

## Les déterminants de l'innovation dans une petite économie ouverte : le cas de la Belgique

Juin 2008

*Bernadette Biatour, bbi@plan.be,  
Chantal Kegels, ck@plan.be*

**Résumé** - Ce working paper étudie, à l'aide d'un panel couvrant 20 secteurs d'activité marchands belges sur la période 1987-2005, le lien entre la croissance de la productivité multifactorielle (PMF) et trois facteurs déterminants identifiés par la littérature économique : les efforts en R&D des entreprises, la qualification de la main-d'œuvre et la diffusion des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette analyse est réalisée dans le cadre du modèle développé par Aghion et Howitt qui lie l'évolution de la PMF à la distance du secteur par rapport à la frontière technologique mondiale.

Les régressions économétriques montrent que l'écart technologique, mesuré par la différence entre les niveaux de PMF, influence la croissance de l'ensemble des secteurs belges sur la période considérée. Plus le secteur est éloigné de la frontière technologique mondiale, plus la croissance de sa PMF est élevée. L'utilisation de la main d'œuvre hautement qualifiée améliore l'efficacité productive des entreprises belges et son impact positif s'accroît au cours du temps. L'effet positif de l'intégration des TIC est plus mitigé et s'observe uniquement dans la manufacture. Enfin, l'intensité en R&D domestique n'a pas d'influence significative sur la croissance de la PMF des secteurs belges. Par contre, la R&D menée à l'étranger a un impact positif sur l'efficacité productive des secteurs manufacturiers belges.

**Classification Jel** - I20, O30, O41.

**Mots clés** - Croissance économique, capital humain, innovation, TIC, frontière technologique.

**Remerciements** – Les auteurs remercient Marcel Timmer pour avoir mis à leur disposition les données de productivité multifactorielle en niveau et Fatemeh Shadman Mehta pour ses précieux conseils économétriques.



## Table des matières

<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Cadre théorique .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Modèle économétrique .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Description des données .....</b>	<b>10</b>
4.1. Sources des données	10
4.2. Description des données de PMF	11
4.3. Description des données de R&D, TIC et main d'œuvre hautement qualifiée	14
<b>5. Résultats .....</b>	<b>16</b>
5.1. Résultats principaux	16
5.2. Effet de la R&D étrangère sur la PMF de la manufacture	19
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>21</b>
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>23</b>
<b>8. Annexes .....</b>	<b>27</b>
8.1. Description des secteurs d'activité	27
8.2. Analyse de sensibilité de la croissance de la PMF aux mesures des inputs	27
8.3. Analyse de sensibilité des résultats économétriques : les secteurs qui ne sont pas à la frontière	29
8.4. Analyse de sensibilité des résultats économétriques : regroupement des secteurs par classe d'intensité	30
8.5. Evolution de l'écart technologique pour les principaux secteurs manufacturiers et des services marchands	32

## Liste des tableaux

Tableau 1 :	Taux de croissance annuel moyen de la PMF en %	12
Tableau 2 :	Pays dont le niveau de PMF est le plus élevé et position relative de la Belgique - Manufacture	13
Tableau 3 :	Pays dont le niveau de PMF est le plus élevé et position relative de la Belgique - Services marchands	13
Tableau 4 :	Dépenses de R&D, compensation du capital TIC et compensation du travail hautement qualifié, en % de la VA nominale - Intensité moyenne (en %)	14
Tableau 5 :	Résultats des estimations sur l'ensemble de la période	16
Tableau 6 :	Résultats des estimations sur la période 1995-2005	19
Tableau 7 :	Résultats de l'estimation concernant la manufacture	20
Tableau 8 :	Sensibilité du taux de croissance de la PMF aux différentes mesures des inputs, taux de croissance annuel moyen ( $\Delta \ln$ en %), 1995-2005	28
Tableau 9 :	Résultats des régressions économétriques pour les secteurs qui ne sont pas à la frontière	29
Tableau 10 :	Résultats des estimations sur l'ensemble de la période 1987-2005	30
Tableau 11 :	Résultats des estimations sur la période 1995-2005	31

## 1. Introduction

Parmi les déterminants de la croissance économique de long terme, le progrès technique est depuis longtemps reconnu comme un facteur essentiel (Solow, 1957). Au cours du temps, la notion de progrès technique a évolué pour englober les innovations non technologiques telles que les nouvelles formes d'organisation des processus de production. Aujourd'hui de nombreuses politiques visent à promouvoir cette innovation, sans qu'il soit toujours très clairement établi quels en sont les déterminants.

Mesurer le progrès technique n'est pas chose aisée. Au niveau macroéconomique, cette mesure est généralement obtenue de façon résiduelle : c'est l'accroissement de la production qui n'est dû ni au capital ni au travail. Cette amélioration de l'efficacité dans la combinaison des facteurs de production est connue sous le nom de productivité multifactorielle (PMF).

L'objectif de ce working paper est d'analyser, au niveau sectoriel belge, trois facteurs souvent cités par la littérature comme favorisant l'innovation : les efforts en R&D des entreprises, la qualification de la main-d'œuvre et la diffusion des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette analyse se fait dans le cadre du modèle développé par Aghion et Howitt (2006) qui lie l'évolution de la PMF à la distance du secteur par rapport à la frontière technologique mondiale. Selon ce modèle, plus le secteur est éloigné de la frontière technologique, plus il est susceptible d'enregistrer une croissance rapide de sa PMF. Par contre, si le secteur se situe déjà à la frontière technologique, la croissance de sa PMF dépend de ses ressources propres dont les efforts en recherche et développement (R&D), l'importance de la main-d'œuvre qualifiée, l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC), l'intensité de la concurrence, etc.

Cette analyse étudie économétriquement le lien entre la croissance de la PMF et l'écart technologique, la R&D, la main-d'œuvre qualifiée et les TIC à l'aide d'un panel couvrant 20 secteurs d'activités marchands sur la période 1987-2005.

La structure de ce working paper est la suivante : la section 2 présente le cadre théorique ; la section 3 est consacrée au développement du modèle économétrique ; les données utilisées sont décrites dans la section 4 ; la section 5 présente les résultats des régressions et enfin, la section 6 conclut.

## 2. Cadre théorique

Aghion et Howitt (2006) proposent une théorie de la croissance, reposant principalement sur le modèle schumpétérien de destruction créatrice, qui permet une croissance de long terme basée sur l'innovation améliorant la qualité des produits. Dans cette théorie, la croissance est conditionnée par la distance du pays (ou du secteur) par rapport à la frontière technologique mondiale. La croissance d'un pays pourra être d'autant plus rapide que ce dernier est éloigné de la frontière technologique, à condition que les institutions et les politiques du pays soient favorables au processus de rattrapage et permettent donc au pays de bénéficier d'un transfert technologique par imitation. Si, par contre, le pays se situe déjà à la frontière technologique, il aura besoin pour continuer à croître d'autres types d'institutions et de politiques, davantage axées sur la promotion de l'innovation à partir de ses ressources propres, notamment en termes de main-d'œuvre qualifiée et d'efforts de recherche et développement. A partir de ce modèle, les auteurs suggèrent que le différentiel de croissance entre l'Europe et les Etats-Unis est essentiellement dû à la fin du processus de rattrapage enclenché par l'Europe dans l'immédiat après-guerre et à l'incapacité manifestée par cette dernière de faire évoluer ses institutions, prises au sens large, dans une direction suffisamment favorable à l'innovation pour lui permettre de déplacer la frontière de production. Le rapport Sapir (2003) dont les conclusions sont comparables, se basait déjà sur ce même type d'argumentaire.

La littérature empirique identifie, comme principaux déterminants de la croissance de la productivité multifactorielle (PMF), les investissements en recherche et développement (R&D), le capital humain (éducation), le degré de concurrence et/ou la réforme des marchés des produits et les technologies de l'information et de la communication (TIC).

L'impact de la R&D sur la croissance de la PMF repose sur le fait que les activités de R&D réalisées dans un secteur ou une entreprise génèrent des innovations technologiques de produits, de procédés de production ou des innovations organisationnelles qui permettent de produire plus avec les mêmes quantités de facteurs de production. Cette relation entre R&D et croissance de la productivité a été vérifiée empiriquement par de nombreux auteurs. Nadiri (1993), en résumé des différentes études réalisées, suggère que l'élasticité de l'output à la R&D est comprise entre, environ, 0,1 et 0,3 au niveau de l'entreprise et entre 0,08 et 0,30 pour des données par secteur d'activité.

Les activités de R&D réalisées dans une entreprise/secteur/pays ont non seulement un impact sur la productivité de l'entité en question, mais peuvent aussi contribuer à la productivité d'autres entreprises/secteurs/pays par l'existence d'externalités positives. Ces externalités ou spillovers reposent sur le caractère de bien public de la connaissance. Griliches (1979) distingue deux catégories de retombées : "rent spillovers" et "knowledge spillovers". La première catégorie survient lors de l'utilisation d'inputs dont le prix ne reflète pas totalement l'amélioration de

qualité liée à la recherche, empêchant ainsi l'innovateur de s'approprier complètement les bénéfices de ses activités de recherche. La deuxième catégorie de retombées - knowledge spillovers - provient d'un transfert de connaissances d'une entreprise à l'autre, par la diffusion et la circulation des idées et concepts. La protection limitée offerte par les brevets, l'impossibilité de garder les innovations secrètes, la mobilité du personnel de R&D, les réunions technologiques, les collaborations en R&D sont des canaux possibles de knowledge spillovers.

Toutes les entreprises ne bénéficient toutefois pas, dans la même mesure de la connaissance et de la technologie générées par d'autres. Selon Cohen et Levinthal (1989), la capacité d'une firme (ou d'un secteur) à capter cette connaissance dépend de son propre niveau d'activités de R&D. En effet, la R&D possède deux rôles ou « faces » : d'une part, les activités de R&D génèrent des innovations, d'autre part, elles améliorent la capacité des entreprises à identifier et assimiler la connaissance extérieure. Cohen et Levinthal (1989) appellent cela la capacité d'apprentissage ou d'absorption de l'entreprise. Griffith, Redding et Van Reenen (2001) ont testé empiriquement l'existence des deux faces de la R&D dans le cadre du modèle d'Aghion et Howitt. En se basant sur un panel sectoriel de 12 pays de l'OCDE sur la période 1974-1990, ils montrent que la R&D peut à la fois accélérer la croissance d'un pays en deçà de la frontière technologique en favorisant l'absorption des innovations faites ailleurs dans le monde et accélérer la croissance d'un pays sur la frontière technologique en lui permettant d'accroître son potentiel d'innovation.

