

PERSPECTIVES DE POLITIQUE ECONOMIQUE

Analyses théoriques et empiriques des déterminants
de la productivité globale des facteurs – Une application
au Grand-Duché de Luxembourg

N°1 Décembre 2003



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Economie

Les "Perspectives de Politique Economique" reprennent des rapports, études, recherches ou actes de colloques réalisés ou édités par les collaborateurs du Ministère de l'Economie ou par des experts d'institutions associées.

Les opinions exprimées dans ces publications sont celles des auteurs et ne correspondent pas nécessairement à celles du Ministère de l'Economie ou du Gouvernement.

Pour toute requête, commentaire ou suggestion:

Ministère de l'Economie du Grand-Duché de Luxembourg
Secrétariat Général

L-2914 Luxembourg

Tél (+352) 478-4155

Fax (+352) 222 670

Email: romy.schroeder@eco.etat.lu



PREFACE

Traditionnellement, c'est au Ministère de l'Economie qu'incombe le rôle de veiller à la cohérence d'ensemble et au dosage des politiques économiques et donc de préparer les grandes orientations de politique économique luxembourgeoise.

C'est la raison pour laquelle la capacité d'étude du département de l'économie a été renforcée par la création d'une cellule d'étude et de prévision économique (CEPE) en collaboration avec le Service central de la statistique et des études économiques (STATEC).

Cette nouvelle série de publications, intitulée « **Perspectives de Politique Economique** » doit permettre de diffuser les études et recherches, commanditées auprès de chercheurs universitaires ou de consultants, ainsi que les documents de travail rédigés par les membres de la cellule CEPE. La revue a également pour objet de faire connaître les comptes rendus d'exposés, de séminaires ou de conférences que le ministère de l'Economie organise sur des thèmes de politique micro ou macro-économique. Elle a enfin l'ambition de permettre d'éclairer les choix politiques possibles, d'évaluer l'efficacité de certaines mesures et d'alimenter ainsi le débat public sur la politique économique.

« **Perspectives de politique économique** » s'adresse ainsi à toutes personnes ou institutions souhaitant participer à ce débat.

Ce premier numéro est consacré à un thème d'actualité, en l'occurrence celui des déterminants du progrès technologique appréhendé à travers la productivité globale des facteurs. Cette interrogation est, parmi d'autres, au centre du débat très actuel sur la compétitivité de notre économie. Je nourris l'espoir que les résultats de cette recherche apportent des éclaircissements utiles pour l'orientation future de la politique économique.

Henri Grethen
Ministre de l'Economie

Etude sur les déterminants de la PGF

Motivations, résultats saillants, résultats pour la politique économique et prolongements possibles

Par :

Dr Serge Allegrezza

Directeur du STATEC, Cellule d'Etudes et de Prévisions (CEPE),

Ministère de l'Economie

et

Dr Alexandra Guarda-Rauchs

Attachée de Gouvernement 1^{ère} en rang, CEPE, Ministère de l'Economie

1. Les motivations de la présente étude

Le progrès technologique est à la source de la croissance économique et du niveau de vie des citoyens.

Pour cerner l'évolution du progrès technologique, on se sert souvent d'un indicateur macroéconomique particulier, appelé **productivité globale des facteurs** (PGF). Cet indicateur est un résidu obtenu en défalquant la contribution – pondérée et en volume - des deux autres facteurs de production que sont le capital et le travail.

Cet indicateur est encore nouveau dans l'analyse et le débat de politique économique au Luxembourg, peut-être en raison des difficultés que pose sa construction statistique et son interprétation économique. Pourtant, la productivité globale des facteurs est de plus en plus utilisée dans les analyses menées par les organisations internationales comme la Commission européenne ou l'OCDE. Une petite économie ouverte comme celle du Grand-Duché de Luxembourg ne pouvait rester à l'écart des analyses qui sont au cœur de l'économie basée sur la connaissance, marquée par la diffusion des technologies de l'information et de la communication¹ (TIC).

Ces préoccupations sont éclairées sous un jour nouveau dans les théories de la croissance « endogène ». D'ailleurs, l'accord de coalition d'août 1999, sous le chapitre de la compétitivité économique, stipule : *« une politique active de diversification et de développement des activités économiques sera également poursuivie par le Gouvernement. Elle se fondera sur deux piliers: la prospection d'investisseurs étrangers et la promotion du développement endogène des entreprises établies »*. Le rôle des deux axes du développement est affirmé : l'investissement étranger et la diffusion endogène de l'innovation technologique.

¹ Economie Européenne, Supplément A, No 12, Commission européenne, décembre 2000

Le projet POLECO confié à la CREA (Cellule de Recherche en Economie Appliquée) et intitulé « développement d'indicateurs macro-économiques structurels à l'usage de la politique économique » propose d'éclairer certains aspects dans ce que le Ministre de l'Economie a appelé « *la nouvelle économie luxembourgeoise* »². Le présent rapport tente de mesurer et d'identifier certains déterminants de la productivité globale des facteurs (PGF)³.

Il y a plusieurs autres motifs qui militent pour un examen approfondi de la productivité totale des facteurs.

Premièrement, il faut souligner la pertinence de la PGF pour l'évaluation de la politique économique dans la comparaison internationale récente. En 2001, l'OCDE, dans son rapport consacré à l'économie luxembourgeoise, a affirmé, tableaux à l'appui, que le Luxembourg n'avait pas connu de hausse notable de la PGF au cours des dernières années caractérisées par le développement de la vague Internet. Si on accepte, comme l'ont fait de nombreuses études, qu'une accélération prolongée de la PGF dénote l'émergence d'un nouveau cycle technologique durable, alors le Luxembourg n'aurait pas profité de la diffusion des TIC et de la société de l'information qui se développe depuis le début des années quatre-vingt-dix. Il fallait donc creuser ce problème essentiel⁴. L'étude montre qu'une analyse plus fine de l'ensemble des branches, en particulier des services, donne un résultat différent, bien plus favorable.

Deuxièmement, la PGF est intimement liée à la croissance potentielle, c.à.d. la croissance maximale que la combinaison des facteurs de production et le progrès technologique permettent d'atteindre au cours du temps. En effet, dans le cadre d'un modèle traditionnel⁵, la croissance potentielle peut se décomposer en trois éléments : (a) la progression du stock de travail (travail résidant comme immigré et transfrontalier), (b) la croissance du stock capital physique, et, finalement, (c) l'évolution du progrès technologique, mesuré par la PGF⁶, le corollaire de la croissance potentielle étant « l'écart de production (*output gap*) » qui mesure la différence entre la croissance potentielle supputée et la croissance observée⁷. La pertinence de la PGF est tout à fait parlante : en l'absence de croissance illimitée des ressources humaines, dont le réservoir national et transfrontalier pourrait s'assécher pour des raisons démographiques, le surplus de croissance pourrait provenir d'une plus forte contribution du *stock de capital* - par des investissements directs étrangers, par exemple - et du *progrès technologique*, mesuré par la PGF.

Troisièmement, la PGF détermine la productivité du travail. En effet, la variation de la productivité du travail peut se décomposer en deux éléments : d'une part, la croissance de l'intensité capitalistique (équipement par travailleur employé) pondérée par le revenu du capital

² Henri Grethen « La nouvelle économie luxembourgeoise », discours prononcé par le Ministre de l'Economie le 11 novembre 2000 à Echternach, <http://www.eco.public.lu/actualites/index.html>

³ La PGF est encore appelée productivité totale des facteurs (PTF) ou productivité multifactorielle (PMF).

⁴ La Commission européenne a consacré plusieurs études sur les liens entre la PGF et les NTIC ainsi que la R&D: European Commission « *The EU Economy : Review* » des années 2000, 2002, 2002 et 2003, Bruxelles 2000, 2001, 2002 et 2003

⁵ En adoptant une fonction de production de type Cobb-Douglas à rendements d'échelle constants en concurrence parfaite, conditions rappelées dans la présente étude du CREA

⁶ L'étude du BIT sur le financement des pensions suppose implicitement une croissance de la PGF de 2%, car à long terme, dans un modèle de type Cobb-Douglas, il y a égalité entre la variation de la productivité du travail et de la PGF.

⁷ Guarda, P. (2002) "*Potential Output and the Output Gap in Luxembourg: some alternative methods*," Banque centrale du Luxembourg, Cahier d'Etude no. 4 et ADAM F. « *La croissance potentielle* », Note de Conjoncture du Statec 2/2003

dans la production et, d'autre part, la croissance de la PGF. Cette décomposition permet d'éclairer la structure du coût salarial unitaire réel (qui est mesuré par le coût salarial divisé par la productivité du travail), souvent utilisé comme indicateur de la compétitivité coût d'une économie. De plus, la PGF figure comme élément d'explication de l'évolution des exportations, comme le montre une étude complémentaire⁸.

Quatrièmement, la PGF est un élément de la compétitivité à part entière : la réduction du coût de production, sans que le coût du capital ou du travail ne se modifient, permet de produire le même niveau de biens et de services à moindre frais.

En conclusion, la PGF constitue un indicateur très intéressant pour appréhender l'évolution du progrès technologique et la compétitivité dont il importe d'explorer les déterminants en vue de livrer un point d'appui quantifié à la politique économique structurelle.

2. Quelques résultats saillants

Il y a trois résultats au moins qui attirent l'attention et méritent réflexion.

A. Importance de la Productivité globale des facteurs

L'étude montre l'importance de la PGF et sa contribution à la croissance de l'ensemble des branches. Ainsi la PGF compte pour plus du tiers de la croissance économique, plus que la croissance de chacun des deux facteurs de production, à savoir le travail et le capital. En effet, au cours de la période 1991-1999, la croissance de la PGF compte pour 39%, le travail pour 31% et le capital pour 28%.

La PGF, pendant la même période, est même plus importante dans les branches de l'industrie manufacturière, elle s'élève à 96% alors que la contribution du travail est régressive (- 8%) et celle du stock de capital est positive, mais limitée (+ 12%).

B. Accélération de la Productivité globale des facteurs et la nouvelle économie

Contrairement, au constat établi par l'OCDE, lorsque l'ensemble des branches sont incluses dans l'analyse – y compris les services financiers – la PGF a fortement augmenté à partir de la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix⁹.

Cependant, il est vrai que l'évolution de la PGF s'est ralentie sur la décennie 91-99 en comparaison avec la décennie précédente 81-90, passant de 2.5% à 1.5%.

Cependant, une analyse plus fine montre que durant la période de décollage de la diffusion d'Internet, au cours de la période 1994-1999, la PGF a notablement augmenté dans 12 branches : elle est très nette dans les services financiers, transports et communications, construction, commerce, produits en caoutchouc ou en plastique, produits de la métallurgie et du travail des métaux,...

⁸ Statec et Crea « Performances à l'exportation et productivité globale des facteurs » dans *Compétitivité de l'économie luxembourgeoise. Rapport 2001*, Bourgain, Pieretti, et Schuller (éd.), Cahier du CREA-Cunlux-Statec n° 93-02

⁹ Ces chiffres sont corroborés par une étude du HM Treasury, « *Productivity in the EU, 1979-99* », février 2002

C. Impact de la R&D sur la Productivité globale des facteurs dans l'industrie

L'étude du CREA met en évidence les deux fonctions assignées à la R&D dans les entreprises : d'une part, l'apprentissage, l'absorption des connaissances et des informations technologiques circulant à l'extérieur de l'entreprise et, d'autre part, la production de nouvelles connaissances donnant lieu à des améliorations de produits et de processus, des inventions et des innovations.

Dans le cas du Luxembourg, l'essentiel du stock de connaissance accessible se trouve au-delà des frontières. L'étude montre que l'accès au stock de technologie constitué à l'étranger, par les effets de transbordements, a un effet très significatif : une augmentation du stock de R&D étrangère augmente la PGF dans l'industrie d'environ 5%. En revanche, une augmentation de 10% du stock de technologie national n'élève la PGF que d'un peu plus d'un demi-point de pourcentage.

Un autre résultat intéressant, qui vient compléter le résultat précédent, est l'effet de levier des investissements en R&D des entreprises résidentes : en effet, plus les entreprises font des efforts de R&D, plus l'absorption des technologies nouvelles réalisées à l'étranger sera importante.

Les résultats suggèrent aussi que c'est la recherche privée, l'investissement réalisé par les entreprises, qui favorise la progression de la PGF. D'autres travaux devront venir vérifier ce point essentiel qui fait encore débat dans la littérature spécialisée.

3. Quelques leçons pour la politique économique structurelle

La notion d'externalités technologiques mise en évidence par l'étude est à la base d'un mécanisme vertueux de la croissance endogène. Pour stimuler l'émergence et la diffusion d'externalités (« *spill overs* »), les transferts formels et informels d'informations, de connaissances et de compétences technologiques favorisent la PGF et donc la croissance économique.

Les politiques publiques structurelles, comme la politique de recherche et d'innovation peut apporter une contribution décisive, citons à titre d'exemple :

- les aides publiques issues de la loi cadre de diversification économique,
- les programmes de soutien et de promotion de l'innovation mis en œuvre par Luxinnovation,
- l'initiative « CLUSTER », visant au « grappage » de technologies connexes entre entreprises d'une même branche ou appartenant à des branches différentes,
- les interactions entre les Centres de recherche publics (CRP), les laboratoires, les établissements d'éducation et de formation et les entreprises privées,
- la participation aux réseaux de recherche européens, les grappes technologiques,
- l'encouragement de la propriété intellectuelle et de la veille technologique.

Ce ne sont là que quelques-unes des mesures¹⁰ en faveur du transfert de technologie et, plus généralement, de la circulation des informations scientifiques et techniques qui irriguent le processus de croissance endogène. L'analyse économétrique suggère que ces politiques, en particulier les aides à l'innovation et les crédits SNCI ont un effet positif et statistiquement significatif sur la progression de la PGF. L'étude montre aussi le rôle *prédominant* de l'accès aux technologies développées à l'étranger et l'importance des *interactions* entre les efforts de recherche domestique et l'accession au stock de connaissances constituées dans l'environnement international des entreprises locales.

4. Quelques prolongements possibles

Toute étude présente des limites méthodologiques, qui doivent être gardées à l'esprit et qui appellent à la prudence lors de la formulation de recommandations de politique économique. Les leçons que peut en tirer le décideur public dépendent des contingences de l'étude : la disponibilité et la qualité des données, l'approche méthodologique et l'interprétation des résultats.

L'étude du CREA a pris soin de préciser soigneusement le champ de validité des résultats, d'explicitier les références théoriques et de formuler clairement les hypothèses posées. Il va de soi que pour mener une politique économique solidement argumentée ou pour en évaluer les effets *ex post*, il faut pouvoir s'appuyer sur un cadre conceptuel rigoureux et des résultats empiriques robustes.

Les données disponibles, lorsqu'elles existent, sont souvent assez frustes et de qualité inégale. Il faut donc insister lourdement sur la problématique des données. A titre d'illustration, il faut savoir que ce n'est qu'en 1993, dans le cadre communautaire, qu'une enquête sur les dépenses de R&D et l'innovation dans les entreprises a été lancée au Luxembourg. Les chercheurs du CREA ont donc du déployer des trésors de créativité pour constituer des séries sur le stock de R&D des entreprises. Par ailleurs, les séries sur le stock de capital sont encore récentes et peu explorées et nous ne disposons hélas pas encore de séries longues sur le stock de capital humain par catégories de qualification. Une autre limite est que l'étude économétrique, en raison du manque de données sur les services, se focalise sur l'industrie dont le poids dans l'économie a fortement diminué au cours des années. Il faut donc résolument s'attaquer aux branches de services dont la PGF est décisive. Le lecteur averti aura compris que l'étude doit être prise avec les précautions d'usage.

Deux pistes pour des prolongements de l'étude sont envisageables : au niveau de la branche et au niveau des entreprises individuelles. Bien que des données chronologiques sur les plus importants déterminants soient absentes, comme les dépenses de R&D par branche ou par entreprise, il est toutefois possible d'approfondir l'analyse des déterminants de la PGF au niveau de certaines branches ou au niveau des entreprises en exploitant la dimension transversale de certaines enquêtes récentes Eurostat/Statec comme celles sur l'innovation, les technologies de l'information et de la communication ou de la formation continue. Une série de travaux très récents de l'OCDE¹¹ montre que cette approche est très féconde.

¹⁰ Pour plus détails, voir Ministère de l'Economie, Rapports annuels, sur <http://www.eco.public.lu>

¹¹ OCDE « *Productivité et dynamique des entreprises : leçons à tirer des micro-données* », Perspectives économiques de l'OCDE, volume 2001/1, No 69, juin, chapitre 7. Voir aussi l'étude de S. ALLEGREZZA sur les micro-données EDEL du CEPS/Instead « *La diversification économique entre productivité du travail et diffusion de la technologie* », document de travail, Ministère de l'Economie, juin 1998, publié dans *Letzebuurger Land*

Analyses théoriques et empiriques des déterminants de la productivité globale des facteurs- Une application au Grand-Duché de Luxembourg

Décembre 2003

par

Olivier Cardi
Chargé de Recherche (CREA)¹

Etude réalisée pour le compte du Ministère de l'Economie
Projet POLECO : « Développement d'indicateurs macroéconomiques à l'usage
de la politique économique »

(projet 01/06/2001- 31/5/2002, mise à jour 12/2003)

Sous la direction de :

Patrice Pieretti, Professeur à l'Université du Luxembourg, CREA

Serge Allegrezza, Directeur du STATEC, Cellule d'Etudes et de Prévisions
(CEPE), Ministère de l'Economie

Alexandra Guarda-Rauchs, Attachée de Gouvernement 1^{ère} en rang, CEPE,
Ministère de l'Economie

¹ Cellule de Recherche en Economie Appliquée (CREA)
162a, avenue de la faïencerie
L-1511 Luxembourg
Email : Cardi@cu.lu

Table des matières

1	La productivité globale des facteurs et les théories de la croissance	18
1.1	Introduction	18
1.2	La productivité globale des facteurs comme indicateur macroéconomique . . .	19
1.2.1	La fonction de production	19
1.2.2	La PGF comme indicateur de compétitivité	20
1.2.3	La PGF comme mesure du progrès technique	21
1.2.4	La PGF comme indicateur indispensable à la formulation de la politique économique	22
1.3	Croissance et progrès technique : le modèle de Solow-Swan	23
1.3.1	Cadre macroéconomique du modèle de Solow	24
1.3.2	Dynamique de la croissance dans le modèle de Solow en l'absence de progrès technique	26
1.3.3	Le sentier de croissance équilibrée	28
1.3.3.1	Le sentier de croissance équilibrée en l'absence de progrès technique	28
1.3.3.2	Le sentier de croissance équilibrée en présence de progrès technique	29
1.3.4	Taux d'investissement et taux de croissance en présence de progrès technique	30
1.3.5	Conclusions et limites du modèle	33
1.4	La productivité globale des facteurs et les nouvelles théories de la croissance .	33
1.4.1	Connaissances, capital humain et croissance endogène	33

1.4.1.1	Les apports des nouvelles théories de la croissance	33
1.4.1.2	Une introduction aux nouvelles théories de la croissance . . .	35
1.4.1.2.1	L'investissement en recherche-développement (R-D) : ses effets interne et externe.	35
1.4.1.2.2	Croissance et externalités : le modèle de Romer [1986]	36
1.4.1.3	L'apprentissage par l'expérience ("learning by doing") : le modèle de Arrow [1962]	38
1.4.1.3.1	Le modèle	38
1.4.1.3.2	La conclusion du modèle	39
1.4.1.4	Capital humain et rendements d'échelle : le modèle de Lucas [1988]	39
1.4.1.4.1	Le modèle	39
1.4.1.4.2	Les résultats du modèle	40
1.4.2	Recherche-Développement et production de connaissances : le modèle de Romer [1990]	41
1.4.2.1	Le secteur de production du bien final	41
1.4.2.2	Le secteur de production de biens intermédiaires	42
1.4.2.3	Le secteur de la recherche	42
1.4.2.4	La résolution du modèle et ses enseignements	43
1.4.3	L'ouverture internationale	44
1.4.3.1	Les investissements directs étrangers	44
1.4.3.2	Le modèle de Romer en économie ouverte	45
1.4.3.3	Le commerce international	46
1.5	La productivité globale des facteurs et les technologies de l'information et de la communication	47
1.5.1	Définitions et débat	47
1.5.2	Le paradoxe de la productivité des investissements en technologies de l'information et de la communication	47
1.5.3	Impact des technologies de l'information et de la communication sur la PGF américaine	48

