

**RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT ET CROISSANCE
DE LA PRODUCTIVITÉ : ANALYSE DES DONNÉES D'UN PANEL
DE 16 PAYS DE L'OCDE**

Dominique Guellec et Bruno van Pottelsberghe de la Potterie

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	112
Le modèle et les données	115
Les résultats de l'estimation	120
Conclusions préliminaires de politique économique.....	126
<i>Annexe 1.</i> Calcul et sources statistiques des variables technologiques.....	130
<i>Annexe 2.</i> Régressions sur le logarithme des variables exprimées en niveau	132
<i>Annexe 3.</i> Stabilité des paramètres estimés	134
Bibliographie	135

Respectivement Division des analyses et statistiques économiques, Direction générale de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE, et Université Libre de Bruxelles (ULB), Solvay Business School (Chaire Solvay d'Innovation), Centre Émile Bernheim et DULBEA, CP 145/01, 21 avenue F.D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles (Email : bruno.vanpottelsberghe@ulb.ac.be).

INTRODUCTION

L'essor récent de la productivité totale des facteurs (PTF) dans plusieurs pays membres de l'OCDE, après deux décennies de croissance lente, est souvent expliqué par une accélération du progrès technique. Cela s'accorde à la fois avec la théorie économique et avec les faits d'observation courante. La théorie économique (Solow, 1957 ; Romer, 1990) voit dans le changement technique la principale source de la croissance de la productivité à long terme. L'observation courante donne à penser que les nouvelles technologies (en particulier celles de l'information) ont largement contribué à l'amélioration récente de la productivité des entreprises¹.

Cette étude présente des estimations de la contribution du changement technique à la croissance de la PTF dans les principaux pays de l'OCDE pour la période 1980-98. Elle contribue de deux façons aux analyses déjà publiées dans ce domaine. En premier lieu, elle prend en compte simultanément les principaux facteurs des nouvelles technologies : la R-D des entreprises domestiques, la R-D publique et la R-D des entreprises réalisée dans d'autres pays. En second lieu, elle s'efforce de différencier au sein des pays l'incidence des trois sources de connaissances sur la croissance de la production. Les résultats visent à éclairer les points suivants :

- L'apport de la technologie générée par les entreprises à la croissance de la productivité.
- L'importance des flux étrangers de technologie (« retombées internationales ») relativement à la technologie nationale.
- La contribution de la recherche publique et universitaire à la croissance de la productivité.
- Le rôle des capacités d'absorption des entreprises à l'égard de la technologie d'origine publique et étrangère.
- La manière dont l'incidence des diverses sources de nouvelle technologie a évolué dans le temps.
- La nature des éléments spécifiquement nationaux qui conditionnent l'effet de ces diverses sources de technologie.

L'analyse est conduite au niveau agrégé (macroéconomique) pour 16 pays de l'OCDE, sur la période 1980-98, à partir de données annuelles. La présente étude est complémentaire d'un travail antérieur publié par l'OCDE (Bassanini *et al.*, 2000)

qui a pris en considération un plus grand nombre de facteurs de croissance de la productivité (par exemple le capital humain) mais n'a pas examiné dans le détail les effets de la technologie sur la PTF. Les résultats des deux études sont cohérents.

La recherche-développement, qui permet l'apparition de nouveaux produits, de méthodes inédites et d'un savoir neuf, est une source essentielle du changement technique. Selon la définition du *Manuel de Frascati* (OCDE, 1993, page 29), « la recherche et le développement expérimental (R-D) englobent les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, y compris la connaissance de l'homme, de la culture et de la société, ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances pour de nouvelles applications ». Toutefois, il existe différents types de R-D et l'effet de la R-D sur la productivité est susceptible d'emprunter divers canaux. Il convient d'en tenir compte pour appréhender les liens entre R-D et productivité. La R-D n'est pas la seule source des nouvelles technologies : dans les économies industrielles, d'autres activités telles que l'apprentissage par la pratique et la conception des produits sont généralement conduites sur la base des nouvelles technologies découlant de la R-D (par exemple les modifications de l'organisation des entreprises liées à l'usage des technologies de l'information et de la communication). Le rapport entre la R-D et l'innovation est à la fois complexe et non linéaire. Cependant, on admet aussi la difficulté d'accomplir des progrès substantiels en matière technologique si l'on n'entreprend pas des travaux de façon systématique (un tel contexte favorise d'ailleurs les découvertes dues au hasard) et la R-D est un bon indicateur de ce phénomène plus global.

La R-D réalisée par les entreprises aboutit à la création de nouveaux biens et services, à une amélioration de la qualité des produits et à de nouvelles méthodes de production. Ce sont des facteurs de croissance de la productivité au niveau de l'entreprise et au niveau macroéconomique. L'effet de la R-D des entreprises a été analysé dans de nombreuses études empiriques, conduites à tous les niveaux d'agrégation – établissements, entreprises, niveau sectoriel et niveau national – et dans de nombreux pays (en particulier aux États-Unis). Toutes ces études concluent à l'importance de la R-D, l'élasticité estimée de la production par rapport à la R-D des entreprises allant de 10 pour cent à 30 pour cent (cf. l'analyse des publications pertinentes faite par Nadiri, en 1993). L'amplitude de cette marge est surtout due au fait que les études diffèrent par les spécifications économétriques, les sources des données, le nombre d'unités économiques, les méthodes utilisées pour mesurer la R-D et les résultats économiques, enfin par les périodes étudiées. La R-D conduite par le secteur privé peut être financée par celui-ci ou par l'État (Guellec et van Pottelsberghe, 1999 et 2001*b*) : il est possible que son incidence sur la productivité varie en fonction de ses sources de financement (qui influent sur le programme de recherche et sur les incitations).

La recherche publique et celle des universités ont un effet direct sur les connaissances scientifiques et sur les missions de l'État ; elles génèrent un savoir de base. Dans bien des cas, on ne mesure pas les retombées de la recherche publique sur la productivité soit parce qu'elles sont indirectes², soit parce que leurs résultats ne s'intègrent pas dans les mesures existantes du PIB (la recherche dans le domaine de la santé permet d'améliorer la qualité de la vie et d'en allonger la durée, ce qui n'est pas retenu dans le calcul du PIB). La recherche fondamentale menée surtout par les universités augmente le stock des connaissances dont dispose la société. Le système actuel de comptes nationaux ne considère pas les connaissances nouvelles comme étant des produits finaux (à la différence des investissements physiques et des logiciels par exemple) ; en tant que telles, elles ne figurent pas dans les mesures du PIB : par conséquent, les résultats directs de la recherche fondamentale sont ignorés. Toutefois, cette dernière est susceptible d'ouvrir des voies nouvelles à la recherche des entreprises, ce qui en retour influe sur la productivité.

Il n'est donc pas surprenant que très peu d'études aient été consacrées aux effets de la recherche publique sur la productivité. Seules certaines composantes de la recherche publique ont été reprises dans des cadres empiriques. Ainsi, Adams (1990) constate que le stock fondamental de connaissances, représenté par la somme des études universitaires à caractère scientifique, a contribué de façon significative à la croissance de la productivité dans les entreprises manufacturières américaines. Poole et Bernard (1992) donnent un autre exemple concernant les innovations militaires au Canada, qui tend à prouver que le stock d'innovations en rapport avec la défense a exercé un effet négatif substantiel sur la croissance de la productivité totale des facteurs dans quatre secteurs au cours de la période 1961-85.