De façon comparable à la R&D, le capital humain peut avoir un effet direct et indirect sur la croissance de la productivité et contribuer à réduire l'écart technologique par rapport à la frontière. Par ses aptitudes et capacités, la main d'œuvre hautement qualifiée peut contribuer directement à la croissance de la PMF en stimulant l'innovation. Elle peut également, indirectement faciliter l'imitation de la frontière technologique et l'absorption de la connaissance extérieure. Cependant, selon Aghion et Howitt (2006), le travail est un facteur hétérogène et différents types de main d'œuvre se cachent derrière les activités d'innovation et d'imitation. Ainsi, un financement plus important de l'enseignement supérieur devrait surtout améliorer la capacité du pays à réaliser des innovations, alors que l'investissement dans l'éducation primaire et secondaire influencerait plutôt la capacité du pays à imiter les technologies existantes. À l'aide d'un panel de 19 pays de l'OCDE sur la période 1960-2000, Vandebussche, Aghion et Méghir (2006) montrent que la main-d'œuvre qualifiée a un effet positif sur la croissance d'autant plus grand que le pays est proche de la frontière technologique.

Les TIC, comme les autres catégories de capital, contribuent à la croissance de la productivité du travail via le capital deepening ou augmentation de l'intensité capitaliste du processus de production. À côté de ce canal, les TIC peuvent également générer des gains de productivité via leur impact sur la PMF. L'existence de cet impact et son importance sont cependant l'objet de controverses dans la littérature économique. Deux canaux de transmission directe de la diffusion des TIC sur la croissance de la PMF peuvent être identifiés (OECD (2004)). Premièrement, en tant qu'innovation radicale (ou « general purpose technology »), l'investissement massif en TIC peut permettre une nouvelle organisation de la production et des ventes au niveau de

l'entreprise et de l'économie (Van Leeuwen and van der Wiel (2003)), ce qui peut engendrer une accélération temporaire de la croissance de la productivité. L'intégration des TIC peut également mener à une plus grande efficacité dans la création de connaissances et permettre aux entreprises d'améliorer ou de créer de nouveaux produits ou services (OECD (2002)), améliorant alors la croissance à long terme de la productivité. Deuxièmement, l'usage des TIC peut s'accompagner d'externalités positives, via par exemple l'établissement de réseaux. Comme le soulignent plusieurs études, les gains de productivité générés par les TIC n'apparaissent toutefois que progressivement et dans la mesure où l'intégration des TIC s'accompagne d'investissements immatériels complémentaires tels qu'une nouvelle organisation et un nouveau mode de fonctionnement de l'entreprise ou l'adaptation des emplois et des qualifications à ces technologies. De façon comparable à la R&D et au capital humain, l'investissement massif en TIC peut également influencer indirectement la croissance de la PMF en facilitant l'imitation de la frontière technologique et l'absorption de la connaissance extérieure. Empiriquement, l'impact des TIC sur la PMF reste difficile à prouver. En utilisant un panel international de données couvrant 9 secteurs des services marchands sur la période 1980-2004, Inklaar et Timmer (2008) ne parviennent pas à identifier, dans leur récente étude, de lien économétriquement significatif entre l'utilisation des TIC et la croissance de la PMF.

Concernant la concurrence, Aghion et Howitt (2006) montrent qu'elle a un effet positif sur l'innovation et la croissance de la productivité pour les entreprises qui sont, technologiquement, au coude à coude. De plus, les entrées, sorties et roulements d'entreprises ont un effet positif sur l'innovation et la croissance de la productivité non seulement de l'économie dans son ensemble, mais aussi des entreprises dominant le marché. À l'aide d'un panel de pays de l'OCDE, Nicoletti et Scarpetta (2003) relèvent des liens économétriquement significatifs entre la réforme des marchés des produits et les performances de productivité. La libéralisation des entrées sur les marchés s'accompagne de gains de productivité dans tous les pays considérés par l'étude.

La pratique standard dans toutes ces études empiriques est de mesurer l'écart technologique (la distance à la frontière technologique) d'un pays ou d'un secteur par le différentiel de niveau de la productivité multifactorielle. En effet, sous les strictes conditions du modèle néo-classique, cette PMF mesure l'efficacité technologique du pays ou du secteur. Dans les faits, cependant, la croissance de la PMF, étant construite comme un résidu dans le modèle de la comptabilité de la croissance, elle englobe bien plus que le « progrès technique ». Elle inclut notamment les erreurs dans l'évaluation de la qualité des facteurs de production et de l'output, les effets des inputs qui ne sont pas mesurés comme, par exemple, les actifs intangibles ou la R&D, l'impact des changements dans les rendements d'échelle, les effets des changements institutionnels et organisationnels ainsi que la conséquence de tous les éléments qui interviennent pour que l'égalité entre coût marginal et la recette marginale ne soit pas respectée (Inklaar, Timmer et van Ark (2008)). Néanmoins, la PMF reste le seul outil à disposition pour tenter de capturer l'efficacité atteinte dans la combinaison des facteurs de production par chaque pays ou secteur même si son utilisation doit se faire avec prudence.

Le cadre théorique de l'analyse est très proche de celui développé dans Griffith, Redding et Van Reenen (2004). La valeur ajoutée ( $Y$ ) de chaque secteur  $i$  au temps  $t$  est produite en combinant du travail ( $L$ ) et du capital ( $K$ ) au sein d'une fonction de production néoclassique dont l'efficacité technologique (ou PMF) est représentée par  $A$  :

$$Y_{it} = A_{it} F_i(L_{it}, K_{it}) \quad (1)$$

$F_i$  est supposée être homogène de degré 1 et les productivités marginales des facteurs de production sont supposées être décroissantes. Pour chaque secteur et chaque année, la frontière technologique est atteinte par le niveau de productivité multifactorielle le plus élevé parmi les pays de comparaison et est désignée par  $A_{Ft}$ .

Pour le secteur  $i$ , la PMF est une fonction de l'écart technologique (ET) et du stock de connaissances (D)

$$A_{it} = \Phi(ET_{it}, D_{it}) \quad (2)$$

Avec une forme fonctionnelle de type Cobb-Douglas et les logarithmes de variables, en différenciant par rapport au temps, on obtient l'équation suivante :

$$\Delta \ln A_{it} = \nu_{it} \Delta \ln ET_{it} + \eta_{it} \Delta \ln D_{it} \quad (3)$$

Le premier terme du membre de droite de l'équation (3) intègre les apports du modèle d'Aghion et Howitt (2006). Premièrement, une source possible de croissance de la PMF vient de la distance à la frontière ( $\ln(\frac{A_i}{A_F})$ ). En effet, un secteur qui n'est pas sur la frontière technologique peut bénéficier d'un transfert technologique de la part du secteur leader (catching-up) en imitant la technologie utilisée par ce dernier. Plus cette variable est négative, plus le retard technologique du secteur  $i$  est important et plus le transfert technologique potentiel est grand. Deuxièmement, la croissance de la PMF d'un secteur peut être renforcée par la croissance de la PMF du secteur à la frontière ( $\Delta \ln A_F$ ) grâce aux spillovers technologiques qui accompagnent l'innovation à la frontière. L'effet de l'écart technologique sur la croissance de la PMF peut donc être estimé par :

$$\Delta \ln A_{it} = \alpha_{it} \Delta \ln A_{Ft} - \delta_{it} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \mu_{it} \quad (4)$$

Sur base de la littérature empirique<sup>1</sup> sur les liens entre le stock de connaissance et la croissance de la productivité multifactorielle, la croissance de la PMF peut être exprimée comme une fonction du taux de croissance du stock de connaissances accumulées à travers la R&D (SRD) et une série de caractéristiques spécifiques au secteur et au pays (X) :

$$\Delta \ln A_{it} = \theta \Delta \ln SRD_{it} + \varphi X_{it} + \mu_{it} \quad (5)$$

<sup>1</sup> Voir Griliches et Lichtenberg (1984) pour la modélisation du lien entre R&D et productivité. Ces auteurs utilisent une fonction de production de type Cobb-Douglas, dans laquelle le stock de R&D est introduit comme un facteur de production distinct.

avec  $\theta$ , l'élasticité du stock de R&D et  $\mu_{it}$  le terme d'erreur stochastique.

Cette élasticité doit être interprétée en prenant en compte le fait qu'elle capte uniquement l'effet de la R&D sur la croissance de la valeur ajoutée qui ne provient pas de la contribution du travail et du capital et donc, en d'autres termes, l'effet qui passe par la PMF. Comme souligné par van Pottelsberghe et Guellec (2001), cela signifie que seuls les effets de spillovers sont estimés et non les effets totaux de la variable sur la valeur ajoutée. Une partie des ressources privées consacrées à la R&D est, en effet, déjà comptabilisée dans les facteurs de production, travail (L) et capital (K). Par conséquent, si le rendement social est égal au rendement privé et que le rendement privé est égal à sa part dans la VA, alors l'élasticité devrait être égale à zéro.

L'équation (5) peut aussi être écrite sous la forme :

$$\Delta \ln A_{it} = \beta \left( \frac{\Delta SRD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi X_{it} + \mu_{it} \quad (6)$$

avec  $\beta$ , le taux de rendement<sup>2</sup> de la R&D et  $\Delta SRD_i$ , les investissements nets ou accroissement du stock de R&D. Sous l'hypothèse d'un taux de dépréciation nul du stock de R&D, la variable explicative peu être réduite à une intensité (dépenses de R&D divisées par la VA) :

$$\Delta \ln A_{it} = \beta \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi X_{it} + \mu_{it} \quad (7)$$

Dans l'analyse empirique, deux éléments spécifiques au secteur et au pays ont été identifiés : la main-d'œuvre qualifiée (LAB) et le capital TIC (TIC)<sup>3</sup>. Ces deux variables sont exprimées comme la part de la rémunération de leur service respectif dans la VA nominale. L'équation (7) peut alors s'écrire :

$$\Delta \ln A_{it} = \beta \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \mu_{it} \quad (8)$$

Enfin, un troisième élément est généralement pris en compte dans les études empiriques : l'interaction entre les variables explicatives (R&D, ICT et LAB) et la distance à la frontière. En effet, la R&D, la main-d'œuvre qualifiée et l'usage des TIC peuvent non seulement générer la croissance de la PMF via l'innovation (effet direct) mais aussi faciliter le processus de rattrapage de la frontière (effet indirect ou croisé), c'est-à-dire faciliter le transfert technologique en améliorant la capacité d'absorption du secteur.