1.5.4	Les implications des technologies de l'information et de la communication	49
1.5.5	L'enjeu des technologies de l'information et la communication en termes de gains de productivité globale	49
1.5.5.1	Les importations de biens capitaux incorporant une technologie avancée	49
1.5.5.2	L'enjeu des technologies de l'information et de la communication	50
1.6	Les déterminants possibles de la PGF luxembourgeoise	51
1.6.1	Les externalités liées à l'ouverture internationale	51
1.6.2	Les externalités liées aux effets de complémentarité	53
1.6.3	L'allocation optimale des ressources	54
1.7	Conclusion	54
2	Décomposition sectorielle et déterminants de la productivité globale des facteurs	55
2.1	Introduction	55
2.2	L'évolution de la productivité globale des facteurs sur la période 1970-1999 : une approche en termes de comptabilisation de la croissance	57
2.2.1	Méthode	57
2.2.2	Résultats	58
2.2.3	Evolution de la productivité du travail : accroissement de l'intensité capitaliste ou progrès technique ?	62
2.3	La décomposition sectorielle de la productivité globale des facteurs	64
2.3.1	Une approche en termes de réduction de coût	64
2.3.1.1	Objectif	64
2.3.1.2	Méthode adoptée	64
2.3.2	Résultats	65
2.3.3	Remarques	67
2.4	Les arguments théoriques sous-jacents aux déterminants de la croissance économique	68
2.4.1	Les aspects théoriques	68
2.4.1.1	La connaissance comme un bien public	68

2.4.1.2	Les concepts d'externalité, rendement privé, rendement social	71
2.4.2	Exportations de biens ou degré d'ouverture internationale	71
2.4.3	Recherche-développement internationale	72
2.4.3.1	Les canaux de transmission de la R-D internationale	72
2.4.3.2	Evolution des stocks de capital en R-D des partenaires commerciaux du Luxembourg	73
2.4.4	Recherche-développement domestique	74
2.4.4.1	La R-D domestique et l'innovation	74
2.4.4.2	La R-D domestique et la capacité d'absorption	74
2.4.4.3	Justification du choix de la variable	77
2.4.5	Politique de modernisation	78
2.4.5.1	Eléments de la politique économique	78
2.4.5.2	Les crédits à l'équipement	79
2.4.6	Politique de diversification	80
2.4.6.1	Mutation structurelle de l'industrie luxembourgeoise	80
2.4.6.2	Une mesure de la diversification : le nombre d'entreprises nouvelles	80
2.5	La productivité globale des facteurs : l'impact de la recherche-développement	82
2.5.1	Objectif	82
2.5.2	Les mécanismes de transmission des activités domestique et étrangère en recherche-développement	83
2.5.3	Méthode adoptée	83
2.5.4	Les données	85
2.5.4.1	La variable expliquée	85
2.5.4.2	Les variables explicatives	86
2.5.5	Résultats des estimations	86
2.6	L'impact des politiques économiques sur la productivité globale des facteurs .	89
2.6.1	Objectif	89

2.6.2	Les mécanismes de transmission des politiques de modernisation et de diversification	89
2.6.3	Méthode adoptée	91
2.6.4	Les données	91
2.6.4.1	La variable expliquée	91
2.6.4.2	Les variables explicatives sur la période 1975-1999	91
2.6.5	Résultats des estimations	92
2.7	Conclusion	94
A	L'évaluation de la productivité globale des facteurs : analyse aux niveaux agrégés et sectoriels	95
A.1	La méthode de comptabilisation de la croissance	95
A.2	La méthode de comptabilisation de la croissance par l'approche primale . . .	96
A.3	Variations de la PGF, de la productivité du travail, et de l'intensité capitaliste	97
A.4	Annexe Tableaux : décomposition sectorielle	101
A.4.1	La méthode	101
A.4.2	Représentation graphique	101
A.5	Annexe Figures : décomposition sectorielle	108
B	Analyse empirique des déterminants de la productivité globale des facteurs : données et méthode	114
B.1	Stocks de capital domestiques et étranger en RD	114
B.2	Evaluation des stocks de capital étranger et domestique en R-D	115
B.2.1	Stock de capital étranger en R-D	115
B.2.2	Stock de capital domestique en R-D	116
B.3	La justification du choix d'un modèle à correction d'erreurs	117
B.4	Spécification du modèle économétrique	118
B.4.1	Spécification d'un modèle économétrique et impact de l'activité de R-D sur la productivité globale des facteurs	118

B.4.2	Spécification d'un modèle économétrique et impact des politiques économiques sur la productivité globale des facteurs	119
B.5	Co-intégration	120
B.5.1	Détermination de l'ordre d'intégration	120
B.5.2	La procédure d'estimation	121

Liste des tableaux

1.1	Décomposition des gains de PGF	48
1.2	Evolution du montant des importations de services informatiques et d'information sur la période 1995-2000 (en taux de croissance).	50
2.1	Croissance annuelle moyenne de la VA globale (industrie, construction et services marchands) et de ses composantes au cours des trois périodes successives 1970-1980, 1981-1990, 1991-1999	59
2.2	Croissance annuelle moyenne de la VA de l'Industrie et de ses composantes au cours des trois périodes successives 1970-1980, 1981-1990, 1991-1999 (en %) .	62
2.3	Taux de croissance de la productivité du travail et de ses composantes au Luxembourg, 1976-1999 (en %).	62
2.4	Résultats de la décomposition sectorielle pour les périodes 1982-1987, 1988-1993, et 1994-1999	66
2.5	Fraction de la réduction réelle de coût réalisée par les branches enregistrant une croissance de la PGF par rapport à la réduction globale de coût.	68
2.6	Evolution des Stocks de capital domestiques en R-D et du stock de capital étranger en R-D	73
2.7	Parts des importations moyennes du Luxembourg sur la période 1971-1999 par pays de provenance	74
2.8	Impact de la R-D domestique, de la R-D internationale, et des exportations sur la croissance de la PGF des branches industrielles luxembourgeoises . . .	87
2.9	Impact des politiques de diversification et de modernisation sur la croissance de la PGF des branches industrielles luxembourgeoises	93
A.1	Variation de la PGF par branches au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99	98

A.2	Variation de la productivité du travail au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99	99
A.3	Variation de l'intensité capitaliste au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99	100
A.4	Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1970-1975	103
A.5	Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1976-1981	104
A.6	Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1982-1987	105
A.7	Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1988-1993	106
A.8	Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1994-1999	107
B.1	Stocks de capital domestiques en R-D des partenaires commerciaux du Luxem- bourg et stock de capital étranger en R-D (Millions Euros, 1995=100)	115
B.2	Résultats des tests de cointégration (test ADF)	122

Table des figures

1.1	Progrès technique neutre au sens de Hicks à production constante	21
1.2	Cadre macro-économique du modèle de Solow	25
1.3	Mécanisme de la croissance dans le modèle de Solow en présence de progrès technique	27
1.4	Investissement, amortissement, croissance démographique, et état-stationnaire	29
1.5	Croissance et politique d'investissement	31
1.6	Impact d'une hausse du taux d'investissement en présence de progrès technique	31
1.7	Durée de la convergence vers le nouvel état-stationnaire	32
1.8	Les nouvelles théories de la croissance : accumulation de capital physique, de capital humain et de connaissances	35
1.9	Impact d'une hausse du taux d'investissement sur le taux de croissance de la production par travailleur dans le modèle de Romer [1986]	38
2.1	Evolution de la productivité globale des facteurs du secteur marchand luxembourgeois (1970-1999)	60
2.2	Evolution de la productivité globale des facteurs de l'Industrie au Luxembourg (1970-1999)	61
2.3	Evolution de la productivité du travail et de la productivité globale des facteurs au Luxembourg (1970-1999)	63
2.4	Effet direct et effet indirect induit par l'activité de Recherche-Développement.	70
2.5	Evolution des stocks de capital en R-D des principaux partenaires commerciaux du Luxembourg et du stock de capital étranger en R-D (noté SRDF) (1971-1999)	75
2.6	Evolution des parts des importations du Luxembourg par pays de provenance (1971-1999)	76

2.7	Indicateur $(1 - H)$ de diversification de l'industrie luxembourgeoise (1970-1999)	81
2.8	Impact des activités domestique et étrangère sur la PGF de l'industrie	84
2.9	Impact des politiques de modernisation et de diversification sur la PGF de l'industrie	90
A.1	Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1970-1975	109
A.2	Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1976-1981	110
A.3	Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1982-1987	111
A.4	Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1988-1993	112
A.5	Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1994-1999	113

Résumé

L'objet de cette étude est de dégager les facteurs susceptibles d'influencer les gains de productivité globale au sein des branches industrielles luxembourgeoises à partir de séries temporelles. La croissance de la productivité globale des facteurs (ou gains de productivité globale) constitue la fraction de la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production (travail et capital). La décomposition de la croissance de la valeur ajoutée fait apparaître une forte contribution de la croissance de la productivité globale des facteurs (PGF). Sur la période 1970-1999, cette contribution s'élève en moyenne à 50% pour le secteur marchand luxembourgeois.

Notre travail propose de répondre à deux questions concernant le Luxembourg : quelles sont les branches qui contribuent à l'augmentation de la productivité globale des facteurs (PGF) de l'ensemble de l'économie luxembourgeoise ? Quels sont les facteurs à l'origine des gains de productivité enregistrés par les branches industrielles ? Par ailleurs, ce document s'inscrit plus largement dans le cadre d'une recherche des déterminants de la productivité globale des facteurs d'une petite économie très ouverte sur l'extérieur, et apparaît comme complémentaire des travaux théoriques et empiriques cherchant à évaluer l'impact de certaines grandeurs macroéconomiques, liées aux activités tant domestique qu'étrangère, sur la croissance d'un pays.

En adoptant la méthode de Harberger [36], nous faisons apparaître les **origines sectorielles des gains de productivité globale** réalisés par le secteur marchand. La décomposition de la croissance de la productivité globale est réalisée en tenant compte de la part de chaque branche dans la valeur ajoutée totale (ou du secteur marchand) et de sa capacité à réaliser des gains de productivité globale.

L'étude empirique a été réalisée de manière à proposer une explication de gains de productivité globale et à détecter la présence d'*effets externes* (ou *externalités*) induits par les activités domestique et étrangère en recherche-développement. Les **résultats empiriques** confirment l'**importance de la diffusion de la technologie étrangère** dans le tissu industriel luxembourgeois sur la période 1971-1999. Ils font apparaître le rôle non négligeable des dépenses en recherche-développement entreprises par les branches industrielles luxembourgeoises sur la période 1981-1999. Par ailleurs, en facilitant la *capacité d'absorption* des innovations étrangères, les **efforts domestiques en recherche-développement** élèvent l'effet de la diffusion de la connaissance étrangère sur la croissance de la productivité globale des facteurs de l'*Industrie*. Une **ouverture plus grande** aux marchés internationaux, contraignant notamment les secteurs exportateurs à réaliser des gains de productivité, a un

impact positif (à court terme) sur la croissance de la productivité globale des facteurs. Enfin, à l'aide d'un certain nombre de variables pouvant refléter certaines mesures prises par les gouvernements successifs, nous mettons en évidence l'impact positif des **politiques de diversification et de modernisation** sur les gains de productivité globale de l'*Industrie* au cours de la période 1975-1999.

Remerciements

Le projet de recherche **POLECO** a bénéficié du soutien financier du ministère de l'Economie (Luxembourg).

Nous remercions Serge Allegrezza et Alexandra Guarda-Rauchs de leurs commentaires et encouragements. Merci à l'équipe de recherche de la CREA (Université du Luxembourg), notamment à Arnaud Bourgain qui a accepté avec gentillesse et compétence de relire les ébauches successives, et à Alex Durand pour son aide en économétrie. Merci enfin à tous ceux, et notamment aux participants des séminaires au cours desquels des versions préliminaires de cette étude ont été présentées. Leurs critiques et remarques ont contribué à rendre la version finale plus claire et plus précise.

Nous adressons également nos remerciements à Alain Depluvrez de la cellule CREDI (CRP-GL) qui est intervenu à plusieurs reprises pour nous faire bénéficier de ses compétences informatiques.

Avant-Propos

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet **POLECO**. Ce projet vise à fournir des travaux d'expertise à l'usage de la politique économique. Les recherches ont consisté à évaluer la productivité globale des facteurs, et à analyser la pertinence des nouvelles théories de la croissance pour une petite économie très ouverte telle que le Luxembourg. Le projet de recherche a donné lieu à trois documents de travail. Chacun d'entre eux a fait l'objet d'une communication lors de deux séminaires au ministère de l'Economie et lors d'une Journée d'Etude à l'Université du Luxembourg.

Le document que nous présentons est composé de trois chapitres et de deux annexes. Le premier chapitre présente les fondements théoriques de la productivité globale des facteurs (PGF) et propose un certain nombre de déterminants possibles de la PGF luxembourgeoise, dont les fondements découlent de la théorie de la croissance endogène. Le deuxième chapitre a pour objet de tester une partie des suggestions proposées dans le chapitre précédent. Ce chapitre est accompagné de deux annexes présentant un développement de certains éléments théoriques et empiriques. Faute de données, certaines voies envisagées dans le premier chapitre n'ont pu donner lieu à une application empirique. Enfin, au vu des résultats obtenus, la postface met l'accent sur les éléments essentiels de l'étude et suggère certaines voies possibles en matière de politique économique.

Introduction

Le calcul des taux de croissance annuels moyens, du Luxembourg et des pays voisins, fait apparaître un ralentissement de la croissance de la valeur ajoutée (exprimée à prix constants 1995) du secteur marchand (y compris énergie et construction) entre deux périodes successives, 1970-1990 et 1990-2000. La majeure partie des partenaires commerciaux du Luxembourg ont enregistré un ralentissement assez marqué, notamment l'Italie, la France, la Belgique et l'Allemagne. Bien que la valeur ajoutée du secteur marchand luxembourgeois se soit accrue en moyenne de 4% sur la période 1990-2000 contre 4,7% au cours de la période 1970-1990, son taux de croissance demeure largement supérieur à celui des pays voisins. En outre, sur la période 1970-2000, la productivité du travail (égale à la valeur ajoutée à prix constants rapportée au nombre de travailleurs) du secteur marchand luxembourgeois s'est accrue annuellement au rythme de 2.1%. Par conséquent, la valeur ajoutée par travailleur a presque doublé en 31 ans (elle s'est élevée de 91%).

Ces faits stylisés soulignent la pertinence d'une étude s'intéressant aux sources de la croissance économique du Luxembourg. La décomposition de la croissance de la valeur ajoutée du secteur marchand luxembourgeois réalisée à l'aide de la méthode dite de *comptabilisation de la croissance* permet de mettre en évidence la très forte contribution de la croissance de la productivité globale des facteurs (PGF). Cette contribution se situe entre 40% et 60% suivant la période considérée. Par conséquent, la croissance de la PGF, supposée refléter les améliorations de technologie opérées par les branches marchandes luxembourgeoises (hors agriculture), constitue l'un des déterminants principaux de la croissance de long terme. Cependant, la méthode de *comptabilisation de la croissance* consistant à déterminer la contribution de chacun des trois facteurs (travail, capital, et technologie) à la croissance de la valeur ajoutée, ne permet pas d'expliquer pourquoi nous assistons à des gains de productivité globale (ou croissance de la PGF). En d'autres termes, puisque la croissance de la PGF constitue la composante de la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production, nous nous sommes intéressés aux sources d'une telle croissance.

Le **chapitre 1** présente la théorie traditionnelle et les nouvelles théories de la croissance, et précise dans quelle mesure ces deux approches divergent. Dans ces deux Ecoles de pensée, l'investissement pouvant englober les achats de biens matériels, les dépenses en capital humain, les efforts de recherche-développement, est considéré comme la source principale de la croissance économique. Cependant, le modèle néoclassique met l'accent sur les **rendements internes** découlant des nouveaux investissements. En revanche, les modèles issus de la nouvelle théorie de la croissance s'appuient sur l'existence d'*externalités* (ou effets externes) consistant en des retombées de gains de productivité entre les secteurs ou entre les pays.

Cette distinction (entre rendements interne et externe) a donné lieu à des débats concernant le rôle des politiques économiques, et de leur impact sur le niveau de vie à long terme.

Le modèle de croissance néoclassique n'apportant pas de réponse satisfaisante en termes d'explication du progrès technique, nous nous sommes inspirés des nouvelles théories de la croissance. Ces dernières mettent l'accent sur les sources des améliorations de la technologie. Dans ce cadre, la présence d'*externalités* liées à l'investissement en capital physique (cf Romer [59]) ou en capital humain (cf Lucas [46]) peut contre-balancer le caractère décroissant de la productivité marginale des facteurs de production. Par ailleurs, un des apports des nouvelles théories de la croissance consiste à expliquer l'accumulation de facteurs tels que le capital humain ou les connaissances par des choix (comportement *optimisateur* des individus). Un dernier type d'investissement a retenu notre attention en raison de son actualité : l'investissement en matériel de haute technologie, en particulier le matériel informatique. Son essor semble n'avoir eu que peu d'impact sur la croissance de la productivité globale des facteurs, notamment aux Etats-Unis. De nombreux travaux de recherche (cf Stiroh [71], pp. 28-32) ont proposé des explications de ce phénomène appelé *paradoxe de la productivité*. Nous présentons cette controverse et l'enjeu des nouvelles technologies en termes de gains de productivité en passant en revue les travaux de recherche pertinents. Faute de données ayant trait aux nouvelles technologies, nous ne proposons pas d'application empirique pour le Luxembourg. Néanmoins, ce tour d'horizon des travaux récents suggère des pistes de intéressantes pour des recherches ultérieures appliquées au Luxembourg.

Les nouvelles théories de la croissance dont nous présentons les résultats principaux permettent d'établir les conditions d'une croissance soutenue et d'introduire le concept d'*externalité* qui n'apparaît pas dans le modèle de croissance néoclassique. En nous appuyant sur les explications du progrès technique proposées par la théorie de la croissance endogène, nous suggérons des déterminants possibles de la productivité globale des facteurs de l'économie luxembourgeoise en tenant compte de ses caractéristiques propres.

Le **chapitre 2** propose une évaluation de la productivité globale des facteurs du secteur marchand luxembourgeois. Nous réalisons ce calcul à un niveau agrégé en adoptant le cadre néoclassique traditionnel (*méthode de comptabilisation de la croissance*). L'analyse est poursuivie à un niveau désagrégé. Elle rend compte des origines sectorielles de la croissance de la productivité globale des facteurs du secteur marchand. Cette approche fait apparaître la contribution de chaque branche aux gains de productivité globale du secteur marchand en tenant compte de leur capacité à réaliser des gains de productivité globale et de leur part dans la valeur ajoutée globale (ou du secteur marchand).

Bien que la théorie néoclassique offre un cadre approprié pour évaluer la contribution de la croissance de la PGF à la croissance de la valeur ajoutée, le progrès technique (ou *résidu de Solow*) demeure une grandeur inexpliquée. En revanche, la théorie de la croissance endogène fournit une base conceptuelle permettant d'expliquer la (les) source(s) des gains de productivité réalisés en particulier par les branches industrielles luxembourgeoises. En nous inspirant des travaux de Romer [60] et Coe et Helpman [17], nous examinons l'impact des activités domestique et étrangère en recherche-développement sur l'évolution de la productivité globale des facteurs des branches industrielles luxembourgeoises. Enfin, dans la ligne des travaux de Romer [59], Matsuyama [49], et Bourgain et Pieretti [11], nous proposons une spécification

économétrique qui permet de détecter la présence d'*externalités* suite à la mise en place de politiques économiques visant à diversifier le tissu industriel et à encourager l'investissement.

