

Déterminants de la productivité par employé : une évaluation empirique en données de panel

Les déterminants de la productivité par employé sont étudiés ici en variation sur les années quatre-vingt-dix ainsi qu'en niveau dans une approche structurelle. L'estimation en variation porte sur un panel de vingt-cinq pays industrialisés et utilise la méthode des moments généralisés. L'estimation en niveau porte sur le PIB en parité de pouvoir d'achat par employé en 2000, à partir d'un échantillon de soixante-dix-sept pays. En outre, un sous-échantillon de quarante-neuf pays permet de rendre compte de l'impact des dépenses en technologies de l'information et de la communication (TIC) sur la productivité.

En variation, comme en niveau, le rôle positif et significatif des TIC sur la productivité est confirmé. En variation sur les années quatre-vingt-dix, la part dans le PIB des dépenses en TIC, ou celle de leur production, peuvent séparément avoir une incidence positive sur le taux de croissance de la productivité. Cette conclusion rejoint celle de Gust et Marquez (2002), mais sur un échantillon plus large de pays et en utilisant la méthode des moments généralisés.

Dans les deux parties de l'étude, une relation négative entre le taux d'emploi et la productivité, liée à la concentration de l'emploi sur les salariés les plus productifs, ressort significativement.

Enfin, dans l'estimation en variation, la durée du travail et le taux d'investissement font également partie des déterminants influençant positivement la productivité par tête.

En niveau, les déterminants de la productivité ont été recherchés dans les caractéristiques structurelles des pays. Les indicateurs reflétant le niveau de développement des infrastructures publiques et le niveau de capital humain sont apparus particulièrement significatifs, tant sur l'échantillon large que sur l'échantillon réduit comportant une plus grande part de pays industrialisés. Par ailleurs, des indicateurs du niveau de développement financier ou de la stabilité des prix sont apparus significatifs dans l'échantillon large. Enfin, il n'a pas été possible de faire ressortir certains déterminants traditionnellement avancés pour expliquer les écarts de niveau de productivité, comme la recherche-développement, les indicateurs de taille du marché ou le taux d'investissement.

Nicolas BELORGEY

Rémy LECAT

Tristan-Pierre MAURY

Direction des Études économiques et de la Recherche

Service d'Études sur les économies étrangères

NB : Ce travail a été réalisé dans le cadre du réseau « productivité – rentabilité » piloté par G. Cette à la Banque de France. Il n'engage que les auteurs et ne reflète pas nécessairement la position de la Banque de France.

Les travaux de décomposition de la croissance économique ont attribué une part importante des progrès de la productivité du travail au « progrès technique ». Afin de préciser ce concept peu opératoire, les analyses ont notamment mis en avant le rôle de la recherche et développement (Greenan, Mairesse et Topiol-Bensaid, 2001, Scarpetta et Tressel, 2002 ou Guellec et de la Potterie, 2001), du niveau d'éducation (Lucas, 1988), des infrastructures publiques (Aschauer, 1989) et de l'âge du capital. À la fin des années quatre-vingt-dix, à côté de ces déterminants traditionnels, le débat économique s'est porté sur les technologies de l'information et de la communication (TIC), qui regroupent usuellement les matériels informatiques, les logiciels et les matériels de communication.

Ces nouvelles technologies contribueraient à expliquer les évolutions de la productivité dans les années quatre-vingt-dix. En particulier, plusieurs analyses avancent que la forte hausse du taux de croissance moyen de la productivité américaine dans la seconde moitié de cette décennie peut en grande part être attribuée à la production et à l'utilisation de ces technologies. L'impact des TIC sur la productivité du travail emprunterait trois canaux.

- Les secteurs producteurs de TIC apporteraient une contribution importante à la croissance de la productivité. Malgré une taille limitée (7,3 % du PIB¹) : la vigueur de leurs gains de productivité expliquerait 40 % de l'accélération de la productivité du travail aux États-Unis depuis 1995, selon Oliner et Sichel (2002). En effet, la baisse rapide du prix de la puissance électronique (– 18 % par an sur les quatre décennies passées), liée principalement à l'augmentation des performances des processeurs, amplifie la forte hausse des volumes produits par ces secteurs. La productivité du travail dans ce secteur a donc fortement progressé, apportant une contribution de plus en plus significative à la croissance dans les pays industrialisés avec le renforcement de leur part dans le PIB.
- L'investissement en TIC, qui a fortement augmenté sous l'effet de l'accélération de la performance de ces biens, a entraîné une hausse du stock de capital disponible par employé (l'intensité capitaliste) et un renouvellement plus rapide des matériels. Ceci aurait un effet positif sur la productivité du travail. Oliner et Sichel (2002) ont évalué que cet effet pouvait contribuer à près de 60 % de l'accélération de la productivité américaine.
- Dernier canal, qui fait encore débat, l'utilisation des TIC permettrait d'augmenter la productivité globale des facteurs des secteurs qui utilisent intensément ces technologies, comme les assurances, la finance, la grande distribution ou l'aéronautique. Les TIC, en favorisant notamment une meilleure coordination des intervenants du processus de production, permettraient une meilleure utilisation des facteurs de production. Dans le secteur de la grande distribution, par exemple, des gains de productivité importants ont été enregistrés aux États-Unis ; certains auteurs les attribuent à l'utilisation des TIC, qui aurait

¹ Bart van Ark, Robert Inklaar et Robert McGuckin, 2002

permis une meilleure gestion de l'assortiment, de la chaîne logistique et des opérations logistiques en magasin^{2,3}.

La mise en évidence de l'impact des TIC a jusqu'à présent surtout donné lieu à des études de décomposition de la croissance, pays par pays. Aux États-Unis, plusieurs études (notamment Jorgenson et Stiroh, 2000, Oliner et Sichel, 2000) ont ainsi mis en évidence la contribution à la croissance de la productivité globale des facteurs des secteurs producteurs de TIC et la contribution de l'investissement en TIC à la croissance de la productivité apparente du travail.

En revanche, les études des déterminants de la productivité en comparaison internationale sont plus rares. Gust et Marquez (2002) ont conduit une telle analyse sur treize pays. Les auteurs concluent que les variations de productivité entre le début et la fin des années quatre-vingt-dix sont liées à la production et à l'utilisation de TIC ainsi qu'aux variations du taux d'emploi. Ils montrent également un effet indirect du degré de réglementation des marchés du travail et des biens, du niveau d'éducation et de la part de l'emploi dans les services sur la productivité, *via* leur effet sur les TIC. La diffusion de ces dernières serait ainsi retardée par les contraintes réglementaires pesant sur le renouvellement des employés et par les barrières à l'entrée sur certains marchés. Cette dernière conclusion rejoint celle de Scarpetta et Tressel (2002). Pilat et Lee (2001) mettent également en relation l'investissement en TIC et le coût de celles-ci ou des télécommunications, dont les variations d'un pays à l'autre peuvent être liées à des distorsions réglementaires.

Dans la présente analyse, les déterminants de la productivité sont étudiés d'abord en se concentrant sur la période des années quatre-vingt-dix, puis, dans une approche plus structurelle, en comparant les niveaux de productivité⁴.

La première partie de l'étude est conduite sur un panel de vingt-cinq pays et met en relation la croissance de la productivité, année par année, de 1992 à 2000 avec ses déterminants, en utilisant la méthode des moments généralisés. Contrairement à celle employée par Gust et Marquez (2002) (moindres carrés ordinaires ou généralisés), cette méthode permet d'examiner la possibilité d'un effet de diffusion de certains déterminants sur la productivité et surtout de traiter les éventuels problèmes d'endogénéité et de simultanéité. Nous obtenons des résultats quantitativement différents de ceux de Gust et Marquez (2002), mais qualitativement similaires. Ainsi, notre étude apporte une confirmation statistique que la production et les dépenses en TIC sont des déterminants significatifs de la productivité du travail. Nous montrons également l'impact du taux d'utilisation des capacités et du taux d'investissement sur la productivité.

² Mc Kinsey Global Institute (2002)

³ Les dépenses en TIC n'ont vraisemblablement pas le même effet selon qu'elles sont faites par les entreprises, directement responsables du processus productif, ou par les ménages, qui ne font qu'y participer. Cependant, les données ici mobilisées ne permettent pas de distinguer les deux. En outre, les dépenses des ménages ont aussi un effet sur la productivité, par le biais de l'accroissement en capital humain qu'entraîne la pratique de l'informatique à la maison. La présente étude se situant au niveau macroéconomique, et en l'absence de données permettant de différencier l'impact des dépenses en TIC faites par les ménages de celles réalisées par les entreprises, elle ne saurait exclure complètement les dépenses en TIC des ménages des déterminants de la productivité.

⁴ Par ailleurs, la présente analyse est menée à un niveau macroéconomique. Des données infranationales (sectorielles ou d'entreprise) ne sont pas disponibles sur des échantillons de pays aussi vastes que ceux retenus ici.