Pour les secteurs  $i$  qui ne sont pas à la frontière, l'équation finale de la croissance de la PMF est donc :

<sup>2</sup>  $\theta = \frac{(\partial Y / \partial SRD)}{(Y / SRD)}$  devient  $\beta = \frac{\partial Y}{\partial SRD}$  lorsque la variable explicative est une intensité.

<sup>3</sup> Faute de données disponibles pour le moment, la concurrence n'est pas prise en compte dans l'analyse empirique. L'effet de la concurrence sur la croissance de la PMF sera l'objet d'une étude ultérieure réalisée par le Bureau du plan dans le cadre du projet REFBARIN financé par la Politique scientifique fédérale.

$$\begin{aligned} \Delta \ln A_{it} = & \alpha \Delta \ln A_{Ft} - \delta \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \beta \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} \\ & - \gamma_1 \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} - \gamma_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} - \gamma_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

Le premier terme de la partie de droite de l'équation permet au taux de croissance de la PMF du secteur à la frontière d'avoir un effet direct sur la croissance de la PMF des secteurs  $i$  qui ne sont pas à la frontière. Le deuxième terme capte l'impact de l'écart technologique, mesuré par le différentiel des niveaux de PMF entre le secteur  $i$  et la frontière. Les trois derniers termes de l'équation sont les termes d'interaction qui captent les effets indirects des variables explicatives.

Si le secteur se trouve à la frontière technologique, l'équation (8) reste d'application ( $A_{it} = A_{Ft}$ ). Dès lors, en combinant l'équation (9) pour les secteurs qui ne sont pas à la frontière à l'équation (8) pour les secteurs à la frontière, on obtient l'équation du différentiel de croissance de la PMF :

$$\begin{aligned} \Delta \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_t = & \alpha \Delta \ln A_{Ft} \\ & + \beta \left[ \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} - \left( \frac{RD_F}{Y_F} \right)_{t-1} \right] + \varphi_2 \left[ \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} - \left( \frac{LAB_F}{Y_F} \right)_{t-1} \right] + \varphi_3 \left[ \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} - \left( \frac{TIC_F}{Y_F} \right)_{t-1} \right] \\ & - \left[ \delta + \gamma_1 \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \gamma_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \gamma_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} \right] \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \mu_{it} - \mu_{Ft} \end{aligned} \quad (10)$$

Au steady state, la PMF de chaque secteur dans chaque pays va croître au même rythme, c'est-à-dire au taux de croissance de la PMF du secteur à la frontière ( $\Delta \ln A_{it} = \Delta \ln A_{Ft}$  et donc  $\Delta \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_t = 0$ ) et il n'y a donc plus de différentiel de croissance de la PMF sectorielle entre les pays. A l'aide de l'équation (8), on obtient alors l'équation suivante pour le différentiel de niveau de la PMF à l'équilibre de long terme :

$$\ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_t^* = \frac{\beta \left[ \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_t - (1-\alpha) \left( \frac{RD_F}{Y_F} \right)_t \right] + \varphi_2 \left[ \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_t - (1-\alpha) \left( \frac{LAB_F}{Y_F} \right)_t \right] + \varphi_3 \left[ \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_t - (1-\alpha) \left( \frac{TIC_F}{Y_F} \right)_t \right]}{\left[ \delta + \gamma_1 \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_t + \gamma_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_t + \gamma_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_t \right]} \quad (11)$$

Dans ce modèle, la convergence vers le steady state se fait en termes de taux de croissance mais pas nécessairement en termes de niveau de PMF. En effet, le niveau d'équilibre de long terme de la PMF dépend fondamentalement des ressources favorisant l'innovation que sont la R&D, la qualification de la main-d'œuvre et l'utilisation des TIC, et que chaque secteur dans chaque pays peut avoir en quantité différente. Le secteur qui dispose de la plus grande quantité de ces ressources sera le secteur à la frontière. Il aura à la fois le niveau et le taux de croissance de la PMF le plus élevé. Les autres secteurs qui ne sont pas à la frontière auront, à partir de leurs ressources propres, un taux de croissance plus faible que celui du secteur à la frontière mais grâce à la possibilité d'imiter l'innovation mise en œuvre à la frontière, ces secteurs pourront égaler, à l'équilibre de long terme, le taux de croissance de la PMF du secteur à la frontière.

### 3. Modèle économétrique

Le modèle de régression de base que nous utilisons est un modèle à correction d'équilibre (Griffith et al (2001)). Dans ce modèle, les variables convergent vers des taux de croissance de long terme stables et proportionnels.

Considérons un ADL(1,1)<sup>4</sup> dans lequel la PMF belge est cointégrée avec la PMF à la frontière,

$$\ln A_{it} = \alpha_1 \ln A_{it-1} + \alpha_2 \ln A_{Ft} + \alpha_3 \ln A_{Ft-1} + v_{it} \quad (12)$$

Sous l'hypothèse d'homogénéité de long terme ( $\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{1 - \alpha_1} = 1$ ), l'équation peut être présentée

comme suit :

$$\Delta \ln A_{it} = \alpha_2 \Delta \ln A_{Ft} - (1 - \alpha_1) \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + v_{it} \quad (13)$$

Abstraction faite de l'intensité en R&D, l'équation (13) est en fait l'équation (9) dans laquelle  $\alpha_2 = 0$ , et  $(1 - \alpha_1) = \delta$ . Pour obtenir l'équation (9), l'équation (13) est augmentée du terme de l'intensité en R&D, le coefficient de l'écart technologique  $(1 - \alpha_1)$  est exprimé comme une fonction de l'intensité en R&D et un vecteur de variables de contrôle (LAB et TIC) est inclus. Il est alors clair que le coefficient de l'écart technologique  $(1 - \alpha_1)$  mesure la vitesse de transfert technologique vers l'équilibre de long terme. Une valeur explicite de cet équilibre de long terme (steady state) est donnée par l'équation (11).

En ajoutant à l'équation (13) l'intensité en R&D<sup>5</sup> et les deux variables de contrôle que sont LAB et TIC et en exprimant le coefficient  $(1 - \alpha_1)$  comme une fonction de ces trois déterminants, nous obtenons le modèle économétrique suivant pour les secteurs situés sous la frontière :

$$\begin{aligned} \Delta \ln A_{it} = & \alpha \Delta \ln A_{Ft} - \delta \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \beta \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} + \varphi_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} \\ & - \gamma_1 \left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} - \gamma_2 \left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} - \gamma_3 \left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1} \ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (14)$$

Pour les secteurs situés à la frontière technologique, l'absence de possibilité de transfert technologique réduit le modèle à :

$$\Delta \ln A_{Ft} = \beta \left( \frac{RD_F}{Y_F} \right)_{t-1} + \varphi_2 \left( \frac{LAB_F}{Y_F} \right)_{t-1} + \varphi_3 \left( \frac{TIC_F}{Y_F} \right)_{t-1} + \mu_{Ft} \quad (15)$$

<sup>4</sup> Un ADL(1,1) est un modèle autorégressif à retards échelonnés qui inclut un retard pour la variable explicative et un retard pour la variable expliquée.

<sup>5</sup> Comme Griliches et Lichtenberg (1984), nous faisons l'hypothèse que la R&D est un déterminant de la tendance de long terme de la PMF, mais pas des déviations à court terme, celles-ci étant principalement le résultat de fluctuations dans l'utilisation des capacités.

Les équations pour les secteurs sous la frontière technologique et les équations pour les secteurs à la frontière sont estimées ensemble, en mettant à zéro les variables  $\Delta \ln A_{Ft}$  et  $\ln(\frac{A_t}{A_F})_{t-1}$  dans le cas de secteurs situés à la frontière. L'effet direct de l'intensité en R&D, en main d'œuvre qualifiée et en TIC sur la PMF est donc supposé identique dans les secteurs à la frontière et dans ceux situés sous la frontière. Afin de tester la robustesse des paramètres, les régressions sont réestimées en annexe 3 en réduisant l'échantillon aux secteurs situés sous la frontière technologique.

## 4. Description des données

### 4.1. Sources des données

L'analyse empirique a été réalisée avec un panel de données couvrant 20 secteurs d'activité<sup>6</sup> sur la période 1987-2005. Les secteurs d'activité correspondent aux secteurs de la base de données EUKLEMS (voir [www.euklems.net](http://www.euklems.net)) pour lesquels les données nécessaires sont disponibles. La base de données EUKLEMS, qui a servi de source pour plusieurs variables du modèle, fournit des données d'output, d'inputs et de productivité à un niveau sectoriel fin et sur une longue période pour tous les Etats-membres de l'Union européenne et pour les Etats-Unis. Les données utilisées dans l'analyse empirique sont la PMF (en niveau et en croissance), la R&D, l'utilisation des TIC, et la qualification de la main d'œuvre.

Les données de PMF proviennent de la base de données EUKLEMS. La PMF sectorielle a été calculée selon la méthode de la comptabilité de la croissance en utilisant comme mesure de la contribution des inputs au processus de production, les flux de services fournis pour les facteurs de production, capital et travail, afin de tenir compte des changements de qualité au cours du temps<sup>7</sup>. L'utilisation de services du travail et du capital améliore la mesure de la contribution des facteurs de production et modifie, par conséquent, la mesure de la PMF, calculée de façon résiduelle dans la comptabilité de la croissance. Une analyse de la sensibilité de la croissance de la PMF aux mesures des inputs est fournie en annexe 2.

Pour être en mesure de calculer un écart technologique entre un secteur *i* belge et le secteur à la frontière, il faut disposer de données de PMF en niveau par pays et par année. La comparaison internationale des niveaux, que ce soit de la productivité du travail ou d'une de ses composantes, demande l'utilisation de parités de pouvoir d'achat (PPA) qui permettent d'exprimer les grandeurs dans une base commune en tenant compte de l'évolution des prix relatifs des outputs et des inputs. Mais l'estimation des niveaux de PMF par secteur et par pays est beaucoup plus complexe que l'estimation des niveaux de la productivité du travail. En effet, cette estimation requiert de disposer de PPA pour chaque variable intervenant dans le calcul de la PMF. En particulier, il faut disposer de PPA pour la valeur ajoutée de chaque branche étudiée et pour chaque catégorie d'input prise en compte. L'ensemble des informations nécessaires est détaillé dans Inklaar et Timmer (2007). Les données en niveau pour l'année 1997 sont mises à la disposition des membres du consortium EUKLEMS et couvrent 11 pays<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> Détail des secteurs d'activité en annexe 1.

<sup>7</sup> Pour plus d'information sur la construction des variables, voir le manuel méthodologique disponible sur le site [www.euklems.net](http://www.euklems.net).