Les connaissances étrangères (celles qui proviennent d'autres pays) sont une troisième source de technologies nouvelles pour toute économie nationale. La technologie traverse les frontières de maintes façons, du fait que le savoir émanant de la recherche d'un pays donné est utilisé par les entreprises d'un autre pays. Les firmes peuvent acquérir des brevets, des licences ou du savoir-faire auprès de leurs homologues étrangers, observer les concurrents (*reverse engineering*, par exemple), recruter des scientifiques et ingénieurs étrangers, entrer en contact avec les concurrents étrangers qui ont investi dans leur pays (investissements étrangers directs), lire des ouvrages scientifiques et techniques, nouer des relations directes avec des ingénieurs étrangers à l'occasion de conférences ou de foires. L'incidence du savoir d'origine étrangère sur la productivité d'un pays peut dépendre de la capacité de ce pays d'absorber ce savoir et d'en faire bon usage, ce qui exige aussi que ce pays dispose d'activités technologiques suffisantes qui lui soient propres. C'est ce que l'on désigne traditionnellement sous le vocable de « capacité d'absorption » d'une économie.

Quelques études, comme celles de Coe et Helpman (1995), de l'OCDE (1997) et de van Pottelsberghe et Lichtenberg (2001), ont donné une estimation des effets de la R-D étrangère sur la productivité. Elles l'ont fait en régressant la productivité totale des facteurs (PTF) sur un stock de R-D nationale et sur un stock de R-D étrangère. Coe et Helpman concluent que la R-D nationale contribue de manière significative à la croissance de la productivité et que l'incidence est sensiblement plus élevée pour le G7 que pour les autres pays développés. En outre, la R-D étrangère a des conséquences notables sur la croissance de la PTF. Lichtenberg et van Pottelsberghe (1998) montrent que la R-D étrangère peut influencer sur les résultats nationaux par le biais des importations et des investissements directs étrangers (sous la forme d'apports technologiques et de pratiques d'apprentissage).

LE MODÈLE ET LES DONNÉES

Sur la base du cadre présenté ci-dessus, on estime la contribution de l'évolution technique à la croissance de la productivité. Une distinction est faite entre les différents facteurs de cette évolution : domestiques, étrangers et publics. On tient également compte des conséquences du cycle conjoncturel qui influe fortement sur la productivité à court terme. Le modèle sur lequel l'équation est basée est une simple fonction de production de Cobb-Douglas.

$$MFP_{it} = \exp[\phi_i + \varphi_t + \mu_{it}] \cdot BRD_{it-1}^{\beta_{rd}} \cdot FRD_{it-1}^{\beta_{frd}} \cdot PRD_{it-2}^{\beta_{prd}} \cdot U_{it}^{\sigma_U} \cdot G^{\sigma_G} \quad (1)$$

Les variables (pour le pays i au moment t) sont définies comme suit.

MFP (la PTF) est un indice de la productivité totale des facteurs dans l'industrie. MFP a été calculé de la manière habituelle (OCDE, 2001), comme le ratio du produit intérieur de l'industrie à la somme pondérée de la quantité de travail et du stock de capital fixe ; les pondérations sont respectivement la part annuelle du coût du travail et celle du coût du capital (en faisant l'hypothèse d'une concurrence parfaite et d'un rendement d'échelle constant). La série provient de la banque de données des comptes nationaux de l'OCDE.

BRD est le stock de capital R-D des entreprises nationales. Il a été calculé par la méthode de l'inventaire perpétuel à partir des dépenses totales *intra-muros* de R-D des entreprises, au prix du PIB de 1990 et en dollars de parité de pouvoir d'achat. Le taux d'amortissement est de 15 pour cent (l'analyse de sensibilité montre que les résultats des régressions ne sont pas sensiblement modifiés par le choix du taux d'amortissement). La série est tirée des principaux indicateurs scientifiques et technologiques de l'OCDE.

FRD est le stock de capital R-D étranger, qui correspond à la somme pondérée des stocks de capital R-D des entreprises nationales des 15 autres pays du panel. Les pondérations reflètent la proximité technologique bilatérale entre les pays

(voir l'annexe 1). L'hypothèse sous-jacente est double. En premier lieu, la technologie circule directement, sans qu'il soit besoin du vecteur de l'échange de biens (même si celui-ci peut être utile). Cette hypothèse diffère de celle de Coe et Helpman (1995), qui calculent le stock de capital étranger d'un pays en additionnant les stocks de capital R-D des autres pays *pondérés par la structure du commerce extérieur du pays*. Toutefois, notre hypothèse est cohérente avec les informations disponibles sur la circulation des connaissances au-delà des frontières³. La deuxième hypothèse est qu'un pays bénéficiera davantage des connaissances étrangères relatives aux domaines technologiques dans lesquels il travaille que des connaissances portant sur d'autres domaines.

PRD est le stock de capital public total, qui comprend les dépenses de R-D effectuées dans l'enseignement supérieur et dans le secteur d'État (laboratoires publics). Le taux d'amortissement est de 15 pour cent (là encore l'analyse de sensibilité montre que taux d'amortissement retenu n'a guère d'incidence sur les résultats des régressions). Comme ces activités de R-D ne sont pas réalisées par le secteur privé, il y a lieu d'attendre un délai plus long avant qu'elles affectent la productivité des firmes ; elles sont donc incorporées dans le modèle avec un délai de deux ans.

Un ensemble de variables de contrôle figure dans toutes les régressions. La variable U est censée représenter l'incidence du cycle conjoncturel. Elle est égale à 1 moins le taux de chômage. Elle constitue une meilleure représentation que le taux d'utilisation du capital généralement appliqué, qui concerne seulement les industries manufacturières (celles-ci contribuent pour environ 20 pour cent au PIB des pays de l'OCDE). Dans le cadre de cette étude, cette variable est également meilleure que l'écart au PIB potentiel, dans la mesure où le calcul de ce dernier dépend de certaines hypothèses sur la croissance de la PTF : à supposer qu'on l'utilise, on serait confronté à de problèmes de simultanéité (si la PTF est la même dans les deux membres de l'équation) ou d'incohérence (si deux PTF différentes sont utilisées dans les deux membres de l'équation). G est une variable indicatrice égale à 1 pour l'Allemagne en 1991 et à 0 autrement, afin de prendre en compte le choc exogène de l'unification allemande. ϕ_i sont les variables indicatrices géographiques permettant d'incorporer les spécificités nationales susceptibles d'influer sur la croissance à long terme. φ_t sont des variables indicatrices temporelles qui reflètent les changements techniques et les chocs exogènes communs à plusieurs pays, tels qu'une modification des taux de change.

L'équation de base que nous estimons, adaptée de (1), est un modèle à correction d'erreurs (MCE), qui permet de distinguer les effets de court et de long terme. La forme de long terme (stationnaire) du modèle exprimée de façon logarithmique est la suivante :

$$LMFP_{it} = \beta_{brd} LBRD_{it-1} + \beta_{frd} LFRD_{it-1} + \beta_{prd} LPRD_{it-2} + \sigma_U LU_{it} + \sigma_G G + \phi_i + \varphi_t + \mu_{it} \quad (1')$$

Qui donne le modèle à correction d'erreurs suivant (MCE) :

$$\Delta MFP_{it} = \lambda \Delta MFP_{it-1} + \alpha_{brd} \Delta BRD_{it-1} + \alpha_{frd} \Delta FRD_{it-1} + \alpha_{prd} \Delta PRD_{it-2} + \eta LMFP_{it-2} + \beta_{brd} LBRD_{it-2} + \beta_{frd} LFRD_{it-2} + \beta_{prd} LPRD_{it-3} + \sigma_U \Delta U_{it} + \sigma_G \cdot G + \phi_i + \varphi_t + \mu_{it} \quad (2)$$

Dans lequel Δ représente la différence première logarithmique et L le logarithme naturel. Dans cette équation, l'élasticité à long terme de la production par rapport à la R-D des entreprises (LRDF), par exemple, est $[-\beta_{RD}/\eta]$.