Chapitre 1

La productivité globale des facteurs et les théories de la croissance

1.1 Introduction

Selon la **théorie de la croissance néoclassique** (cf Solow [68] et Swan [72]), l'investissement est une source importante de la productivité et de la croissance économique. D'une part, en mettant à la disposition des travailleurs davantage de capital, un accroissement de l'intensité capitaliste élève la productivité du travail. D'autre part, l'investissement en biens d'équipement contribue à accroître la production. La théorie de la croissance néoclassique a donné naissance à un cadre d'analyse qui permet d'appréhender les mécanismes de la croissance économique. Dans ce cadre conceptuel, l'investissement en biens matériels constitue le *moteur* de la croissance. Des contributions plus récentes ont élargi le cadre néoclassique traditionnel en introduisant l'investissement en capital humain (cf Mankiw, Romer, et Weil [48]). Bien que les modèles néoclassiques *élargis* permettent d'expliquer une grande part de la variation du revenu par tête, une part de la croissance ne pouvant être attribuée à l'accumulation des facteurs de production (travail, capital physique, capital humain, dépenses en recherche développement, ...) demeure inexpliquée (cf Stiroh [71], p. 2 et p. 16).

Les **nouvelles théories de la croissance** élargissent le cadre conceptuel proposé par la théorie de la croissance néoclassique. Elles présentent les déterminants de la croissance de long terme en mettant l'accent sur les *externalités* induites par l'accumulation de facteurs tels que le capital au sens large (capital physique et capital en recherche-développement) (cf Romer [59]), le capital humain (cf Lucas [46]), le stock d'infrastructures publiques (cf Barro et Sala-i-Martin [6]), ou le stock de capital étranger en recherche-développement (cf Coe et Helpman [17]). Deux éléments distinguent les nouvelles théories de la croissance du cadre conceptuel de Solow. En premier lieu, les agents économiques font des choix (comportement d'*optimisateur*) relatifs à l'accumulation du capital humain ou de connaissances : elles endogénéisent la productivité globale des facteurs. En second lieu, elles introduisent le concept d'*externalité* ou la possibilité de rendements non décroissants.

L'objet de ce chapitre consiste à présenter les **fondements théoriques de la productivité globale des facteurs (PGF)** et à établir une analyse de cet indicateur pour le Luxembourg. A cette fin, nous présentons les déterminants susceptibles d'influencer l'évolution de la PGF (au Luxembourg) en nous fondant notamment sur les nouvelles théories de la croissance et les caractéristiques propres au Luxembourg. En outre, nous suggérons plusieurs perspectives pour des recherches ultérieures pouvant être appliquées à l'économie luxembourgeoise.

Dans un premier temps, il convient de préciser le concept de productivité globale des facteurs. Diverses interprétations de la PGF peuvent être proposées : en termes de compétitivité ou en termes de progrès technique. Son rôle crucial dans la croissance d'une économie donnée en fait un élément indispensable à la formulation de la politique économique. Dans un deuxième temps, nous faisons apparaître le mécanisme de croissance à l'aide du cadre conceptuel du modèle de Solow. A la dynamique de croissance induite par l'accumulation d'un bien matériel dont le rendement marginal s'épuise succède l'équilibre de long terme. L'économie tend alors vers l'état-stationnaire et le taux de croissance du produit par tête est égal à une variable exogène (inexpliquée) : le taux de croissance du progrès technique. Dans le modèle de croissance de croissance néoclassique, il ne peut y avoir de croissance de long terme que par la présence d'un facteur non expliqué. Les nouvelles approches ont en commun de mettre l'accent sur le rôle du progrès technique et sur sa détermination. En raison de la pertinence de ces travaux dans le cadre de notre étude, nous présentons les modèles fondamentaux et leurs principaux résultats. La croissance soutenue est rendue possible par la présence d'*effets externes* ou de rendements marginaux non décroissants dans l'accumulation de facteurs spécifiques (connaissances, capital humain, ...). Dans un quatrième temps, nous nous intéressons à une question d'actualité à la lumière des travaux de recherche de divers auteurs : l'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) sur la productivité globale des facteurs. Les travaux empiriques récents apportent un éclairage intéressant sur l'enjeu des nouvelles technologies de l'information et de la communication en termes de gains de productivité. Enfin, l'étude propose divers déterminants possibles de l'évolution de la productivité globale des facteurs au Luxembourg, en présentant les mécanismes de transmission possibles des *externalités*. Ces suggestions s'appuient sur les caractéristiques propres à une petite économie ouverte et sur les enseignements des nouvelles théories de la croissance.

1.2 La productivité globale des facteurs comme indicateur macroéconomique

1.2.1 La fonction de production

On distingue généralement deux facteurs pouvant influencer la production de biens et services de toute économie donnée :

- i la **quantité de facteurs de production** dont l'économie dispose et sa **capacité à combiner ces facteurs de production** dans le cadre d'une fonction de production ;
- ii le **niveau de technologie**.

Les facteurs de production traditionnels sont le travail noté L et le capital physique noté K . Le capital représente tous les équipements utilisés par les travailleurs. Le travail peut être mesuré par le nombre de travailleurs (ou par le temps que les agents consacrent à travailler).

Nous pouvons exprimer la relation entre d'une part, le niveau de la production noté Y , et d'autre part, les facteurs de production (capital et travail) et le niveau de technologie noté A de l'économie, par une fonction de production s'écrivant sous la forme¹ :

$$Y = AF(K, L) \quad \text{ou} \quad A = \frac{Y}{F(K, L)}. \quad (1.1)$$

où $F(K, L)$ reflète la combinaison des facteurs capital et travail. L'expression (1.1) signifie que pour des niveaux donnés de capital et de travail, une augmentation de la productivité globale des facteurs (PGF), soit une hausse de A , se traduira par une hausse du niveau de la production. La seconde expression donne une idée plus précise du concept de PGF : elle se définit comme le niveau de produit par unité de la combinaison des inputs capital et travail. Dans ce cadre, le terme A reflète l'efficacité globale avec laquelle les facteurs de production sont transformés en produit.

1.2.2 La PGF comme indicateur de compétitivité

L'impact d'un accroissement de la productivité globale des facteurs peut être interprété de deux manières : soit en termes de hausse de la production à utilisation donnée de facteurs, soit en termes de baisse de coût à production donnée.

Sur la Figure 1.1, QQ correspond à l'isoquante² avant que le progrès technique n'ait eu lieu. Etant donnée la pente de la droite d'isocoût³ CC , soit $dK/dL = -w/r$, la combinaison optimale de travail et de capital pour produire Y est située au point E , soit le point de tangence entre l'isoquante et la droite d'isocoût⁴. Suite au progrès technique, soit $\Delta A > 0$, l'isoquante se déplace en $Q'Q'$ puisque grâce à l'avancée technologique réalisée, il est possible de produire le même niveau de production Y à l'aide d'une quantité plus faible de facteurs travail et capital. Ainsi, la courbe d'isocoût se déplace parallèlement à CC en $C'C'$. L'économie se situe au nouveau point E' où l'intensité capitaliste K/L est identique à l'intensité capitaliste en E .

En **conclusion**, le progrès de nature technique ou de type organisationnel peut être

¹La forme linéaire de la fonction de production par rapport à A est liée à l'hypothèse d'un progrès technique *neutre au sens de Hicks*. Cette spécification implique que le progrès technique élève le niveau de la production qui peut être produit avec une combinaison donnée de facteurs de production sans affecter le rapport des productivités marginales, soit $AF_L/AF_K = F_L/F_K$, où F_L représente la productivité du travail, et F_K la productivité du capital.

²Une isoquante est l'ensemble de toutes les combinaisons possibles d'inputs travail et capital qui sont justes suffisantes pour produire une quantité donnée d'output.

³Tous les points d'une droite d'isocoût correspondent au même coût C , soit $rK + wL = C$, et aux droites d'isocoût se déplaçant vers le Nord-Est sont associés des coûts de plus en plus élevés.

⁴Le point correspondant à la minimisation du coût à production donnée est caractérisé par une condition de tangence : la pente de l'isoquante doit être égale à la pente de la courbe d'isocoût, c'est-à-dire le taux de substitution technique, soit le rapport des productivités marginales $-F_L/F_K$, doit être égal au rapport des prix des facteurs, soit $-w/r$.

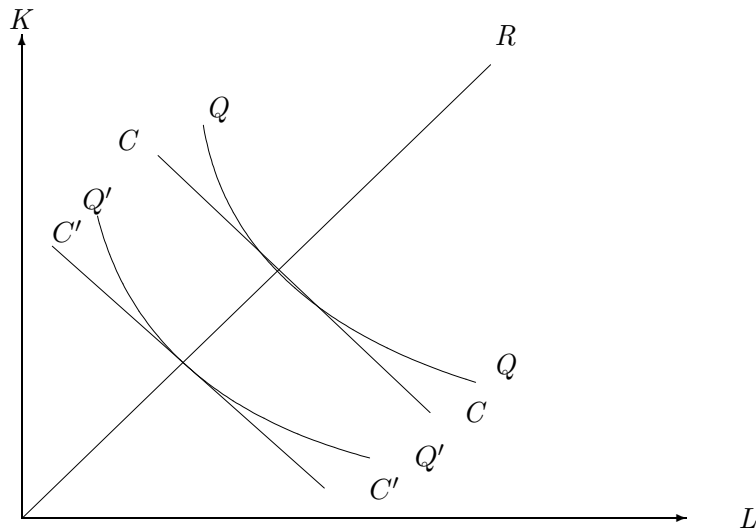


FIG. 1.1 – Progrès technique neutre au sens de Hicks à production constante

envisagé en termes de réduction de coût. La mise en place de nouveaux procédés au sein du processus de production, ou les changements d'organisation vont généralement se traduire par des gains de productivité globale. Les gains de productivité globale réalisés permettent de produire le même niveau de production mais à un coût plus faible. Dans ce cadre, la PGF va constituer un **indicateur de compétitivité**.

Par ailleurs, l'impact d'une hausse de la PGF peut être également interprété en termes d'accroissement de la production à utilisation donnée des facteurs de production, soit $K = \bar{K}$ et $L = \bar{L}$. Le niveau de la production s'élève du même montant que l'amélioration du niveau de la technologie reflétée par le terme ΔA , c'est-à-dire :

$$\Delta Y = \Delta A F(\bar{K}, \bar{L})$$

Le progrès technologique permet de produire un niveau de production plus élevé, mais à un coût identique.

1.2.3 La PGF comme mesure du progrès technique

Le progrès technique est souvent invoqué pour expliquer l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation combinée des facteurs de production (capital et travail). Comme la croissance de la PGF se définit comme la part de la croissance du produit qui n'est pas imputable à l'accumulation (quantitative) de capital physique et de travail, la croissance de la productivité globale des facteurs pourrait refléter une hausse du progrès technique. Une telle identification ne peut être réalisée que sous la vérification d'un certain nombre de conditions.

- L'évaluation de la contribution de l'investissement en capital à la croissance du produit

devrait *idéalement* consister à mesurer les flux de services du facteur capital. Ces services proviennent de nombreux biens capitaux hétérogènes, allant des *structures* ayant une longue vie aux *biens matériels* de courte durée. Lorsque le facteur capital est mesuré de manière appropriée (indices de prix des biens capitaux reflétant l'amélioration de la technologie), le taux de croissance du stock de capital physique va intégrer tant l'effet quantité que l'effet qualité. Par conséquent, la croissance de la PGF ne va pas refléter l'accroissement de la qualité des nouveaux biens capitaux. Cependant, l'exercice n'est pas aisé et nécessite au préalable l'existence de données permettant de prendre en compte l'hétérogénéité dans les biens capitaux.

- Jorgenson et Griliches [40] ont intégré de manière formelle une main d'oeuvre hétérogène dans une analyse de la croissance. A cette fin, ils pondèrent le nombre d'heures travaillées par les salaires relatifs afin de tenir compte des différences au niveau du capital humain. Comme pour la mesure du capital, cette approche tient compte de la substitution entre différents types de main d'oeuvre.

En conclusion, lorsque l'hétérogénéité et la modification de la qualité des facteurs de production sont correctement pris en compte, la hausse de la productivité globale des facteurs ne reflètera que l'amélioration de la technologie qui n'est pas incorporée aux facteurs de production. En d'autres termes, le calcul de la PGF pourra traduire l'impact de l'accroissement du stock total des connaissances, l'amélioration de la diffusion de la connaissance, une meilleure connaissance des processus de production, les améliorations réalisées en termes d'organisation du travail, c'est-à-dire le **progrès technique non incorporé**.

1.2.4 La PGF comme indicateur indispensable à la formulation de la politique économique

La théorie néoclassique de la croissance met l'accent sur les rendements internes découlant de nouveaux investissements entrepris par le secteur privé. L'intervention de l'Etat ne peut avoir qu'un impact "temporaire" sur le taux de croissance de long terme de la production par tête (cf section 1.3.4). Sous certaines hypothèses, l'accélération "transitoire" du taux de croissance du produit par tête peut toutefois durer un demi-siècle (cf section 1.3.4)

Les nouvelles théories de la croissance apportent un éclairage intéressant sur le rôle de la politique économique en matière de croissance. Selon ces nouvelles approches, la politique économique peut avoir deux rôles :

- 1 La politique publique peut avoir un **effet permanent sur le taux de croissance** de l'économie. Par exemple, dans le modèle de Romer [59] (cf section 1.4.1.2.2), une politique visant à augmenter le taux d'investissement conduira l'économie, de manière définitive, sur un sentier de croissance de long terme plus élevé.
- 2 La politique publique en tant que **soutien à l'investissement (éducation, recherche-développement)**. La présence d'*externalités* dans les nouveaux modèles de croissance laisse une place à l'intervention de l'Etat qui n'était pas présente dans le modèle de croissance néoclassique. Par exemple, l'*effet externe* induit par le niveau de *compétence*

*collective*⁵ justifie une politique de soutien à l'éducation (cf Lucas [46], cf section 1.4.1.4). En prenant la décision de consacrer un certain montant de ses ressources à l'acquisition de compétences, l'individu ne prend pas en compte cette *externalité* : elle n'est donc pas *internalisée*. Dès lors que le rendement privé et le rendement social de l'accumulation du stock de capital humain divergent, l'intervention de l'état retrouve toute sa place. Ici, cette intervention doit prendre la forme d'une incitation pour les agents privés à investir davantage en formation de capital humain (ce qui élèvera le niveau de *compétence collective*). Pour ce faire, l'état peut accorder une subvention à chaque agent, proportionnelle au temps qu'il consacre à sa formation et compensant en partie la perte de salaire consentie.

L'examen d'un indicateur macroéconomique tel que la PGF répond à l'impératif d'évaluer l'efficacité à moyen terme des politiques structurelles menées par un pays en matière d'éducation, de recherche-développement, de coopération internationale . . . Par ailleurs, la mise en évidence des déterminants structurels de la productivité globale des facteurs constitue un élément indispensable à la formulation de la politique économique. Ce travail permet de révéler les facteurs, liés aux activités domestiques et étrangères, affectant la croissance de la productivité du pays considéré.

1.3 Croissance et progrès technique : le modèle de Solow-Swan

La proposition la plus fondamentale de la théorie de la croissance néoclassique est que l'augmentation continue et à long terme de la production par tête nécessite un progrès permanent des connaissances techniques. Cette proposition est au cœur du modèle de croissance néoclassique de Solow [68] et Swan [72], qui établit qu'en l'absence de progrès technique, le caractère décroissant du produit marginal du capital entraîne inéluctablement l'arrêt de la croissance par tête.

La simplicité du cadre d'analyse du modèle de Solow [72] permet d'appréhender la relation entre l'investissement en biens matériels et la croissance du produit par tête d'une économie fermée. Dans un premier temps, de manière à privilégier l'aspect didactique de l'exposé, nous présentons la dynamique de croissance liée à l'accumulation de capital physique en l'absence de progrès technique. Lorsque l'investissement est tout juste nécessaire pour renouveler le stock de capital par tête, l'économie atteindra un état appelé *état stationnaire*. Dans cette situation, la production et de capital croissent à une valeur constante et exogène égale au taux de croissance de l'emploi. Dans un deuxième temps, l'introduction d'un progrès technique augmentant l'efficacité du travail conduit à des taux de croissance de long terme de la production et du capital plus élevés. Ces derniers s'élèvent au rythme de la somme des taux de croissance de l'emploi et du progrès technique.

La présence de ce progrès technique demeure inexpliquée. L'activité de production de

⁵L'explication de cette *externalité* est la suivante : un individu d'une compétence donnée sera plus ou moins efficace selon la compétence de ceux avec lesquels il travaille. En d'autres termes, le niveau moyen de l'économie en termes de compétence influe sur l'efficacité individuelle de chaque agent dans son activité productive.

connaissances n'apparaît pas puisque cette activité n'est pas rémunérée. La structure du modèle de Solow implique que le progrès technique est un *bien libre* : il n'existe pas de mécanisme incitatif à investir dans son développement. Nous verrons plus tard que les nouvelles théories de la croissance tentent d'expliquer le progrès technique à l'aide d'un cadre conceptuel où apparaît des choix relatifs à l'accumulation de connaissances ou de capital humain (comportements microéconomiques).

1.3.1 Cadre macroéconomique du modèle de Solow

La version de base du modèle de Solow-Swan considère une économie fermée qui produit un seul bien (composite) en associant les facteurs de production travail et capital, dont la combinaison permet de produire un niveau de produit Y (cf Figure 1.2). La technologie de production dont dispose l'économie est représentée à l'aide d'une fonction de production :

$$Y = F(K, L) = K^{1-\alpha} L^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (1.2)$$

où Y est le niveau de production, K le stock de capital physique, et L le nombre de travailleurs. La fonction de production est caractérisée par :

- des rendements d'échelle constants par rapport à K et L : un accroissement proportionnel des facteurs de production suscite une hausse équivalente de la production ;
- une productivité marginale du capital décroissante : au fur et à mesure que le capital s'élève, le rendement d'une unité supplémentaire de capital physique sur la production diminue.

Le travail est supposé croître à un taux constant et *exogène* :

$$\frac{\Delta L}{L} = n. \quad (1.3)$$

Le stock de capital physique est égal au flux d'investissement I net de la dépréciation du capital physique au taux δ ,

$$\Delta K = I - \delta K. \quad (1.4)$$

La production du bien composite est destinée à la consommation C et à l'investissement domestique I ,

$$Y = C + I. \quad (1.5)$$

Sous l'hypothèse que les agents économiques épargnent une fraction fixe s de leurs revenus et en consacrant une part $(1 - s)$ à la consommation de biens, le montant de l'épargne, soit $S = sY$, est égal aux dépenses d'investissement I ,

$$S = I. \quad (1.6)$$

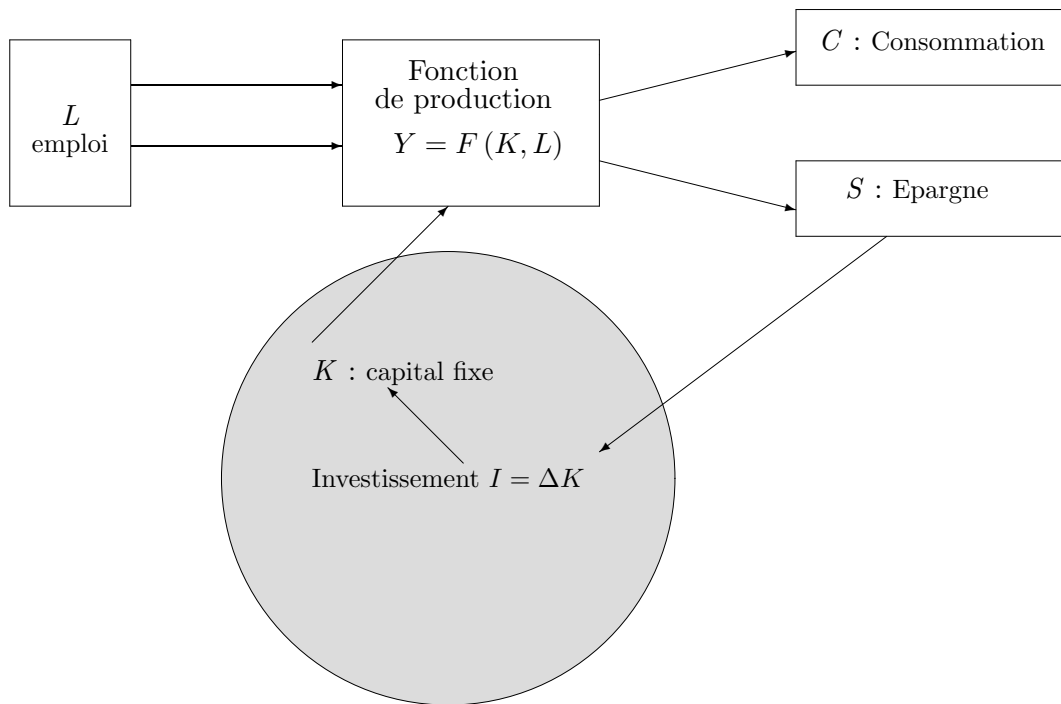


FIG. 1.2 – Cadre macro-économique du modèle de Solow

1.3.2 Dynamique de la croissance dans le modèle de Solow en l'absence de progrès technique

Pour simplifier l'exposé, nous exprimons les grandeurs du modèle de Solow par rapport au volume de la force de travail (c'est-à-dire *par travailleur*). La fonction de production s'écrit maintenant sous la forme (cf eq (1.2)) :

$$y = \frac{Y}{L} = f\left(\frac{K}{L}\right) = f(k) = k^{1-\alpha}. \quad (1.7)$$

L'investissement en capital physique élève le niveau du produit *par travailleur* (cf eq (1.7)). Par suite, l'individu épargne une fraction fixe de ce revenu (cf Figure fig1-2). L'épargne nouvelle (égale à l'investissement) joue dans le sens d'une augmentation du stock de capital *par travailleur*. Le déclassement du capital physique et la dotation des nouveaux travailleurs en biens matériels jouent dans le sens d'une baisse du stock de capital *par travailleur*.