<sup>8</sup> Les pays couverts sont les suivants : Belgique, Autriche, Danemark, Espagne, Finlande, France, Royaume-Uni, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Etats-Unis.

Disposant de l'année 1997 comme point de départ, le taux de croissance de la PMF de chaque branche d'activité dans chacun des 11 pays étudiés a été utilisé pour rétropoler et extrapoler cette année de référence et obtenir ainsi une série longue de niveaux de PMF. Cette série couvre la période 1987-2005. Elle se fonde sur les taux de croissance de la PMF tels que publiés dans la version de mars 2008 de la base de données EUKLEMS.

Les résultats obtenus doivent s'interpréter avec prudence, la comparaison des niveaux de PMF étant plus sensible aux différences dans les pratiques nationales de mesure des outputs et des inputs que la comparaison des taux de croissance de la PMF.

Les données de R&D, correspondant aux dépenses de R&D à prix courants du secteur des entreprises, proviennent de la base de données belge de la Politique scientifique fédérale. Ces données sont rapportées à la valeur ajoutée nominale du secteur telle que publiée dans la base de données EUKLEMS pour mesurer l'intensité en R&D. Pour tester l'effet de la R&D étrangère sur l'efficacité productive des secteurs belges, l'intensité en R&D des trois pays voisins, la France, l'Allemagne et les Pays-Bas, a été calculée à partir de la base de données ANBERD (CITI rév 3) élaborée par l'OCDE, complétée par des données EUROSTAT. L'intensité en R&D de ces pays n'a pu être calculée que pour les branches d'activité manufacturières faute d'information statistique satisfaisante pour les autres branches d'activité.

Les données sur les TIC correspondent à la compensation du capital TIC provenant de la base de données EUKLEMS et exprimée en pourcentage de la valeur ajoutée nominale de chaque branche d'activité.

Les données sur la main d'œuvre qualifiée correspondent à la compensation du travail hautement qualifié provenant de la base de données EUKLEMS et exprimée en pourcentage de la valeur ajoutée nominale des secteurs. Pour la Belgique, les travailleurs hautement qualifiés sont définis comme les travailleurs en possession d'un diplôme d'études universitaires ou d'études supérieures non universitaires de type long.

## 4.2. Description des données de PMF

Au cours de la période considérée, 7 secteurs sur les 20 secteurs étudiés ont connu, en moyenne, un ralentissement de la croissance de leur PMF (voir tableau 1). Certains secteurs sont passés d'une croissance annuelle moyenne positive sur la période 1987-1994 à une croissance négative sur la période 1995-2005. C'est le cas des industries du papier et carton (DE), des autres produits minéraux non métalliques (DI), du transport et entreposage (I60-63) et des postes et télécommunications (I64).

Sur les secteurs considérés, 9 secteurs ont connu une amélioration de la croissance de leur PMF. Il s'agit de 7 secteurs de la manufacture et des secteurs de l'électricité (EE) et de la construction (FF). Dans la manufacture, c'est notamment le cas de la fabrication de machines et équipements (DK), des équipements électriques et électroniques (DL) et du caoutchouc et plastique (DH) qui

enregistre la plus forte croissance de la PMF de l'ensemble de l'économie au cours de la période récente. Enfin, 4 secteurs ont vu la décroissance de leur PMF diminuer sur la période récente : la cokéfaction, raffinage et industries nucléaires (DF), l'industrie chimique (DG), le commerce de gros et de détail (GG) et les hôtels et restaurants (HH).

**Tableau 1 : Taux de croissance annuel moyen de la PMF en %**

Branches d'activité		1987-1994	1995-2005
DA	Industries agricoles et alimentaires	-0,50	0,20
DB+DC	Industrie textile et habillement et industrie du cuir et de la chaussure	3,46	1,91
DD	Travail du bois et fabrication d'articles en bois	2,97	2,33
DE	Papier et carton; édition et imprimerie	0,93	-0,39
DF	Cokéfaction, raffinage et industries nucléaires	-7,13	-5,45
DG	Industrie chimique	-0,81	-0,09
DH	Caoutchouc et plastic	2,21	4,11
DI	Autres produits minéraux non-métalliques	2,46	-0,43
DJ	Métallurgie et travail des métaux	-0,23	1,66
DK	Fabrication de machines et équipements	-1,54	2,46
DL	Equipements électriques et électroniques	0,04	2,15
DM	Fabrication de matériel de transport	-0,31	1,33
DN	Autres industries manufacturières	-0,79	1,82
EE	Electricité, gaz et eau	0,82	2,11
FF	Construction	0,11	1,10
GG	Commerce de gros et de détail ; réparation de véhicules automobiles et d'articles domestiques	-2,92	-1,57
HH	Hôtels et restaurants	-1,19	-0,89
I_60t63	Transport et entreposage	5,30	-0,83
I_64	Postes et télécommunications	3,37	-1,44
JJ	Activités financières	2,96	2,87

Source : EUKLEMS, base de données mars 2008.

Les données de PMF en niveau révèlent que la position de la manufacture belge et des services marchands au sein des 11 pays disponibles s'est particulièrement dégradée au cours de la période considérée<sup>9</sup>. Le tableau 2 reprend, pour trois années, le pays qui a le niveau de PMF le plus élevé et, entre parenthèses, la position relative de la Belgique pour les 13 branches de l'industrie manufacturière. Il ressort de ce tableau que la Belgique connaît une dégradation de sa position technologique relative dans la manufacture. Alors qu'en 1987, la Belgique appartient au groupe des trois premiers pays dans 8 secteurs, elle n'appartient plus à ce groupe de tête que pour 4 branches d'activité, en 2005. Entre 1987 et 2005, la position technologique relative de la Belgique ne s'améliore que dans 3 branches d'activité : le textile (DB+DC) qui a subi une forte restructuration, l'industrie du caoutchouc et plastic (DH) où l'amélioration de la position belge est visible dès le milieu des années nonante, et les autres industries non métalliques (DI). La position relative de la manufacture belge s'est dégradée dans 7 branches d'activité.

<sup>9</sup> L'annexe 5 présente l'évolution de l'écart de niveau de PMF entre les principaux secteurs belges et les secteurs leader technologique.

**Tableau 2 : Pays dont le niveau de PMF est le plus élevé et position relative de la Belgique - Manufacture**

Branches de la manufacture		1987	1995	2005
DA	Industries agricoles et alimentaires	DK (2)	NL (4)	FI (4)
DB+DC	Industrie textile et habillement et industrie du cuir et de la chaussure	ES (7)	ES (5)	US (3)
DD	Travail du bois et fabrication d'articles en bois	ES (4)	ES (6)	FR (4)
DE	Papier et carton; édition et imprimerie	ES (2)	<b>BE</b>	FI (2)
DF	Cokéfaction, raffinage et industries nucléaires	DE (3)	UK (4)	NL (6)
DG	Industrie chimique	AU (2)	FR (6)	NL (9)
DH	Caoutchouc et plastic	IT (3)	<b>BE</b>	<b>BE</b>
DI	Autres produits minéraux non-métalliques	NL (5)	ES (2)	ES (2)
DJ	Métallurgie et travail des métaux	ES (4)	NL (8)	NL (6)
DK	Fabrication de machines et équipements	IT (2)	IT (9)	FR (6)
DL	Equipements électriques et électroniques	<b>BE</b>	NL (4)	US (5)
DM	Fabrication de matériel de transport	US (5)	US (9)	US (5)
DN	Autres industries manufacturières	UK (3)	DK (5)	UK (5)

Source : calculs BFP à partir des données EUKLEMS.

Le même type d'analyse peut être menée sur les 5 branches des services marchands étudiées. Le tableau 3, construit comme le tableau 2, reprend le pays qui est leader et, entre parenthèses, la position relative de la Belgique dans le classement des 11 pays étudiés. Ces résultats doivent être interprétés avec davantage de prudence encore que dans le cas de la manufacture. D'une part, la valeur ajoutée des services est moins bien statistiquement appréhendée que la valeur ajoutée de la manufacture et d'autre part, les pratiques de mesure de l'output et des inputs varient davantage entre pays.

Il ressort du tableau 3 que la Belgique enregistre aussi une dégradation marquée de sa position technologique relative dans les services. Alors qu'elle domine le commerce (GG) en 1987, la Belgique n'apparaît plus qu'en cinquième position en 2005. Elle ne parvient à améliorer sa position relative que dans une seule branche d'activité des services : les services financiers (JJ), pour lesquels elle se classe deuxième depuis le milieu des années nonante.

**Tableau 3 : Pays dont le niveau de PMF est le plus élevé et position relative de la Belgique - Services marchands**

Branches des services		1987	1995	2005
GG	Commerce de gros et de détail ; réparation de véhicules automobiles et d'articles domestiques	<b>BE</b>	DK (2)	DK (5)
HH	Hôtels et restaurants	FR (4)	DE (3)	US (5)
I_60t63	Transport et entreposage	NL (11)	NL (11)	NL (11)
I_64	Postes et télécommunications	UK (2)	UK (2)	UK (9)
JJ	Activités financières	ES (7)	NL (2)	ES (2)

Source : calculs BFP à partir des données EUKLEMS.

### 4.3. Description des données de R&D, TIC et main d'œuvre hautement qualifiée

Le tableau 4 présente, pour deux sous-périodes et pour chaque branche d'activité, la moyenne des dépenses de R&D, de la compensation du capital TIC et de la compensation du travail hautement qualifié, exprimée en pourcentage de la valeur ajoutée nominale.

Ce tableau montre clairement qu'en Belgique, les dépenses de R&D sont concentrées dans un nombre limité de branches d'activité. Deux branches d'activité de la manufacture sont particulièrement intensives en R&D et se détachent largement du reste de l'économie : l'industrie chimique qui inclut la pharmacie (DG) et les équipements électriques et électroniques (DL). La fabrication de machines et équipements (DK), l'industrie du caoutchouc et plastique (DH) et la fabrication de matériel de transport (DM) apparaissent aussi relativement intensives en R&D même si leur performance se situe largement sous celle de la chimie et de la fabrication des équipements électriques et électroniques. Il convient aussi de souligner la faiblesse de l'intensité de R&D des branches d'activité non manufacturières. Enfin, seul un secteur, l'industrie papier (DE), enregistre une diminution de son intensité en R&D, en moyenne, sur la période récente.

