-4,84)	-9,491** (-3,82)	
	Equipements de transport	-4,206** (-6,86)	-2,456** (-4,44)	-1,982** (-3,59)	-2,448** (-4,37)	
	Autres équipements	-3,622** (-5,89)	-3,184** (-5,76)	-2,916** (-5,26)	-3,195** (-5,71)	
	Structures non résidentielles	0,474 (0,76)	-1,544** (-2,73)	-1,289* (-2,27)	-1,554** (-2,72)	
	Travail	-1,968** (-3,07)	-2,355** (-3,88)	-2,537** (-4,00)	-2,669** (-4,45)	
Rigidités de marchés	TIC avant le seuil	0,024* (2,27)	0,028** (3,77)	0,053** (6,16)	0,027** (2,94)	
	TIC après le seuil	-0,040* (-2,22)	0,0003 (1,86)	0,008 (1,52)	0,000 (1,68)	
	Equipements de transport	-0,052** (-5,27)	0,0003 (1,75)	0,006 (1,17)	0,000 (1,38)	
	Autres équipements	-0,015 (-1,57)	-0,0001 (-0,71)	-0,006 (-1,12)	0,000 (-0,59)	
	Structures non résidentielles	0,052** (5,27)	-0,0002 (-1,52)	-0,008 (-1,50)	0,000 (-1,37)	
	Travail avant le seuil	0,017 (1,71)	0,006 (1,15)	0,0003 (0,04)	0,0002 (0,04)	
	Travail après le seuil	0,024 (1,75)	0,000 (0,05)	0,002 (0,33)	0,000 (-0,09)	
<b>P-valeurs des tests :</b>						
a <sub>5TIC</sub> ' = 0			0	0	0	0
a <sub>7TIC</sub> ' = 0			0	0	0	0,003
a <sub>7Travail</sub> ' = 0			0,384	0,251	0,771	0,967
<b>R<sup>2</sup></b>			0,957	0,954	0,955	0,954

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$ .

L'indicateur ETCR se décompose en les sous-indicateurs suivants : les barrières à l'entrée (ENTREE), la part moyenne du gouvernement dans la plus grande entreprise de chaque secteur considéré (PUB), les parts de marché de ces entreprises (MARCHE) et le degré d'intégration verticale (VERT). Tous ces indicateurs sont compris dans l'intervalle 0-6. Les rigidités ont un effet positif sur la demande de TIC quand le niveau de diffusion des TIC est faible quelque soit le sous-indicateur d'ETCR choisi, par contre il devient ensuite non-significatif pour trois d'entre eux alors qu'il est négatif et significatif pour l'indicateur de barrières à l'entrée, celles-ci étant justement les rigidités du marché des biens et services ayant le plus évolué sur la période.

Tableau B7

**Tests joints d'égalité des paramètres avant et après le seuil de diffusion du capital TIC, à partir de (2) et sous les hypothèses (3'') et (4)**

Valeur du seuil		aucun	2,25%	3%	4%	5%
<b>EPL</b>	<b>F-stat</b>		18,962	30,163	23,999	15,935
	<b>P-valeur</b>		0	0	0	0
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,9562	0,9587	0,9600	0,9593	0,9583
<b>ETCR</b>	<b>F-stat</b>		17,330	25,738	26,588	23,013
	<b>P-valeur</b>		0	0	0	0
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,9552	0,9576	0,9583	0,9588	0,9583
<b>Observations supérieures au seuil, en %</b>			50,0	36,7	26,9	20,0