Nous exprimons l'impact de l'investissement et de l'amortissement sur l'accumulation du stock de capital *par travailleur* noté $k = K/L$ au cours du temps en réécrivant l'expression (1.4) *par travailleur*, soit

$$\begin{aligned} \Delta k &= \frac{I}{L} - (n + \delta) \frac{K}{L} \\ &= \underbrace{sf(k)}_{\text{investissement par travailleur}} - \underbrace{(n + \delta)k}_{\text{investissement reproductif}}, \end{aligned} \quad (1.8)$$

où $f(k) = \frac{F(K,L)}{L}$ est le niveau de production *par travailleur*. L'expression (1.8) indique que le stock de capital *par travailleur* s'élève ($\Delta k > 0$) lorsque l'investissement *par travailleur* en biens matériels est supérieur à l'investissement (reproductif) juste nécessaire pour renouveler le stock de capital *par travailleur*⁶.

La raison de l'étiollement de la croissance économique à long terme (dans le modèle de Solow) est simple. Lorsque le capital est rare, il est plus productif et le revenu national est plus important à la marge. Dans ce cas, l'épargne nationale *par travailleur* $S/L = sf(k)$ est supérieure au terme $(n + \delta)k$. Le stock de capital *par travailleur* s'élève. Au cours de ce processus (cf Figure 1.3), l'accroissement de la production *par travailleur* permet aux agents d'atteindre un niveau de consommation *par travailleur* ($=C/L$) plus élevé. Cependant, comme le produit marginal du capital est décroissant, le revenu national n'augmente pas aussi rapidement que le stock de capital. L'effet cumulé de la dépréciation du capital et de la croissance de l'emploi finit par rattraper l'épargne, et à ce point, le stock de capital par unité de travail cesse d'augmenter. L'économie est dans une situation où le stock de capital *par travailleur* demeure inchangé. Cette situation représente l'équilibre de long terme de l'économie.

⁶Le terme $(n + \delta)k$ est le volume d'investissement (investissement reproductif) permettant de maintenir k à son niveau actuel.

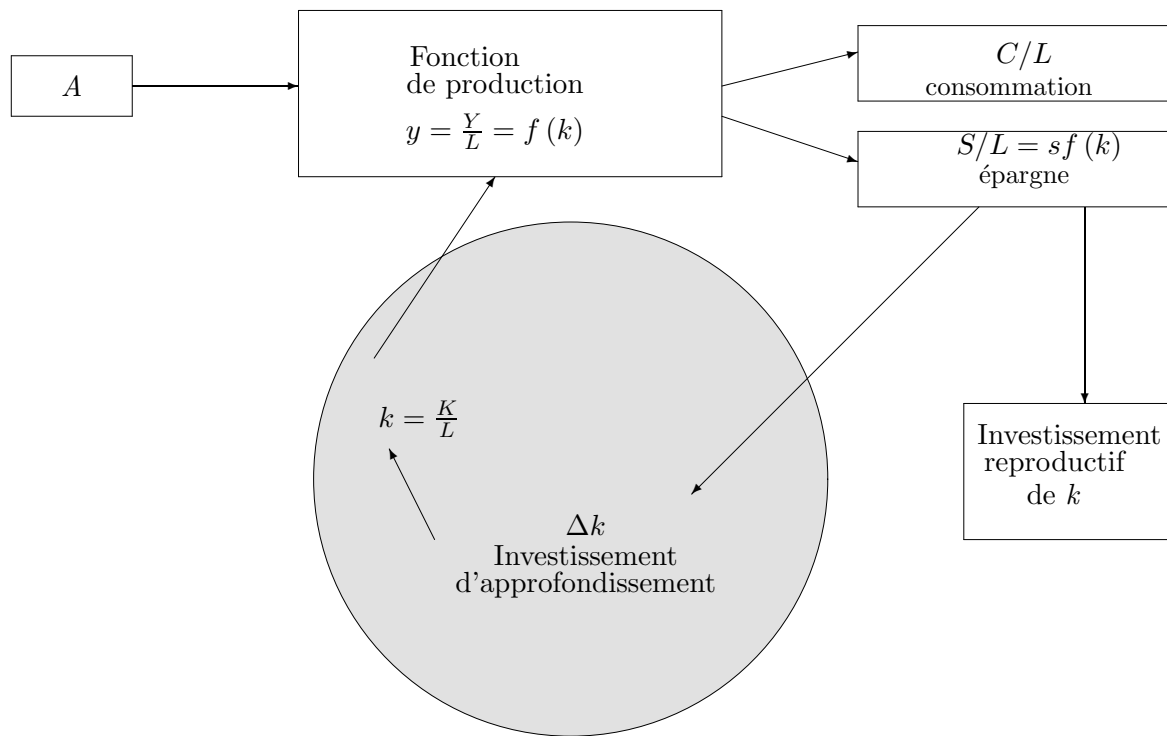


FIG. 1.3 – Mécanisme de la croissance dans le modèle de Solow en présence de progrès technique

1.3.3 Le sentier de croissance équilibrée

1.3.3.1 Le sentier de croissance équilibrée en l'absence de progrès technique

L'économie se situe à l'**état stationnaire** lorsque l'investissement en capital physique est juste suffisant pour compenser le déclassement du capital et la dotation des nouveaux travailleurs en biens matériels. L'**état-stationnaire** représente l'**équilibre de long terme** de l'économie. L'investissement est égal à l'*investissement reproductif*. Le stock de capital par travailleur cesse d'augmenter ($\Delta k = 0$). La Figure 1.4 indique qu'il n'existe qu'un seul niveau stationnaire de capital *par travailleur*, noté $\bar{k}$.

L'économie se situe à l'état-stationnaire lorsque l'accumulation de capital physique cesse (cf eq (1.8)) :

$$\underbrace{sf(\bar{k})}_{\text{épargne}} = \underbrace{(n + \delta)\bar{k}}_{\text{investissement reproductif}} \quad \text{ou encore} \quad \bar{k} = \left(\frac{s}{n + \delta} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (1.9)$$

où l'expression (1.9) de droite est obtenue en considérant une spécification de type Cobb-Douglas pour la fonction de production (cf eq (1.7)).

En l'absence de progrès technique, sur le *sentier de croissance équilibrée* (ou état régulier), c'est-à-dire une situation où chaque variable du modèle croît à un taux constant, les taux de croissance de la production et du stock de capital par tête s'établissent à un taux nul :

$$g_{K/L} = g_{Y/L} = 0. \quad (1.10)$$

En d'autres termes, l'égalité (1.10) signifie que le stock de capital physique K et la production Y s'élèvent, à l'état-stationnaire, au taux de croissance de l'emploi (exogène) n .

La Figure 1.4 indique que des forces économiques ramènent spontanément l'économie vers l'état-stationnaire. Supposons que l'économie débute initialement avec un niveau de stock de capital physique noté k_0 (cf Figure 1.4) inférieur au niveau de stock de capital de long terme par tête $\bar{k}$ (c'est-à-dire inférieur à son niveau d'équilibre). On a la suite d'inégalités suivantes :

$$k_0 < \bar{k} \rightarrow \text{investissement} > \text{investissement reproductif} \rightarrow \frac{\dot{K}}{K} > n. \quad (1.11)$$

Le résultat final des inégalités (1.11) indique que le stock d'équipements croît à un taux supérieur à celui de la population active. Le processus d'accumulation se poursuit jusqu'à ce que l'épargne, égale à l'investissement, soit juste suffisante pour doter les nouveaux travailleurs en capital et remplacer le capital déclassé.

En **conclusion**, le modèle de Solow aboutit au résultat selon lequel l'économie converge vers un sentier de croissance équilibrée sur lequel le taux de croissance de la production *par travailleur* est nul en l'absence de progrès technique. Dans cet état régulier, le niveau du stock de capital *par travailleur* est tel que l'épargne est égale à l'investissement reproductif, c'est-à-dire l'investissement juste suffisant pour compenser le déclassement du capital physique et doter les nouveaux travailleurs en biens matériels.

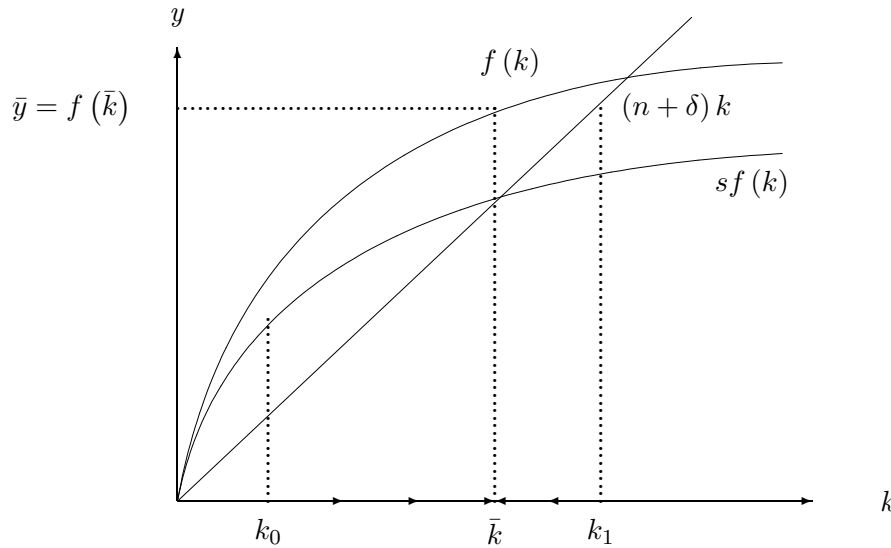


FIG. 1.4 – Investissement, amortissement, croissance démographique, et état-stationnaire

1.3.3.2 Le sentier de croissance équilibrée en présence de progrès technique

En supposant l'existence d'un progrès technique reflétant, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation constante (et exogène) de la productivité du travail, la fonction de production s'écrit sous la forme :

$$Y = F(K, AL) = K^{1-\alpha} (AL)^\alpha, \quad (1.12)$$

où A représente l'efficacité du travail⁷ (ou connaissances techniques conduisant à l'amélioration de la productivité du travail).

Le travail et les connaissances techniques sont supposés croître à des taux constants et *exogènes*,

$$\frac{\Delta L}{L} = n, \quad \frac{\Delta A}{A} = \lambda. \quad (1.13)$$

A travers la formulation (1.12), l'offre de *travail effectif*⁸ AL croît au taux $n + \lambda$.

L'épargne nouvelle augmente le stock de capital par *travailleur effectif* d'un montant $sf(k)$ (égal à l'épargne par *travailleur effectif*). La dépréciation réduit le stock de capital par *travailleur effectif* d'un montant δk . Enfin, la dotation des nouveaux *travailleurs effectifs* exigent un montant $(n + \delta)k$ en biens matériels (exprimés par *travailleur effectif*). En utilisant l'expression de la fonction de production (1.12), l'équation d'accumulation du capital par *travailleur effectif* s'écrit :

$$\Delta k = sf(k) - (n + \delta + \lambda)k. \quad (1.14)$$

⁷Le progrès technique affectant l'efficacité du travail est dit de type *labor augmenting*.

⁸Lorsque nous introduisons le terme A reflétant l'efficacité du travail, nous exprimons les variables par *travailleur efficace* ou *travailleur effectif*, soit $k = K/AL$ et $y = Y/AL$.

L'accumulation de capital cesse pour un niveau de stock de capital $\bar{k}$.

A l'état-stationnaire, le niveau de production par *travailleur effectif* y ($=Y/AL$) s'établit à sa valeur de long terme (constante), soit $\bar{y} = f(\bar{k}) = \bar{k}^{1-\alpha}$.

Sur le **sentier de croissance équilibrée**, la production et le capital par tête s'élèvent au rythme d'un taux de croissance constant et exogène,

$$g_{Y/L} = g_{K/L} = \lambda, \quad (1.15)$$

où λ reflète le taux de croissance des connaissances techniques A .

1.3.4 Taux d'investissement et taux de croissance en présence de progrès technique

Sur le sentier de croissance équilibrée, en présence de progrès technique, la production et le capital s'élèvent au rythme de la somme des taux de croissance de l'emploi et du progrès technique (cf eq (1.15)). Une modification du taux d'épargne ne peut avoir d'incidence sur ce taux. En revanche, l'expression du stock de capital par *travailleur efficace* k ($=K/AL$) prévalant à l'équilibre de long terme,

$$\bar{k} = \left(\frac{s}{n + \delta + \lambda} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad \text{et} \quad \bar{y} = \bar{k}^{1-\alpha} = \left(\frac{s}{n + \delta + \lambda} \right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad (1.16)$$

indique que le niveau du stock de capital (et de produit) *par travailleur efficace* est fonction du taux d'investissement (ou taux d'épargne).

Une hausse du taux d'épargne de s_0 à s_1 , avec $s_1 > s_0$, élève durablement les niveaux stationnaires de production et de capital par travailleur, soit $\bar{k}_1 > \bar{k}_0$ et $\bar{y}_1 > \bar{y}_0$ (cf Figure 1.5).

Les niveaux de production et de capital par *travailleur efficace* s'élèvent en raison de la part plus élevée que l'économie consacre à l'accumulation de capital (et une part plus faible à la consommation courante). Lorsque le taux d'épargne s'accroît à la date t_0 (cf Figure 1.6), et passe de s_0 à s_1 , l'épargne devient supérieure à l'*investissement reproductif* (cf eq (1.16)). Par conséquent, le taux de croissance du capital par *travailleur efficace* $k = K/AL$, devient positif :

$$g_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{sf(k)}{k} - (n + \delta + \lambda) > 0. \quad (1.17)$$

D'après l'expression (1.17) ci-dessus, l'économie accumule du capital de **manière transitoire**, soit $g_k > 0$ (avec $k = K/AL$). En présence de progrès technique affectant l'efficacité du travail, avec $\Delta A/A = \lambda$, le taux de croissance de la production par tête $g_{Y/L}$ s'élève au-dessus de sa valeur d'équilibre de manière temporaire, soit $g_{Y/L} > \lambda$ entre les dates t_0 et t_1 .

La Figure 1.6 indique une accélération du taux de croissance de la production par travailleur entre les dates t_0 et t_1 . Lorsque le stock de capital physique par *travailleur efficace*

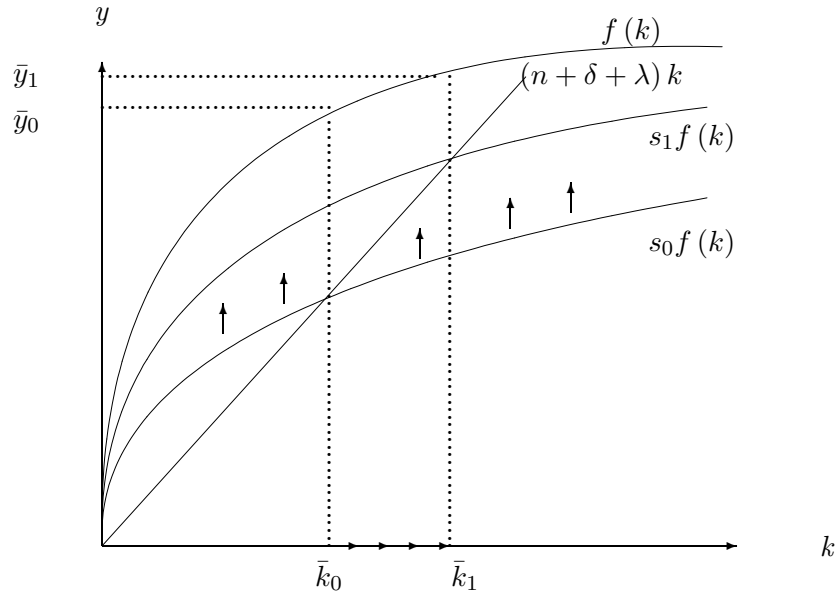


FIG. 1.5 – Croissance et politique d'investissement

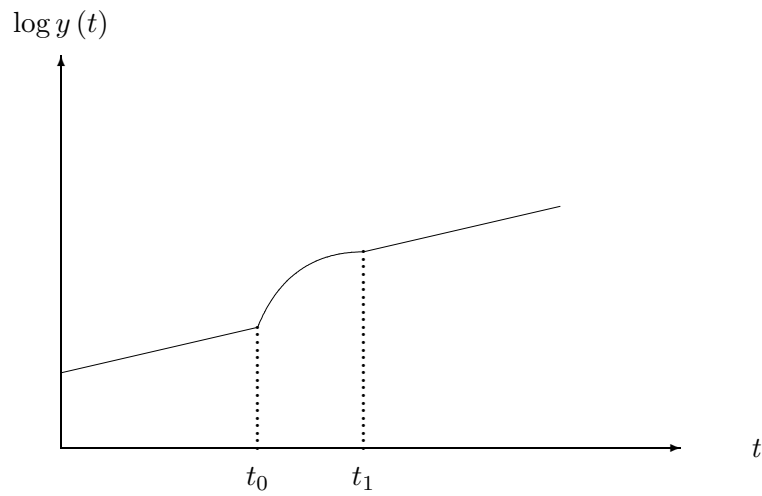


FIG. 1.6 – Impact d'une hausse du taux d'investissement en présence de progrès technique



FIG. 1.7 – Durée de la convergence vers le nouvel état-stationnaire

s'établit à la nouvelle valeur de long terme à la date t_1 , soit $\bar{k}_1$ (cf Figure 1.5), l'accumulation de capital cesse, et l'économie se situe sur son nouveau sentier de croissance équilibrée. Comme l'indique la Figure 1.6, le taux de croissance de la production par travailleur revient à son niveau prévalant avant la hausse du taux d'investissement⁹, soit $g_{Y/L} = \lambda$.

En conclusion, dans le modèle de croissance néoclassique traditionnel, une hausse du taux d'investissement élève :

- 1 de **manière permanente** les niveaux du stock de capital physique et de production par *travailleur efficace* prévalant à l'état-stationnaire ;
- 2 de **manière temporaire** (ou transitoire) les taux de croissance du stock de capital physique et de la production par *travailleur efficace*.

Enfin, en donnant des valeurs aux paramètres du modèle présenté ci-dessus, nous pouvons déterminer la durée nécessaire à l'économie pour se situer sur le nouveau sentier de croissance équilibrée. Après un certain nombre de manipulations (cf Mankiw [47]), nous pouvons montrer que la production par *travailleur effectif* converge vers le nouvel état-stationnaire selon l'équation dynamique suivante,

$$\Delta y_t = -\beta (y_t - \bar{y}_1) \quad (1.18a)$$

$$\text{ou encore} \quad y_t = \bar{y}_1 - (\bar{y}_1 - \bar{y}_0) \exp(-\beta t) \quad (1.18b)$$

$$\text{avec} \quad \beta = (1 - \alpha) (n + \delta + \lambda), \quad (1.18c)$$

où $(1 - \alpha)$ est la part distributive du capital (cf eq (1.2)) et Δy_t représente l'évolution de la production par *travailleur efficace* au cours du temps. Le paramètre β reflète la vitesse avec laquelle l'économie atteint le nouvel état-stationnaire associé à la date t_1 en débutant initialement à l'état-stationnaire (date t_0). En d'autres termes, β indique la vitesse de convergence du niveau de production par *travailleur efficace* $\bar{y}_0$ vers le niveau de production $\bar{y}_1$.