**Tableau 4 : Dépenses de R&D, compensation du capital TIC et compensation du travail hautement qualifié, en % de la VA nominale - Intensité moyenne (en %)**

	R&D		TIC		Main d'oeuvre HQ (LAB)	
	1987-1994	1995-2005	1987-1994	1995-2005	1987-1994	1995-2005
DA	0,91	1,61	2,96	2,59	5,08	7,26
DB	1,31	2,35	3,68	2,92	5,81	8,09
DD	0,73	0,74	2,83	2,58	10,38	12,88
DE	1,06	0,99	8,27	8,15	9,19	12,46
DF	2,41	3,28	7,78	6,87	7,36	8,51
DG	12,81	14,59	3,92	5,23	7,90	10,93
DH	2,74	4,67	4,95	3,44	8,77	12,79
DI	1,82	2,48	2,34	2,01	8,61	12,55
DJ	2,28	2,85	3,59	3,26	10,05	14,50
DK	5,26	6,45	5,38	4,17	10,50	12,56
DL	19,22	20,27	9,73	9,07	10,35	13,48
DM	2,78	4,16	1,94	2,09	10,34	13,87
DN	1,43	2,06	2,90	2,63	6,33	8,26
EE	0,15	0,47	2,74	4,23	7,42	9,23
FF	0,30	0,44	1,35	1,23	3,11	4,60
GG	0,04	0,13	5,42	5,58	8,13	10,06
HH	0,01	0,06	2,71	2,15	10,43	12,43
I_60-63	0,11	0,25	2,50	5,01	3,87	6,42
I_64	0,10	0,95	17,80	24,55	2,19	7,16
JJ	0,15	0,20	12,30	10,62	16,65	21,22
Total	1,24	1,49	3,99	4,58	10,65	14,11

Source : calculs BFP à partir des données EUKLEMS et Politique scientifique fédérale.

Remarques : - Le secteur I\_64 ne reprend que les télécommunications pour les données de R&D.  
 - L'économie totale correspond à la somme de toutes les branches d'activité. Les dépenses de R&D correspondent donc uniquement aux dépenses totales du secteur des entreprises.

L'utilisation des TIC, appréhendée par la part de la compensation de ce type de capital dans la valeur ajoutée totale, est répartie de façon un peu plus homogène entre les branches d'activité, même si les performances des télécommunications et poste (I\_64) et des activités financières (JJ) sont largement supérieures à celles des autres secteurs. La plupart des secteurs enregistrent une diminution de la part de la compensation du capital TIC dans leur valeur ajoutée puisque seuls 6 secteurs voient cette part augmenter en moyenne au cours de la période récente.

Au cours de la période récente, ce sont les activités financières (JJ) qui consacrent, en moyenne, la part la plus importante de leur valeur ajoutée à la rétribution du personnel hautement qualifié. Elles sont suivies par la métallurgie (DJ), la fabrication de matériel de transport (DM) et la fabrication d'équipements électriques et électroniques (DL). Toutes les branches d'activité ont enregistré, en moyenne au cours de la période récente, une augmentation de la part de la compensation de la main-d'œuvre hautement qualifiée dans leur valeur ajoutée. Pour l'ensemble des branches, à l'exception de la poste et télécommunications (I\_64), la part de la VA consacrée à la rémunération des services de la main-d'œuvre qualifiée est plus élevée que la part consacrée à la rémunération des services du capital TIC.

## 5. Résultats

### 5.1. Résultats principaux

Le tableau 5 présente les résultats des régressions économétriques sur l'ensemble de la période, 1987-2005, pour l'ensemble des 20 secteurs étudiés et pour les seuls secteurs manufacturiers. Seules les formes réduites des régressions sont présentées. Ces formes réduites sont obtenues en partant d'un modèle général dans lequel les variables présentant des coefficients non significatifs sont successivement retirées.

Il ressort de ce tableau que l'écart technologique, mesuré par la différence entre les niveaux de PMF, influence la croissance de la PMF des secteurs belges. Plus le secteur belge est distant du secteur étranger leader technologique, plus la croissance de la PMF de ce secteur sera importante<sup>10</sup>. Cet effet de rattrapage est plus fort pour les secteurs manufacturiers que pour l'ensemble de l'économie, l'imitation étant sans doute facilitée par l'ouverture internationale de ces secteurs. Par contre, la croissance de la PMF du secteur étranger leader technologique, et les éventuels effets de spillovers sur le même secteur en Belgique, n'ont pas d'influence significative sur la croissance de la PMF.

**Tableau 5 : Résultats des estimations sur l'ensemble de la période**

$\Delta \ln A_{it}$	Economie	Manufacture
$\ln\left(\frac{A_i}{A_F}\right)_{t-1}$	-0,094*** (-3,651)	-0,141*** (-4,526)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,017 (0,365)	0,031 (0,590)
$\left(\frac{LAB_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	0,013*** (3,193)	0,012* (1,789)
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	-0,007*** (-2,569)	0,020*** (3,128)
Dummies temporelles	oui	oui
Nbre obs.	360	234
R <sup>2</sup>	0,265	0,329

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman), test du maximum de vraisemblance pour l'inclusion de dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses.

<sup>10</sup> Les valeurs du coefficient de l'écart technologique sont proches du haut de la fourchette des valeurs de ce coefficient trouvées par Griffith et al. (2001).

Parmi les trois variables explicatives de la croissance de la PMF, l'intensité de l'utilisation de la main-d'œuvre qualifiée a un effet positif aussi bien pour l'économie totale que pour la manufacture. Le recours accru à une main-d'œuvre davantage formée est donc un facteur qui améliore l'efficacité productive des entreprises belges.

L'intensité en TIC a par contre un effet différencié selon que l'on considère l'ensemble de l'économie ou uniquement la manufacture. Pour cette dernière, l'effet est significativement positif. L'augmentation de l'utilisation des TIC permet d'augmenter l'efficacité productive des entreprises manufacturières. Par contre, pour l'ensemble de l'économie, l'effet de l'usage des TIC est très faible et légèrement négatif. Cela peut s'expliquer par la constatation souvent faite dans la littérature empirique que l'accumulation du capital TIC doit s'accompagner d'investissements complémentaires et de la réorganisation du processus de production pour être pleinement efficace. Les secteurs non manufacturiers ayant accumulé du capital TIC plus tardivement que les secteurs manufacturiers, ils seraient encore pendant la période étudiée, dans la phase de réorganisation, caractérisée par un effet négatif sur leur efficacité productive.

L'intensité en R&D n'a pas d'influence significative ni pour la manufacture ni pour l'ensemble de l'économie. Ce constat qui peut surprendre à première vue s'explique plus facilement si on se souvient du caractère très concentré de la R&D en Belgique. Les laboratoires pharmaceutiques et les centres de recherche en informatique et télécommunication effectuent une recherche dont l'application productive ne se fera pas nécessairement dans le pays. Ceci est d'autant plus probable que ces laboratoires ou centres de recherche travaillent pour des multinationales dont la localisation des unités de production est mondiale.

Le croisement des variables avec la mesure de la distance à la frontière ne donne aucun résultat significatif. Pour l'ensemble de l'économie comme pour la manufacture, il n'y a donc pas d'effet indirect de l'usage des TIC, de la R&D et de la main-d'œuvre qualifiée sur la croissance de la PMF.

Une spécification économétrique alternative est testée en annexe 4 afin d'estimer les coefficients de la R&D, la main d'œuvre qualifiée et des TIC pour différents groupes de secteurs constitués sur base du niveau moyen de leur intensité sur la période. Globalement, les résultats obtenus confirment ceux fournis dans le tableau 5. Cependant, quand les trois groupes de secteurs sont identifiés selon leur intensité en R&D, cette intensité n'a pas d'impact significatif sur la PMF, à l'exception cependant des secteurs fortement intensifs en R&D. Un taux de rendement négatif significatif est obtenu pour ces secteurs qui, en fait, réalisent la majorité des dépenses de R&D des entreprises en Belgique. Ces secteurs étant dominés par des multinationales, ce coefficient pourrait montrer que la R&D réalisée dans ces entreprises améliore plutôt l'efficacité productive étrangère et limite les ressources disponibles pour améliorer l'efficacité productive belge. Les résultats basés sur les deux catégories de secteurs constituées selon leur intensité moyenne en main d'œuvre hautement qualifiée (faible – élevée) montrent que le coefficient du travail est plus élevé dans les secteurs moins intensifs en main d'œuvre hautement qualifiée. Enfin, lorsque trois groupes de secteurs sont distingués selon leur intensité en TIC (faible – moyenne –

forte), cette intensité a un coefficient significativement négatif pour deux groupes : les secteurs fortement et faiblement intensifs en TIC qui sont principalement des secteurs des services. Un coefficient significativement positif est par contre obtenu pour les secteurs moyennement intensifs en TIC, constitués de secteurs manufacturiers ayant investi plus tôt que les services dans le capital TIC.

Le tableau 6 présente le même type de résultat mais pour la période plus récente, 1995-2005. Il en ressort que le coefficient de l'écart technologique, toujours très significatif, est plus grand pour la période récente que pour l'ensemble de la période, aussi bien pour l'économie totale que pour la manufacture. La possibilité d'imiter les technologies utilisées par le secteur étranger leader est donc de plus en plus importante pour accroître la PMF en Belgique. Cette évolution peut être liée à la dégradation de la position technologique relative de la Belgique sur la période 1987-2005. Tout se passe comme si les secteurs belges étaient de plus en plus performants pour imiter les nouvelles technologies étrangères mais n'étaient pas capables d'augmenter la frontière productive quand ils sont eux-mêmes leaders.

L'importance de disposer de main-d'œuvre hautement qualifiée pour être en mesure d'accroître l'efficacité productive est aussi plus marquée sur la période récente. La valeur du coefficient a presque doublé pour l'économie totale et presque triplé pour la manufacture alors que sur la période récente, la plupart des secteurs augmentaient leur intensité en main-d'œuvre qualifiée. Maintenir un haut niveau de formation apparaît donc de plus en plus crucial pour assurer la croissance à long terme de l'économie quel que soit le secteur d'activité considéré. Un coefficient plus élevé reste observé pour les secteurs moins intensifs en main d'œuvre hautement qualifiée (voir résultats en annexe 4).

L'intensité en TIC n'est plus significative au niveau de l'ensemble de l'économie, laissant supposer qu'au cours de la période récente, l'implémentation de ces technologies dans les services ne porte plus atteinte à la croissance de la PMF. Par contre, elle exerce toujours un effet positif et légèrement plus prononcé sur la croissance de la PMF dans la manufacture. L'estimation des coefficients par groupe de secteurs constitué à partir de leur intensité moyenne en TIC montre toujours un effet positif significatif pour les secteurs moyennement intensifs en TIC. Pour les deux autres groupes de secteurs, un coefficient non significatif est à présent obtenu.