Dans une seconde partie privilégiant le long terme, une étude sur un grand nombre de pays (soixante-dix-sept sans les dépenses en TIC et quarante-neuf avec) a été menée sur les déterminants du niveau de la productivité du travail en 2000. Elle confirme l'impact positif sur le niveau de productivité du degré de développement des infrastructures publiques, du système éducatif et du système bancaire mais également le rôle positif de la stabilité des prix et la relation inverse entre le taux d'emploi et le niveau de productivité. L'étude sur l'échantillon de quarante-neuf pays permet de conclure à la significativité de l'impact des TIC sur la productivité.

1. Déterminants de l'évolution de la productivité apparente du travail dans les années quatre-vingt-dix

1.1. L'approche retenue

Nous cherchons à identifier les principaux déterminants du taux de croissance de la productivité apparente du travail (ici le PIB par employé). Tous les détails de l'équation que nous estimons sont contenus dans l'encadré ci-après.

Nous incluons un terme autorégressif dans notre équation de référence. Cette variable permet de rendre compte d'une possible persistance de l'impact des variables explicatives sur la productivité. Il est par exemple possible qu'une hausse de la production ou des dépenses en TIC ait un effet étalé sur plusieurs années sur la productivité par tête.

Nous désirons en premier lieu évaluer l'impact des TIC. En introduction, nous avons rappelé que la littérature avait mis en évidence plusieurs canaux théoriques de transmission des TIC vers la productivité par tête. Ces canaux concernent les secteurs producteurs de TIC comme les secteurs utilisateurs de TIC. Nous avons donc choisi d'inclure à la fois la production et les dépenses en TIC dans notre équation de référence, comme le font déjà Gust et Marquez (2002). La production de TIC permet de capturer l'impact de la productivité globale des facteurs des secteurs producteurs de TIC sur la productivité par tête. Les dépenses en TIC permettent de capturer l'effet de substitution en faveur des produits TIC dans les secteurs utilisateurs.

Le taux d'emploi est également susceptible d'être un déterminant essentiel de la productivité apparente du travail. En effet, Gust et Marquez (2002) trouvent un effet négatif de la variation du taux d'emploi sur le taux de croissance de la productivité. Cet effet est, selon les auteurs, lié au fait qu'une hausse du taux d'emploi s'accompagne d'une arrivée en emploi de travailleurs moins qualifiés, ce qui a pour effet de réduire la productivité par tête.

Nous incluons également la durée du travail parmi les déterminants de l'équation de référence. La présence de cette variable est indispensable, puisque notre variable endogène est la productivité par tête et non la productivité horaire. Le taux d'investissement en capital physique fait également partie des variables explicatives. L'impact de cette variable est ici considéré comme une approximation de l'effet de l'intensité capitaliste globale sur la productivité par tête. Enfin, nous ajoutons le taux d'utilisation des capacités pour prendre en compte un éventuel effet « cycle d'activité » sur la productivité.

Nous avons également testé la significativité d'autres variables explicatives. Nous verrons dans la section « résultats » pourquoi elles n'ont pu être retenues.

Équation de référence

L'équation de référence que nous allons estimer a la forme suivante :

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

avec $i = 1, \dots, N$ (où N est le nombre de pays) et $t = 1992, 1993, \dots, 2000$. Y est la productivité apparente du travail (mesurée ici comme le PIB sur l'emploi) ; ITP la part de la production de TIC dans le PIB ; ITS la part des dépenses en TIC dans le PIB ; H les heures travaillées ; TE le taux d'emploi ; INV la part de l'investissement dans le PIB et TUC le taux d'utilisation des capacités. ΔY correspond à la différence des logarithmes de Y (idem pour toutes les variables prises en différences). ITS , ITP et INV sont prises en logarithme. Nous incluons le traditionnel effet spécifique aux pays, u_i . η est une dummy temporelle. ε est la perturbation.

L'ensemble de la méthodologie mobilisée est résumé dans l'annexe 2 et des développements plus conséquents sont présents dans la version *Note d'études et de recherche* de cet article. Notons toutefois que le problème posé par l'équation de référence est que toutes les variables explicatives sont contemporaines de la variable endogène. Il est donc possible que des effets de *causalité inversés* (i.e. impact de la productivité sur les variables explicatives) soient présents. L'équation de référence ne saurait donc être estimée par les techniques usuelles. Nous choisissons de traiter ces effets en ayant recours à la méthodologie GMM (méthode des moments généralisés) dont le rôle est de corriger (au moins partiellement) les biais d'estimation provenant des problèmes mentionnés ci-dessus.

Les données de PIB, d'investissement et d'emploi sont issues de la base des Perspectives économiques de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE). Les données sur les TIC proviennent de la base *Structural Analysis Database* (STAN) de l'OCDE, pour la production, et de la base publiée par le *World Information Technology Service Alliance* (2002), pour les dépenses. Les données d'heures travaillées sont extraites de la *Total Economy Database* du *Groningen Growth and Development Centre*. Les taux d'utilisation des capacités de production ont été repris de sources nationales homogénéisées.

1.2. Les résultats

Les résultats généraux

Le tableau 1 présente les résultats de l'estimation de l'équation de référence. La première colonne donne l'estimation de l'équation de référence, avec à la fois la production et les dépenses en TIC (spécification 1). La seconde colonne donne l'estimation de cette équation sans les dépenses en TIC (spécification 2) et la troisième colonne sans la production de TIC (spécification 3).

Dans la première spécification, aucune des deux variables TIC n'est significative individuellement (nous trouvons une corrélation empirique de 0,45 entre ces

deux variables). En revanche, un test de Wald indique que ces deux variables sont conjointement significatives à 1 %. Les spécifications 2 et 3 indiquent que lorsqu'elles interviennent séparément, la production de TIC et les dépenses en TIC influencent positivement et significativement le taux de croissance de la productivité apparente du travail. Ces résultats ne concordent que partiellement avec ceux de Gust et Marquez (2002) qui trouvent une significativité *simultanée* de la production et des dépenses en TIC. Cet écart entre nos résultats et les leurs peut provenir :

- de la différence des méthodes d'estimation (GMM contre « moindres carrés ordinaires ») ;
- de la différence entre les bases de données utilisées (vingt-cinq pays dans cet article contre treize pour Gust et Marquez, 2002).

Une comparaison de nos estimations avec une estimation similaire à celle de Gust et Marquez (2002) est menée dans l'annexe 3.

Tableau 1

GMM sur l'équation de référence

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

	Spécification 1	Spécification 2	Spécification 3
Terme autorégressif $\Delta Y(-1)$	0,248**	0,326***	0,253**
Part de la production de TIC dans le PIB (ITP)	1,586	3,228***	–
Part des dépenses en TIC dans le PIB (ITS)	1,354	–	2,789**
Variation des heures (ΔH)	0,477***	0,437***	0,388***
Variation du taux d'emploi (ΔTE)	- 0,378*	- 0,332*	- 0,307*
Taux d'investissement (INV)	0,116*	0,119**	0,101*
Variation du taux d'utilisation des capacités (ΔTUC)	0,0010**	0,0012**	0,0015**
Significativité jointe des TIC	0,009	–	–

Nombre de pays : 25

Nombre de points : 149

Spécification 1 : équation de référence

Spécification 2 : sans ITS

Spécification 3 : sans ITP

* L'estimation est significative à 10 %.

** L'estimation est significative à 5 %.

*** L'estimation est significative à 1 %.

Le test de Wald donne le niveau de significativité nécessaire pour rejeter l'hypothèse nulle que les deux variables TIC sont conjointement nulles.

Malgré cette différence avec les résultats de Gust et Marquez (2002), nos résultats confirment la nette influence des TIC sur la productivité. Nous trouvons un fort impact des dépenses en TIC sur l'évolution de la productivité par tête. Ainsi, en nous basant sur la spécification 3, si nous prenons l'exemple d'un pays situé dans la moyenne du ratio dépenses en TIC sur PIB, c'est-à-dire 5,91 %, en supposant qu'à une date donnée ce pays consacre 1 % du PIB de plus aux dépenses en TIC, nous observons une hausse instantanée de près de 0,45 point de pourcentage (contre 1 point environ pour Gust et Marquez, 2002) du taux de croissance de la productivité apparente du travail⁵. Certes, il ne s'agit là que d'une interprétation brutale, *toutes*

⁵ Nous rappelons que le ratio dépenses en TIC sur PIB est spécifié en logarithme dans l'équation de référence.

choses égales par ailleurs, des résultats de ce tableau. Il est évident, comme le rappellent Pilat et Lee (2001), que l'impact d'une hausse de l'investissement en TIC nécessite un certain nombre de changements complémentaires pour se propager vers la productivité. Il est donc indispensable d'être prudent dans l'interprétation des résultats du tableau 1. Notons tout de même qu'une hausse de 1 % du PIB consacré aux dépenses en TIC est considérable : pour la France, cela signifierait une hausse de 15 % environ des dépenses en TIC. Ces résultats confirment l'influence des dépenses en TIC sur la productivité, déjà mise en évidence par Oliner et Sichel (2000) ou Jorgenson et Stiroh (2000). Notons également que ce résultat se rapproche de celui obtenu par Colechia et Schreyer (2001), qui concluent que l'effet intensité capitalistique provenant de l'investissement en TIC est responsable de la forte accélération de la productivité américaine relativement aux économies européennes ou japonaises au milieu des années quatre-vingt-dix.