En choisissant des valeurs des paramètres, soit

$$\alpha = 0.5, \quad n = 0.05, \quad \lambda = 0.02, \quad \delta = 0.05,$$

un calcul simple, réalisé à partir de l'expression (1.18c), conduit à la valeur de $\beta = 0.056$. Le temps T nécessaire à l'économie pour combler 95 % de l'écart $(\bar{y}_1 - y_0)$ est obtenue en

⁹Dans le cadre du modèle de Solow en économie fermée, l'économie ne peut financer son investissement domestique que par le biais de l'épargne nationale. Par conséquent, l'égalité $S = I$ nous permet de parler de manière équivalente de taux d'investissement et de taux d'épargne.

résolvant l'équation suivante par rapport à T ,

$$\frac{\bar{y}_1 - y_t}{\bar{y}_1 - \bar{y}_0} = 0.05 = \exp(-\beta T).$$

La résolution de l'équation ci-dessus conduit à une durée de convergence T égale à $T \simeq 50$ ans. Par conséquent, l'économie réalisera le niveau de production par travailleur efficace y_t , proche du nouvel état-stationnaire $\bar{y}_1$ (cf Figure 1.7), en 50 ans.

1.3.5 Conclusions et limites du modèle

D'un point de vue formel, le modèle de Solow possède un point stationnaire unique et stable qui sera atteint quelles que soient les conditions initiales.

Les **limites** du modèle de croissance néoclassique sont multiples :

- Le changement technique n'est ni le résultat d'effets d'apprentissage, ni la conséquence d'efforts spécifiques de recherche-développement : il demeure un **élément inexpliqué**.
- Enfin, dans le modèle classique, le **progrès technique est un bien public** : il n'existe pas de mécanisme incitatif à investir dans son développement. La rémunération des deux facteurs de production à leur productivité marginale épuise le produit, ne laissant rien pour la rémunération d'une activité à l'origine de la production de connaissances¹⁰.
- L'introduction de facteurs de production autres que le travail et le capital, tels que le capital humain ou l'activité de recherche-développement, conduira à une conclusion similaire au résultat du modèle de Solow, en raison d'un rendement marginal décroissant des facteurs accumulables : le modèle néoclassique met l'accent sur les **rendements internes** laissant inexpliqué le progrès technique.

1.4 La productivité globale des facteurs et les nouvelles théories de la croissance

1.4.1 Connaissances, capital humain et croissance endogène

1.4.1.1 Les apports des nouvelles théories de la croissance

- 1 L'ambition de la théorie de la croissance endogène est de rendre compte des facteurs qui gouvernent l'accumulation (ou l'évolution) du facteur A : **endogénéisation du changement technologique**. Le progrès technique n'est donc plus une variable exogène, inexpliquée, mais une variable économique qui renvoie à des comportements, à des grands macroéconomiques. L'**endogénéisation** du terme A nous conduit à réécrire la fonction de production sous la forme :

$$Y = A(X)F(K, L)$$

¹⁰Comme les rendements d'échelle sont constants en K et L , ils deviennent nécessairement croissants lorsque l'on considère le troisième facteur A . Dans ce cas, d'après le théorème d'Euler (cf section A.1), tous les facteurs ne peuvent pas être rémunérés à leur productivité marginale.

où X peut représenter, selon les modèles, l'apprentissage par la pratique (cf Arrow [4]), le stock total de connaissance (cf Romer [59]), le stock de capital humain (cf Lucas [46]), le stock de R-D des partenaires commerciaux d'un pays donné (cf Coe et Helpman [17]). Le simple fait d'ajouter des facteurs de production accumulables supplémentaires ne conduit pas nécessairement à l'explication du progrès technique : l'apport de la théorie de la croissance endogène consiste à expliquer l'accumulation de facteurs spécifiques par des choix, des décisions (ou encore des comportements).

- 2 L'un des éléments du succès des modèles de croissance endogène est qu'ils prédisent la possibilité d'un maintien, ou même d'une aggravation des écarts de revenu : les modèles présentent des propriétés d'hystérésis, c'est-à-dire de dépendance par rapport aux conditions initiales.
- 3 Parallèlement à l'explication du progrès technique, les nouvelles théories de la croissance présentent les **conditions d'une croissance soutenue** (ou persistante). Le caractère décroissant du rendement des facteurs accumulables conduit à l'extinction de la croissance de la production par tête dans un modèle de croissance néoclassique. En revanche, la théorie de la croissance endogène, en invoquant la possibilité qu'un facteur accumulé (le stock de R-D, le capital humain, ...) par une firme puisse avoir une incidence sur les autres firmes, introduit la présence d'un *effet externe* (ou *externalité*) positif qui peut compenser le rendement marginal décroissant du facteur accumulé. Par exemple, la création de nouvelles connaissances par une entreprise *devrait* avoir un *effet externe positif* sur les possibilités de production des autres firmes et *pourrait* empêcher l'extinction de la croissance de long terme.
- 4 La possibilité de **rendements marginaux constants** dans l'accumulation d'un facteur spécifique est une hypothèse caractérisant certaines formalisations issues des nouvelles théories de la croissance. Des modèles de croissance endogène tels que ceux de Lucas [46] ou de Romer [59] introduisent un intrant spécifique, respectivement le stock de capital humain et le stock de connaissances, dont le rendement marginal est constant. En l'absence d'*externalités* créées par le niveau de capital humain sur l'activité de production (cf section 1.4.1.4), une croissance persistante n'est possible que si le rendement marginal du capital humain dans la formation du capital humain est constante¹¹ (cf Schubert [63], section 7.2). En introduisant une *externalité* liée à la diffusion de la connaissance (les chercheurs peuvent puiser gratuitement dans le stock de connaissance existant), Romer [60] suppose que la production de connaissances est d'autant plus aisée que le stock de connaissance existant est important¹².

En **conclusion**, une croissance *soutenue* est rendue possible par l'existence de rendements d'échelle croissants ou d'*externalités* dans le processus d'accumulation (des facteurs), qui garantissent que la productivité marginale des facteurs ne s'annule pas lorsque leur quantité s'accroît.

¹¹Cette hypothèse de constance du rendement marginal dans la formation du capital humain revient à supposer, en l'absence de dépréciation du stock de capital humain, qu'une année d'étude supplémentaire, après dix ans d'étude, élèvera le stock de compétence du même montant qu'une année supplémentaire de formation après deux ans d'étude.

¹²Il n'y a pas d'*épuisement des opportunités technologiques* puisqu'il considère également que le taux de croissance est proportionnel aux dépenses allouées à l'activité de recherche.

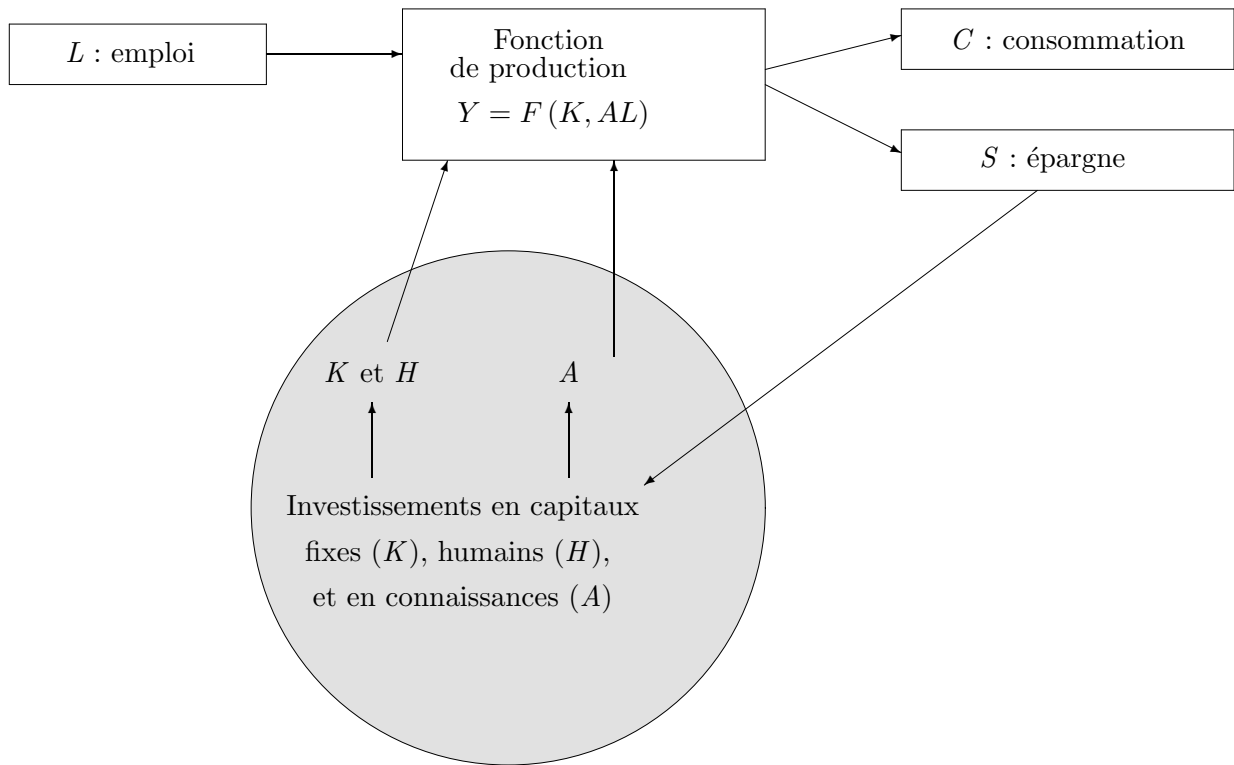


FIG. 1.8 – Les nouvelles théories de la croissance : accumulation de capital physique, de capital humain et de connaissances

1.4.1.2 Une introduction aux nouvelles théories de la croissance

Un certain nombre de voies, consistant à modéliser les sources de la croissance, ont été explorées par les nouvelles théories de la croissance. Ces nouvelles approches (cf Figure 1.8) ont notamment mis l'accent sur :

- i la présence d'*externalités* engendrées par l'accumulation de capital physique susceptibles d'empêcher la décroissance à long terme de la productivité marginale du capital ;
- ii l'accumulation de capital humain ;
- iii le processus d'apparition des innovations et l'accumulation de connaissances.

Ces formalisations des origines de la croissance présentent des caractéristiques communes dont la présence d'agents économiques *optimisateurs* prenant des décisions en comparant les gains attendus aux coûts engagés.

1.4.1.2.1 L'investissement en recherche-développement (R-D) : ses effets interne et externe. Il est possible d'appréhender l'impact de l'investissement en R-D dans un cadre néoclassique puisque les firmes investissent dans des activités de recherche dans le but d'améliorer leur propre processus de production : c'est l'*effet interne*. Dans ce cadre, l'activité

de recherche-développement va être considérée comme un facteur de production néoclassique caractérisé par des rendements décroissants. Comme Romer [61] le souligne, la distinction entre rendements interne et externe conduit à établir la différence entre le rôle joué par la R-D dans la théorie néoclassique d'une part, et la croissance endogène d'autre part.

Selon Romer [59], l'investissement en capital (capital physique et capital R-D) produit des *externalités* puisqu'il élève le stock total de connaissance K , auquel a accès l'ensemble des firmes par la circulation de l'information. Le niveau de la technologie, A , varie en fonction du stock total de connaissances. La fonction de production peut s'écrire :

$$Y_i = A(K)F(K_i, L_i)$$

Par la suite, Romer [60] supposera que la croissance du stock de connaissance A n'est plus la conséquence des externalités dont bénéficient les entreprises individuelles, mais le résultat de l'augmentation continue de la variété des facteurs (cf section 1.4.2).

1.4.1.2.2 Croissance et externalités : le modèle de Romer [1986] Romer [59] propose de résoudre le problème d'extinction de la croissance engendrée par le caractère décroissant de la productivité marginale du capital en postulant l'existence d'*externalités* induites par l'investissement en capital (physique et recherche-développement). Il suggère également une explication du progrès technique liée à la formation d'un stock global de connaissance, dont bénéficient les firmes sans coût. Ce stock commun de savoir, découlant de l'accumulation par les firmes d'un facteur de production capital, est donc *externalisé*.

L'économie est composée de n firmes identiques choisissant un niveau d'investissement maximisant leur profit. Cet investissement en capital engendre la constitution d'un *stock commun de connaissances* dont les firmes peuvent disposer gratuitement.

La technologie de production de chaque firme i identique (en concurrence parfaite) est caractérisée par une fonction de production présentant des propriétés (rendements d'échelle constants) similaires à celles associées à la fonction de production (1.12) :

$$Y_i = K_i^{1-\alpha} (AL_i)^\alpha, \quad (1.19a)$$

$$A = \sum_{i=1}^n K_i = K, \quad (1.19b)$$

où $A (=K)$ reflète le stock commun de savoir¹³ dérivé de l'investissement, auquel peut avoir accès gratuitement chacune des n firmes. En exprimant chacune des variables de l'expression (1.19a) *par travailleur*, nous obtenons :

$$y_i = Bk_i^{1-\alpha}, \quad (1.20a)$$

$$\text{avec } B = A^{1-\alpha}. \quad (1.20b)$$

¹³Romer [59] considère un modèle où les *externalités* technologiques sont le produit de l'accumulation d'un facteur K , qui n'est pas nécessairement du capital physique. Romer emploie l'expression de *connaissance* et non de capital dans la formulation de son modèle. Les externalités apparaissant dans le modèle de Romer [59] peuvent être envisagées comme des externalités de type *apprentissage par la pratique*.

Au niveau de chaque firme i , la productivité marginale du capital est décroissante. En revanche, la somme des n entreprises identiques conduit à la fonction de production agrégée suivante :

$$\begin{aligned} Y = nY_i &= nK_i^{1-\alpha} K^\alpha L^\alpha \\ &= n \left(\frac{K}{n} \right)^{1-\alpha} K^\alpha \left(\frac{L}{n} \right)^\alpha \\ &= KL^\alpha, \end{aligned} \quad (1.21)$$

où on a utilisé le fait que $K = nK_i$ et $L = nL_i$ (puisque les firmes sont identiques). En exprimant cette expression *par travailleur*, on obtient,

$$y = kL^\alpha, \quad (1.22)$$

où $y = Y/L$ et $k = K/L$ ¹⁴. En se référant à l'expression ci-dessus, Romer [59] réussit à donner naissance à une fonction de production macroéconomique à rendements d'échelle croissants, caractérisée par un rendement marginal du capital constant ! En d'autres termes, au niveau macroéconomique, la loi des rendements marginaux du capital est annulée en raison de l'*externalisation* des activités privées d'accumulation de connaissances et de capital.

En exécutant une démarche analogue¹⁵ à celle présentée dans la section 1.3.2, l'équation fondamentale d'accumulation de capital *par travailleur* s'écrit de la manière suivante :

$$\Delta k = \underbrace{skL^\alpha}_{\text{épargne}} - \underbrace{\delta k}_{\text{capital déclassé}}. \quad (1.23)$$

D'après l'expression (1.23), pour un niveau d'emploi L donné, lorsque l'économie se situe sur le sentier de croissance équilibrée, la production et le capital *par travailleur* s'élèvent au même taux :

$$g_{Y/L} = g_{K/L} = sL^\alpha - \delta. \quad (1.24)$$

Le taux de croissance de long terme de la production par travailleur est positif si le terme sL^α reflétant *un effet taille* est supérieur au taux de dépréciation δ .

En examinant l'expression (1.24), nous constatons que le taux de croissance de long terme de la production et du capital *par travailleur* sont une fonction croissante du taux d'investissement s (ou taux d'épargne puisque nous nous situons en économie fermée), soit de manière formelle :

$$\frac{\partial g_{Y/L}}{\partial s} = \frac{\partial g_{K/L}}{\partial s} = L^\alpha. \quad (1.25)$$

Le modèle de Romer [59] conduit aux conclusions suivantes :

i sous certaines conditions, une croissance soutenue est possible en l'absence de croissance de l'emploi ;

¹⁴Nous pouvons remarquer que l'expression (1.22) fait apparaître y comme une fonction linéaire de k .

¹⁵En conservant le cadre d'analyse proposé par Solow (présenté dans la section 1.3.1), c'est-à-dire en maintenant l'hypothèse d'une propension marginale à épargner s constante, en supposant que $\Delta L/L = 0$, que l'économie accumule du capital selon l'équation $\Delta K = I - \delta K$, nous aboutissons à l'équation d'accumulation du capital *par travailleur* au cours du temps.

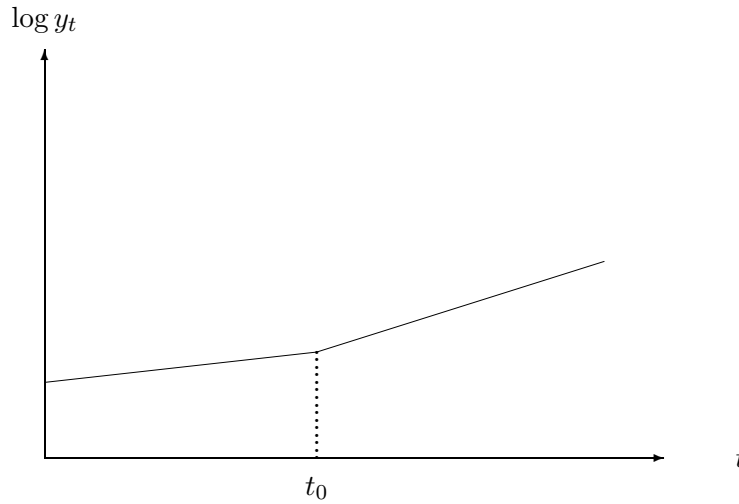


FIG. 1.9 – Impact d’une hausse du taux d’investissement sur le taux de croissance de la production par travailleur dans le modèle de Romer [1986]

- ii une augmentation du taux d’investissement induite par une mesure de politique économique peut élever durablement le taux de croissance de la production par travailleur (cf Figure 1.9).

1.4.1.3 L’apprentissage par l’expérience (“learning by doing”) : le modèle de Arrow [1962]

Arrow [4] considère qu’une source importante du progrès technique résulte de l’apprentissage. En effet, produire développe un savoir-faire permettant de produire plus efficacement par la suite. Arrow va donc supposer que la croissance de A est le produit de l’expérience acquise lors de l’utilisation de nouveaux biens d’investissements, phénomène qu’il qualifia d’*apprentissage par la pratique* (“learning by doing”). L’expérience va donc élever la productivité du travail au cours du temps.

1.4.1.3.1 Le modèle Arrow fait l’hypothèse que le niveau de la productivité, A , est lié à la taille absolue du capital K et à un facteur autonome, Z , soit de manière formelle :

$$A = ZK^\theta \quad \text{ou encore} \quad \frac{\dot{A}}{A} = \theta \frac{\dot{K}}{K} + \gamma, \quad (1.26)$$

où θ est défini comme le coefficient d’apprentissage qui peut dépendre des dépenses publiques en éducation. Par conséquent, le progrès technique est partiellement exogène et partiellement endogène.

L'introduction d'un facteur comme la connaissance dont l'accumulation ne dépend pas du produit et n'est pas soumis aux rendements marginaux décroissants caractérisant les facteurs apparaissant dans la fonction de production, permet de contourner le problème d'extinction de la croissance à long terme.

1.4.1.3.2 La conclusion du modèle Le coefficient d'apprentissage a un effet positif sur le taux de croissance de la production à l'état-stationnaire. La formulation de Arrow de l'apprentissage permet d'expliquer les différences des taux de croissance de revenu par tête par des différences de capacités d'apprentissage à partir de l'expérience.