Enfin, l'intensité en R&D voit son coefficient devenir significatif mais négatif. Tout comme c'est le cas pour la période totale, ce lien s'observe en fait pour les secteurs hautement intensifs en R&D, un coefficient non significatif étant obtenu pour les secteurs moyennement ou faiblement intensifs en R&D (voir annexe 4). Sur la période récente, l'intensité de la R&D s'est accrue alors que la plupart des secteurs enregistraient un ralentissement de la croissance de leur PMF. Si l'hypothèse de déconnexion entre la R&D menée en Belgique et les fonctions de production belges se confirme, ce coefficient négatif pourrait traduire un effet de crowding-out de la R&D liée aux processus de production présents en Belgique au profit d'une R&D plus « internationale ».

**Tableau 6 : Résultats des estimations sur la période 1995-2005**

$\Delta \ln A_{it}$	Economie	Manufacture
$\ln\left(\frac{A_i}{A_F}\right)_{t-1}$	-0,143*** (-3,600)	-0,201*** (-4,458)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,064 (1,052)	0,018 (0,276)
$\left(\frac{LAB_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	0,024*** (4,618)	0,034*** (4,456)
$\left(\frac{RD_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	-0,018*** (-4,521)	-0,017*** (-2,825)
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$		0,027** (2,300)
Dummies temporelles	oui	oui
Nbre obs.	200	130
R <sup>2</sup>	0,466	0,548

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman), test du maximum de vraisemblance pour l'inclusion de dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses

## 5.2. Effet de la R&D étrangère sur la PMF de la manufacture

La R&D belge ne profitant pas aux secteurs domestiques, il apparaît légitime de s'interroger sur l'éventuel effet de la R&D réalisée à l'étranger sur l'efficacité productive des secteurs belges. Pour ce faire, l'intensité moyenne en R&D des trois pays voisins, la France, l'Allemagne et les Pays-Bas, a été calculée pour les secteurs de la manufacture, les seuls pour lesquels une information fiable est disponible.

Le tableau 7 contient les résultats des régressions économétriques comparables aux précédentes à la seule exception que l'intensité en R&D domestique a été remplacée par l'intensité en R&D des trois pays voisins. Etant donné la disponibilité des données, la période totale couvre les années de 1987 à 2004 (et non plus 2005).

Ces résultats soulignent l'importance de la R&D étrangère pour l'amélioration de l'efficacité productive des secteurs belges. Sur l'ensemble de la période le taux de rendement de la R&D étrangère est positif.

Tableau 7 : Résultats de l'estimation concernant la manufacture

$\Delta \ln A_{it}$	1987-2004	1995-2004
$\ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1}$	-0,139*** (-4,200)	-0,191*** (-4,149)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,049 (0,865)	0,043 (0,688)
$\left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1}$	0,011* (1,701)	0,033*** (3,935)
$\left( \frac{RE_i}{YE_i} \right)_{t-1}$	0,012*** (3,468)	0,014* (1,672)
$\left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1}$	0,026*** (3,715)	0,032** (2,494)
$\ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1} \times \left( \frac{RE_i}{YE_i} \right)_{t-1}$		0,012*** (2,702)
Dummies temporelles	Oui	Non
Nbre obs.	221	130
R <sup>2</sup>	0,377	0,515

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman) avec dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses.

Durant la période récente, 1995-2004, l'intensité en main-d'œuvre qualifiée et celle en TIC voient leur coefficient augmenter fortement, ce qui n'est pas le cas de l'intensité en R&D étrangère. Par ailleurs, l'effet de l'intensité en R&D étrangère sur la croissance de la PMF semble se concentrer sur les secteurs qui sont proches de la frontière technologique. En effet, le terme croisé avec l'écart technologique est significatif mais positif, ce qui signifie que les secteurs qui bénéficient de la R&D étrangère, profitent moins de l'effet de rattrapage dû à l'éloignement par rapport au leader technologique.

Le fait que les secteurs belges puissent profiter de la R&D menée en France, en Allemagne et aux Pays-Bas, peut être lié à la taille réduite de l'économie et à la forte imbrication des fonctions de production belges avec celles des trois pays voisins.

## 6. Conclusion

Ce working paper étudie, à l'aide d'un panel couvrant 20 branches d'activité marchandes belges sur la période 1987-2005, le lien entre la croissance de la PMF et trois facteurs déterminants identifiés par la littérature économique : la R&D, la main-d'œuvre qualifiée et les TIC, dans le cadre du modèle d'Aghion et Howitt. Selon ce modèle, la croissance d'un secteur est conditionnée par sa distance par rapport à la frontière technologique mondiale.

A travers l'estimation d'un modèle à correction d'équilibre, il ressort que l'écart technologique, mesuré par la différence entre les niveaux de PMF, influence la croissance de l'ensemble des secteurs belges sur la période considérée. Plus le secteur est éloigné de la frontière technologique, plus la croissance de sa PMF est élevée. Cet effet de rattrapage technologique par imitation est plus prononcé dans la manufacture que dans les autres branches marchandes, en raison probablement de l'importance de son ouverture internationale. Cet effet joue aussi un rôle plus important au cours de la période récente, 1995-2005, que ce soit dans l'ensemble de l'économie marchande ou uniquement dans la manufacture. Cela peut être lié à la dégradation de la position technologique relative de la Belgique au cours de l'ensemble de la période considérée. Les secteurs belges seraient davantage capables d'imiter les nouvelles technologies étrangères que de mettre eux-mêmes au point les innovations leur permettant de repousser la frontière technologique mondiale.

Par contre, l'analyse empirique n'a pas permis d'établir l'existence d'un effet de spillover de la croissance de la productivité multifactorielle du secteur à la frontière sur le secteur belge correspondant.

Concernant les trois facteurs déterminants de la croissance de la PMF, les résultats montrent que l'utilisation de la main d'œuvre hautement qualifiée améliore l'efficacité productive des entreprises belges. L'effet positif du capital humain s'accroît au cours du temps puisque le coefficient est plus élevé lors de la période récente 1995-2005 que sur l'ensemble de la période. Continuer de disposer de suffisamment de travailleurs hautement qualifiés est donc une condition cruciale pour la croissance à long terme de l'économie.

L'intégration du capital TIC au sein des entreprises a par contre, sur la période étudiée, un effet différent sur la croissance de la PMF de l'ensemble des secteurs marchands et de la manufacture. Dans la manufacture, l'intensification de l'usage des TIC permet d'augmenter l'efficacité productive des entreprises. Tout comme le capital humain, l'effet positif des TIC est plus élevé au cours de la période récente. Par contre, au niveau de l'ensemble de l'économie, l'intégration des TIC a un faible effet négatif sur la croissance de la PMF des secteurs au cours de la période 1987-2005 et aucun impact significatif au cours de la période récente. Comme le soulignent plusieurs études, les gains de productivité générés par les TIC n'apparaissent que progressivement et dans la mesure où leur intégration s'accompagne d'investissements immatériels complémentaires. Les sec-

teurs non manufacturiers ayant investi plus tardivement dans le capital TIC, ils seraient encore, particulièrement au début de la période, dans une phase d'adaptation de leur production à ces nouvelles technologies.

L'intensité en R&D n'a pas d'influence significative sur la croissance de la PMF des secteurs belges, que ce soit au niveau de la manufacture ou de l'économie totale, sur la période 1987-2005. L'analyse limitée à la période récente révèle même un effet négatif significatif de la R&D domestique. Ces résultats contre intuitifs peuvent s'expliquer par la concentration des activités de R&D, en Belgique, dans un nombre limité de secteurs dominés par des multinationales. Les recherches réalisées dans ces entreprises bénéficieraient en termes d'efficacité productive davantage aux pays dans lesquels les applications productives sont réalisées. Il est toutefois important de rappeler que cette étude ne mesure que l'impact sur la croissance de la PMF de la R&D réalisée dans les entreprises et non l'impact de la R&D totale qui comprend également la R&D fondamentale des universités et centres de recherche. Par contre, la prise en compte de la R&D étrangère via l'intensité moyenne de la R&D de trois pays voisins, souligne l'impact positif de la R&D menée à l'étranger sur l'efficiences productive des secteurs manufacturiers belges. Ces deux impacts opposés de la R&D peuvent être vus comme la conséquence de la taille réduite de l'économie belge et de l'intégration européenne très forte de ses fonctions de production. Ils mettent aussi en évidence l'importance, pour un petit pays comme la Belgique, de la mise en place au niveau européen d'une stratégie de soutien de la R&D. La coordination des efforts nationaux permet à tous les pays, y compris les plus petits, d'en tirer profit pour accroître leur efficacité productive et donc améliorer leur compétitivité.

## 7. Bibliographie

- Acemoglu, D., Aghion, P. et Zilibotti, F., 2002, "Distance to frontier, selection and economic growth", NBER working paper, N° 9066.
- Aghion, P. et Howitt, P., 1992, "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, pp. 323-351, March.
- Aghion, P., Bloom, N., Bundell, R., Griffith R. et Howitt, P., 2005, "Competition and innovation: an inverted-U relationship", *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, Vol. 120, No. 2, pp. 701-728.
- Aghion P. et Howitt, P., 2006, "Joseph Schumpeter Lecture – Appropriate growth policy: a unifying framework", *Journal of the European Economic Association*, Vol. 4, No. 2-3, pp. 269-314.
- Aghion, P., Blundell, R., Griffith, R., Howitt, P. et Prantl, S., 2006, "The Effects of Entry on Incumbent Innovation and Productivity". NBER Working Paper 12027, 2006.
- Akerlof, G.A. et Kranton, R.E., 2000, "Economics and Identity", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 115, pp. 715-753.
- Akerlof, G.A. et Kranton, R.E., 2002, "Identity and Schooling: Some Lessons for the Economics of Education", *Journal of Economic Literature*, Vol. 40, pp. 1167-1201.
- Ark, B. van, Frankema, E. et Duteweerd, H., 2004, "Productivity and employment growth: an empirical review of long and medium run evidence", GGDC Research Memorandum GD-71.
- Ark, B. van, O'Mahony, M., et Ypma, G., 2007, "The EUKLEMS Productivity Report, Issue n°1", Brussels.
- Ark, B. van et Inklaar, R., 2005, "Catching up or getting stuck? Europe's trouble to exploit ICT's Productivity Potential", GGDC Research Memorandum, GD-79.
- Bartelsman, E., Haskel, J. et Martin, R., 2006, "Distance to Which Frontier? Evidence on Productivity Convergence from International Firm-level Data", Unpublished memo.
- Batrakova, S., Lanser, D. et Rensman, M., 2008, "The Dutch gap to the technology frontier, Survey of literature and data", CPB Document (forthcoming).
- Batrakova, S., Gorter, J., Lanser, D. et Rensman, M., 2008, "The Dutch gap to the technology frontier, Some first results: data and estimations", CPB Document (forthcoming).
- Baumol, W., 1967, "Macroeconomics of Unbalanced Growth: The anatomy of urban crisis", *The American Economic Review*, Vol. 57, No. 3, pp. 415-426.
- Becker, G.S., 1965, "Human Capital. A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education", NBER and Columbia University Press, New York.