De même, l'effet instantané d'une hausse d'un point de pourcentage du ratio production de TIC sur PIB sur le taux de croissance de la productivité est de près de 0,7 point (contre plus de 1 point pour Gust et Marquez, 2002). Ce résultat confirme l'impact sur la productivité par tête d'une hausse de la productivité globale des facteurs dans les secteurs producteurs de TIC. Certaines études (Oliner et Sichel, 2002 ou Gordon, 2000) ont montré l'importance de ce mécanisme sur données américaines. Gust et Marquez (2002) et le présent article permettent de le confirmer sur un échantillon international.

Intéressons nous à présent aux résultats pour les autres variables.

- Quelle que soit la spécification retenue, les variations du taux d'emploi influencent toujours négativement et significativement le taux de croissance de la productivité. Le coefficient varie peu selon la spécification retenue. Le signe de cette relation était attendu : il confirme l'hypothèse de rendements décroissants du taux d'emploi dans la fonction de production mise en évidence par Gust et Marquez (2002). De même, les variations de la durée moyenne du travail ont une influence positive et significative sur le taux de croissance de la productivité du travail. Ce résultat est logique puisque notre variable endogène est la productivité par tête et non la productivité horaire : une hausse de la durée du travail augmente naturellement l'incrément de production dû à un employé supplémentaire (ces résultats sont conformes aux estimations de Malinvaud, 1973).
- L'impact positif du taux d'investissement sur le taux de croissance de la productivité est remarquable. Ce résultat contredit les estimations de Gust et Marquez (2002) qui rejettent la significativité de cette variable. La présence du taux d'investissement n'est toutefois pas sans poser un problème : l'investissement en TIC se trouve inclus à la fois dans les dépenses en TIC et dans le taux d'investissement (même s'il ne représente qu'une petite fraction de ce dernier). Nous avons donc conduit des estimations similaires à celles du tableau 1, mais sans le taux d'investissement. Les résultats sont pratiquement inchangés.
- Enfin, le taux d'utilisation des capacités pris en différence influence significativement et positivement le taux de croissance de la productivité. Ainsi, le taux d'utilisation des capacités capte significativement une partie du cycle d'activité. Ce résultat confirme les estimations de Guellec et de la Potterie (2001) qui trouvent une relation entre le taux d'utilisation des capacités et la productivité globale des facteurs en niveau.

Évidemment, la liste des variables explicatives ici retenues n'est pas exhaustive. La priorité cet article étant de tester la significativité des TIC, ce choix a conduit à rejeter d'autres variables.

- Les dépenses en recherche et développement (R&D), trop fortement corrélées avec les TIC, ne sont donc pas retenues parmi les déterminants significatifs de la productivité par tête. Ce résultat se rapproche partiellement de celui obtenu par Greenan, Mairesse et Topiol-Bensaid (2001) sur données microéconomiques françaises. Ces auteurs montrent que l'impact des TIC sur la productivité est nettement supérieur à celui des dépenses en R&D. Notons que Gust et Marquez (2002) rejettent également les dépenses en R&D (qui sont significatives en l'absence des variables TIC).
- Les années d'éducation et le capital humain sont également trop fortement corrélés avec les TIC pour influencer significativement la productivité par tête. Ce résultat confirme Caselli et Coleman (2001) qui concluent à un lien positif entre le niveau de capital humain et les dépenses en ordinateurs. Le capital humain aurait donc un effet indirect sur la productivité *via* son effet sur les dépenses en TIC. Il est donc inutile d'inclure à la fois les dépenses en TIC et le capital humain dans l'équation de référence.
- Le degré de protection de l'emploi (cf. Gust et Marquez, 2002 et Scarpetta et Tresselt, 2002) est rejeté pour des raisons similaires. Gust et Marquez (2002) montrent que c'est un déterminant des dépenses en TIC et donc *indirectement* de la productivité par tête.

Résultats complémentaires

Nous menons une analyse de sensibilité des résultats à la décomposition des dépenses en TIC. Les deux principales composantes de ces séries sont les dépenses en télécommunications et les dépenses en ordinateurs, toutes issues du *World Information Technology Service Alliance* (WITSA) (2002). La même relation que précédemment est estimée en testant alternativement chacune de ces deux composantes comme variables explicatives.

Tableau 2
Décomposition des TIC

	Spécification 1	Spécification 2
Terme autorégressif $\Delta Y(-1)$	0,333***	0,182**
X	-0,043	3,184**
Variation des heures travaillées (ΔH)	0,362**	0,264***
Variation du taux d'emploi (ΔTE)	-0,246	-0,562**
Taux d'investissement (INV)	0,115*	0,094*
Variation du taux d'utilisation des capacités (ΔTUC)	0,0012**	0,0013***

Nombre de pays : 25

Nombre de points : 149

Spécification 1 : X = dépenses en télécommunications

Spécification 2 : X = dépenses en ordinateurs

* L'estimation est significative à 10 %.

** L'estimation est significative à 5 %.

*** L'estimation est significative à 1 %.

Le principal enseignement de ce tableau est que les dépenses en ordinateurs semblent beaucoup plus déterminantes pour le taux de croissance de la productivité apparente du travail que les dépenses en télécommunications. En effet, l'estimateur du coefficient n'est pas significatif pour la seconde de ces composantes. Une explication possible de ce résultat est que, plus que les dépenses en ordinateurs, les dépenses en communication intègrent certes un effet volume, mais aussi un effet prix assez variable d'un pays à l'autre.

2. Déterminants du niveau de la productivité apparente du travail en 2000

Cette deuxième partie de l'étude complète l'analyse de court terme qui vient d'être menée par une analyse de long terme portant sur les déterminants de la productivité apparente du travail en niveau pour l'année 2000. Afin de comparer les niveaux de productivité entre pays, il est nécessaire d'utiliser le rapport du PIB en parité de pouvoir d'achat (PPA) à l'emploi total, ce qui donne lieu à des problèmes d'évaluation et de méthodologies importants (cf. l'annexe « Problèmes statistiques de mesure de la productivité », Lecat, 2004, dans le présent *Bulletin*).

Compte tenu de l'inertie relative des niveaux de productivité comparés, les déterminants ont été recherchés parmi les indicateurs structurels de la performance d'une économie : niveau d'éducation, infrastructures publiques, développement financier et stabilité macroéconomique.

La méthode utilisée, une régression au moyen des moindres carrés ordinaires sur la productivité en niveau d'une année donnée, ne prend pas en compte la dimension temporelle. Certaines des variables utilisées comme déterminants pourraient être en réalité le reflet du niveau de développement du pays (biais de simultanéité) ; pour éviter cet écueil, les déterminants sont pris, quand cela est pertinent, en moyenne sur longue période et antérieurement à l'année 2000. L'équation de référence est donc la suivante :

$$\Pi_i = a.X_i + \varepsilon_i$$

avec $i = 1, \dots, N$, le nombre de pays ; Π_i , le PIB en millions de dollars PPA sur l'emploi total du pays i en milliers. X_i est le vecteur des déterminants pour le pays i . a est le vecteur des paramètres.

Cette méthode⁶ a été appliquée à deux groupes de pays différents : d'une part, un échantillon de soixante-dix-sept pays représentant les principales zones économiques (Europe de l'Ouest, Amérique du Nord, Asie, Europe de l'Est, Afrique, Moyen-Orient) et les différents niveaux de développement (pays OCDE, pays en développement, pays en transition vers l'économie de marché, pays les moins

⁶ Cette méthode met en lumière des corrélations non dynamiques, mais statiques : une corrélation positive entre la variable « productivité » et un des déterminants de la productivité mis en lumière par l'équation ne signifie pas qu'une hausse du niveau de ce déterminant dans un pays donné entraînerait mécaniquement celle de sa productivité. Cette corrélation rend juste compte des différences de productivité entre pays en 2000.

avancés)⁷. D'autre part, des tests ont été conduits sur un échantillon restreint, composé de quarante-neuf pays seulement, afin d'inclure une variable relative aux TIC, pour lesquels les données ne sont pas disponibles à plus vaste échelle.

Les résultats du premier groupe de pays (cf. tableau ci-dessous) montrent une corrélation positive du niveau de productivité avec les infrastructures publiques, le capital humain, la stabilité des prix et le développement financier, et une corrélation négative avec le taux d'emploi.