On fait l'hypothèse que les paramètres qui doivent être estimés sont identiques dans tous les pays et sur la durée ; on les définit comme suit :

- β_{brd} L'élasticité de la PTF à la R-D des entreprises domestiques.
- β_{frd} L'élasticité de la PTF à la R-D des entreprises étrangères.
- β_{prd} L'élasticité de la PTF à la R-D publique.
- σ_U L'élasticité de la PTF au taux d'utilisation des capacités.
- σ_G L'incidence de l'unification allemande sur la PTF en Allemagne.

Pour interpréter ces élasticités, il convient de garder à l'esprit que la variable expliquée n'est pas le PIB mais la PTF. De ce fait, on appréhende seulement les effets de « spillover » (externalités) de la R-D et non l'incidence globale sur la croissance de la production (qui comprend aussi l'effet direct sur le rendement privé). Cela concerne en particulier la R-D des entreprises : une partie des ressources privées consacrées à la R-D (travail et capital) est déjà prise en compte dans le calcul de la PTF, puisqu'elle figure dans le stock de capital de l'économie et dans la main-d'œuvre disponible. En conséquence, si le rendement social de la R-D est égal à son rendement privé et que le rendement privé de la R-D est égal à sa part dans la production (et si les hypothèses sur lesquelles est basé le calcul de la PTF tiennent, en particulier la concurrence parfaite et les rendements d'échelle constants au niveau agrégé) alors l'élasticité de la PTF à la R-D des entreprises domestiques devrait être égale à 0. Une élasticité positive indiquerait l'existence de répercussions.

La R-D des entreprises étrangères est financée en partie par les entreprises nationales utilisatrices, sous forme de paiements internationaux au titre des transferts de technologie (brevets, licences et contrats de savoir-faire). Toutefois, ces paiements sont d'un montant relativement limité dans la plupart des pays (moins de 0.4 pour cent du PIB en moyenne dans l'OCDE, si l'on inclut les paiements relatifs aux logiciels qui ne sont pas directement pris en compte dans cette analyse) et ils ne représentent probablement qu'un faible pourcentage de tous les avantages dont bénéficient les utilisateurs : le marché international de la technologie demeure très incomplet. Étant donné que les versements au titre de la technologie à des fournisseurs nationaux ou étrangers sont traités par la comptabilité nationale comme une consommation intermédiaire, ils ne figurent pas en tant que tels dans le PIB, et donc dans la PTF. Par exemple, une augmentation des paiements pour l'acquisition de technologies étrangères n'aura pas d'incidence

directe sur le niveau du PIB, car elle n'est pas considérée comme une valeur ajoutée. Dès lors, les effets que nous appréhenderons ne sont que des « spillovers », la fraction des avantages que les utilisateurs ne paient pas. En général, les entreprises utilisatrices ne rémunèrent pas intégralement l'État pour les avantages de la R-D publique dont elles bénéficient. La plus grande part de ses effets sur l'activité des entreprises résulte donc de « spillovers ».

En conséquence, ce modèle appréhende l'essentiel des effets de la R-D publique et étrangère, mais seulement, en ce qui concerne la R-D des entreprises, le supplément de rendement privé qui s'ajoute à l'incidence publique. Il faut faire une autre réserve, à savoir que les hypothèses utilisées pour le calcul de la PTF ne sont peut-être pas totalement fiables : on associe souvent à la R-D des rendements d'échelle croissants et une concurrence imparfaite (par exemple Romer, 1990). Si c'est le cas, l'indice de PTF que nous expliquons est sujet à des erreurs de mesure qui pourraient être corrélées aux variables explicatives. Pour atténuer ce problème, nous avons procédé à des estimations à l'aide de variables instrumentales.

Considérons maintenant quelques statistiques descriptives. Le tableau 1 présente des taux de croissance annuels moyens pour toutes les variables et tous les pays, sur la période 1980-98. La croissance de la PTF varie de 0.3 pour cent l'an en Allemagne à 3.4 pour cent en Irlande. Toutefois, la plupart des pays sont très proches de 1 pour cent l'an (dix se situent entre 0.9 pour cent et 1.4 pour cent). La croissance de la PTF, de même que celle de la R-D, est élevée en Irlande, parce que

Tableau 1. **Statistiques descriptives : taux de croissance annuels moyens, 1980-98**
En pourcentage

	Stock de capital R-D des entreprises	Stock de capital R-D de l'étranger	Stock de capital R-D du secteur public	Croissance de la PTF
AU	7.50	3.80	3.69	0.84
BE	4.07	4.19	2.11	1.34
CA	6.71	3.84	2.46	0.69
DK	7.08	3.41	4.23	1.02
FI	8.86	5.11	5.86	2.60
FR	3.80	4.10	3.45	1.05
AL	3.62	3.71	2.41	0.30
IR	10.76	7.15	3.35	3.39
IT	4.83	3.92	4.18	1.08
JP	6.31	3.56	3.71	0.94
PB	2.66	4.27	2.68	1.05
NO	5.41	4.34	3.32	1.08
ES	4.40	4.41	1.95	1.38
SU	5.79	4.27	4.25	1.20
RU	1.90	4.21	1.83	1.03
EU	3.66	4.47	2.04	0.94

ce pays a effectué un rattrapage au cours de cette période. La croissance de la R-D des entreprises (stock de capital) va de 1.9 pour cent (Royaume-Uni) à 8.9 pour cent (Finlande) et même à 10.8 pour cent pour l'Irlande, tandis que la plupart des pays se situent entre 4 et 7 pour cent. Dans presque tous les pays, la croissance de la R-D des entreprises a été plus élevée dans les années 80 que dans les années 90 (voir Guellec et Ioannidis, 1999, pour une analyse du « plafonnement » de la R-D). Le taux de croissance de la R-D étrangère a fluctué autour de 4 pour cent partout, sauf en Irlande où il a été de l'ordre de 7 pour cent l'an en moyenne. Dans la plupart des pays, la croissance de la R-D réalisée par le secteur public a été très inférieure à celle de la R-D des entreprises au cours de la période sous revue. Elle s'inscrit dans une marge allant de 1.8 pour cent (Royaume-Uni) à 5.9 pour cent (Finlande), la plupart des pays affichant une augmentation comprise entre 2 pour cent et 4 pour cent environ. Les principaux facteurs en cause sont la fin de la guerre froide (réduction des dépenses de défense) et les difficultés budgétaires dans beaucoup de cas, de même que les efforts accrus consentis par les entreprises dans ce domaine.

Le tableau 2 présente une analyse simple de la corrélation entre les taux de croissance moyens (1980-98) de ces variables. La PTF est fortement corrélée avec la R-D des entreprises et la R-D étrangère, qui sont les deux variables censées avoir la relation la plus directe. Elle est également corrélée positivement avec la R-D publique, bien que la relation soit plus lâche. La R-D des entreprises est bien corrélée avec les deux autres variables de R-D. La R-D étrangère n'est pas corrélée avec la R-D publique et il n'y a pas lieu de s'attendre à l'existence d'une telle relation. On peut expliquer de la façon suivante la corrélation positive entre la R-D étrangère et celle des entreprises : la R-D étrangère est une moyenne pondérée de la R-D des autres pays et les pondérations reflètent la proximité technologique. Au fur et à mesure qu'un pays augmente ses dépenses de R-D, il va probablement élargir la palette des technologies qu'il couvre et intensifier sa corrélation avec la spécialisation des autres pays. Ce mécanisme joue en particulier dans les pays qui partent d'un niveau technologique relativement bas et dans lesquels la palette des technologies existantes est très limitée (l'Irlande en est un bon exemple).