- Brewer, D.J., Eide, E.R. et Ehrenberg, R.G., 1999, "Does It Pay to Attend an Elite Private College? Cross-Cohort Evidence on the Effects of College Type on Earnings", *The Journal of Human Resources*, Vol. 34, pp. 104-123.
- Cameron, G., Proudman, J. et Redding, S., 2005, "Technological Convergence, R&D, Trade and Productivity Growth", *European Economic Review*, Vol. 49, No. 3, pp. 775-807.
- Card, D. et Krueger, A.B., 1992, "Does School Quality Matter? Returns to Education and the Characteristics of Public Schools in the United States", *Journal of Political Economy*, Vol. 100, pp. 1-40.
- Cette, G., 2005, "Are productivity levels higher in Some European countries than in the United States?", *International Productivity Monitor*, No. 10, Spring.
- Cohen, W. M. et Levinthal, D.A., 1989, "Innovation and Learning: Two faces of R&D", *Economics Journal* 99, pp. 569-596.
- Conway, P., de Rosa, D., Nicoletti, G. et Steiner, F., 2006, "Regulation, competition and productivity convergence", *OECD Economics Department working paper*, No. 509.
- Creusen, H., Vroomen, B., Wiel, H. van der et Kuypers, F., 2006, "Dutch retail trade on the rise? Relation between competition, innovation and productivity", *CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis*, CPB document No. 137, December.
- Dolman, B., Prahm, D. et Zheng, S., 2007, "Can Australia match US productivity performance?", *Staff working paper*, Australia Productivity Commission, March.
- Ederveen, S., van der Horst, A. et Tang, P., 2005, "Is the European economy a patient, and the Union its doctor? On jobs and growth in Europe", *CPB document* No. 80, March.
- European Commission, 2008, "European Economy 2007 Review", Brussels.
- Freeman, R.B. (1986), "Demand for Education", dans: Ashenfelter, O., Layard, R., *Handbook of Labor Economics*, Vol. I, Elsevier, Amsterdam, pp. 357-386.
- Griffith R., Redding, S. et Van Reenen., J., 2001, "Mapping the two faces of R&D: Productivity growth in a panel of OECD countries", *CEPR Discussion Paper*, 2457.
- Griffith, R., Harrison, R. et Simpson, H., 2006, "The link between product market reform, innovation and EU macroeconomic performance", *European Economy Economic Paper* No. 243.
- Griliches Z., 1979, "Issues in assessing the contribution of Research and Development to Productivity Growth", *Bell Journals of Economics*, Vol. 10, No. 1, pp. 92-116.
- Griliches, Z. et Lichtenberg, F., 1984, "R&D and Productivity Growth at the Industry Level: Is There Still a Relationship ?", in Griliches, Z. ed. "R&D and Productivity. The econometric evidence" (Chicago: University of Chicago Press).
- Grünfeld, L.A., 2002, "International R&D Spillovers and the Effect of Absorptive Capacity – An empirical Study", *NUPI [630] Paper*.

- Huizinga, F. et Broer, P., 2004, "Wage moderation and labour productivity". CPB Discussion Paper No. 28.
- Inklaar, R., Timmer, M.P. et Ark, B. van, 2008, "Market services productivity across Europe and the US", *Economic Policy*, No. 53, January 2008.
- Inklaar, R., Timmer, M.P. et Ark, B. van, 2008, "Market services productivity", *Economic Policy*, CEPR, janvier, pp. 140-171.
- Inklaar, R. et Timmer, M.P., 2007, "International comparisons of Industry output, inputs and productivity levels: Methodology and new results", *Economic Systems Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 343-363.
- Inklaar R., Timmer, M.P. et Ark, B. van, 2007, "Mind the gap: international comparisons of productivity in services and goods production", *German Economic Review*, Vol. 8, May.
- Jorgenson, D.W., 2001, "Information Technology and the US Economy", *American Economic Review*, No. 1, pp. 1-32.
- Lazear, E.P., 1998, "Personnel Economics for Managers", Wiley & Sons, New York.
- Leeuwen, G. van, et Wiel, H. van der, 2003, "Do ICT spillovers matter ? Evidence from Dutch firm-level data", CPB Discussion Paper, n°26, November.
- Maher, M. et Wise, M., 2005, "Product market competition and economic performance in the United Kingdom", OECD Economics Department Working Paper n° 433, ECO/WKP(2005)20.
- Nadiri, M.I., 1993, "Innovations and technological spillovers", NBER Working Paper, n°4423.
- Nicoletti, G. et Scarpetta, S., 2003, "Regulation, productivity and growth: OECD evidence", *Economic Policy*, 36, avril 2003, pp. 9-72.
- Nicoletti, G. et Scarpetta, S., 2005, "Regulation and economic performance: Product market reforms and productivity in the OECD", OECD Economics Department working paper, n°460.
- OECD, 2002, "Economic Outlook", n°72, Paris.
- OECD, 2004, "The Economic Impact of ICT, Measurement, evidence and implications".
- OECD, 2005, "Product Market Competition in OECD countries: A synthesis", OECD Economics Department, ECO/CPE/WP1(2005)17.
- OECD, 2007, "Economic Policy Reforms: Going for Growth 2007".
- O'Mahony, M., 2007, "Introduction: The importance of Productivity", *National Institute Economic Review*, Journal of the National Institute of Economic Research, No. 200, April 2007.
- Peneder, M., 2007, "A Sectoral Taxonomy of Educational Intensity", *Empirica*, Vol. 34, No. 3, pp. 189-212.

- Peneder, M., 2005, "Creating Industry Classifications by Statistical Cluster Analysis", *Estudios de Economica Aplicada*, Vol. 23, No. 2, pp. 451-463.
- Peneder, M., 2004, "High Growth with 'Old' Industries? The Austrian Paradox Revisited", in Foster, J., Hoelzl, W. (eds.), *Applied Evolutionary Economics and Complex Systems*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 197-219.
- Poldahl, A., 2006, "The two faces of R&D: Do firm's absorptive capacities matter?", Örebro University, ESI, Working Paper n°1.
- Pottelsberghe, B. van et Guellec D., 2001, "R&D and productivity growth - Panel data analysis of 16 OECD countries", *OECD Economic Studies*, 33.
- Rincon, A. et Vecchi, M., 2004, "The dynamic impact of ICT spillovers on companies' productivity performance", National Institute of Economic and Social Research, November.
- Romer, P.M., 1990, "Endogenous Technical Change", *Journal of Political Economy* 98, pp. 71-102.
- Schultz, Th.W., 1960, "Capital Formation by Education", *Journal of Political Economy*, Vol. 68, pp. 571-583.
- Schultz, Th.W., 1961, "Investment in Human Capital: Reply", *American Economic Review*, Vol. 51, pp. 1035-1039.
- Sianesi, B. et Reenen, J.V., 2003, "The returns to education: Macroeconomics", *Journal of Economic Surveys*, vol. 17, No. 2, pp. 157-200.
- Solow, R.M., 1957, "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and statistics*, Vol. 39, No. 3, pp. 312-320.
- Timmer, M., O'Mahony, M. et van Ark, B., 2007, "The EU KLEMS Growth and Productivity Accounts: An Overview", mimeo.
- Vandenbussche, J., Aghion, P. et Meghir, C., 2006, "Growth distance to frontier and composition of human capital", *Journal of Economic Growth*, 11, pp. 97-127.
- Wiel, H. van der, Creusen, H., Leeuwen, G. van, Polder, M., et Pijll, E. van der, 2008, "Going beyond the Dutch borders", CPB Document (forthcoming).

## 8. Annexes

### 8.1. Description des secteurs d'activité

DA	Industries agricoles et alimentaires
DB+DC	Industrie textile et habillement et industrie du cuir et de la chaussure
DD	Travail du bois et fabrication d'articles en bois
DE	Papier et carton; édition et imprimerie
DF	Cokéfaction, raffinage et industries nucléaires
DG	Industrie chimique
DH	Caoutchouc et plastiques
DI	Autres produits minéraux non-métalliques
DJ	Métallurgie et travail des métaux
DK	Fabrication de machines et équipements
DL	Equipements électriques et électroniques
DM	Fabrication de matériel de transport
DN	Autres industries manufacturières
EE	Electricité, gaz et eau
FF	Construction
GG	Commerce de gros et de détail ; réparation de véhicules automobiles et d'articles domestiques
HH	Hôtels et restaurants
I_60-63	Transport et entreposage
I_64	Postes et télécommunications
JJ	Activités financières

### 8.2. Analyse de sensibilité de la croissance de la PMF aux mesures des inputs

Dans le cadre de la comptabilité de la croissance, la PMF est calculée de façon résiduelle en soustrayant de la croissance de la VA la contribution du travail et du capital, pondérée par la part respective de leurs coûts dans la VA. En l'absence de mesures statistiques parfaites du travail et du capital, la PMF contient donc, en plus du progrès technique pur, les différentes erreurs de mesure.

Le tableau ci-dessous analyse les effets sur la mesure de la PMF de l'amélioration de l'évaluation de la contribution des inputs, travail et capital. Il fournit, dans la première colonne, une mesure de base de la croissance annuelle moyenne de la PMF sur la période 1995-2005, estimée en utilisant pour la contribution du travail, le nombre de personnes engagées et pour la contribution du capital, des stocks de capital. La deuxième colonne fournit les effets sur la croissance annuelle moyenne de la PMF de l'utilisation des heures travaillées plutôt que des personnes engagées comme mesure de la contribution du travail. La troisième colonne fournit les effets sur la croissance de la PMF de la distinction entre les différents types de travail (effet de composition). La quatrième colonne contient les effets sur la croissance de la PMF de l'estimation des flux de

services fournis par chaque type d'actif plutôt que des stocks de capital. Enfin, la dernière colonne fournit la mesure de la PMF finale, telle qu'elle est utilisée dans l'analyse empirique. Elle est égale à la somme des 4 premières colonnes.