1.4.1.4 Capital humain et rendements d'échelle : le modèle de Lucas [1988]

Une branche de la littérature récente sur la croissance se focalise sur l'accumulation du capital humain, qui doit être distinguée de l'accumulation des connaissances. Le capital humain peut être défini comme l'ensemble des capacités, des connaissances générales ou techniques, et des compétences des travailleurs individuels. Le capital humain a donc la double caractéristique d'être de l'information, du savoir (comme la technologie), et d'être appropriable par des individus (comme le capital physique) puisqu'il leur est incorporé. L'existence du capital humain permet de relâcher la contrainte imposée par les rendements décroissants du capital et peut par conséquent permettre la croissance par tête à long terme en l'absence de progrès technique exogène. Soulignons que le capital humain est un bien *rival*¹⁶ et *exclusif*¹⁷.

Lucas [46] incorpore le capital humain dans un modèle de croissance mais en intégrant des transbordements ("spillovers"). En effet, il prend en compte non seulement l'*effet interne* du capital humain¹⁸ mais également un *effet externe*, soit l'impact de la *compétence collective*.

1.4.1.4.1 Le modèle L'individu détermine son temps de formation en arbitrant entre le coût présent et la valeur actualisée des salaires supplémentaires que lui rapportera sa formation. Le coût de la formation se réduit à un coût d'opportunité. L'individu accumule du capital humain selon l'équation dynamique suivante :

$$\dot{h} = \delta(1 - u)h, \quad (1.27)$$

où δ est un facteur multiplicatif positif représentant la productivité de la formation. Le paramètre u ($0 \leq u \leq 1$) correspond au temps que l'individu consacre à la production du bien final, $1 - u$ reflète le temps consacré par l'agent à l'accumulation de ses compétences, et h est défini comme le capital humain de l'individu. La formulation de l'équation d'accumulation de compétences (1.27) revient à supposer que le rendement marginal du capital humain dans la formation de capital humain est constant.

¹⁶Si on considère que le capital humain est constitué par les compétences d'un travailleur, l'utilisation de ces compétences dans une activité déterminée en prive les autres activités.

¹⁷Puisque les individus sont propriétaires de leurs compétences, le capital humain est un bien exclusif.

¹⁸Lorsque l'agent économique élève son niveau de compétence, sa rémunération va s'élever : c'est l'*effet interne*.

La fonction de production (de type Cobb-Douglas) s'écrit de la manière suivante :

$$Y = AK^\beta (uhN)^{1-\beta} h_a^\gamma, \quad (1.28)$$

où h_a est le niveau moyen de compétence¹⁹ et reflète l'effet externe. La présence de rendements d'échelle croissants caractérisant la fonction de production (1.28) provient du terme h_a . Ce dernier reflète l'*effet externe*. L'interprétation du rôle de h_a proposée par Lucas fait intervenir une sorte de *compétence collective* puisqu'un individu sera plus ou moins efficace selon le degré de compétence des individus avec lesquels il entre en contact. En outre, uhN représente la *force de travail effective* puisque N est le nombre total de travailleurs.

La résolution du modèle, de telle manière que l'économie se situe sur un sentier de croissance équilibrée où le produit, la consommation et le capital croissent à taux égaux, donne le taux de croissance g (cf Amable et Guellec [3]),

$$g = \left(1 + \frac{\gamma}{1-\beta}\right) \nu, \quad (1.29)$$

où ν est le taux de croissance du capital humain à l'optimum ; il s'écrit,

$$\nu = \frac{(1-\beta)(\delta-\rho) + \delta\gamma}{\sigma(1-\beta+\gamma)}.$$

Les paramètres ρ et σ sont respectivement le taux de préférence pour le présent et l'élasticité de substitution intertemporelle (apparaissant dans la fonction objectif de l'agent). Le paramètre γ caractérise l'intensité de l'externalité. Enfin $1-\beta$ est la part distributive de la *force de travail effective*.

1.4.1.4.2 Les résultats du modèle Le modèle de Lucas conduit à un certain nombre de conclusions intéressantes :

- 1 La croissance sera d'autant plus rapide que l'efficacité δ de l'investissement en capital humain est élevée (cf eq (1.29)) et l'*effet externe* est important. Puisque le rendement marginal du capital humain est constant, la présence de l'externalité relative à la *compétence collective* n'est pas nécessaire à l'existence d'une croissance de long terme positive.
- 2 En raison de la présence de l'externalité sur la capital humain, un travailleur d'une qualification donnée sera plus productif et donc mieux rémunéré dans un pays déjà fortement doté en capital humain.
- 3 Contrairement à la prédiction du modèle de Solow, du fait de la présence de rendements d'échelle croissants, on n'assistera pas à un phénomène de rattrapage des pays moins dotés en facteurs par rapport aux pays mieux dotés (cf Amable et Guellec [3], pp. 350-351).
- 4 Lucas [46] justifie la présence d'une *externalité* en considérant que le niveau moyen de compétence de l'économie affecte l'efficacité individuelle (du travailleur). L'égalité entre

¹⁹Si tous les individus sont identiques, on obtient $h_a = h$.

le rendement privé et le rendement social de l'investissement en capital humain n'est plus vérifié dès lors que l'on introduit cette *externalité*. Le rôle de l'Etat consistera à *rapprocher* le rendement privé et le rendement social par le biais d'une politique d'éducation (les agents ne prennent pas en compte l'*externalité* lorsqu'ils investissent dans l'acquisition de compétences). Cette intervention devra prendre la forme d'une incitation pour les agents privés à investir davantage en formation de capital humain.

1.4.2 Recherche-Développement et production de connaissances : le modèle de Romer [1990]

Le deuxième modèle de Romer [60] est un modèle à trois secteurs : le secteur de production du bien final, le secteur de production de biens intermédiaires, et le secteur de la recherche. L'apport de ce modèle réside principalement dans la modélisation du progrès technique et des mécanismes qui permettent aux avancées technologiques de provoquer une croissance sans borne de l'économie.

1.4.2.1 Le secteur de production du bien final

Romer [60] se réfère explicitement à la théorie de la diversification des produits de Dixit et Stiglitz [23], qui postule l'existence d'un continuum de biens intermédiaires, mesurés sur l'intervalle $[0, A]$. La production du bien final combine l'utilisation du travail L_1 et des biens intermédiaires dans la fonction suivante

$$Y = L_1^{1-\alpha} \int_0^A x_i^\alpha di, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (1.30)$$

où x_i est la quantité du bien intermédiaire i . Cette fonction de production est à rendements d'échelle constants en L_1 et x_i . En outre, un équilibre symétrique implique $x_i = \bar{x}$ pour tout i . En effet, tous les biens intermédiaires sont produits dans des conditions identiques et ne diffèrent donc pas véritablement entre eux. Il s'ensuit que la fonction de production agrégée peut s'écrire

$$Y = L_1^{1-\alpha} A \bar{x}^\alpha = L_1^{1-\alpha} (A \bar{x})^\alpha A^{1-\alpha}, \quad (1.31)$$

où $A \bar{x}$ est le volume de biens intermédiaires, c'est-à-dire un stock de capital hétérogène. L'équation (1.31) implique que la production soit soumise à des rendements d'échelle constants en L_1 et $A \bar{x}$, la quantité globale de biens intermédiaires. Pour des quantités données de L_1 et $A \bar{x}$, le terme $A^{1-\alpha}$ indique qu'une augmentation du nombre d'inputs utilisés dans la production, soit une hausse de A , élève la production du bien final. La plus grande variété d'inputs garantit une meilleure efficacité de la combinaison productive. Cet effet, qui traduit une forme du progrès technique, indique le bénéfice procuré par l'augmentation de A . En d'autres termes, le progrès technique, par l'amélioration continue de A , empêche la diminution des rendements²⁰. Cette propriété de la fonction de production est à l'origine de la croissance endogène. On peut souligner que le marché du bien final est concurrentiel.

²⁰Les rendements ne sont pas décroissants si l'augmentation de $A \bar{x}$ a pour origine une hausse de A , $\bar{x}$ étant fixé.

L'hypothèse selon laquelle l'efficacité productive serait améliorée par l'augmentation du nombre de biens intermédiaires disponibles peut être justifiée de la manière suivante. On peut comprendre que l'élargissement de la gamme des biens intermédiaires disponibles permet une meilleure adéquation entre la nature du bien utilisé à un moment donné du processus de production et la nature de la tâche qui doit être effectuée²¹.

1.4.2.2 Le secteur de production de biens intermédiaires

Les nouveaux biens intermédiaires sont produit à l'aide d'un projet de fabrication acheté au secteur de la recherche et de biens intermédiaires existant. Ce secteur est donc à rendements croissants en raison du coût fixe que représente l'achat de brevets au secteur de la recherche. Chaque producteur d'un bien intermédiaire possède un monopole sur la production du bien capital dont il a acheté le plan de fabrication. Le coût fixe explique que ce secteur ait une structure de *concurrence monopolistique*. En raison de l'exclusivité que possède l'innovateur -qui n'est pas l'inventeur-, il peut demander un prix supérieur au coût marginal.

1.4.2.3 Le secteur de la recherche

Les firmes qui s'occupent de la recherche ont pour objet la mise au point de plans de fabrication de nouveaux biens intermédiaires et élèvent donc le nombre de biens capitaux disponibles pour la production du bien final. L'augmentation des innovations dépend à la fois du personnel qui travaille dans la recherche L_2 , et du nombre d'innovations déjà existantes A

$$\dot{A} = \delta A L_2 \quad \text{ou} \quad \frac{\dot{A}}{A} = L_2, \quad (1.32)$$

où $\delta > 0$ est un paramètre positif indiquant l'efficacité du secteur de la recherche. L'expression ci-dessus reflète l'hypothèse de Romer [60] selon laquelle le taux de croissance de la connaissance ($=\dot{A}/A$) est directement proportionnel aux ressources (ici, une quantité de travail) consacrées par l'économie à la recherche (cf Jones [39] pour une présentation des conséquences d'un abandon d'une telle hypothèse, pp. 140-141).

L'expression (1.32) traduit l'existence d'*externalités dynamiques* liées à la recherche : tous les chercheurs peuvent puiser *gratuitement* dans le stock de connaissances accumulées, A , constitué des innovations passées. Pour caractériser cette externalité, on dit que les connaissances techniques (ou les innovations) sont des biens *non rivaux* : l'utilisation des connaissances par un chercheur n'exclue pas son utilisation par un autre laboratoire. Par ailleurs, comme il faut payer pour obtenir l'*exclusivité* de la fabrication des biens intermédiaires qui matérialisent les innovations, on qualifie les connaissances techniques de biens *exclusifs*. En d'autres termes, du fait de l'existence d'un système de brevets, la connaissance est un bien dont on peut interdire juridiquement l'usage direct.

²¹Par exemple, l'utilisation d'un ordinateur connecté à internet permet aujourd'hui de transférer des textes sans l'usage d'aucun support matériel. Cela permet d'économiser du papier, de l'encre et du temps.

1.4.2.4 La résolution du modèle et ses enseignements

Sur le sentier de croissance équilibrée, le taux de croissance de la production est égal au taux de croissance de A (cf Aghion et Howitt [1], cf pp. 40-42), soit

$$g = \delta L_2 = \frac{\alpha \delta \bar{L} - \rho}{\alpha - \epsilon}, \quad (1.33)$$

où α est le poids du stock de capital hétérogène ($=A\bar{x}$) dans la production du bien final ; le paramètre δ représente l'efficacité de la recherche ; les paramètres ρ et ϵ sont respectivement le taux de préférence pour le présent et l'inverse de l'élasticité de substitution intertemporelle.

Les conclusions du modèle de Romer [60] sont les suivantes :

- 1 Le taux de croissance est **une fonction croissante de la productivité de la recherche**, δ , ainsi que de la taille de l'économie²², $\bar{L}$, avec $\bar{L} = L_1 + L_2$. De manière intuitive, davantage d'efficacité dans le secteur de la recherche permet d'élever le taux de croissance de l'économie, puisque c'est dans l'activité de recherche que réside le moteur de l'économie.
- 2 Le taux de croissance est d'autant plus élevé que L_2 , le personnel destiné au secteur de la recherche, est important.
- 3 Le taux de croissance augmente avec le poids de chaque input intermédiaire dans la production du bien final. Ce résultat est lié à l'existence d'une rente monopolistique dans le secteur de production de biens intermédiaires. $1/\alpha$ est la marge que les monopoles de production de biens intermédiaires appliquent au coût marginal pour fixer leurs prix ; plus α est grand, plus cette marge est faible et plus la croissance est forte.

Comme dans le modèle de Romer [59], les entreprises n'internalisent pas les *externalités* liées à la recherche. La correction de cette distorsion nécessite la mise en place de politiques économiques par les autorités publiques. L'intervention de l'Etat peut alors être double :

- i Son rôle peut consister à mettre en place un système de brevets et à garantir leur respect. Le brevet donne alors à la technologie le caractère économique d'un bien privé et sa vente assure ainsi la rentabilité de la recherche qui lui a donné naissance. La production de connaissances présente un rendement privé (au niveau de la firme) et un rendement social. Les dépenses en recherche-développement, entreprises par une firme et destinées à la mise au point de nouveaux produits ou de nouveaux procédés, pourra élever son profit : c'est le *rendement privé* lié à l'activité de R-D. En outre, cette production de nouvelles connaissances élève le stock existant de savoir dont peuvent disposer gratuitement les autres firmes : c'est le *rendement social* (à un niveau agrégé) lié à l'externalité positive.

²²Nous aurions pu faire apparaître le capital humain de manière explicite dans la formalisation que nous venons de présenter, de manière analogue à Romer [60]. L'introduction d'un facteur tel que le capital humain aurait permis de mettre en évidence la relation croissante entre le taux de croissance de la production noté g et le stock de capital humain.

- ii Les agents ne prenant pas en compte l'externalité engendrée par les produits de leur recherche, contrairement à ce que ferait un planificateur²³ (l'économie est décentralisée), alors le rendement privé de la recherche est inférieur à son rendement social. Les autorités gouvernementales pourront mettre en place une politique de soutien à l'éducation et/ou une politique de subvention à la recherche.

1.4.3 L'ouverture internationale

L'ouverture internationale d'un pays induit généralement des effets positifs puisque :

- d'une part, elle entraîne une réorientation des ressources vers les emplois les plus efficaces, cette réallocation étant engendrée par la spécialisation du pays ;
- et d'autre part, elle induit des externalités positives associées à la diffusion des technologies par le commerce des biens et services.

La diffusion de la technologie joue un rôle prédominant dans le processus de développement économique d'un pays. Il existe divers canaux de diffusion de la technologie existante : les investissements directs étrangers, les réseaux de communication, le commerce international de biens et services²⁴.

1.4.3.1 Les investissements directs étrangers

Des travaux récents ont mis en évidence le processus de diffusion de la technologie à travers les investissements directs étrangers (IDE) (cf Braconnier et Sjöholm [13]).

L'effet des IDE sur la croissance est double :

- i les IDE vont encourager l'utilisation de nouveaux biens intermédiaires et l'incorporation de la technologie étrangère au sein du processus de production ;
- ii les IDE vont participer à l'augmentation du stock de connaissance de l'économie *hôte* en raison de la formation du personnel et de l'acquisition de compétences de la force de travail, et également à travers de nouvelles méthodes de gestion et d'organisation.

Ainsi, les investisseurs étrangers peuvent être à l'origine d'un accroissement de la productivité et les IDE vont constituer un catalyseur de l'investissement domestique et du progrès technique, en raison d'*effets de complémentarité externe* et de *transbordements technologiques*. A partir des flux d'IDE des pays industrialisés en direction de 69 pays en développement, Borensztein, De Gregorio, et Lee [9], ont testé l'impact des IDE sur la croissance sur la période 1970-1990 et les résultats empiriques indiquent que l'accroissement de l'investissement domestique s'accroît entre 1,5 et 2,3 du montant du flux d'IDE²⁵. Les IDE contribuent donc

²³La fraction des travailleurs consacrée à la recherche est plus élevée à l'optimum qu'à l'équilibre.

²⁴Un certain nombre de travaux de recherche ont évalué l'impact de l'importations de biens capitaux incorporant la technologie étrangère (biens à fort contenu technologique) sur la croissance d'un pays.

²⁵En d'autres termes, l'élasticité de l'investissement domestique par rapport à l'investissement étranger se situe entre 1,5 et 2,3.

à la croissance économique du pays *hôte* en ce sens que les IDE élèvent l'investissement domestique, sous la condition d'un stock minimum de capital humain disponible, et favorisent l'appropriation de la technologie étrangère.

Le progrès technique s'opère selon un processus d'intensification capitaliste prenant la forme de l'introduction de nouvelles variétés de biens capitaux. De manière traditionnelle, on spécifie une fonction de production de telle manière que la production s'élève avec le nombre de biens capitaux dont l'augmentation va être à l'origine d'un processus de croissance endogène. L'accroissement de la variété de biens intermédiaires peut également être interprété comme une amélioration de la qualité des biens capitaux disponibles. Cependant, la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie nécessite la présence d'un niveau suffisant de capital humain.

Borensztein, De Gregorio, et Lee [9] testent une équation de la forme :

$$g = c_0 + c_1 IDE + c_2 IDE \times H + c_3 Y_0, \quad (1.34)$$

où IDE est l'investissement direct étranger, H le capital humain, Y_0 le niveau initial du PIB par tête permettant de mettre en évidence l'*effet de rattrapage*. Pour un petit pays, la prise en compte de l'immigration de travailleurs étrangers qualifiés (des pays voisins) peut constituer un facteur déterminant de l'ampleur de l'effet des IDE sur la croissance de l'économie²⁶.

La contribution des IDE à la croissance économique sera positive si :

- ils n'évincent pas l'investissement domestique ;
- ils élèvent l'efficacité avec laquelle les facteurs de production sont utilisés au cours du processus de production.

1.4.3.2 Le modèle de Romer en économie ouverte

En suivant Aghion et Howitt [1] (cf Chapitre 11, section 3), nous introduisons la diffusion internationale des idées dans le modèle de Romer [60]. A cette fin, nous considérons un monde composé de deux économies, l'une domestique et l'autre étrangère. Chacune des deux économies est identique à la description du modèle de Romer [60] présenté précédemment et produisent chacune un continuum de biens intermédiaires entièrement différents²⁷.

Supposons que les idées circulent entre les pays. Si en autarcie, chaque pays a découvert un ensemble complètement différent de biens intermédiaires, le stock d'idées disponibles pour la recherche est maintenant deux fois plus élevé qu'avant

$$\dot{A} = \delta L_2 2A \quad (1.35)$$

²⁶D'après les résultats empiriques obtenus par Borensztein, De Gregorio, et Lee [9], l'effet s'amplifie avec le niveau de capital humain. Une des pistes de recherche futures consisterait à construire un indicateur de capital humain étranger dont bénéficie le Luxembourg à travers l'immigration de main d'oeuvre qualifiée (pays voisins en particulier). Le stock de capital humain pourrait être défini comme une moyenne pondérée des stocks de capital humain des pays d'origine de la main d'oeuvre, où les pondérations seraient égales à la part des travailleurs immigrés en provenance du pays considéré dans la main d'oeuvre immigrée totale.

²⁷On suppose qu'il n'existe pas de duplication de la recherche. En outre, le nombre de variétés disponibles dans chaque pays est identique.

Chaque découverte accroît la productivité de la recherche future et l'accès au stock d'idées du pays étranger permet de doubler le stock de découvertes auquel ont accès les chercheurs du pays domestique. D'une part, l'accroissement de la productivité dans le secteur de la recherche exerce une influence positive directe sur le taux de croissance du stock de connaissances du pays, A , pour L_2 donné. D'autre part, comme la productivité de la recherche s'est améliorée alors que celle de la production du bien final est restée inchangée, l'emploi dans la recherche, L_2 , augmente à l'équilibre. La combinaison des effets positifs directs, soit le gain induit par l'échange d'information, et indirect, soit l'accroissement de la part du personnel destiné à la recherche, élève le taux de croissance de l'économie s'écrivant sous la forme (cf Aghion et Howitt [1], p. 404) :

$$g = \frac{2\alpha\delta\bar{L} - \rho}{\alpha + \epsilon}. \quad (1.36)$$

L'expression (1.36) du taux de croissance du pays en économie ouverte est similaire au taux de croissance du pays en économie fermée. Néanmoins, un élément permet de les distinguer : la productivité du secteur de la recherche est deux fois supérieure lorsqu'il a accès au stock international de découvertes. En **conclusion**, la diffusion internationale des idées a un impact sur le taux de croissance de long terme.