Tableau 3
Productivité en niveau sur un échantillon large de pays, sans TIC
Variable expliquée : PIB en millions de dollars PPA/emploi total en milliers (Π_i)

Variables explicatives	Unités	Coefficient	Significativité
Infrastructures publiques			
Nombres de km de routes sur la superficie (RT)	Km/km ² , moyenne sur les années quatre-vingt-dix	2,1	4,1 %
Nombre de lignes de téléphone par habitant (TEL)	Lignes par habitant, moyenne 1960-2000	77,1	0,0 %
Éducation			
Taux bruts d'inscription dans le système d'éducation primaire d'une classe d'âge (a) (PRIM)	En %, moyenne 1970-1995	0,13	0,6 %
Taux bruts d'inscription dans le système d'éducation tertiaire d'une classe d'âge (a) (TERT)	En %, moyenne 1970-1999	0,22	3,6 %
Variables macroéconomiques			
Taux d'emploi : rapport de l'emploi total sur la population totale (b) (TE)	En %, en 2000	- 0,23	5,6 %
Crédit intérieur au secteur privé en part du PIB (CRD)	En %, moyenne 1970-2000	0,13	0,4 %
Écart-type du taux d'inflation (prix à la consommation) (c) (INFL)	En point, moyenne 1970-2000	- 0,56	6,3 %

Variable expliquée

Estimation par moindres carrés ordinaires sur les variables en niveau
 $\Pi_i = a.RT_i + b.TEL_i + c.PRIM_i + d.TERT_i + e.TE_i + g.CRED_i + f.INFL_i$
 Avec $i=1, \dots, 77$, le nombre de pays
 R^2 ajusté par le nombre de variables explicatives = 82,4 %

(a) Classe d'âge officielle variable selon les pays

(b) Dans une partie des pays étudiés, l'âge de début et de fin de la vie active débordent 15-65 ans, ce qui nous a amené à calculer le taux d'emploi sur l'ensemble de la population.

(c) L'écart type est un peu plus significatif que le niveau de l'inflation.

Les *infrastructures publiques*, représentées par la densité routière et l'équipement téléphonique, sont des déterminants particulièrement significatifs du niveau de productivité. Aschauer (1989) a, en effet, mis en avant l'impact du stock de capital public sur la productivité globale des facteurs dans le secteur privé. Il explique ainsi la rupture du rythme de croissance de la productivité aux États-Unis dans

⁷ Les données proviennent de la base des *Indicateurs de développement économique* de la Banque mondiale, à l'exception des données d'emploi total qui sont issues de la base *Laborsta* de l'Organisation internationale du travail.

les années soixante-dix par le ralentissement des dépenses d'investissement public. Mises à la disposition des acteurs privés, les infrastructures publiques sont nécessaires à de nombreuses activités économiques et de leur qualité peut dépendre la productivité d'entreprises privées. Pour limiter les problèmes de simultanéité, les niveaux d'équipements téléphonique et routier ont été calculés en moyenne sur des périodes aussi longues que possible⁸. En effet, l'existence d'effets externes liés aux infrastructures publiques est souvent contestée en invoquant une élasticité-revenu élevée de la demande des grandes catégories d'infrastructures (cf. notamment Englander et Gurney, 1994). L'utilisation de variables regroupant les pays par niveaux de revenu réduit ainsi le coefficient des variables d'infrastructures publiques, mais celui-ci reste significatif (cf. *infra*) : les densités téléphonique et routière rendent particulièrement bien compte des différences de productivité au sein du groupe des pays à revenus élevés ou moyennement élevés⁹, comme le montrent des tests supplémentaires (cf. annexe 4).

Le *niveau de capital humain* est estimé par le taux brut d'inscription dans le primaire, le secondaire et le tertiaire. Il s'agit du rapport entre le nombre de personnes pour un niveau d'étude, quel que soit l'âge, et l'effectif de cette classe d'âge dans la population. Lucas (1988) a avancé l'idée que le capital humain présente des rendements constants, et non décroissants comme les autres facteurs de production, ce qui place l'éducation au cœur des stratégies de rattrapage des pays en voie de développement. Dans cette étude, les taux d'inscription dans le primaire et le tertiaire sont des déterminants significatifs du niveau de productivité, avec un coefficient particulièrement fort pour l'éducation tertiaire. En revanche, le taux d'inscription dans le secondaire n'est pas significatif en raison de sa colinéarité avec les taux du tertiaire (taux de corrélation de 70,8 %) et n'améliore pas la significativité globale de la régression. Les variables sur la qualité de l'enseignement (rapport élèves/enseignants ; dépenses d'éducation en part du PIB) ne permettent pas de renforcer la significativité de la régression, mais des données plus fines seraient sans doute nécessaires.

Le *niveau de développement financier* d'un pays, mesuré par le ratio crédit intérieur au secteur privé sur PIB, apparaît également comme un déterminant significatif de la productivité du travail. Le système bancaire contribue à une bonne allocation des ressources, en permettant aux entrepreneurs de financer plus facilement leurs projets, mais également en sélectionnant les projets les plus productifs. En revanche, la capitalisation des sociétés cotées en part du PIB n'est pas significative, ce qui peut être expliqué par le faible développement des marchés d'actions dans certains pays ayant une forte productivité (Irlande, France, Italie...) et l'internationalisation de ces marchés, qui permet à une entreprise d'émettre sur un marché étranger.

Parmi les *indicateurs de stabilité macroéconomique*, la *volatilité* et le *niveau de l'inflation* ont tous deux un impact négatif sur la productivité. En effet, une forte volatilité des prix augmente le degré d'incertitude dans l'économie et détériore l'efficacité du système de prix. La décision d'investissement, qui peut renforcer la

⁸ Dix ans pour la densité routière, quarante ans pour la densité téléphonique.

⁹ La Banque mondiale définit les pays à revenus élevés comme ceux où le revenu moyen par habitant en 2002 est supérieur à 9 076 dollars des États-Unis en parité de pouvoir d'achat et ceux à revenus moyennement élevés comme ceux où ce revenu est compris entre ce chiffre et 2 936 dollars.

productivité du travail *via* l'augmentation du stock de capital par employé, est favorisée par un environnement macroéconomique stable. Un mauvais fonctionnement du système de prix ne permet pas une allocation des facteurs de production vers les emplois les plus productifs. En revanche, un *déficit important de la balance des paiements courants* n'a pas d'impact significatif sur le niveau de productivité, certains pays structurellement en déficit étant particulièrement productifs (États-Unis, Irlande,...) : tandis que les pays exportateurs de pétrole (Venezuela, Koweït,...) ont un niveau de productivité faible ou moyen. La *volatilité du change* (officiel) est également peu pertinente, en raison sans doute de l'application d'un contrôle des changes dans certains pays.

Le *taux d'emploi* a un impact négatif sur le niveau de productivité du travail. Il est ici calculé sur la population totale en raison de la part importante de pays dans lesquels la période d'activité déborde la classe d'âge des 15-65 ans¹⁰. Un faible taux d'emploi signifie que seuls les salariés les plus productifs, en raison de leur niveau de qualification ou de leur âge, participent au processus de production ; avec l'élévation du niveau d'emploi, des salariés moins productifs sont donc embauchés (Artus et Cette, 2004).

Il n'a pas été possible de tester l'impact de la *durée du travail*, contrairement à ce qui a été fait dans la première partie de l'étude, en raison de l'absence de données fiables sur l'ensemble des pays retenus.

D'autres déterminants ont été testés¹¹, mais leur pouvoir explicatif n'est pas suffisant. Les *dépenses de recherche et développement* en part du PIB n'améliorent pas la significativité de la régression, contrairement aux résultats de Guellec et La Potterie (2001), sur des pays de l'OCDE notamment. Tout d'abord, la base de données utilisée est lacunaire, surtout pour les pays en développement, qui composent une part importante du panel. Pour ces pays, dont le décollage passe par une phase d'imitation plus que d'innovation, l'effort de recherche-développement pourrait également être moins crucial.

Un indicateur, le *taux d'investissement* sur moyenne et longue période, a été utilisé pour approcher le stock de capital, sans résultat significatif. En effet, le taux d'investissement a été particulièrement élevé dans les anciens pays à économie planifiée, bien que ces investissements se soient révélés peu productifs.

Par ailleurs, un *indicateur de la taille du marché* auquel les entreprises peuvent avoir accès a été pris en compte. En effet, il peut exister dans certains secteurs des économies d'échelle liées à l'accès à un marché plus vaste, soit par la taille du marché national (approchée par le rapport PIB national sur PIB mondial), soit par l'accès aux marchés étrangers (estimé par le taux d'ouverture de l'économie). Ces deux indicateurs ne sont pas apparus significatifs : de grands pays comme la Chine, la Russie ou le Brésil n'ont pas des niveaux de productivité élevés ; des pays ouverts car exportateurs de produits de base (Nigeria) n'ont pas non plus une productivité élevée.

¹⁰ Cependant, le taux d'emploi calculé sur les 15-65 ans est également significatif.