**Tableau 8 : Sensibilité du taux de croissance de la PMF aux différentes mesures des inputs, taux de croissance annuel moyen ( $\Delta \ln$  en %), 1995-2005**

	Taux de croissance de la PMF : Mesure de base	Effets des heures travaillées	Effets de la composition du travail	Effets des services du capital	Taux de croissance de la PMF : Mesure finale
DA	0,56	0,18	-0,35	-0,19	0,20
DB	2,50	-0,03	-0,49	-0,09	1,90
DD	2,89	0,09	-0,33	-0,35	2,30
DE	0,49	0,14	-0,34	-0,67	-0,39
DF	-4,47	0,02	-0,39	-0,77	-5,61
DG	0,54	0,14	-0,35	-0,41	-0,09
DH	4,30	0,27	-0,41	-0,13	4,03
DI	0,03	0,04	-0,37	-0,13	-0,43
DJ	2,37	0,05	-0,42	-0,35	1,65
DK	2,94	0,03	-0,32	-0,22	2,43
DL	2,89	0,17	-0,34	-0,59	2,13
DM	1,97	-0,03	-0,38	-0,23	1,32
DN	2,28	0,13	-0,40	-0,22	1,80
EE	2,67	0,07	-0,04	-0,61	2,09
FF	0,92	0,28	-0,01	-0,08	1,10
GG	-0,64	0,03	-0,38	-0,60	-1,59
HH	-0,26	0,12	-0,37	-0,39	-0,90
I_60-63	0,06	0,05	-0,26	-0,68	-0,83
I_64	2,00	0,13	-0,47	-3,11	-1,45
JJ	3,71	0,17	-0,13	-0,93	2,83

Source : calculs BFP à partir des données EUKLEMS

### 8.3. Analyse de sensibilité des résultats économétriques : les secteurs qui ne sont pas à la frontière

Pour vérifier la robustesse des résultats, l'équation de base a été testée pour un sous-ensemble de secteurs : les secteurs qui n'ont jamais été sur la frontière technologique entre 1987 et 2005. Ce sous-ensemble est composé de l'économie totale moins les secteurs du textile (DB), du papier (DE), du caoutchouc et plastique (DH), des instruments électriques et électroniques (DL), du commerce (GG), de la poste et des télécommunications (I\_64) et des services financiers (JJ).

Les résultats ne diffèrent pas beaucoup par rapport à ceux de l'ensemble de l'économie. Les variables significatives ont des coefficients dont la valeur se situe entre celles de l'économie totale et de la manufacture.

Seule différence, l'intensité en TIC qui avait un coefficient négatif pour l'ensemble de l'économie sur l'ensemble de la période (1987-2005) n'est plus significative si seuls les secteurs qui ne sont pas à la frontière sont pris en compte. Cette différence impliquerait que l'intensité en TIC est un facteur qui importe davantage pour les secteurs leaders technologiques.

**Tableau 9 : Résultats des régressions économétriques pour les secteurs qui ne sont pas à la frontière**

$\Delta \ln A_{it}$	1987-2005	1995-2005
$\ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1}$	-0,124*** (-4,005)	-0,154*** (-3,717)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,030 (0,621)	0,019 (0,286)
$\left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1}$	0,012* (1,847)	0,030*** (3,903)
$\left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1}$		-0,020** (-2,317)
Dummies temporelles	Oui	Oui
Nbre obs.	234	130
R <sup>2</sup>	0,320	0,512

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman), test du maximum de vraisemblance pour l'inclusion de dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses

### 8.4. Analyse de sensibilité des résultats économétriques : regroupement des secteurs par classe d'intensité

Tableau 10 : Résultats des estimations sur l'ensemble de la période 1987-2005

$\Delta \ln A_{it}$	1	2	3	4
	Modèle de base identifié dans le papier			
$\ln\left(\frac{A_i}{A_F}\right)_{t-1}$	-0,094*** (-3,651)	-0,102*** (-3,919)	-0,094*** (-3,613)	-0,139*** (-5,064)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,017 (0,365)	0,019 (0,412)	0,019 (0,395)	0,029 (0,633)
$\left(\frac{LAB_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	0,013*** (3,193)	0,015*** (3,518)		0,015*** (3,615)
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$	-0,007*** (-2,569)	-0,007** (-2,258)	-0,008*** (-2,638)	
$\left(\frac{RD_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DRD - faible		-0,026 (-1,182)		
$\left(\frac{RD_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DRD - moyen		-0,005 (-0,604)		
$\left(\frac{RD_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DRD - élevé		-0,009* (-1,953)		
$\left(\frac{LAB_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DLAB - faible			0,016*** (2,618)	
$\left(\frac{LAB_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DLAB - élevé			0,013*** (3,169)	
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DTIC - faible				-0,013*** (-2,582)
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DTIC - moyen				0,020*** (3,035)
$\left(\frac{TIC_i}{Y_i}\right)_{t-1}$ * DTIC - élevé				-0,016*** (-4,468)
Dummies temporelles	Oui	Oui	Oui	Oui
Nbre obs.	360	360	360	360
R <sup>2</sup>	0,265	0,275	0,266	0,310

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman), test du maximum de vraisemblance pour l'inclusion de dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

Variables : DRD : DRD-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est strictement inférieure à 1 % ; DRD-moyen : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est comprise entre 1 % et 10 % ; DRD-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est strictement supérieure à 10 % .  
DLAB : DLAB-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en travail hautement qualifié est strictement inférieure à 10 % ; DLAB-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est supérieure à 10 % .  
DTIC : DTIC-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en TIC est strictement inférieure à 4 % ; DTIC-moyen : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est comprise entre 4 % et 10 % ; DTIC-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est strictement supérieure à 10 % .

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses.

Tableau 11 : Résultats des estimations sur la période 1995-2005

$\Delta \ln A_{it}$	1	2	3	4
	Modèle de base identifié dans le papier			
$\ln \left( \frac{A_i}{A_F} \right)_{t-1}$	-0,143*** (-3,600)	-0,144*** (-3,575)	-0,140*** (-3,440)	-0,180*** (-4,225)
$\Delta \ln A_{Ft}$	0,064 (1,052)	0,067 (1,088)	0,079 (1,253)	0,053 (0,903)
$\left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1}$	0,024*** (4,618)	0,025*** (4,387)		0,023*** (4,847)
$\left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1}$	-0,018*** (-4,521)		-0,018*** (-4,170)	-0,014*** (-2,590)
$\left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DRD - faible		-0,034 (-1,630)		
$\left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DRD - moyen		-0,013 (-1,105)		
$\left( \frac{RD_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DRD - élevé		-0,019*** (-5,135)		
$\left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DLAB - faible			0,029*** (3,833)	
$\left( \frac{LAB_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DLAB - élevé			0,019*** (3,246)	
$\left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DTIC - faible				-0,009 (-0,958)
$\left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DTIC - moyen				0,023* (1,843)
$\left( \frac{TIC_i}{Y_i} \right)_{t-1}$ * DTIC - élevé				-0,006 (-1,055)
Dummies temporelles	Oui	Oui	Oui	Oui
Nbre obs.	200	200	200	200
R <sup>2</sup>	0,466	0,469	0,470	0,488

Méthode d'estimation : panel MCO à effet fixe (test Hausman), test du maximum de vraisemblance pour l'inclusion de dummies temporelles, écarts-types robustes pour l'hétéroscédasticité, test d'autocorrélation des résidus.

Variables : DRD : DRD-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est strictement inférieure à 1 % ; DRD-moyen : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est comprise entre 1 % et 10 % ; DRD-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en R&D est strictement supérieure à 10 %.

DLAB : DLAB-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en travail hautement qualifié est strictement inférieure à 10 % ; DLAB-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est supérieure à 10 %.

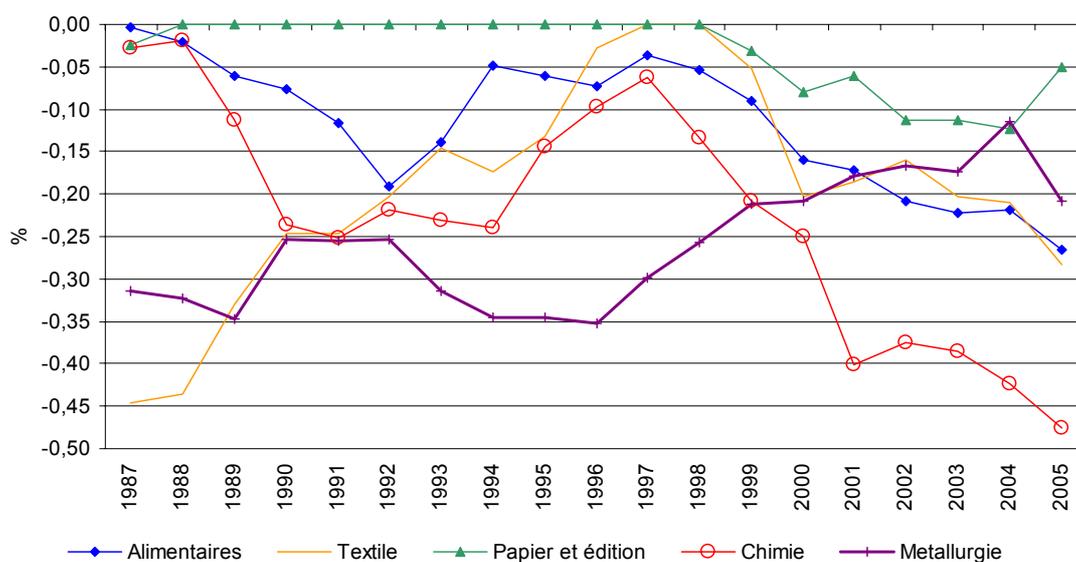
DTIC : DTIC-faible : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité en TIC est strictement inférieure à 4 % ; DTIC-moyen : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est comprise entre 4 % et 10 % ; DTIC-élevé : dummy qui prend la valeur 1 lorsque l'intensité est strictement supérieure à 10 %.

\*\*\*, \*\*, \* : significatif à 1 %, 5 %, 10 %. Valeur du test t entre parenthèses.

## 8.5. Evolution de l'écart technologique pour les principaux secteurs manufacturiers et des services marchands

Les graphiques suivant illustrent, pour 5 grands secteurs de la manufacture et des services marchands, l'évolution de l'écart technologique entre ces secteurs et les leaders technologiques sur la période 1987-2005. Cet écart est calculé comme la différence des logarithmes des niveaux de PMF du secteur belge et du secteur leader. Si cette différence est nulle, cela signifie que le secteur belge est le leader.

**Graphique 1 Evolution de l'écart technologique de 5 secteurs manufacturiers**



**Graphique 2 Evolution de l'écart technologique de 5 secteurs des services marchands**