Tableau 2. **Matrice de corrélation entre les taux de croissance annuels de 16 pays, 1980-98**

	R-D des entreprises	R-D de l'étranger	R-D du secteur public
PTF	0.675	0.909	0.383
R-D du secteur public	0.622	0.094	
R-D de l'étranger	0.528		

LES RÉSULTATS DE L'ESTIMATION

On a conduit des estimations (voir tableau 3) du modèle à correction des erreurs (2)⁴. Plusieurs séries d'estimations ont été effectuées pour vérifier la robustesse : une première est sous contrainte de constance des paramètres à court terme pour tous les pays ; une autre permet une variation des paramètres à court terme selon les pays ; on a utilisé les procédures SURE et 3SLS ; enfin, le modèle a été estimé pour différentes sous-périodes⁵. On ne relève pas de différences significatives entre les paramètres estimés à l'aide de ces diverses techniques, ce qui tend à montrer la robustesse de nos estimations. On a fixé les retards pour les relations à long terme à deux ans en ce qui concerne la R-D des entreprises et celle de l'étranger, à trois ans pour la R-D publique. Le choix a été fait en testant différents retards et en choisissant ceux qui produisent les résultats les plus significatifs. Le retard plus long retenu pour la R-D publique se justifie par l'idée qu'elle est plus fondamentale que la R-D des entreprises et influe plus tardivement sur la productivité. En tout état de cause, quand il s'agit d'un MCE, dans lequel les coefficients à long terme expriment les relations *en niveau*, le choix des délais importe moins que dans d'autres types de modèles. Pour détecter de possibles points aberrants et tester la robustesse des résultats à l'égard de l'échantillon de pays, on a estimé le modèle sur 16 sous-échantillons de 15 pays, ce qui signifie que chaque pays a été exclu à tour de rôle. Les chiffres figurant à l'annexe 3 confirment la robustesse de nos estimations. Dans tous les cas, les coefficients restent significativement différents de zéro.

L'élasticité à long terme de la PTF à la R-D des entreprises est de 0.13 (tableau 3, colonne 1)⁶. Cette élasticité est tout à fait conforme aux estimations citées dans la littérature économique (Nadiri, 1993), bien qu'elle se situe dans la partie basse de la fourchette. Comme l'incidence directe de la R-D des entreprises sur la production est déjà au moins partiellement prise en compte par la PTF, ce coefficient positif doit surtout refléter des « spillovers » et un éventuel rendement supplémentaire (s'ajoutant à la rémunération normale du capital et du travail) qui découlent de la R-D. Il convient de le rapprocher du ratio de la R-D des entreprises au PIB marchand (environ 2 pour cent dans l'OCDE au cours des années 80 et 90). Le rendement social de la R-D des entreprises est donc beaucoup plus élevé que le « rendement privé normal » (qui se reflète dans le revenu de la R-D).

Si l'on croise l'élasticité de la R-D des entreprises avec un trend temporel (tableau 5, colonne 6), on s'aperçoit que l'incidence de la R-D des entreprises sur la PTF augmente avec le temps (une progression de quelque 0.005 par an). Ce résultat confirme l'impression, donnée par les informations émanant des entreprises, que la R-D est une activité de plus en plus importante pour ces dernières dans une économie fondée sur le savoir : à un moment où les entreprises de la plupart des pays de l'OCDE ont atteint la frontière technologique (après plusieurs

Tableau 3. Résultats des estimations de la productivité totale des facteurs, modèle de correction des erreurs

Variable dépendante Δ MFP		80-98	80-98	80-98	80-96	84-98
		3SLS	SURE	SURE	3SLS	3SLS
Régressions		1	2	3	4	5
Croissance de la productivité totale des facteurs (t - 1)	Δ MFP	-0.396* (-7.81)	-0.088* (-3.41)		-0.419* (-13.17)	-0.370* (-30.20)
Croissance de la R-D des entreprises (t - 1)	Δ BRD	-0.024 (-1.12)	-0.019 (-1.13)	-0.010 (-0.72)	-0.046* (-2.43)	0.024* (2.78)
Croissance de la R-D de l'étranger (t - 1)	Δ FRD	0.055* (2.93)	0.069* (4.14)	0.042* (2.40)	0.044* (2.94)	0.125* (20.34)
Croissance de la R-D du secteur public (t - 2)	Δ PRD	0.091 (2.66)	0.067* (2.32)	0.041 (1.54)	0.073* (2.23)	0.125* (8.96)
Niveau de la PTF (t - 2)	LMFP	-0.205* (-11.20)	-0.181* (-13.04)	-0.162* (-10.88)	-0.211* (-13.19)	-0.192* (-29.47)
R-D des entreprises (t - 2)	LBRD	0.027* (5.28)	0.024* (5.17)	0.024* (5.52)	0.029* (5.82)	0.022* (6.11)
R-D de l'étranger (t - 2)	LFRD	0.094* (7.74)	0.079* (7.83)	0.067* (6.67)	0.090* (8.32)	0.127* (26.85)
R-D du secteur public (t - 3)	LPRD	0.035* (5.12)	0.028* (4.20)	0.029* (4.70)	0.025* (4.34)	0.035* (16.28)
Variables de contrôle						
Croissance du taux d'emploi (t)	Δ U	0.380* (8.95)	0.372* (11.05)	0.338* (9.44)	0.376* (10.17)	0.378* (39.41)
Variable indicatrice unification allemande (t)	G	-0.100* (-20.78)	-0.096* (-28.63)	-0.097* (-26.94)	-0.099* (-23.30)	-0.094* (-52.81)
Effets à court terme spécifiquement nationaux						
Nombre de pays		Non 16	Non 16	Oui 16	Non 16	Non 16
R ² ajusté		0.501	0.477	0.477	0.525	0.505
Nombre d'observations		302	302	302	272	238

Notes : Données de panel, 16 pays, 1980-98. Toutes les régressions incluent des constantes spécifiquement nationales (dans le cadre des estimations) et des variables indicatrices temporelles. La méthode d'estimation SURE (seemingly unrelated regression) permet de procéder à des corrections pour tenir compte de la corrélation contemporaine du résidu dans les pays et la méthode 3SLS (triples moindres carrés) permet des corrections tenant compte de la présence de la variable endogène décalée parmi les variables explicatives.

* indique les paramètres qui sont significatifs à un seuil de probabilité de 5 pour cent.

Les variables instrumentales pour les estimations 3SLS (triples moindres carrés) sont toutes les variables exogènes (y compris les variables indicatrices) et les variables endogènes (avec décalage de deux ans).

Les coefficients de long terme mentionnés dans le texte principal sont obtenus comme suit (conformément au modèle à correction d'erreurs tel qu'il est exposé dans la partie consacrée aux estimations de résultats) : pour la variable X (X = BRD, FRD ou PRD), diviser le coefficient estimé pour LX par l'opposé du coefficient estimé pour LMFP dans la même régression. Par exemple, dans la première régression (colonne 1), le coefficient de long terme pour la R-D des entreprises est : $0.024/0.180 = 0.13$.

Tableau 4. **Élasticité à long terme de la production par rapport aux variables de R-D**

	R-D des entreprises	R-D de l'étranger	R-D publique
Élasticité à long terme	0.132	0.459	0.171

décennies de rattrapage), pour garder le contact avec la concurrence il faut non seulement développer des capacités physiques, mais aussi, de plus en plus, innover (OCDE, 2000).

Des estimations supplémentaires permettent d'identifier les conditions qui améliorent ou réduisent cette élasticité (tableau 5, colonne 1). L'intensité de la R-D des entreprises d'un pays (le ratio des dépenses de R-D des entreprises au PIB marchand) a un effet positif sur l'élasticité de la R-D des entreprises : un point supplémentaire d'intensité de la R-D du pays accroît son élasticité de 0.003 à 0.004. Ce résultat indique une certaine augmentation du rendement des investissements dans la recherche. En dépensant plus pour la R-D, les entreprises d'un pays peuvent bénéficier d'économies d'échelle internes, créer des réseaux et profiter de leurs découvertes respectives. Cela dénote également une capacité accrue d'absorber les connaissances d'origine nationale générées par d'autres firmes et/ou par d'autres secteurs.