¹¹ Certains indicateurs utilisés dans la littérature pour rendre compte de différences de productivité entre pays à partir de différences de niveaux de réglementation ne sont pas disponibles à une échelle suffisamment grande pour pouvoir être repris ici. C'est le cas notamment des indicateurs d'*Employment Protection Legislation* (EPL), et de *Product Market Regulation* (PMR) utilisés par Scarpetta et Tresselt (2002).

Enfin, des *regroupements par niveaux de revenu*¹² (cf. annexe 4) ont été effectués. Les différences de densité des réseaux téléphonique et routier ne rendent pas compte des différences de productivité dans les pays à revenus faibles ou moyennement faibles. En revanche, elles rendent compte des différences de productivité pour les pays à revenus élevés ou moyennement élevés¹³. Par ailleurs, ces regroupements nuancent l'importance de certains déterminants et confirment la significativité d'autres déterminants. Les coefficients du taux d'inscription dans l'éducation tertiaire, de la volatilité de l'inflation et du taux d'emploi sont ainsi remarquablement stables et significatifs quelle que soit la spécification. En revanche, les variables d'infrastructure publique voient leurs coefficients réduits de moitié pour les pays les plus riches. Enfin, le taux d'inscription dans l'éducation primaire et l'indicateur de développement financier n'apparaissent plus significatifs.

Le second groupe de pays représente, comme le premier, les principales zones géographiques mondiales, mais est composé pour moitié de pays de l'OCDE. Les données supplémentaires, les dépenses en TIC, proviennent, comme dans la première partie de l'étude, de la base publiée par le *World Information Technology Service Alliance* (2002).

Les résultats des tests menés sur ce second groupe de pays (cf. tableau ci-après) font ressortir un nombre moins élevé de variables significatives : les infrastructures publiques, le capital humain, et les dépenses en TIC déterminent significativement et positivement le niveau de productivité, mais les variables de développement financier ou de stabilité macroéconomique n'apparaissent pas significatives. Comme dans la précédente étude, les dépenses de recherche et développement, tout en étant corrélées positivement avec le niveau de productivité, ne ressortent pas significativement dans la régression.

Les densités des réseaux routier et téléphonique, en moyenne sur longue période, sont utilisées, comme dans la première partie de l'étude, comme indicateurs du niveau de développement des *infrastructures publiques*. Comme pour l'échantillon précédent, les densités des réseaux téléphonique et routier rendent particulièrement compte des différences de productivité entre pays à revenus élevés ou moyennement élevés (cf. annexe 4). Le coefficient de la densité du réseau téléphonique est plus faible que dans la précédente équation : la différence, très marquée, entre pays de l'OCDE et pays en voie de développement joue un rôle moins important que dans l'échantillon précédent.

¹² Toujours à partir des classifications de la Banque mondiale, en fonction du revenu moyen par habitant.

¹³ Au sein du groupe des pays riches, la densité des réseaux téléphonique et routier peut apparaître significative car il s'agit de biens de consommation supérieurs, particulièrement demandés dans les pays à revenu élevé qui sont également ceux qui ont le niveau de productivité le plus élevé.

Tableau 4
Productivité en niveau sur un échantillon restreint de pays, avec TIC
 Variable expliquée : PIB en millions de dollars PPA/emploi total en milliers (π_i)

Variabiles explicatives	Unités	Coefficient	Significativité
Infrastructures publiques			
Densité du réseau routier (Nombre de kms de routes sur la superficie) (RT)	Km/km ² , moyenne sur les années quatre-vingt-dix	4,2	0,3 %
Densité du réseau téléphonique (Nombre de lignes de téléphone par habitant) (TEL)	Lignes par habitant, moyenne 1960-2000	46,9	0,1 %
Éducation			
Taux bruts d'inscription dans le système d'éducation tertiaire d'une classe d'âge (TERT)	En %, moyenne 1970-1999	0,43	0,1 %
TIC			
Dépenses en TIC (ITS)	En % du PIB, moyenne 1992-2000	200	0,2 %
Variable expliquée			
Estimation par moindres carrés ordinaires sur les variables en niveau $\pi_i = a.RT_i + b.TEL_i + c.TERT_i + e.ITS_i$ Avec $i=1, \dots, 49$, le nombre de pays R^2 ajusté par le nombre de variables explicatives = 78,9 %			

En ce qui concerne le *niveau d'éducation*, le taux d'inscription au niveau tertiaire est un déterminant significatif de la productivité du travail. Les taux d'inscription aux niveaux primaire et secondaire ont été testés également, mais le premier ne donne pas de résultats significatifs et le second est fortement corrélé au taux d'inscription au niveau tertiaire (taux de corrélation de 67,7 %). Pour des pays ayant un niveau de développement plus élevé, on peut s'attendre à ce que la différence en termes de productivité se fasse sur l'éducation tertiaire, étant donné les niveaux déjà très élevés et très proches des taux d'inscription dans le primaire et le secondaire. Englander et Gurney (1994), pour les pays de l'OCDE, ont également estimé que des gains de productivité de 0,6 point par an étaient associés à un taux de scolarisation dans le secondaire plus élevé.

La contribution des TIC a été approchée par la moyenne des *dépenses en TIC* sur la période 1992-2000. Cette variable est plus satisfaisante que le seul niveau instantané de ces dépenses au cours de l'année 2000, puisqu'elle suggère que c'est leur accumulation sur une certaine période qui peut avoir un effet positif sur la productivité. En outre, cette variable moyenne donne des résultats plus significatifs que la variable instantanée.

D'autres variables ont été testées sans aboutir à une meilleure spécification. Ainsi, les dépenses de *recherche et développement* (R&D) présentent une forte colinéarité avec d'autres explicatives (taux de corrélation de 69,7 % avec la densité du réseau téléphonique et de 63,5 % avec le taux d'inscription dans l'éducation

tertiaire) et les régressions fondées sur la R&D ou le nombre de scientifiques par million d'habitants ne permettent d'expliquer qu'une part des différences de productivité entre les pays de l'échantillon inférieure à celle dont rend finalement compte la spécification retenue (R^2 ajusté de 64 % contre 79 %). Ce résultat est conforme à ce qui a été montré au niveau microéconomique par Greenan, Mairesse et Topiol-Bensaïd (2001). En effet, ces auteurs trouvent, certes, un impact combiné des TIC et de la R&D comme déterminants de la productivité des entreprises, mais cet impact est inférieur à la somme des impacts séparés de ces deux variables, ce qui indique bien un certain recoupement entre la R&D et d'autres variables explicatives. En outre, l'impact de la R&D serait plus faible que celui des TIC, ce qui incite à lui préférer celles-ci comme facteurs explicatifs.

Par ailleurs, la *part des services dans la valeur ajoutée* ressort significativement ; cependant, il est difficile de faire la part dans le développement des services entre ce qui tient à l'augmentation du revenu (services comme bien de consommation supérieur) et d'autres explications, comme l'utilisation plus intensive des TIC, en moyenne, par le secteur des services. La *part des crédits au secteur privé* n'apparaît pas significative ; en effet, pour des pays développés, il s'agit plutôt d'un indicateur du niveau d'endettement que de la sophistication du système financier. Enfin, les *indicateurs de stabilité macroéconomique* ne donnent pas de résultat significatif. Cette différence de résultat par rapport au premier groupe de pays, pour ce qui est de l'inflation, provient d'une moindre variance dans cet échantillon : si les pays qui ont connu une hyperinflation (Argentine, Chili, Pologne, par exemple) ont un niveau de productivité plus faible que des pays à inflation modérée, la différence est moins marquée au sein de l'échantillon réduit que dans l'échantillon large. Pour les pays de l'OCDE, Englander et Gurney (1994) avaient cependant estimé que dix points supplémentaires d'inflation réduisaient de 0,6 point par an les gains de productivité.

Enfin, comme pour le premier échantillon, des *regroupements par niveaux de revenu*¹⁴ ont été effectués, qui aboutissent au même type de résultats (cf. annexe 4) : au sein des variables d'infrastructures publiques, seule la densité routière apparaît significative ; le coefficient des TIC est fortement réduit et n'apparaît plus significatif.

¹⁴ Toujours à partir des classifications de la Banque mondiale, en fonction du revenu moyen par habitant.

De la présente étude relative aux déterminants de la productivité apparente du travail et à l'impact des technologies de l'information et de la communication sur celle-ci, se dégagent plusieurs résultats marquants.

- Une première analyse, sur les années quatre-vingt-dix, a permis de montrer que la part des dépenses ou de la production de TIC dans le PIB pouvaient *séparément* avoir une incidence positive sur le taux de croissance de la productivité. Au sein des dépenses en TIC, le secteur des ordinateurs apparaît être beaucoup plus déterminant que celui des télécommunications. Le rôle positif et significatif des TIC est confirmé par une étude sur le niveau de productivité.
- Est également mise en évidence une relation négative entre la productivité apparente du travail et le taux d'emploi, liée à la concentration de l'emploi sur les salariés les plus productifs. Ce résultat est valable pour l'étude en niveau comme pour l'étude en différences. Cette dernière permet également de dégager une relation positive entre les heures travaillées et la productivité.
- L'analyse de long terme sur le niveau de la productivité permet montrer l'impact positif des infrastructures publiques (sur soixante-dix-sept comme sur quarante-neuf pays), du niveau d'éducation (sur soixante-dix-sept comme sur quarante-neuf pays), de la volatilité de l'inflation et du développement du système bancaire (uniquement pour l'étude sur soixante-dix-sept pays).