1.4.3.3 Le commerce international

Les résultats empiriques obtenus par Coe, Helpman et Hoffmaister [18] confirment que les flux commerciaux offrent un canal par lequel les techniques de production avancées sont transmises entre les pays. En outre, les résultats empiriques suggèrent aussi que les *effets de l'apprentissage et des transbordements technologiques* sur la croissance sont plus importants dans les pays ayant des niveaux d'éducation plus élevés.

Une autre idée importante qui a été explorée dans certains modèles récents a trait à la libéralisation des échanges qui élève la variété des biens disponibles pour les agents domestiques. Cet élargissement de la gamme de biens intermédiaires accroît la productivité en fournissant des biens intermédiaires moins chers ou de qualité supérieure. Dans ce cadre, Romer [61] a montré qu'une variété plus grande d'intrants apporte plus à la production qu'une quantité plus grande d'une petite gamme d'intrants. Par conséquent, l'accès à une variété d'intrants étrangers à un coût plus faible déplace la frontière des possibilités de production de l'économie entière vers l'extérieur, augmentant ainsi la productivité.

1.5 La productivité globale des facteurs et les technologies de l'information et de la communication

1.5.1 Définitions et débat

L'usage des nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) tend à se généraliser à un rythme et sur une échelle qui rappellent de précédentes révolutions technologiques. Il est dès lors assez tentant de considérer que la croissance vigoureuse (au cours des années récentes) des Etats-Unis provient essentiellement de la diffusion des TIC, ce qui a donné naissance au concept de *nouvelle économie*.

La caractéristique essentielle de la révolution des technologies de l'information est l'immense amélioration de la qualité des ordinateurs, des logiciels et des équipements en matière de communication. L'évaluation quantitative de cette diffusion devient un préalable utile aux analyses de la croissance et de son articulation avec la dynamique des facteurs de production. Une telle évaluation est une nécessité quand il est question de mettre en relation la diffusion des TIC et les évolutions de la productivité globale des facteurs.

Cet exposé présente les caractéristiques essentielles de l'impact de la diffusion des TIC sur la croissance américaine, et plus particulièrement en matière de gains de productivité globale.

1.5.2 Le paradoxe de la productivité des investissements en technologies de l'information et de la communication

De nombreuses études empiriques ayant trait à l'impact des nouvelles technologies sur la productivité, notamment les productivités du travail et globale des facteurs, conduisent à des résultats ambigus. En effet, du début des années soixante à aujourd'hui, l'investissement des firmes en nouvelles technologies s'est élevé considérablement aux Etats-Unis (cf H. Baudchon et O. Brossard [7], p. 59), sans pour autant avoir un impact significatif sur la croissance de la productivité globale des facteurs (PGF) : c'est ce que l'on appelle le *paradoxe de la productivité de Solow*.

Cependant, les travaux empiriques ont mis en évidence une accélération des gains de productivité globale depuis le milieu des années quatre-vingt-dix (aux Etats-Unis). Ce phénomène pourrait s'expliquer par l'existence d'une période critique associée à l'apparition d'une innovation coûteuse en termes de productivité, cette période étant éventuellement suivie d'une phase d'accélération des gains de productivité lorsque suffisamment de firmes utilisent les nouveaux équipements et lorsque l'apprentissage de la nouvelle technologie est terminé. Ainsi, la faiblesse initiale des gains de productivité peut laisser croire à la présence d'un *paradoxe de la productivité* alors qu'elle traduit simplement les coûts temporaires induits par la réallocation des facteurs et les coûts d'apprentissage des TIC.

1.5.3 Impact des technologies de l'information et de la communication sur la PGF américaine

D'après Gordon [30], la croissance de la PGF enregistrée par les Etats-Unis aurait pour origine les gains de productivité globale réalisés dans le secteur producteur de TIC. Cependant, les études récentes mettent en évidence une accélération plus diffuse de la PGF américaine, dans le sens où elle n'est plus uniquement limitée aux secteurs producteurs.

Etudes ^{ab}	Jorgenson et Stiroh	Oliner et Sichel
Périodes	1995-1998	1996-1999
Taux de croissance annuel moyen de la PGF	0,99%	1,25%
Contribution du secteur producteur de TIC	0,44	0,47
Contribution des autres secteurs	0,55	0,78

^aH. Baudchon et O. Brossard [7], p. 81.

^bPour Jorgenson et Stiroh [41], les TIC recouvrent les ordinateurs, les logiciels et les équipements de communications. Pour Oliner et Sichel [56], elles recouvrent les ordinateurs et les semi-conducteurs intégrés aux ordinateurs

TAB. 1.1 – Décomposition des gains de PGF

Les études sectorielles permettent de distinguer explicitement les secteurs producteurs des secteurs utilisateurs et non utilisateurs dans les secteurs manufacturier et non manufacturier, l'idée principale étant de montrer que les gains de productivité du travail et de la PGF sont plus élevés chez les utilisateurs que chez les non utilisateurs. Dans ce cadre, Jorgenson et Stiroh [41] montrent que les gains de productivité globale, sur la période 1958-1996, sont supérieurs au sein des secteurs utilisateurs du secteur manufacturier et du secteur des services que chez les non utilisateurs. Mais cela masque néanmoins une diversité des performances. En effet, de gros utilisateurs de TIC, par exemple les branches *finance*, *assurance*, qui appartiennent au secteur des activités de services, enregistrent des pertes de productivité globale. La faiblesse de la croissance de la productivité dans ce secteur tient peut-être à l'inadéquation des conventions de mesures de la production de ce secteur.

Cependant, abstraction faite des doutes que font peser les problèmes de mesure, la maturation de la deuxième étape du processus de diffusion (impact des TIC sur la PGF des secteurs utilisateurs) devrait également soutenir la croissance de la PGF dans l'ensemble de l'économie. L'existence d'une accélération des gains de PGF engendrée par l'utilisation des TIC permet d'envisager que des pays non producteurs, comme le Luxembourg, puissent également tirer parti des avantages des TIC.

Enfin, selon l'OCDE [54], l'économie américaine bénéficie d'un environnement largement "favorable à l'innovation et réceptif aux nouvelles technologies", en raison d'une concurrence soutenue, des liens étroits entre chercheurs et entreprises, un accès facile au capital humain et au capital-risque. Il convient de noter que "le gouvernement (luxembourgeois) lance le programme baptisé *e-luxembourg*. Ce programme doit permettre d'accélérer l'émergence de la

société de l'information" et va concentrer ses efforts dans des domaines tels que "l'éducation et la recherche, l'organisation du travail, et, finalement le capital-risque et le commerce électronique ainsi que les accès aux infrastructures"²⁸.

1.5.4 Les implications des technologies de l'information et de la communication

Les implications des TIC sont nombreuses :

- elles permettent une réduction du degré d'incertitude auquel sont confrontées les entreprises puisque le développement des TIC procure une plus grande fluidité à la circulation de l'information tout au long de la chaîne de production, permettant ainsi une meilleure adaptation de l'offre à la demande. Cela permet de réduire le niveau des stocks et une utilisation plus efficace des capacités de production ;
- elles permettent une réduction des coûts. Les réseaux de communication mis en place grâce aux TIC, et l'internet en particulier, rendent possible la coordination en temps réel des activités des différents pôles de décision d'une entreprise. Avec le développement du commerce électronique, les canaux intermédiaires de production et de distribution sont limités voire supprimés. Les effectifs nécessaires et les coûts inhérents à cette coordination sont donc considérablement réduits.

Les gains d'efficience apportés par cette restructuration peuvent conduire à des gains de productivité globale des facteurs.

1.5.5 L'enjeu des technologies de l'information et la communication en termes de gains de productivité globale

1.5.5.1 Les importations de biens capitaux incorporant une technologie avancée

En examinant le solde commercial du Luxembourg, et plus particulièrement le poste *machines et appareils*, on constate un accroissement du déficit commercial (6 milliards en 1975 et 15 milliards en 1999 après avoir connu un pic de quelque 25 milliards de LUF au début des années 90) sur la période 1975-99. Ce groupe de produits comprend notamment les biens d'équipement étrangers importés par les entreprises luxembourgeoises. D'après le *Rapport sur la compétitivité de l'économie luxembourgeoise* [22](2000), "la croissance des importations des biens d'équipement s'explique tant par l'extension de l'appareil productif (politique de diversification), que par les efforts de restructuration (essentiellement dans la sidérurgie) et de modernisation". En effet, le rapport souligne "le volume croissant d'importations de matériel informatique et électronique nécessaire pour réussir l'adaptation des entreprises (de l'industrie au secteur des services) aux nouvelles technologies de l'information et des communications".

L'examen de la balance des services permet d'observer une augmentation des importations

²⁸Rapport d'avancement sur les réformes structurelles des marchés des biens, des services et des capitaux, Processus Cardiff I, Janvier 2001, p. 12.

de services informatiques et en technologie de l'information sur la période s'étalant de 1995 à 2000 avec une accélération des montants importés entre 1998 et 2000.

Périodes	Services et maintenance informatiques et services d'information ^a
1995-1997	+ 38,2%
1998-2000	+ 118,5%

^aSource : calculs à partir des données du STATEC, Balance des paiements 1995-2000.

TAB. 1.2 – Evolution du montant des importations de services informatiques et d'information sur la période 1995-2000 (en taux de croissance).

1.5.5.2 L'enjeu des technologies de l'information et de la communication

D'après les analyses théoriques, l'utilisation des TIC, en particulier l'informatique, n'est véritablement efficace que lorsque l'organisation du travail est adaptée à cette technologie : organisation flexible et informatisation devraient dans ce cadre être complémentaires. "Le facteur déterminant ne serait donc ni la réorganisation seule ni l'informatisation isolée, mais la combinaison des deux"²⁹.

Pour les économies européennes, et notamment le Luxembourg, qui sont nettement plus utilisatrices que productrices de TIC, l'enjeu de l'innovation organisationnelle est alors crucial. Comme leurs homologues américaines, les entreprises luxembourgeoises pourraient capter des gains de productivité de leurs investissements croissants en technologie de l'information, à condition de modifier leur organisation. "L'objectif ne serait pas d'importer un modèle productif américain, qui d'ailleurs n'existe pas, mais d'adopter des pratiques de travail qui valorisent les potentialités des TIC" (cf Askenazy et Gianella [5], p. 24).

Nous avons vu précédemment le rôle du capital humain comme moteur de la croissance de long terme (cf Lucas [46], section 1.4.1.4). L'accumulation des compétences est d'autant plus importante que les effets positifs de l'investissement en TIC dépend fondamentalement du niveau de compétence (ou de capital humain) disponible dans l'économie. La présence de qualifications constitue une condition nécessaire à l'assimilation des nouvelles techniques de l'information et de la communication. En outre, le Rapport de l'OCDE sur le Luxembourg [55] (cf Etudes économiques de l'OCDE : Luxembourg, Février 2001, p. 65) souligne que "l'offre de personnel suffisamment qualifié est un facteur susceptible de limiter la diffusion des TIC". Jusqu'à présent, cette contrainte ne semble pas devoir peser sur un pays tel que le Luxembourg qui bénéficie d'un apport de travailleurs étrangers qualifiés provenant des pays voisins.

Dans la ligne des travaux de recherche portant sur l'interaction entre les nouvelles technologies (de l'information et de la communication) et le capital humain, les résultats empiriques obtenus par Gunnarsson, Mellander, et Saviddou [35] dans le cadre d'un panel comprenant

²⁹ Askenazy et Gianella [5], p.21.

14 branches industrielles suédoises sur la période 1986-1995 confirment le rôle d’une telle complémentarité sur la croissance de la productivité globale des facteurs. Ils montrent qu’un accroissement de 1% de la part du *stock de capital technologique* élève les gains de productivité de 0.18%. En outre, l’introduction d’un terme d’interaction entre le *stock de capital technologique* et le capital humain révèle que l’impact des TIC d’une part, varie selon les branches industrielles, et d’autre part, est d’autant plus élevé que la part des travailleurs ayant une formation universitaire est élevée.

1.6 Les déterminants possibles de la PGF luxembourgeoise

Nous allons tenter d’identifier les déterminants possibles de l’évolution de la productivité globale des facteurs (PGF) luxembourgeoise en nous appuyant sur les caractéristiques du Luxembourg et un certain nombre de travaux de recherche.

1.6.1 Les externalités liées à l’ouverture internationale

Dans cette section 1.6.1, nous nous intéressons exclusivement aux *externalités* liées à l’activité de recherche-développement (R-D) dans le cadre des relations économiques internationales d’un pays donné, notamment dans le cadre du commerce international de biens et services.

La méthode de comptabilisation de la croissance permet d’“isoler” la composante de la croissance de la valeur ajoutée qui n’est pas attribuée à l’accumulation des facteurs de production, et ainsi de mesurer la contribution de la croissance de la PGF. Cependant, cette approche ne permet pas d’expliquer les origines des gains de productivité globale. En nous inspirant des travaux théoriques et empiriques issus des nouvelles théories de la croissance, nous proposons un certain nombre de déterminants susceptibles d’influencer le niveau de la technologie au Luxembourg. Les spécifications proposées dans le chapitre 2 ne font pas apparaître certains déterminants présentés dans cette section 1.6.1 en raison de l’absence de données.

L’ambition des nouvelles théories de la croissance (cf section 1.4.1.2) est de rendre compte des facteurs qui gouvernent l’évolution de la productivité globale des facteurs. L’**endogénéisation** du terme A reflétant le niveau de la technologie, nous conduit à réécrire la fonction de production où le progrès technique apparaît comme une fonction de divers facteurs :

$$Y = A(\text{RD domestique, RD des partenaires commerciaux, IDE, éducation, infrastructures publiques,} \dots) F(K, L).$$

Miller et Upadhyay examinent le rôle des variables ayant trait au commerce extérieur du pays considéré ainsi que d’autres facteurs susceptibles d’influencer la PGF. Quant à Coe et Helpman [17], ils expliquent de quelle manière l’ouverture internationale d’un pays affecte la

PGF, dans le cadre des *effets de diffusion internationale de la technologie*. Ils ont analysé et évalué le rôle de la R-D domestique mais également l'impact de la R-D internationale sur la PGF³⁰. Dans ce but, ils ont élaboré, pour chaque pays, des indicateurs de stocks de capital national et étranger en recherche-développement. Ils définissent le stock de connaissance étrangère d'un pays comme une moyenne pondérée des stocks de capital en R-D de tous les partenaires commerciaux du pays considéré. En effet, *les externalités technologiques* transitant par le commerce international sont réputées plus fortes que celles existant au sein d'une économie en raison de l'écart de taille entre économie domestique et marché mondial. Si les biens intermédiaires différenciés font l'objet d'un échange international, c'est bien l'effort de recherche global, et plus seulement l'effort de recherche national, qui est à l'origine des gains de productivité globale.

Des travaux récents ont mis en évidence les canaux de transmission possibles par lesquels les *externalités* opèrent (cf Keller [43]), et par suite affectent la productivité globale des facteurs.

- i En premier lieu, la variable d'ouverture du pays sur l'extérieur, le **degré d'ouverture** de l'économie nationale étant mesuré par le rapport du montant des exportations sur le PIB, a un effet (largement) positif significatif sur la PGF (cf Miller et Upadhyay [51]). Une ouverture plus grande du pays aux marchés internationaux favorise une concurrence exacerbée, encourage l'adoption de technologies avancées, élève la demande de main d'œuvre qualifiée, cette dernière ayant des compétences spécifiques permettant l'utilisation de cette technologie moderne, et favorise l'apprentissage. Ce résultat nous conduit à la remarque suivante : un pays ne pourra adopter une technologie avancée qu'à la condition que l'économie développe l'éducation et la formation, ou, comme dans le cas du Luxembourg, fait appel à la main d'œuvre qualifiée des pays voisins.
- ii En second lieu, on peut examiner l'impact du **capital humain** dans la détermination de la PGF, non seulement de manière isolée, mais également à travers son interaction avec le degré d'ouverture du pays sur l'extérieur. Dans une spécification (économétrique), ce terme d'interaction apparaîtrait comme un terme multiplicatif, soit le produit du niveau de compétence moyen et de la variable reflétant le degré d'ouverture internationale du pays.
- iii Nous avons vu (cf section 1.4.2), à travers le modèle de Romer [60], que les **efforts d'innovation domestiques** des firmes désireuses d'élever leur profit, constituaient le moteur principal du progrès technique et de la croissance de la PGF. Cependant, dans le cadre d'une économie ouverte, la diffusion internationale de la technologie joue un rôle prédominant dans le processus de développement économique d'un pays (cf section 1.4.3.2, modèle de Romer en économie ouverte). Il existe divers canaux de diffusion de la technologie étrangère (cf Keller [43]) : les investissements directs étrangers, les réseaux de communication, l'immigration de main d'œuvre qualifiée, le commerce international des biens et services, et les achats de brevets (accès au stock international de découvertes).

La PGF d'une économie très ouverte, et plus particulièrement d'une petite économie très ouverte, va dépendre non seulement de l'activité domestique en R-D, mais surtout

³⁰Ils évaluent le stock de connaissance par le montant des dépenses en R-D.

des activités en R-D entreprises par ses partenaires commerciaux. Les gains découlant de cette **activité étrangère en R-D** peuvent être directs et indirects :

- les gains sont *directs* lorsqu'ils ont pour origine l'assimilation de nouvelles technologies, de nouveaux processus de production et méthode d'organisation ;
- les gains *indirects* émanent des importations de biens et services intégrant une technologie avancée, conçus et produits par ses partenaires commerciaux.

Coe et Helpman [17] montrent, pour 21 pays de l'OCDE plus Israël, sur la période 1971-1990, que l'intensité des externalités internationales de R-D augmente avec l'ouverture du pays. En outre, le pays pour lequel l'externalité est la plus forte par rapport à la technologie étrangère est la Belgique : les petits pays sont susceptibles de gagner plus que les grands à l'ouverture.

1.6.2 Les externalités liées aux effets de complémentarité

Bourgain et Pieretti [11] ont formalisé le phénomène d'interactions informationnelles engendré par la multiplicité d'activités industrielles, de façon à expliquer une partie de l'évolution de la PGF. Ils s'inscrivent dans la ligne des travaux de Matsuyama [49] qui montre que l'entrée de nouvelles firmes, en créant de nouveaux produits et de nouveaux services sur le marché, induit un accroissement des rendements à un niveau plus aggrégé. Ce phénomène d'interactions informationnelles induit par la multiplicité d'activités industrielles est lié à la proximité des activités mais également aux apports extérieurs d'investissements directs. “Dans une économie très ouverte et de petite taille comme le Luxembourg, la diversification des activités est en grande partie induite par les investissements directs étrangers” (cf Arnaud Bourgain et Patrice Pieretti [10], p.15) qui constituent un des piliers de la croissance de long terme puisqu'ils permettent d'entretenir la croissance à l'aide de leurs apports extérieurs de compétences et d'investissements .

Afin d'évaluer l'impact de la présence d'un grand nombre d'entreprises sur l'efficacité de l'ensemble de ce “système” industriel, ils retiennent une formulation particulière de la fonction de production, soit

$$Q = AL^\alpha K^{1-\alpha} \quad \text{avec} \quad A = bM^\beta \quad (1.37)$$

où M représente le nombre d'entreprises nouvelles et prend en compte non seulement les effets d'agglomération engendrés par la diversité des activités mais également l'élargissement du tissu industriel induit par des implantations étrangères. Le terme β reflète le degré d'interactions informationnelles. Par le biais d'une application empirique portant sur l'*Industrie* luxembourgeoise, les deux auteurs concluent que les effets de complémentarité engendrés par la diversité des activités industrielles constituent un des déterminants de l'évolution de la productivité globale des facteurs³¹.

³¹Bourgain et Pieretti [11] montrent de manière empirique que la variable reflétant la variété des entreprises influence positivement la productivité apparente du travail. Leurs estimations conduisent à une élasticité de la productivité par rapport au nombre d'entreprises nouvelles égale à 0.38 (branches industrielles luxembourgeoises).