La part du financement assurée par l'État a un effet négatif, mais limité, sur l'élasticité de la R-D des entreprises (tableau 5, colonne 1). Mais, seule la fraction des financements publics consacrée à la défense a une incidence négative notable sur la PTF (tableau 5, colonne 2). Seulement quatre ou cinq pays de l'OCDE qui ont un budget de R-D substantiel pour la défense pourraient être concernés par ce problème. En réalité, les financements publics pour des objectifs civils ont un (faible) effet positif sur l'élasticité de la R-D des entreprises. Comme cette dernière appréhende surtout des « spillovers », on pourrait en conclure que les financements de l'État parviennent à accroître la partie de la R-D des entreprises dont le rendement social est le plus élevé. C'est d'autant plus envisageable qu'une partie des financements publics de la R-D des entreprises civiles concerne la santé ou l'environnement et n'exerce pas d'incidence directe sur la PTF mesurée.

L'élasticité à long terme entre la R-D étrangère et la productivité se situe dans une fourchette de 0.45 à 0.5. Ce chiffre peut paraître étonnamment élevé, puisqu'il s'agit essentiellement d'une source de technologie à faible coût pour l'économie (le coût direct d'absorption d'une nouvelle technologie *quand les conditions intérieures sont réunies* doit être sensiblement plus bas que le coût d'invention, ce qui constitue la raison d'être des transferts de technologie). Les estimations de Coe et Helpman (1995), bien que plus basses, sont du même ordre de grandeur : 0.29. Le chiffre est également élevé en comparaison avec l'élasticité de la R-D nationale mentionnée

Tableau 5. Résultats des estimations de la productivité totale des facteurs : modèle à correction d'erreurs et interactions

Variable dépendante		ΔMFP 1980-98					
Régressions		1	2	3	4	5	6
Niveau de la productivité totale des facteurs (t - 2)	LMFP	-0.193* (-9.74)	-0.208* (-9.45)	-0.206* (-11.68)	-0.210* (-11.66)	-0.241* (-13.28)	-0.214* (-10.60)
R-D des entreprises (t - 2)	LBRD	0.020* (3.65)	0.017* (2.94)	0.026* (5.25)	0.019* (3.78)	0.018* (3.27)	0.016* (2.91)
Intensité de la R-D (IRD) * LBRD (t - 2)		0.044* (2.96)	0.067* (4.49)				
Part des financements publics * LBRD (t - 2)		-0.002* (-2.17)					
Part de la défense dans les financements publics * LBRD (t - 2)			-0.011* (-4.83)				
Part du civil dans les financements publics * LBRD (t - 2)			0.003* (2.17)				
Tendance * LBRD (t - 2)							0.001* (2.79)
R-D de l'étranger (t - 2)	LFRD	0.088* (7.42)	0.096* (7.56)	0.159* (4.63)	0.092* (7.51)	0.107* (7.94)	0.080* (5.71)
Log (moyenne DPI) * LFRD (t - 2)				-0.003* (-2.09)			
IRD * LFRD (t - 2)					0.395* (4.34)		
Tendance * LFRD (t - 2)							0.001 (0.93)
R-D publique (t - 3)	LPRD	0.033* (4.83)	0.032* (4.45)	0.026* (3.71)	0.024* (3.92)	0.039* (4.30)	0.041* (5.80)
Intensité de la R-D des entreprises * LPRD (t - 3)						0.049* (4.30)	
Dépenses en pourcentage du CBPRD * LPRD (t - 3)						-0.003* (-3.65)	
Enseignement supérieur en pourcentage de la R-D publique * LPRD (t - 3)						0.004* (4.19)	
Tendance * LPRD (t - 3)							-0.001* (-3.80)
R ² ajusté		0.519	0.532	0.508	0.513	0.538	0.502
Nombre d'observations		302	297	302	302	298	302

Note : Données de panel, 16 pays, 1980-98. Toutes les régressions incluent des constantes spécifiquement nationales (dans le cadre des estimations) et des variables indicatrices temporelles. Les paramètres de court terme et les variables de contrôle ne figurent pas faute d'espace. La méthode 3SLS (triples moindres carrés) permet des corrections pour tenir compte de la simultanéité possible de la variable expliquée et de certaines variables explicatives.

* indique les paramètres qui sont significatifs à un seuil de probabilité de 5 pour cent.

ci-dessus ; on peut en conclure que, pour chaque pays, la R-D des autres importe plus que la R-D nationale à l'égard de la croissance de la productivité, à condition qu'il soit capable d'absorber les technologies d'origine étrangère. Ce résultat s'accorde avec le fait que le rendement social intérieur de la R-D est supérieur au rendement privé : si les effets de diffusion de la technologie se produisent à l'intérieur des pays, il n'y a pas de raison de croire qu'ils s'arrêtent à la frontière ; les « spillovers » internationaux existent certainement. Comme tout pays est de petite taille relativement à l'ensemble de l'OCDE (en d'autres termes, la part de tout pays dans le savoir nouveau généré par le panel de 16 pays est modeste), les avantages émanant des autres pays sont susceptibles de dépasser très largement ceux qui découlent de la technologie nationale⁷.

Une première déduction directe de cette interprétation est que l'incidence des retombées étrangères sur la productivité doit être plus importante pour les petits pays que pour les grands (le monde extérieur compte encore plus pour les petits pays que pour les grands). Plus un pays est de taille réduite, plus le nombre de ses chercheurs est limité. Il est donc plus probable que l'on soit en contact avec des collègues situés à l'étranger quand on est dans un petit pays. Ce point est confirmé par Guellec et van Pottelsberghe (2001a) qui s'appuient sur des statistiques de brevets pour démontrer que, dans les petits pays, un pourcentage plus élevé des inventions résulte d'une coopération internationale (par opposition aux inventions d'origine purement nationale). L'effet de taille pourrait être compensé par la spécialisation, dans le cas où les chercheurs sont surtout en relation avec des collègues *travaillant dans un domaine scientifique voisin* : un pays petit mais hautement spécialisé peut avoir une activité aussi intense que de plus grands pays dans les domaines qu'il couvre ; néanmoins, le nombre de ces derniers risque d'être plus faible (« effet de spécialisation »). Nous avons testé l'hypothèse d'« effet de taille » par interaction entre la R-D étrangère et un indicateur de taille pour chaque pays : la moyenne du PIB (en logarithme) pour la période 1980-98 (les résultats figurent dans le tableau 5, colonne 3). Le paramètre, à la fois négatif et significatif, confirme que les petits pays bénéficient effectivement plus de la R-D étrangère que les grands, même si l'effet est très limité. Par conséquent, l'« effet de spécialisation » est également fort, bien qu'il ne compense pas tout à fait l'effet de taille. Après avoir établi que la R-D est plus internationalisée dans les petits pays, la présente étude démontre que les petits pays bénéficient également plus, en matière de productivité, de l'internationalisation.

Une autre déduction découlant directement de l'interprétation présentée ci-dessus, est que plus l'intensité de la R-D est élevée dans un pays, plus il doit tirer avantage de la R-D étrangère. Nous avons testé cette hypothèse par interaction de la R-D étrangère avec l'intensité de la R-D des entreprises pour chaque pays⁸. Les résultats présentés à la colonne 4 indiquent que l'effet de l'intensité de la R-D domestique sur l'élasticité de la R-D étrangère est positif et significatif : une

différence d'intensité de R-D de 0.1 pour cent entre deux pays fait apparaître un écart de quelque 0.002 entre leurs élasticités. Si les entreprises d'un pays veulent profiter pleinement des effets de diffusion internationaux, il leur faut consacrer des ressources à la R-D : il est clair que le comportement de « passager clandestin » est voué à l'échec. A l'évidence, toute firme désireuse d'adopter ou d'améliorer le savoir généré par d'autres entreprises ou par des institutions publiques (nationales ou étrangères) aura l'obligation d'investir dans des activités de recherche « imitatives » ou « adaptatives ». Cet argument est exprimé avec force par Geroski (1995) et s'appuie sur quelques validations empiriques. Par exemple, les études économétriques de Cohen et Levinthal (1989) et de Branstetter et Sakakibara (1998) démontrent que l'activité propre de R-D d'une firme développe sa capacité d'absorption des résultats de R-D d'autres firmes. En outre, les résultats de l'enquête de Mansfield (1981) montrent que les coûts d'imitation s'élèvent en moyenne à environ 65 pour cent des coûts originaux de l'innovation. Finalement, la mise en interaction de la R-D étrangère avec un trend temporel (tableau 5, colonne 6) indique que l'élasticité de la R-D étrangère n'augmente pas sensiblement au fil du temps.