Cette analyse confirme donc le rôle de déterminants traditionnellement mis en avant, dont certains, comme les infrastructures publiques, font encore débat. Les TIC, jusqu'ici étudiées dans des études de décomposition de la croissance (Oliner et Sichel, 2002 par exemple) ou sur un nombre de pays réduit (treize pays chez Gust et Marquez, 2002), apparaissent, dans une estimation sur un panel couvrant vingt-cinq pays industrialisés et en utilisant la méthode des moments généralisés comme ayant eu un rôle significatif dans les évolutions de la productivité du travail au cours des années quatre-vingt-dix. L'étude fournit ainsi quelques éléments d'explication de l'arrêt du rattrapage des États-Unis par les pays européens dans les années quatre-vingt-dix : l'importance des TIC outre-Atlantique d'une part, la hausse des taux d'emploi dans les pays européens d'autre part.

Bibliographie

Alonso-Borrego (C.) et Arellano (M.) (1999) : « Symetrically normalized instrumental-variable estimation using panel data », *Journal of Business and Economic Statistics*, 17, p. 36-49

Arellano (M.) et Bond (S.) (1991) : « Some tests of specification for panel data : Monte Carlo evidence and an application to employment equations », *Review of Economic Studies*, 58, p. 277-297

Arellano (M.) et Bover (O.) (1995) : « Another look at the instrumental-variable estimation of error-components models », *Journal of Econometrics*, 68, p. 29-52

Artus (P.) et Cette (G.) (2004) : « Productivité, croissance et emploi », Rapport du Conseil d'analyse économique

Aschauer (D.) (1989) : « Is public expenditure productive ? », *Journal of Monetary Economics*, 23, (March), p. 177-200

Beck (T.) et Levine (R.) (2002) : « Stock markets, banks, and growth : panel evidence », *NBER Working Papers* 9082

Blundell (R.) et Bond (S.) (1998) : « Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models », *Journal of Econometrics*, 87, p. 115-143

Calderon (C.), Chong (A.) et Loayza (N.) (1999) : « Determinants of current account deficits in developing countries », *World Bank Research Policy, Working Papers* 2398

Caselli (F.) et Coleman (W.J.) (2001) : « Cross-country technology diffusion: the case of computers », *NBER Working Papers* 8130

Colecchia (A.) et Schreyer (P.) (2001) : « ICT investments and economic growth in the 1990s: Is the United States a unique case? A comparative study of nine OECD countries », OECD Directorate for Science, Technology, and Industry *Working Papers* 7

Englander (A.S.) et Gurney (A.) (1994) : « La productivité dans la zone de l'OCDE : les déterminants à moyen terme », revue économique de l'OCDE, n° 22, printemps 1994

Gordon (R.) (2000) : « Does the new economy measure up to the great inventions of the past? », *Journal of Economic Perspectives*, 14, p. 49-74

Guellec (D.) et De la Potterie (B.) (2001) : « Recherche-développement et croissance de la productivité : analyse des données d'un panel de 16 pays de l'OCDE », revue économique de l'OCDE, n° 33, 2001/II, p. 111-136

Gust (C.) et Marquez (J.) (2002) : « International comparison of productivity growth: The role of information technology and regulatory practise », *International Finance Discussion Papers*, n° 727, Board of Governors of the Federal Reserve System, 2002

Holtz-Eakin (D.), Newey (W.) et Rosen (H.S.) (1988) : « Estimating vector autoregression with panel data », *Econometrica*, 56, p. 1371-1396

Jorgenson (D.W.) et Stiroh (K. J.) (2000) : « Raising the speed limit: U.S. economic growth in the information age », *Brookings Papers on Economic Activity*, vol. 2

Greenan (N.), Mairesse (J.) et Topiol-Bensaid (A.) (2001) : « Information technology and research and development impacts on productivity and skills: Looking for correlation on French firms level data », *NBER Working Paper*, 8075

Lucas (R.E.) (1988): « On the mechanics of economic development », *Journal of Monetary Economics*, 22:3-42

Malinvaud (E.) (1973) : « Une explication de l'évolution de la productivité horaire du travail », *Économie et statistique*, n° 48, septembre

Mc Kinsey Global Institute (2002) : « Dynamiser la productivité en France et en Allemagne »

Nicoletti (G.) et Scarpetta (S.) (2001) : « Regulation, production and growth: OECD evidence », *Economics Department Working Papers* n° 3047, OCDE

Nicoletti (G.), Scarpetta (S.) et Boylaud (O.) (1999) : « Summary indicators of product market regulation with an extension to employment protection legislation », *Economics Department Working Papers* n° 226, OCDE

Oliner (S.D.) et Sichel (D.E.) (2000) : « The resurgence of growth in the late 1990s: Is information technology the story? », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n° 4, p. 3-22

Oliner (S.D.) et Sichel (D.E.) (2002) : « Information technology and Productivity: Where are we now and where are we going? », *Federal Reserve Board*

Pilat (D.) et Lee (F.C.) (2001) : « Productivity growth in ICT-producing and ICT-using industries : A source of growth differentials in the OECD ? », *STI Working Papers* 2001/4, OCDE

Scarpetta (S.) et Tressel (T.) (2002) : « Productivity and convergence in a panel of OECD industries : Do regulations and institutions matter? », *Economics Department Working Papers* n° 342, OCDE

Van Ark (B.), Inklaar (R.) et McGuckin (R.) (2002) : « Changing gear, productivity, ICT and services industries: Europe and the United States », *Research Memorandum GD-60*, Groningen Growth and Development Centre

World Information Technology Service Alliance (2002) : « Digital Planet 2002, the global information economy »

Composition des échantillons

Partie 2

Déterminants de l'évolution de la productivité apparente du travail dans les années quatre-vingt-dix

Australie, Allemagne, Autriche, Belgique, Canada, Corée, Danemark, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Grèce, Pays-Bas, Hongrie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pologne, Portugal, République tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède.

Partie 3

*Déterminants du niveau de la productivité apparente du travail en 2000
Sans les TIC*

Australie, Afrique du Sud, Allemagne, Argentine, Arménie, Autriche, Belgique, Biélorussie, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Chypre, Colombie, Corée, Costa Rica, Croatie, Danemark, Égypte, Espagne, Estonie, États-Unis, Fiji, Finlande, France, Grèce, Guatemala, Pays-Bas, Hongrie, Île Maurice, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Islande, Israël, Italie, Jamaïque, Japon, Kazakhstan, Kirghizstan, Koweït, Lituanie, Macédoine, Madagascar, Malaisie, Malte, Mexique, Moldavie, Mongolie, Nigeria, Norvège, Nouvelle-Zélande, Panama, Pérou, Philippines, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Salvador, Singapour, Slovaquie, Slovénie, Sri Lanka, Suède, Suisse, Thaïlande, Trinidad et Tobago, Tunisie, Turquie, Uganda, Ukraine, Venezuela.

*Déterminants du niveau de la productivité apparente du travail en 2000
Avec les TIC*

Australie, Afrique du Sud, Allemagne, Argentine, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Colombie, Corée du Sud, Costa Rica, Danemark, Égypte, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Grèce, Pays-Bas, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Malaisie, Mexique, Norvège, Nouvelle-Zélande, Philippines, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Salvador, Singapour, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Thaïlande, Turquie, Venezuela.

Annexe méthodologique

La méthode des moments généralisés (GMM, en anglais) consacrée aux modèles dynamiques de données de panel a été développée par Holtz-Eakin, Newey et Rosen (1988) et Arellano et Bond (1991). Ainsi, Arellano et Bond (1991) proposent de passer l'équation de référence ci-dessus en différences premières :

$$\Delta Y_{i,t} - \Delta Y_{i,t-1} = a.(\Delta Y_{i,t-1} - \Delta Y_{i,t-2}) + \beta'.(X_{i,t} - X_{i,t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}) \quad (1)$$

où la matrice X contient toutes les variables explicatives autres que la variable endogène retardée (y compris les *dummies* temporelles). β est le vecteur des paramètres autres que a . Cette différenciation permet d'éliminer l'effet spécifique aux pays. En revanche, il fait apparaître un nouveau problème : le terme $\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}$ est, par construction, corrélé avec la variable endogène retardée $y_{i,t-1} - y_{i,t-2}$.

Arellano et Bond (1991) font les hypothèses suivantes :

- le terme d'erreur ε n'est pas autocorrélé ;
- les variables explicatives X sont faiblement exogènes, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas corrélées avec les réalisations futures du terme d'erreur.