La variable seuil est le coefficient de capital TIC

Tableau B8

**Robustesse des paramètres aux hypothèses de seuil et de tendance quadratique dans le temps de l'élasticité prix**

			[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Hypothèses			Col [5] et [6]	Tab. 2	Seuil de 3%		Seuil de 5%		(3)	
Méthode d'estimation			MCO	VI	MCO	VI	MCO	VI	MCO	VI
Elasticités prix	TIC	Cte	-1,795** (30,34)	-2,519** (20,88)	-1,792** (-30,04)	-2,523** (-19,2)	-1,789** (-30,2)	-2,483** (-19,0)	-1,083** (-28,8)	-1,156** (-4,16)
		t	0,089** (10,82)	0,155** (7,43)	0,085** (9,72)	0,161** (6,29)	0,083** (10,3)	0,149** (6,34)		
		t <sup>2</sup>	-0,002** (7,39)	-0,004** (5,45)	-0,002** (-6,49)	-0,004** (-4,78)	-0,002** (-6,18)	-0,004** (-4,43)		
		Equipements de transport	-0,11** (2,59)	0,248 (0,96)	-0,109* (-2,57)	0,026 (0,10)	-0,110* (-2,55)	0,079 (0,29)	-0,136** (-2,88)	0,380 (1,20)
	Autres équipements	-0,128** (3,07)	0,078 (0,49)	-0,127** (-3,06)	-0,015 (-0,09)	-0,126** (-2,98)	-0,049 (-0,29)	-0,175** (-3,81)	-0,215 (-1,16)	
	Structures non résidentielles	-0,003 (0,40)	-0,04 (1,44)	-0,003 (-0,37)	-0,039 (-1,41)	-0,002 (-0,25)	-0,045 (-1,57)	-0,018 (-1,89)	-0,086** (-2,81)	
	Travail	-0,728** (7,67)	0,344 (0,85)	-0,734** (-7,73)	0,045 (0,10)	-0,743** (-7,83)	-0,885 (0,20)	-0,885** (-8,47)	-0,302 (-0,61)	
	Education	TIC avant le seuil	8,431** (7,44)	7,832** (4,39)	9,208** (8,11)	8,404** (4,64)	6,971** (6,37)	5,303** (3,16)	5,018** (4,09)	5,151 (1,25)
		TIC après le seuil	9,98** (8,00)	9,294** (4,72)	10,814** (-6,19)	10,126** (5,05)	8,348** (6,95)	6,462** (3,54)	5,687** (-2,75)	5,844 (1,27)
		TIC, composante quadratique	-12,171** (5,29)	-12,705** (4,35)	-14,502** (8,66)	-16,430** (-5,47)	-9,334** (-4,26)	-8,884** (-3,33)	-6,836** (4,23)	-8,893* (-2,09)
Equipements de transport		-3,202** (5,44)	-1,190 (1,37)	-3,059** (-5,24)	-1,763 (-1,86)	-3,462** (-5,82)	-2,125* (-2,19)	-3,599** (-5,52)	-2,556* (-2,37)	
Autres équipements		-3,550** (6,00)	-1,777* (2,08)	-3,407** (-5,81)	-2,312* (-2,48)	-3,818** (-6,38)	-2,714** (-2,84)	-3,887** (-5,93)	-3,217** (-3,06)	
Structures non résidentielles		-0,179 (0,30)	1,424 (1,56)	-0,030 (-0,05)	0,749 (0,75)	-0,413 (-0,68)	0,371 (0,36)	-0,715 (-1,08)	-0,680 (-0,60)	
Travail		-1,831** (2,92)	-3,721** (3,27)	-1,642* (-2,59)	-2,801* (-2,18)	-1,955** (-3,17)	-3,408** (-2,82)	-1,911** (-2,75)	-3,065* (-2,19)	
Rigidités de marchés	TIC avant le seuil	-0,217* (2,24)	-0,055 (0,36)	-0,138 (-1,41)	0,031 (0,20)	-0,262** (-2,69)	-0,068 (-0,43)	-0,196 (-1,84)	-0,024 (-0,09)	
	TIC après le seuil	-0,697** (6,51)	-0,519** (2,93)	-0,618** (-6,24)	-0,403** (-2,65)	-0,621** (-5,56)	-0,453* (-2,24)	-0,782** (-6,72)	-0,595 (-1,89)	
	Equipements de transport	-0,265** (3,03)	-0,375** (2,82)	-0,261** (-3,00)	-0,247 (-1,79)	-0,259** (-2,93)	-0,262 (-1,87)	-0,279** (-2,88)	-0,409** (-2,69)	
	Autres équipements	-0,150 (1,72)	-0,214 (1,94)	-0,146 (-1,68)	-0,135 (-1,20)	-0,147 (-1,67)	-0,128 (-1,11)	-0,150 (-1,55)	-0,106 (-0,83)	
	Structures non résidentielles	0,326** (3,66)	0,417** (3,47)	0,331** (3,74)	0,440** (3,59)	0,332** (3,69)	0,460** (3,66)	0,326** (3,30)	0,471** (3,41)	
	Travail avant le seuil	0,199* (2,27)	0,144 (1,39)	0,204* (2,35)	0,225* (2,03)	0,209* (2,36)	0,226* (1,99)	0,180 (1,86)	0,171 (1,38)	
	Travail après le seuil	0,224* (2,38)	0,225* (1,99)	0,217* (2,35)	0,238* (2,08)	0,223* (2,34)	0,262* (2,14)	0,246* (2,37)	0,238 (1,83)	
	P-valeurs des tests :									
a <sub>5</sub> TIC' = 0			0	0	0	0	0	0	0,175	
a <sub>7</sub> TIC' = 0			0	0	0	0	0	0	0	
a <sub>7</sub> Travail' = 0			0,492	0,119	0,691	0,777	0,722	0,465	0,105	0,284
Test de Davidson et McKinnon										
Statistique				16,950		10,442		9,622		3,831
P-valeur				0		0		0		0
Test de Sargan										
Statistique				49,649		26,625		30,693		71,600
P-valeur				0,032		0,226		0,103		0
R <sup>2</sup>			0,958	0,944	0,958	0,947	0,957	0,945	0,948	0,934

Entre parenthèses : Statistiques du t de Student des coefficients estimés.

\*\* indique une significativité du paramètre au seuil de 1 %, \* au seuil de 5 %.

Liste des instruments retenus :  $\Delta c_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta c_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta AGE_{j,k,t-2}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-1}$ ,  $\Delta TUC_{j,k,t-2}$ .

Afin de faciliter les comparaisons, les colonnes [1] et [2] reprennent les estimations déjà présentées dans les colonnes [5] et [6] du Tableau 2, correspondantes aux spécifications privilégiées.

Tableau B9

**R<sup>2</sup> des estimations de la relation (2) sous les hypothèses (3'') et (4) selon divers croisements des variables EPL et ETCR**

	<b>EPL*ETCR</b>	<b>log(EPL)*log(ETCR)</b>	<b>exp(EPL + ETCR)</b>	<b>Max (EPL ; ETCR)</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9583	0,9581	0,9579	0,9584