L'élasticité à long terme entre la recherche de l'État et des universités et la productivité est de l'ordre de 0.17. C'est beaucoup plus que le ratio entre la recherche publique et le PIB marchand (0.7 pour cent à 0.9 pour cent dans la zone de l'OCDE au cours des années 80 et 90), ce qui tend à démontrer que la R-D publique a un effet bénéfique sur l'économie⁹. L'élasticité de la recherche publique est d'autant plus élevée que l'intensité de la R-D des entreprises l'est elle-même : on voit ainsi qu'il est important que le secteur des entreprises soit en mesure de saisir les occasions suscitées par la recherche publique. L'effet de la recherche publique sur la productivité est donc en partie indirect ; il implique l'utilisation de ses découvertes par le secteur des entreprises. Le renforcement des liens entre la recherche publique et privée, que les gouvernements de la plupart des pays de l'OCDE essaient de mener à bien, devrait accentuer cet effet.

L'élasticité de la R-D publique est influencée positivement par la part de la recherche publique qui est effectuée par les universités (par opposition à la part des laboratoires d'État), comme on le voit au tableau 5, colonne 5. C'est peut-être parce que l'essentiel de la R-D réalisée par l'État est orienté vers des missions publiques (la santé, l'environnement) qui n'ont pas de conséquences directes sur la productivité, alors que les universités sont à l'origine des connaissances fondamentales que l'industrie met ensuite en œuvre pour réaliser des innovations technologiques. Ce point est confirmé par l'effet négatif de la fraction consacrée à la défense dans les budgets publics de R-D, qui s'explique par le fait que le principal objectif de la R-D pour la défense n'est pas d'augmenter la productivité. Une autre explication possible de l'incidence plus marquée de la recherche universitaire est la manière dont les fonds sont alloués : dans la plupart des pays de

l'OCDE, une partie au moins des fonds consacrés à la recherche universitaire est attachée à des projets, alors que les laboratoires d'État disposent d'un financement institutionnalisé. La première méthode permet une meilleure réactivité à l'évolution des priorités technologiques que la deuxième (on renonce à des voies technologiques qui s'avèrent peu porteuses pour se réorienter vers des domaines plus prometteurs) et peut avoir des retombées plus importantes sur la productivité. Il conviendrait de procéder à des études de cas supplémentaires pour étayer cette hypothèse. En définitive, la tendance de l'élasticité de la recherche publique est négative sur la période couverte. Cette constatation est contraire à la tendance observée pour la recherche des entreprises. Elle est également surprenante dans la mesure où la part de la défense, qui a une incidence négative, a eu tendance à diminuer avec le temps. L'une des raisons possibles est que, dans beaucoup de pays, le secteur de la recherche publique ne s'est engagé que lentement dans le domaine des nouvelles technologies, en particulier celles de l'information et des télécommunications, qui ont stimulé la croissance de la PTF ces dernières années. Ce manque de flexibilité a peut-être contribué à diminuer l'impact de la recherche publique sur la productivité.

Les deux variables de contrôle (pour le cycle conjoncturel et pour l'unification allemande) ont le signe attendu et sont significatives. Le taux d'emploi a une incidence importante et positive sur la croissance de la productivité, ce qui confirme les conclusions antérieures selon lesquelles la productivité est essentiellement pro-cyclique. La variable indicatrice de la réunification allemande capte la forte baisse de la productivité moyenne en Allemagne qui a suivi les événements de 1990.

CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES DE POLITIQUE ÉCONOMIQUE

Il faut être prudent en tirant les conclusions de ce type d'exercice, qui est réalisé à un niveau très agrégé et ne fait ressortir que des moyennes pour l'ensemble de l'OCDE sur près de deux décennies : dès lors, tout enseignement sur le plan de la politique économique devra être confirmé par des études par pays plus détaillées. De manière générale, l'étude souligne l'importance de la technologie pour la croissance économique, qu'elle soit développée par les entreprises, le secteur public ou qu'elle provienne de sources étrangères. L'étude révèle aussi les fortes interactions qui existent entre les divers canaux et sources de technologie, ce qui souligne la nécessité pour l'État de définir des politiques larges et cohérentes :

- La R-D est importante pour la productivité et la croissance économique. La R-D des entreprises a des effets de diffusion importants ; elle renforce leur capacité à absorber des technologies émanant soit de l'étranger, soit des recherches

conduites par l'État et l'université. Le rendement social de la R-D des entreprises est donc plus élevé que son rendement privé et cela peut justifier une certaine forme d'aide de l'État à la R-D des entreprises.

- *Il faut que les États prévoient des financements adéquats pour la R-D réalisée dans le secteur public, notamment dans l'enseignement supérieur, qui a des effets substantiels sur la croissance économique à long terme.* Comme la recherche conduite dans les laboratoires d'État a un impact relativement plus faible que celle réalisée dans l'enseignement supérieur, il faudrait réexaminer les méthodes de financement de la recherche dans le secteur public (sous l'angle du mode d'établissement des programmes de recherche et du suivi des résultats). Cependant, étant donné que les systèmes en place diffèrent sensiblement d'un pays à l'autre, il conviendrait de procéder à des études nationales spécifiques pour parvenir à des conclusions plus solides.
- *L'effet de la R-D publique sur la productivité dépend de l'importance de l'effort de R-D des entreprises.* En fait, la recherche des firmes développe des technologies qui, dans bien des cas, ont été initiées par la recherche publique. Il importe donc que l'État mette en place un cadre permettant de développer des relations denses entre la recherche publique et privée, afin que le savoir circule plus facilement entre les deux secteurs.
- *Les États doivent assurer l'ouverture de leur pays aux technologies étrangères, par l'intermédiaire des flux de biens, de personnes ou d'idées, et faire en sorte que les entreprises aient les capacités d'absorption nécessaires pour tirer le meilleur parti des technologies étrangères.* Comme les pays qui dépensent le plus pour la R-D sont aussi ceux qui bénéficient le plus de la technologie étrangère, un comportement de « passager clandestin » (consistant à attendre que les autres pays développent une nouvelle technologie et à se contenter d'essayer de l'imiter quand elle est au point) s'avérerait inefficace.