Les auteurs proposent ainsi les conditions suivantes :

$$\begin{aligned} E [\Delta Y_{i,t-s} \cdot (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})] &= 0 \\ E [X_{i,t-s} \cdot (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})] &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

pour $s > 1$ et $t = 3, \dots, T$. Cette technique consiste donc à utiliser les variables retardées *en niveau* comme instruments pour estimer l'équation de référence *en différence*. Les auteurs ont montré que la précision de cette méthode surpasse nettement celles des techniques précédentes (Matrice de Chamberlain, MCO en niveaux, intra-groupes, etc.). De plus, suivant la démarche de Arellano et Bond (1991), les variables incluses dans la matrice des instruments ont été multipliées par une *dummy* temporelle. Il nous est toutefois impossible d'appliquer cette technique à toutes les variables dans la matrice des instruments car elle augmente considérablement le nombre de ces derniers. Nous ne l'appliquerons que pour la variable endogène retardée et les variables TIC (c'est-à-dire les trois variables que nous soupçonnons le plus d'endogénéité) ; les autres variables explicatives retardées sont incluses dans la matrice des instruments sans être multipliées par une *dummy* temporelle. Nous posons $2 \leq s \leq 3$ dans l'équation (2) ci-dessus pour limiter le nombre d'instruments (en effet, nous ne disposons de données que pour vingt-cinq pays).

Si cette technique de GMM sur l'équation en différence offre des estimations beaucoup plus précises que les techniques usuelles, l'utilisation des variables retardées *en niveau* comme instruments n'est pas toujours adéquate. Alonso-Borrego et Arellano (1999) et Blundell et Bond (1998) ont montré que, sur de petits échantillons, les coefficients pouvaient être sérieusement biaisés dès lors que les variables explicatives *en niveau* présentent une forte autocorrélation.

Arellano et Bover (1995) et Blundell et Bond (1998) proposent alors de compléter cette GMM sur l'équation en différences par une GMM sur l'équation de référence prise *en niveau* avec les variables explicatives retardées prises *en différence* comme instruments.

$$\begin{aligned} E[\Delta Y_{i,t-s} - \Delta Y_{i,t-s-1} \cdot (u_i + \varepsilon_{i,t})] &= 0 \\ E[X_{i,t-s} - X_{i,t-s-1} \cdot (u_i + \varepsilon_{i,t})] &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

pour $s=1$. Ces nouvelles conditions sont valides sous l'hypothèse supplémentaire de stationnarité des variables explicatives, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de corrélation entre l'effet spécifique aux pays et les variables explicatives prises en différences.

La combinaison de ces deux techniques de GMM augmente drastiquement la précision des estimateurs dès lors que les variables explicatives sont suffisamment auto-corrélées, ce qui est le cas dans notre exemple. Étant donnée la taille de notre échantillon (nous ne disposons que de vingt-cinq pays), l'utilisation d'une seule technique de GMM aurait conduit à des estimations largement biaisées.

La qualité de notre estimation GMM dépend notamment de l'hypothèse que le terme d'erreur ne présente pas d'autocorrélation et de la validité de la matrice des instruments. Arellano et Bond (1991) proposent alors les deux tests suivants :

Test 1 (Instruments) :

Soit Z la matrice des instruments. Nous rappelons que Z ne doit pas être corrélée avec les perturbations pour que la régression soit correcte. Cette hypothèse est évaluée au moyen d'un test de Sargan.

Test 2 (Autocorrélation des résidus) :

Étant donné que l'équation de référence a été passée en différences premières, les résidus ainsi obtenus sont censés être autocorrélés à l'ordre 1, mais pas à l'ordre 2. Nous utilisons les tests AR(1) et AR(2) de Arellano et Bond (1991) pour vérifier ce point.

Enfin, Arellano et Bond (1991) et Blundell et Bond (1998) proposent un estimateur GMM en deux étapes. Les résidus de l'estimation de la première étape sont utilisés pour effectuer une estimation robuste à l'hétéroscédasticité de la matrice de variance-covariance lors de la deuxième étape. Toutefois, ces auteurs ont montré que si la précision de l'estimateur en deux étapes est très supérieure à celle de l'estimateur lors de la première étape, en revanche, ce dernier propose une estimation beaucoup plus précise des écarts-types sur petits échantillons. La faible taille de notre échantillon et le grand nombre d'instruments utilisés sont donc susceptibles de provoquer une sous-évaluation drastique des écart-types des estimateurs GMM en deux étapes¹⁵. Comme Calderon, Chong et Loayza (1999) et Beck et Levine (2002), nous retiendrons l'estimateur en deux étapes après avoir jugé de sa significativité à la première étape.

¹⁵ Le problème est également présent pour le test de Sargan et le test d'autocorrélation des résidus.

Annexe 3

Résultats complémentaires à la GMM

Plusieurs éléments peuvent expliquer la différence entre nos résultats et ceux de Gust et Marquez (2002). Tout d'abord, ces derniers n'incluent aucun terme autorégressif dans leur régression. Ensuite, ils utilisent les moindres carrés ordinaires pour estimer leur équation de référence. Enfin, les estimations sont réalisées avec une base de 13 pays seulement.

MCO sur l'équation de référence sans le terme autorégressif

	Spécif. 1	Spécif. 2	Spécif. 3	Spécif. 4
Part de la production en TIC (ITP)	1,034	1,912 *	–	3,069 **
Part des dépenses en TIC (ITS)	0,779	–	1,647	0,882
Variation des heures travaillées (ΔH)	0,333 ***	0,336 ***	0,321 **	0,163 *
Variation du taux d'emploi (ΔTE)	-0,310	-0,311 ***	-0,394 **	-0,425 ***
Variation du taux d'utilisation des capacités (ΔTUC)	0,0010 **	0,0010 ***	0,0010 **	0,0011 **
Significativité jointe des TIC	0,009	–	–	0,008
R2 ajusté	0,375	0,362	0,321	0,439

Nombre de pays : 25

Nombre de points : 167

Spécification 1 : équation de référence sans le terme autorégressif

Spécification 2 : sans le terme autorégressif et ITS

Spécification 3 : sans le terme autorégressif et ITP

Spécification 4 : comme la spécification 1, mais sur la base des treize pays

* L'estimation est significative à 10 %.

** L'estimation est significative à 5 %.

*** L'estimation est significative à 1%.

Nous réestimons notre équation de référence par moindres carrés ordinaires après avoir supprimé le terme autorégressif, qui biaiserait l'estimation MCO, et le taux d'investissement, qui est rejeté dans tous les cas. En comparant ces résultats à ceux du tableau 1, il est possible d'évaluer l'apport de la méthode des moments généralisés.

Les résultats sont résumés dans le tableau 2. Les trois premières colonnes correspondent aux mêmes spécifications que dans le premier tableau (hormis la disparition du terme autorégressif). La dernière colonne (spécification 4) est évaluée sur la base des treize pays retenus par Gust et Marquez (2002).

Plusieurs commentaires peuvent être faits.

- Tout d'abord le signe et la significativité des coefficients des heures, du taux d'emploi et du taux d'utilisation des capacités ne sont pas modifiés.
- En revanche, les résultats pour les spécifications 2 et 3 sont beaucoup moins bons que dans le tableau 1 : même pris individuellement, les coefficients de la production et des dépenses en TIC ne sont pas significatifs. Ils restent cependant significatifs à l'aune d'un test de Wald joint. Les résultats sont un peu plus probants sur la base de treize pays : l'effet de la production de TIC est positif et significatif, mais les dépenses en TIC sont de nouveau rejetées.

Description des données utilisées

Abréviations utilisées :

D : utilisé dans l'étude en différence ; N : utilisé dans l'étude en niveau

BM-IDE : Banque mondiale, base des Indicateurs de développement économique

OCDE-PE : OCDE, base Perspectives économiques

OCDE-STAN : OCDE, base STAN

OCDE-PIE : OCDE, base Principaux indicateurs économiques

OCDE-MSTI : OCDE, base Principaux indicateurs de la Science et des Technologies

OIT : base Laborsta

WITSA : *World Information Technology Service Alliance*

Description	D/N	Moy.*	Écart type	Source	Commentaire
Productivité du travail					
PIB en volume au prix de marché	D	ns	ns	OCDE-PE	
Emploi total (en millions)	D	17,1	26,6	OCDE-PE	
PIB en PPA (en milliards de dollars courants)	N	538,8	1 314	BM-IDE	
Emploi total (en millions)	N	26,2	86,5	OIT Base <i>Laborsta</i>	
Technologies de l'information et de la communication (TIC)					
Dépenses en TIC en % du PIB	D/N	5,9	1,7	WITSA (2002)	Dépenses internes et externes en technologies de l'information (ordinateurs, logiciels, services...) et de la communication (réseau public et privé, services,...)
Dépenses en TIC en % du PIB	D	4,1	1,5	OCDE-STAN	Somme de quatre postes producteurs de TIC : a) matériel de bureau, comptable et informatique, b) radio, télévision et équipements de communication, c) télécommunications, d) ordinateurs. Ce dernier poste a été complété avec la base de Groningen.
Marché du travail					
Heures travaillées par personne employée	D	1 755	161	<i>Groningen Growth and Development Centre</i>	
Taux d'emploi (en % de la population active)	D	63,6	7,7	OCDE-PE	
Taux d'emploi (en % de la population active)	N	40,9	8,2	BM-IDE OIT Base <i>Laborsta</i>	

* Moyenne et écart-type pour l'échantillon de soixante-dix-sept pays ou de vingt-cinq pays
 ns : non significatif

Description	D/N	Moy.*	Écart type	Source	Commentaire
Variabes macroéconomiques					
Taux d'investissement	D	21	5,1	Eurostat OCDE PE	Investissement total en volume sur PIB en volume
Taux d'investissement Moyenne 10, 20, 30 ans	N	22	4,6	BM-IDE	
Taux d'utilisation des capacités de production (normalisés)	D	77,2	8,4	OCDE-PIE	
Taux d'inflation (en %) Moyenne 10, 20, 30 ans	N	74	171	BM-IDE	
(Écart-type sur 30 ans)		(132)	(351)		
Taux de change officiel	N	ns	ns	BM-IDE	
Écart-type Balance des biens et services (en % du PIB)	N	- 2,47	6,54	BM-IDE	
Recherche et développement					
Dépenses intérieures brutes de R & D (en % du PIB)	D	1,6	0,7	OCDE-MSTI	
Dépenses de recherche et développement (en % du PNB)	N	0,98	0,88	BM-IDE	
Nombre de scientifiques et d'ingénieurs pour 1 million d'habitants	N	1 277	1 239	BM-IDE	
Infrastructures publiques					
Nombre de lignes téléphoniques principales pour 1 000 habitants Moyenne 1960-2000	N	186	157	BM-IDE	
Routes, réseau total en km sur surface totale en km ² (1990-2000)	N	0,80	1,09	BM-IDE	

* Moyenne et écart-type pour l'échantillon de soixante-dix-sept ou de vingt-cinq pays
ns : non significatif

Description	D/N	Moy.*	Écart type	Source	Commentaire
Indicateurs de capital humain					
Taux brut d'inscription dans l'éducation primaire (en % de la classe d'âge correspondante)	N	100	10	BM-IDE	Nombre d'élèves inscrits dans l'éducation primaire, quel que soit leur âge, sur l'effectif de la classe d'âge officielle correspondante dans la population.
Taux brut d'inscription dans l'éducation secondaire (en % de la classe d'âge correspondante)	N	76	26	BM-IDE	Nombre d'élèves inscrits dans l'éducation secondaire, quel que soit leur âge, sur l'effectif de la classe d'âge officielle correspondante dans la population.
Taux brut d'inscription dans l'éducation tertiaire (en % de la classe d'âge correspondante)	N	23	14	BM-IDE	Nombre d'élèves inscrits dans l'éducation tertiaire, quel que soit leur âge, sur l'effectif de la classe d'âge officielle correspondante dans la population.
Dépenses publiques totales en éducation (en % du PIB)	N	4,3	1,6	BM-IDE	
Rapport élève-enseignant dans l'éducation primaire	N	24	8	BM-IDE	
Indicateurs de développement financier					
Crédit intérieur au secteur privé (en % du PIB) Moyenne 10, 20, 30 ans	N	10a/54 20a/50 30a/45	42 36 31	BM-IDE	
Capitalisation des sociétés cotées (en % du PIB) Moyenne 1988-2000	N	36	39	BM-IDE	
Indicateurs de taille du marché					
Taux d'ouverture (en % du PIB) Moyenne sur 10, 20, 30 ans	N	74	46	BM-IDE	
PIB en PPA (en % du PIB mondial en PPA)	N	1,2	2,9	BM-IDE	
Degré de protection de l'emploi					
Indicateur de législation de protection de l'emploi Moyenne 1990-1998	D	2,3	1,0	OCDE-PE	Nicoletti, Scarpetta et Boylaud (1999)

* Moyenne et écart-type pour l'échantillon de soixante-dix-sept pays ou de vingt-cinq pays

Tests par groupes de pays

Deux types de *dummies* ont été utilisés dans les régressions ci-dessous :

- des *dummies* constantes, qui indiquent l'appartenance à des groupes de pays ; elles rendent compte de l'impact de l'appartenance à ce groupe ;
- des *dummies* variables, qui reprennent une variable donnée (densité téléphonique ou routière) pour un groupe de pays donnés seulement (revenus élevés/moyens/faibles) ; elles rendent compte de l'impact, au sein du groupe concerné, de la variable en question.

Certaines régressions utilisent des *dummies* constantes, d'autres des *dummies* variables, d'autres enfin les deux types de *dummies*.

D'autres regroupements ont été faits avec des critères de revenus aboutissant à des regroupements légèrement différents, ou sur une base politique (appartenance passée au bloc communiste) ou encore sur une base géographique (pays d'Afrique sub-saharienne, pays d'Amérique latine, pays accédant à l'Union européenne). Ces regroupements s'inspirent de l'idée selon laquelle les variables utilisées jusqu'ici ne parviendraient pas à rendre compte de certaines spécificités politiques et/ou géographiques. Ils ne donnent toutefois pas de résultats satisfaisants, ce qui contredit l'idée de telles spécificités.

Les équations de référence pour le premier échantillon (soixante-dix-sept pays) et pour le deuxième (présence de variables TIC) sont, respectivement, les équations (1) à (4) et (5) à (8).

Signification des variables :

CONST.	: Constante
TEL	: Densité téléphonique
ROAD	: Densité routière
HH	: <i>Dummy</i> « appartenance au groupe des pays à revenu élevé »
LL	: <i>Dummy</i> « appartenance au groupe des pays à faible revenu »
Suffixe « HH »	: Variable appliquée au groupe des pays à revenu élevé (ex : TELHH : densité téléphonique dans les pays à revenu élevé)
Suffixe « LL »	: Variable appliquée au groupe des pays à faible revenu (ex : TELLL : densité téléphonique dans les pays à faible revenu)
Suffixe « M »	: Variable appliquée au groupe des pays à revenu moyen (ex : TELM : densité téléphonique dans les pays à revenu moyen)
Suffixe « LML »	: Variable appliquée au groupe des pays à revenu faible et moyennement faible

Suffixe « HMH » : Variable appliquée au groupe des pays à revenu élevé et moyennement élevé
 Suffixe « 2 » : Variante considérant que le groupe des pays à revenu moyennement élevé commence à 3 000 dollars des États-Unis par habitant au lieu de 2 900 dollars
 UNI : Taux d'inscription dans le tertiaire
 PRIM : Taux d'inscription dans le primaire
 VOL : Volatilité de l'inflation
 CRED : Crédit intérieur au secteur privé
 TEMP : Taux d'emploi
 SYS : *Dummy* « appartenance passée au bloc communiste »
 ICT : Dépenses en TIC

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Variable expliquée	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD
Nbre d'observations	77	77	77	77	49	49	49	49
R ² ajusté (%)	82	88	88	89	79	85	86	85
CONST.	-	18*	20**	20**	-	7,5*	12***	9**
TEL	77***	39**	41***	-	47***	15	-	16
TELHH	-	-	-	-	-	-	-	-
TELLL	-	-	-	-	-	-	-	-
TELM	-	-	-	-	-	-	-	-
TELHMH	-	-	-	-	-	-	24	-
TELLML	-	-	-	-	-	-	-36	-
TELHMH 2	-	-	-	45***	-	-	-	-
TELLML 2	-	-	-	2	-	-	-	-
ROAD	2,1***	1,28	-	1,4*	4,2***	2,7**	2,6**	-
ROADHH	-	-	-	-	-	-	-	-
ROADLL	-	-	-	-	-	-	-	-
ROADM	-	-	-	-	-	-	-	-
ROADHMH	-	-	-	-	-	-	-	-
ROADLML	-	-	-	-	-	-	-	-
ROADHMH 2	-	-	1,5*	-	-	-	-	2,8**
ROADLML 2	-	-	-1,8	-	-	-	-	-1,7
UNI	0,22**	0,20**	0,18**	0,21**	0,43***	0,33***	0,32***	0,33***
PRIM	0,13***	0,04	0,03	0,04	-	-	-	-
VOL	-0,6*	-0,5**	-0,55**	-0,47*	-	-	-	-
CRED	0,13***	0,05	0,03	0,03	-	-	-	-
TEMP	-0,23*	-0,3***	-0,3***	-0,3**	-	-	-	-
ICT	-	-	-	-	200***	103	45	92
SYS	-	-	-	-	-	-	-	-
HH	-	17,7***	16***	13,6***	-	17***	14***	16***
LL	-	-9,7***	-10***	-12***	-	-5	-7	-5

* : L'estimation est significative à 10 %.
 ** : L'estimation est significative à 5 %.
 *** : L'estimation est significative à 1 %.