NOTES

1. Le rôle des technologies de l'information et de la communication dans la croissance récente a été étudié par Schreyer (2000).
2. L'effet le plus direct et le plus visible de la recherche au titre de la défense est de mobiliser des ressources qui pourraient être affectées à un usage économiquement plus productif ; certes, la défense peut contribuer au cadre institutionnel qui favorise le changement technique, mais cette action n'est pas directement mesurable.
3. Eaton et Kortum (1999) montrent que, sauf dans les petits pays très proches de la source de l'information, le commerce extérieur n'est pas le principal moyen de diffusion des nouvelles technologies. Les résultats auxquels ils parviennent laissent penser que les avantages de l'innovation se répandent surtout par la transmission des idées elles-mêmes, plutôt que par l'intermédiaire des exportations de biens qui les incorporent.
4. On a également effectué des régressions statiques sur le logarithme des variables en niveau et sur le taux de croissance de façon à vérifier la solidité des résultats du MCE : les conclusions figurent à l'annexe II. Elles confortent les résultats du modèle dynamique présenté ci-dessous.
5. SURE (seeming unrelated regression) permet de contrôler les chocs contemporains affectant les 16 pays. 3SLS (triples moindres carrés) permet de contrôler des chocs contemporains et de prendre en compte la présence de la variable dépendante décalée parmi les variables explicatives. Par conséquent, 3SLS contrôle les biais potentiels de simultanéité dus à l'influence possible de la variable dépendante sur certaines des variables explicatives. Les instruments pour les régressions 3SLS sont toutes les variables explicatives (y compris les variables indicatrices) et la variable expliquée décalée de deux ans.
6. L'estimation des élasticités de long terme (voir le texte et le tableau 4) à partir des coefficients estimés (qui figurent aux tableaux 3 et 5) est présentée de façon détaillée à la note 3 du tableau 3.
7. Un simple exercice mental aide à comprendre l'importance de la technologie mondiale pour tout pays pris individuellement. Supposons que tous les pays disparaissent soudain à l'exception d'un seul resté intact ; ce pays devrait alors s'appuyer exclusivement sur sa propre recherche pour faire progresser sa technologie. On peut imaginer aisément à quel point la croissance de la productivité se ralentirait dans ce pays. D'une certaine façon, quelques pays ont fait l'expérience d'une situation de ce genre (on pense par exemple à l'Albanie jusqu'à il y a dix ans), et les effets ont été manifestes sur la gamme de leur technologie et sur leur niveau de productivité.
8. Quand on introduit simultanément la taille moyenne et l'intensité de la R-D (les deux en interaction avec la R-D étrangère), la taille cesse d'être significative. Nous avons décidé de les introduire séparément dans le modèle pour deux raisons. En premier

lieu, il semble qu'il existe une corrélation entre la taille et l'intensité de R-D dans les pays couverts par cette analyse. Cela ne signifie pas que l'intensité de la R-D soit généralement plus forte dans les petits pays que dans les grands (relation systématiquement inverse entre la taille et l'intensité de la R-D). C'est le cas pour notre échantillon de pays, parce que les petits pays pour lesquels on dispose de toutes les données ont généralement une R-D intensive (par exemple la Suède, la Finlande, les Pays-Bas). En d'autres termes, les petits pays à faible intensité de R-D ont tendance à publier moins de statistiques que les grands pays à faible intensité de R-D. C'est pourquoi on a inclus ces derniers dans notre échantillon alors que les autres en ont été exclus. La deuxième raison est d'ordre plus technique. L'intensité de la R-D varie d'un pays à l'autre et sur la durée, alors que la taille (le PIB moyen de la période 1980-98) est fixe dans le temps (ce choix a été fait pour éviter l'endogénéité de la variable explicative). En conséquence, la première variable a une variance très supérieure qui « garantit » sa signification par rapport à l'autre variable.

9. En l'absence d'effets de diffusion, l'élasticité de tout facteur (qui reflète sa productivité marginale) doit être égale à sa part dans le revenu.

Annexe 1

CALCUL ET SOURCES STATISTIQUES DES VARIABLES TECHNOLOGIQUES

Stocks de capital de R-D

On calcule les stocks de capital de R-D selon la méthode de l'inventaire perpétuel. Le stock au moment t est égal au nouvel investissement au moment t plus le stock au moment $t - 1$ moins l'amortissement :

$$R_t = r_t + (1 - \delta)R_{t-1} \quad (A1.1)$$

$$R_t = r_t + (1 - \delta)r_{t-1} + (1 - \delta)^2 r_{t-2} + (1 - \delta)^3 r_{t-3} + \dots \quad (A1.2)$$

Pour construire le stock initial, on fait l'hypothèse d'un taux de croissance annuel constant des investissements passés :

$$R_t = r_t + (1 - \delta)\lambda r_t + (1 - \delta)^2 \lambda^2 r_t + (1 - \delta)^3 \lambda^3 r_t + \dots \quad (A1.3)$$

$$R_t = \frac{r_t}{1 - \lambda(1 - \delta)} \quad (A1.4)$$

Où R_t = stock de capital de R-D au moment t .

r_t = investissement en R-D au moment t .

δ = taux d'amortissement (constant dans le temps)

$\lambda = \frac{1}{1 + \eta}$ et η est le taux de croissance annuel moyen de r_t .

On a utilisé la même formule pour calculer le stock de capital de R-D des entreprises (BRD) et le stock de capital de R-D du secteur public (PRD).

Stock de capital de R-D de l'étranger

FRD est le stock de capital de R-D de l'étranger calculé comme la somme pondérée des stocks de capital nationaux de R-D de 15 pays industrialisés, les pondérations étant données par la proximité technologique entre des couples de pays. La proximité technologique est calculée comme dans Jaffe (1986-1988) en utilisant les brevets accordés par l'Office fédéral américain des brevets (USTPO) :

$$FRD_i = \sum_{j \neq i} \omega_{ij}^{M3} \cdot BRD_j \quad i, j = 1, \dots, 16 \text{ pays industrialisés} \quad (A1.5)$$

$$\omega_{ij} = \frac{F_i F_j'}{F_{ij} F_{ji}}$$

$$F_i = \left| \frac{P_i^{TC1}}{\sum_{z=1}^{50} P_i^{PCz}} \quad \frac{P_i^{TC50}}{\sum_{z=1}^{50} P_i^{PCz}} \right|$$

F_i est la distribution des fréquences dans 50 catégories technologiques de brevets accordés par l'USTPO au pays i . Les pondérations qui sont utilisées (ω^{M3}) pour calculer le stock de capital R-D de l'étranger sont une moyenne mobile sur trois ans de ω .

Annexe 2

**RÉGRESSIONS SUR LE LOGARITHME DES VARIABLES EXPRIMÉES
EN NIVEAU**

On peut apprécier la robustesse des régressions du MCE en effectuant les régressions sur le logarithme des variables en niveau selon l'équation (1'). Comme ce type de modèle ignore la dynamique des liens entre les variables, l'objectif est surtout de rechercher des relations simples et statiques. Les résultats figurent au tableau A1. Dans les colonnes 1 à 5, nous élargissons progressivement la fourchette des variables dans la régression (variables d'intérêt et variables de contrôle). Les coefficients estimés pour toutes les variables d'intérêt sont du signe attendu et sont significatifs. Le coefficient pour la R-D des entreprises est réduit, tandis qu'on introduit de nouvelles variables dans la régression. Il tombe de 0.2 à 0.1 quand toutes les variables sont présentes. Le coefficient pour la R-D de l'étranger est 0.4, ce qui peut paraître élevé ; les explications figurent dans le texte principal. La colonne 6 montre les résultats des régressions sur le taux de croissance (ou première différence des logarithmes), qui peuvent être considérés comme un test de la robustesse des paramètres estimés et des spécifications. Le coefficient associé à la R-D des entreprises n'est pas sensiblement différent de l'estimation sur le logarithme des variables en niveau. Le coefficient pour la R-D de l'étranger est encore significatif, mais il est nettement plus bas que dans la régression en niveau : cela reflète peut-être un ajustement dynamique différent pour cette variable. L'incidence de la R-D publique n'est plus significative. Ces estimations en taux de croissance appréhendent la variation à court terme à partir d'une relation d'équilibre à long terme. Le caractère non significatif du paramètre estimé reflète peut-être le fait que la recherche publique a surtout une incidence à long terme sur la croissance de la PTF.

Tableau A1. Résultats de l'estimation de la productivité totale des facteurs sur le logarithme des variables en niveau

Variable dépendante		LMFP	LMFP	LMFP	LMFP	LMFP	ΔMFP
Régressions		1	2		4	5	6
R-D des entreprises (t - 1)	LBRD	0.208* (150.8)	0.168* (72.2)		0.127* (74.27)	0.104* (48.11)	0.087* (7.11)
R-D de l'étranger (t - 1)	LFRD				0.385* (42.39)	0.410* (35.64)	0.049* (3.01)
R-D publique (t - 2)	LPRD					0.083* (11.76)	0.015 (0.77)
Variables de contrôle							
Taux de croissance de l'emploi (t)	ΔU	1.382* (53.21)	1.448* (39.03)		1.156* (36.96)	1.295* (38.98)	0.143* (3.76)
Variable indicatrice unification allemande (t)	G	-0.076* (-20.40)	-0.078* (-20.66)		-0.074* (-27.29)	-0.075* (-26.74)	-0.099* (-26.58)
Variables indicatrices géographiques		Oui	Oui		Oui	Oui	Non
Variables indicatrices temporelles		Non	Oui		Oui	Oui	Oui
R ² ajusté		0.839	0.835		0.892	0.896	0.274

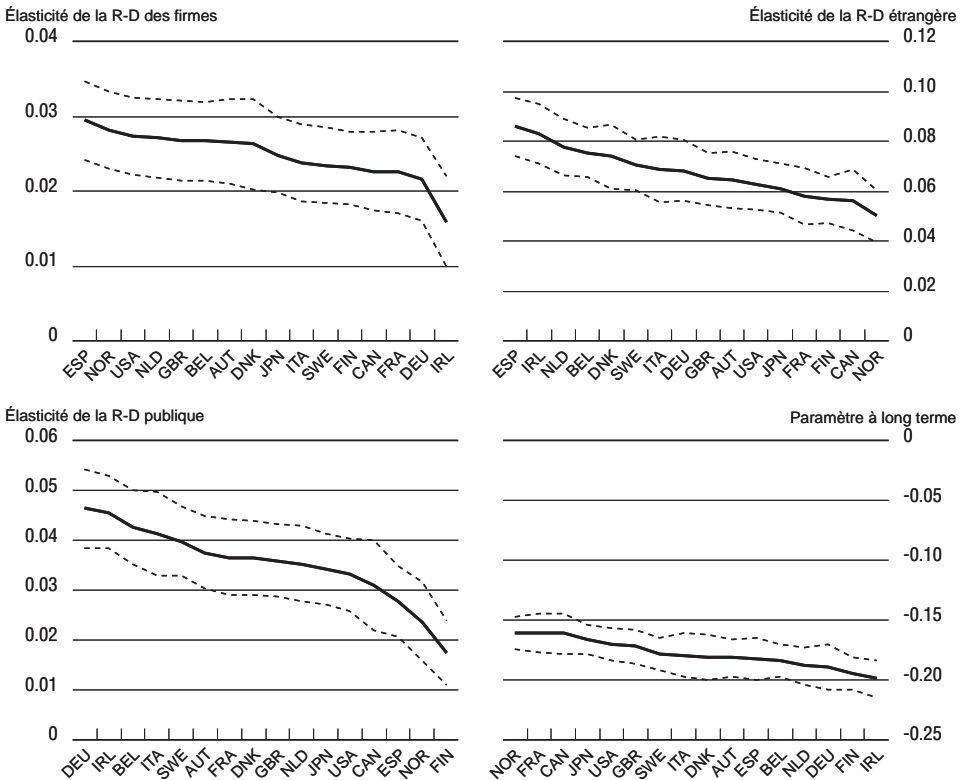
Note : Données de panel, 16 pays, 1980-98, 302 observations. Toutes les régressions incluent des constantes spécifiquement nationales (dans le cadre des estimations) et des variables indicatrices temporelles. La méthode d'estimation est SURE (seemingly unrelated regression) qui permet des corrections pour tenir compte de la corrélation contemporaine du résidu dans les pays.

* indique les paramètres qui sont significatifs à un seuil de probabilité de 5 pour cent.

Annexe 3

STABILITÉ DES PARAMÈTRES ESTIMÉS

Les quatre graphiques suivants illustrent la stabilité des paramètres estimés de l'équation (2) quand l'un des 16 pays est soustrait du panel.



BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, J. (1990),
« Fundamental stocks of knowledge and productivity growth », *Journal of Political Economy*, 98(4), pp. 673-702.
- BASSANINI, A., S. SCARPETTA et P. HEMMING (2000),
« Economic growth: the role of policies and institutions – panel data evidence from OECD countries », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 283.
- BRANSTETTER, L. et M. SAKAKIBARA (1998),
« Japanese Research Consortia: A microeconomic analysis of industrial policy », *Journal of Industrial Economics*, 46(2), juin 1998, pp. 207-33.
- BROOKS, H. (1994),
« The relationship between science and technology », *Research Policy*, 23, pp. 477-486.
- COE, D.T. et E. HELPMAN (1995),
« International R&D spillovers », *European Economic Review*, 39, pp. 859-887.
- COHEN, W. et D. LEVINTHAL (1989),
« Innovation and learning: the two faces of R&D », *Economic Journal*, 99, pp. 569-596.
- EATON, J. et S. KORTUM (1999),
« International technology diffusion: theory and measurement », *International Economic Review*, 40(3), pp. 537-570.
- GEROSKI, P.A. (1995),
« Do spillovers undermine the incentive to innovate? », dans S. Dowrick (dir. pub.), *Economic Approaches to Innovation*, Edward Elgar, Aldershot, UK, pp. 76-97.
- GUELLEC, D. et E. IOANNIDIS (1999),
« Causes des fluctuations des dépenses de R-D. Une analyse quantitative », *Revue économique de l'OCDE*, n° 29, pp. 133-151.
- GUELLEC, D. et B. VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE (1999),
« Le soutien des pouvoirs publics stimule-t-il la R-D privée ? », *Revue économique de l'OCDE*, n° 29, pp. 103-131.
- GUELLEC, D. et B. VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE (2001a),
« The internationalisation of technology analysed with patent data », *Research Policy* (à paraître).
- GUELLEC, D. et B. VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE (2001b),
« The effectiveness of public policies in R&D », *Revue d'Économie Industrielle*, 94(1), pp. 49-68.

- JAFFE, A.B. (1986),
« Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firm's patent, profits and market value », *The American Economic Review*, 76(5), pp. 984-1001.
- JAFFE, A.B. (1988),
« Demand and supply influences in R&D intensity and productivity growth », *Review of Economics and Statistics*, 70(3), pp. 431-437.
- LICHTENBERG, F. et B. VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE (1998),
« International R&D spillovers: a comment », *The European Economic Review*, 42(8), pp. 1483-1491.
- MANSFIELD, E. (1981),
« Imitation costs and patents: an empirical study », *Economic Journal*, 91, pp. 907-918.
- NADIRI, I. (1993),
« Innovations and technological spillovers », NBER Working Paper Series No. 4423, Cambridge, Ma.
- OCDE (1993),
La mesure des activités scientifiques et techniques. Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental. Manuel de Frascati 1993, OCDE, Paris.
- OCDE (1997),
Technologie et performances industrielles, OCDE, Paris.
- OCDE (2000),
Une nouvelle économie ? Transformation du rôle de l'innovation et des technologies de l'information dans la croissance, OCDE, Paris.
- OCDE (2001),
The OECD Productivity Manual, OCDE, Paris.
- POOLE, E. et J.T. BERNARD (1992),
« Defence innovation stock and total factor productivity growth », *Canadian Journal of Economics*, 25(2), pp. 438-52.
- ROMER, P.M. (1990),
« Endogenous technical change », *Journal of Political Economy*, 98, pp. 71-102.
- SCHREYER, P. (2000),
« The contribution of ICT to output growth: a study of the G7 countries », STI Working Paper 2000/2, OCDE, Paris.
- SOLOW, R.M. (1957),
« Technical change and the aggregate production function », *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.
- VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE, B. et F. LICHTENBERG (2001),
« Does foreign direct investment transfer technology across borders? », *Review of Economics and Statistics*, 83(3) (à paraître).