1.6.3 L'allocation optimale des ressources

Des modifications de la composition du stock de capital, par exemple lorsque des nouveaux investissements sont entrepris dans des branches à plus forte productivité ou lorsque ces nouveaux investissements sont destinés à l'achat de biens capitaux plus productifs³², peuvent engendrer des variations de la productivité du capital. Cette remarque peut être présentée de manière formelle à l'aide d'une formulation empruntée à l'article de Sonobe et Otsuka [70]³³

$$PTFG = \sum_i \left(\frac{y_i - y}{y} - \alpha \frac{k_i - k}{k} \right) \Delta s_{L_i} + \sum_i s_{Y_i} PGF_i + \alpha \sum_i s_{K_i} \frac{r_i - r}{r} [G(k_i) - G(k)] \quad (1.38)$$

où $PTFG$ est la PGF globale, PGF_i est la PGF du secteur i , y_i est le ratio Y_i/L_i , ou encore la productivité moyenne du travail dans le secteur i , k_i est l'intensité capitaliste dans le secteur i , α est la part du facteur capital dans la production, r_i le coût d'usage du capital dans le secteur i , s_{L_i} et s_{K_i} les parts respectives du facteur travail et du facteur capital du secteur i dans le stock total du facteur de production considéré. Le troisième terme de l'expression ci-dessus sera positif lorsque les secteurs caractérisés par des taux de rendement élevés, soit $r_i > r$, élèvent leur intensité capitaliste relativement plus rapidement. Cet effet joue dans le sens d'une amélioration de la $PTFG$ et donc de la productivité du capital au niveau agrégé, comme nous l'avons fait remarquer précédemment.

1.7 Conclusion

Etant donné l'extrême ouverture internationale du Luxembourg, nous pouvons proposer des pistes possibles concernant les déterminants de l'évolution de la productivité globale des facteurs luxembourgeoise :

- i les investissements directs permettant une diffusion plus rapide de la technologie étrangère et induisant des *effets de complémentarité externe* ;
- ii le degré d'ouverture du pays vers l'extérieur ;
- iii le capital humain permettant de faciliter l'*absorption* de la technologie étrangère et de faire face à l'enjeu des TIC, la réussite d'une nation étant conditionnée à sa capacité de saisir les opportunités ouvertes par les arrivées successives d'équipements nouveaux (ou d'activités nouvelles). D'après les modèles d'*apprentissage par la pratique*, c'est la fluidité de la diffusion du savoir-faire qui engendre de la croissance entretenue ;
- iv le stock de capital étranger en recherche développement (ou le stock de connaissance étrangère) auquel ont accès les branches du secteur marchand luxembourgeois à travers leurs relations économiques internationales (diffusion de la connaissance étrangère).

³²C'est le cas par exemple des investissements en TIC, même si leurs effets sont encore mal évalués dans les secteurs utilisateurs (cf section 1.5).

³³On note $G(x)$ le taux de croissance de la variable x .

Chapitre 2

Décomposition sectorielle et déterminants de la productivité globale des facteurs

2.1 Introduction

Les écarts importants en termes de différences de taux de croissance par habitant ont suscité, notamment ces dernières années, une vaste littérature tant théorique (cf Aghion et Howitt [1], Turnovsky [74], Firth et Mellor [29] pour un exposé des développements récents en matière de croissance) qu'empirique (cf par exemple Piazolo [57] et Senhadji [65]) ayant pour objet l'analyse des processus de la croissance. Dans la plupart des pays ayant enregistré une accélération de la croissance au cours des années quatre-vingt-dix - notamment le Danemark, la Finlande, la Norvège, l'Irlande, ou les Etats-Unis -, la croissance de la productivité globale des facteurs (PGF) s'est établie à un niveau élevé pouvant atteindre entre 1995-1998, 3,5% en Finlande, 3,2% en Irlande, 1,7% au Danemark, et 1,6% en Norvège (cf Scarpetta, Bassanini, Pilat, et Schreyer [62], p. 33-34). Ces évolutions semblent notamment avoir pour origine l'investissement accru en activité de recherche-développement (R-D) comme l'illustre le taux de croissance annuelle moyen du stock de capital en R-D privée s'établissant à 10,8% pour l'Irlande, 8,9% pour la Finlande, 7% pour la Danemark, et 5,4 % pour la Norvège (cf Guellec et Van Pottelsberghe de la Potterie [34], p. 16). En outre, l'activité de recherche-développement étrangère (cf Coe et Helpman [17]) exerce une forte influence sur la croissance de la productivité globale des facteurs. Dans ce cadre, Guellec et Van Pottelsberghe de la Potterie [34] montrent, à partir d'estimations conduites sur un panel de 16 pays de l'OCDE sur la période 1980-1998, qu'un supplément de 1% de recherche développement étrangère engendre une croissance de 0,44% de la productivité, et cet effet est d'autant plus fort dans les pays où les entreprises réalisent plus de R-D. Cependant, ces résultats ne reflètent pas les spécificités nationales et comportent un certain nombre de faiblesses ayant trait à leur interprétation lorsqu'on s'intéresse à un seul pays en particulier.

Dans ce chapitre, nous présentons une analyse des sources de la croissance économique au

Luxembourg en mettant l'accent sur les déterminants de la productivité globale des facteurs (PGF) de l'*Industrie* dans le cadre des séries temporelles. Nous justifions l'introduction de certains facteurs susceptibles d'influencer les gains de productivité d'une telle économie en nous inspirant des nouvelles approches dans le domaine de la croissance qui ont en commun de mettre l'accent sur le rôle du progrès technique ainsi que sur sa détermination. Contrairement au modèle de croissance néoclassique traditionnel, notamment celui de Solow [68], où la croissance de long terme ne découle que de facteurs exogènes tels que les évolutions démographiques et/ou technologiques, les nouveaux modèles de croissance prennent en compte un changement technique endogène, ce qui revient à considérer une source de la croissance véritablement endogène. En effet, dans le modèle néoclassique de Solow, la production ne dépend que du stock de capital, de la quantité de travail et du niveau de technologie, le caractère exogène de ce dernier n'autorisant, à long terme, qu'une croissance économique déterminée de manière exogène. En outre, en l'absence de facteurs exogènes tels que la croissance du progrès technique, la présence de rendements marginaux décroissants sur le capital conduit à l'extinction de la croissance de long terme de l'économie. En revanche, la nouvelle théorie de la croissance introduit un changement technique résultant d'effets d'apprentissage (cf Arrow [4], Romer [59]), d'efforts spécifiques de recherche-développement (cf Romer [60]), souligne le rôle important des institutions (cf Barro et Sala-i-Martin [6]) et justifie l'intervention de l'Etat. Les apports de cette théorie permettent de comprendre de quelle manière un infléchissement de la politique économique est de nature à modifier de façon permanente le taux de croissance de long terme de l'économie. Dans ce cadre, la croissance perpétuelle est rendue possible par l'existence de rendements d'échelle croissants ou d'externalités dans le processus d'accumulation des facteurs, qui garantissent que la productivité marginale des facteurs ne s'annule pas lorsque leur quantité s'accroît. Le progrès technique n'est plus une variable exogène, inexpliquée, mais une variable économique qui renvoie à des comportements.

Dans un premier temps, nous nous intéressons, à un niveau agrégé, à l'évolution de la productivité globale des facteurs. Dans second temps, nous étendons l'analyse à un niveau désagrégé. Cette étude permet de révéler la contribution de chaque branche à la croissance de la PGF globale. Dans un troisième temps, nous présentons les arguments théoriques justifiant l'introduction des variables explicatives dans notre spécification telles que la R-D internationale, la R-D domestique, les exportations, et reflétant les politiques économiques mises en place au Luxembourg. Dans un quatrième temps, nous présentons un certain nombre de facteurs à l'origine des améliorations de technologie réalisées dans l'Industrie. La recherche et développement (RD) extérieure et les dépenses en RD entreprises par l'Industrie luxembourgeoise ont contribué - en particulier le stock de RD des principaux partenaires commerciaux du Luxembourg - positivement à l'évolution de la PGF de l'Industrie. Par ailleurs, nous montrons que la R-D domestique élève la capacité d'assimilation des innovations étrangères. Enfin, dans un cinquième temps, nous présentons les résultats d'estimations relatifs à l'impact des politiques de modernisation et de diversification sur la croissance de la productivité globale des facteurs des branches industrielles luxembourgeoises, sur la période 1975-1999.

2.2 L'évolution de la productivité globale des facteurs sur la période 1970-1999 : une approche en termes de comptabilisation de la croissance

Traditionnellement, on distingue trois facteurs pouvant contribuer à la croissance de la valeur ajoutée : un accroissement du volume de travail, une augmentation du stock de capital et une amélioration de la technologie (reflétée par la croissance de la productivité globale des facteurs). Une méthode fréquemment utilisée pour déterminer la contribution de chacun des trois facteurs à la croissance de la valeur ajoutée est la *comptabilisation de la croissance* où la croissance est définie comme la moyenne pondérée des taux de croissance de la production par unité de travail et du ratio capital-travail.

Deux facteurs peuvent influencer la croissance de la productivité

- 1 L'évolution des qualifications de la main d'oeuvre ;
- 2 Le progrès technique recouvrant aussi bien les innovations de nature technique ou organisationnelle.
 - 2a une innovation technique a été réalisée lorsqu'elle a été introduite sur le marché - innovation de produit, ou utilisée dans un procédé de production - innovation de procédé -. Ce type d'innovation est directement lié aux activités de recherche-développement (R-D) tant domestique qu'étrangère. Suivant l'enquête menée dans les pays membres de l'UE, l'incorporation du progrès technique dans les biens d'équipement constitue la principale source d'innovation (cf Van Overbeke [75]) ;
 - 2b les innovations de nature organisationnelle comprennent la mise en place de structures nouvelles en matière d'organisation, de méthodes avancées de gestion, ou l'adoption d'orientations stratégiques ; elles ont principalement pour objet la modification du processus de production ou l'ouverture de nouveaux marchés.

Les innovations de procédé et de nature organisationnelle s'inscrivent dans une approche en termes de réduction de coût. Dans ce cadre, un accroissement de la productivité globale des facteurs (PGF) permet de produire le même niveau de production à un coût plus faible puisqu'elle nécessite une utilisation moindre des facteurs de production (cf Harberger [36] et Link [45]). En revanche, dans le modèle de Romer [60], une plus grande variété d'inputs garantit une meilleure efficacité de la combinaison productive, cet effet traduisant une forme de progrès technique¹.

2.2.1 Méthode

Pour évaluer la PGF, nous avons retenu la méthode de comptabilisation de la croissance. Cette méthode d'analyse quantitative permet de mesurer ce qui, dans la croissance de la valeur

¹Dans un cadre de compétitivité, une stratégie de valorisation des produits par la qualité constitue un moyen pour les producteurs, de se prémunir contre une perte de compétitivité-prix. La compétitivité des entreprises dépend de leur capacité à proposer un plus grand nombre de variétés de produits. Un élargissement de la gamme des produits réduit la pression de la concurrence à laquelle est confrontée la firme novatrice, et par suite lui offrant la possibilité d'élever ses prix (cf Erkel-Rousse [28]).

ajoutée, est d'une part imputable à la croissance des facteurs de production, et d'autre part, imputable au *progrès technique*. En suivant la méthodologie initiée par Solow [69], supposons que la production agrégée de l'économie, Y_t , puisse être décrite par la fonction de production suivante

$$Y_t = A_t F(K_t, L_t) \quad (2.1)$$

où A_t représente le progrès technique neutre au sens de Hicks. On appelle encore A_t la *productivité globale des facteurs*. Les termes K_t et L_t correspondent respectivement au stock de capital et au nombre de travailleurs. En notant $g_x \equiv \frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$ le taux de croissance de la variable x et en différenciant le logarithme de la fonction (2.1) par rapport au temps, alors le taux de croissance du progrès technique peut s'écrire sous la forme

$$g_A = g_{Y/L} - (1 - \alpha) g_{K/L} \quad (2.2)$$

où $(1 - \alpha)$ représente la part du revenu du capital dans la production. Précisons que l'expression (2.2) est obtenue en formulant les hypothèses suivantes,

Hypothèse 1 *Concurrence parfaite sur les marchés des biens et des facteurs.*

Hypothèse 2 *Constance des rendements d'échelle de la fonction de production.*

Nous considérons l'ensemble des branches industrielles (y compris l'énergie) à l'exception des branches *Produits d'extraction*, *Cuirs*, *articles de voyage*, *chaussures*, et *Produits de la cokéfaction*, *du raffinage et des industries nucléaires*. En outre, la branche *Agriculture*, *chasse et sylviculture* n'entre pas dans le cadre de nos travaux de recherche. La branche *Construction* est incluse dans notre étude. Enfin, nous considérons les Services Marchands, soit les branches *Commerce* et *Activités financières*. Les branches apparaissant dans *Services non Marchands* ne sont pas prises en compte puisque le calcul de la PGF pour ces branches ne constitue pas un objectif pertinent.

2.2.2 Résultats

En examinant la Figure 2.1 où apparaît l'évolution de la PGF à un niveau relativement agrégé, sont présentées les évolutions de PGF associées aux branches *Industrie* (y compris énergie, hors extraction), *Construction*, *Commerce*, et *Activités financières et immobilières*, et de l'ensemble des branches. Nous constatons,

- une croissance soutenue de la PGF de la branche *Industrie* au cours des années quatre-vingt ;
- des pertes de productivité enregistrées par la branche *Commerce* de 1990 à 1997, cette branche ne retrouvant le niveau de sa PGF de 1988 qu'en 1999 ;
- une relative stabilité du niveau de la productivité globale de la branche *Construction*, cette dernière enregistrant des gains de productivité à la fin des années quatre-vingt en partie compensés par des pertes au début des années quatre-vingt-dix ;

- des gains de productivité (ou croissance de la PGF) depuis le milieu des années quatre-vingt dix enregistrés par la branche *Activités financières et immobilières*, ayant succédé à une période de relative stabilité du niveau de la PGF (1989-1995).

La Figure 2.1 semble indiquer que la relative stabilité du niveau de la PGF au niveau de l'ensemble des branches, au début des années quatre-vingt dix, s'expliquerait par les pertes de productivité (croissance négative) enregistrées par les branches *Commerce* et *Construction*, atténuant fortement les gains de productivité réalisés par la branche *Industrie*.

Les mesures que nous avons réalisées pour le Luxembourg (agrégation de l'Industrie, Construction, et Services Marchands) sont reprises dans le Tableau 2.1.

Périodes	Croissance VA g_Y^a	Contribution Emploi αg_L	Contribution Capital $(1 - \alpha) g_K$	Contribution PGF g_A
1970-1980	4.5	0.8	1.1	2.6
1981-1990	4.2	0.8	0.9	2.5
1991-1999	3.8	1.2	1.1	1.5

^aCette décomposition de la croissance de la valeur ajoutée est réalisée à l'aide de l'équation (A.7).

TAB. 2.1 – Croissance annuelle moyenne de la VA globale (industrie, construction et services marchands) et de ses composantes au cours des trois périodes successives 1970-1980, 1981-1990, 1991-1999

En examinant la Figure 2.2 où apparaît l'évolution de la PGF de l'*Industrie* (y compris énergie, hors extraction), nous pouvons distinguer trois périodes.

- La période 1970-1980 est associée à une croissance faible de la PGF industrielle. Notons que cette période est caractérisée par la crise sidérurgique au milieu des années 70.
- En revanche, au début des années 80 et jusqu'en 1990, nous assistons à une accélération des gains de productivité de l'*Industrie*. La croissance moyenne annuelle de la PGF sur cette période est supérieure à 4%.
- Enfin, pour la période s'étalant de 1991 à 1999, la branche *Industrie* enregistre une croissance positive de la PGF, mais néanmoins nous pouvons observer un ralentissement des gains de productivité de cette branche.

Les mesures que nous avons réalisées pour la branche *Industrie* sont reprises dans le Tableau 2.2. Ce tableau fait apparaître une très forte contribution de la PGF à la croissance de la valeur ajoutée de l'*Industrie* au cours des trois périodes successives 1970-1980, 1981-1990, et 1991-1999.

La croissance de la PGF constituant la composante de la croissance de la VA qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production, nous nous sommes intéressés aux sources d'une telle croissance et nous avons évalué dans quelle mesure les efforts en matière de R-D entrepris tant par les partenaires commerciaux que le Luxembourg lui-même, et les politiques de modernisation et de diversification contribuent positivement à cette évolution favorable des gains de productivité (cf section 2.5 et section 2.6).

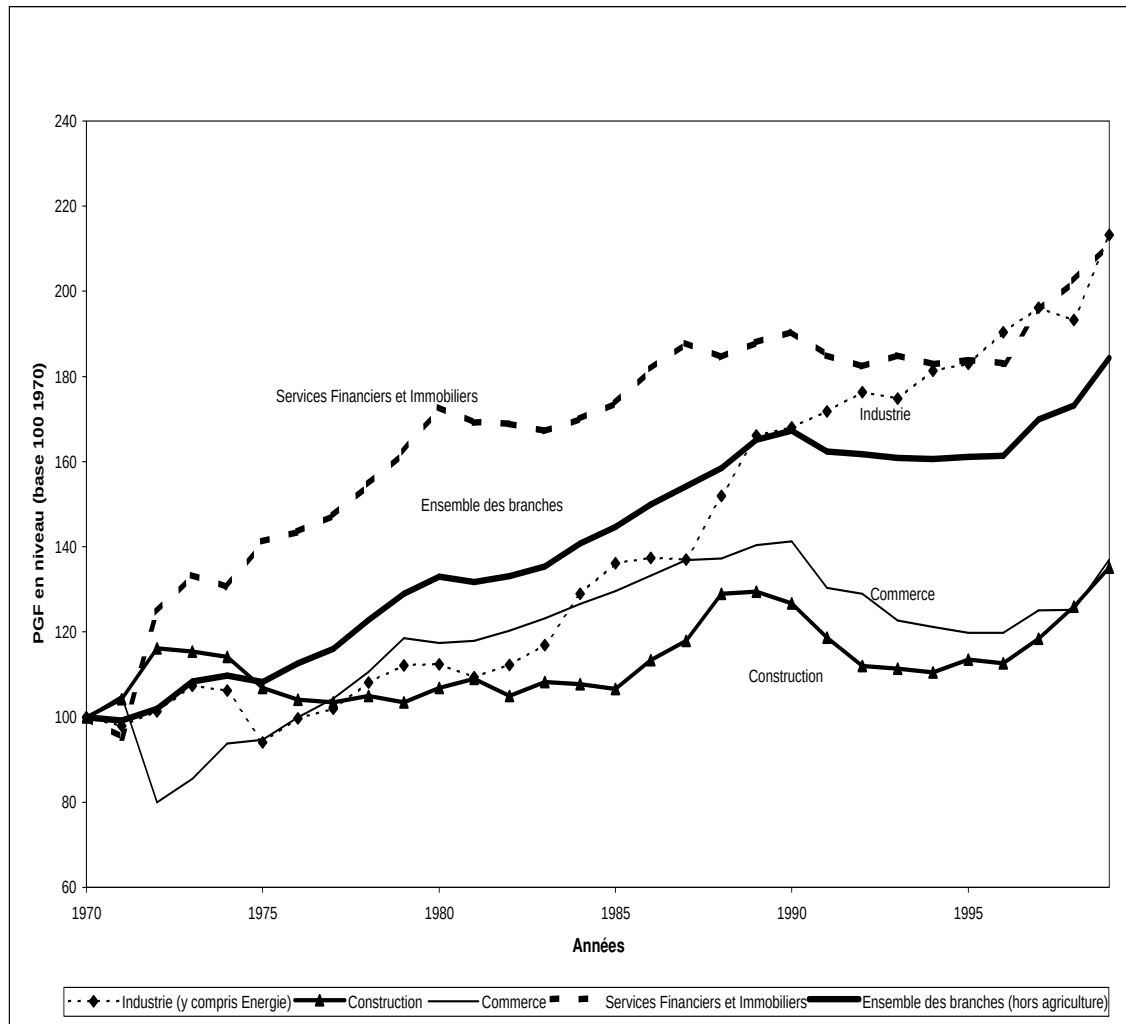


FIG. 2.1 – Evolution de la productivité globale des facteurs du secteur marchand luxembourgeois (1970-1999)

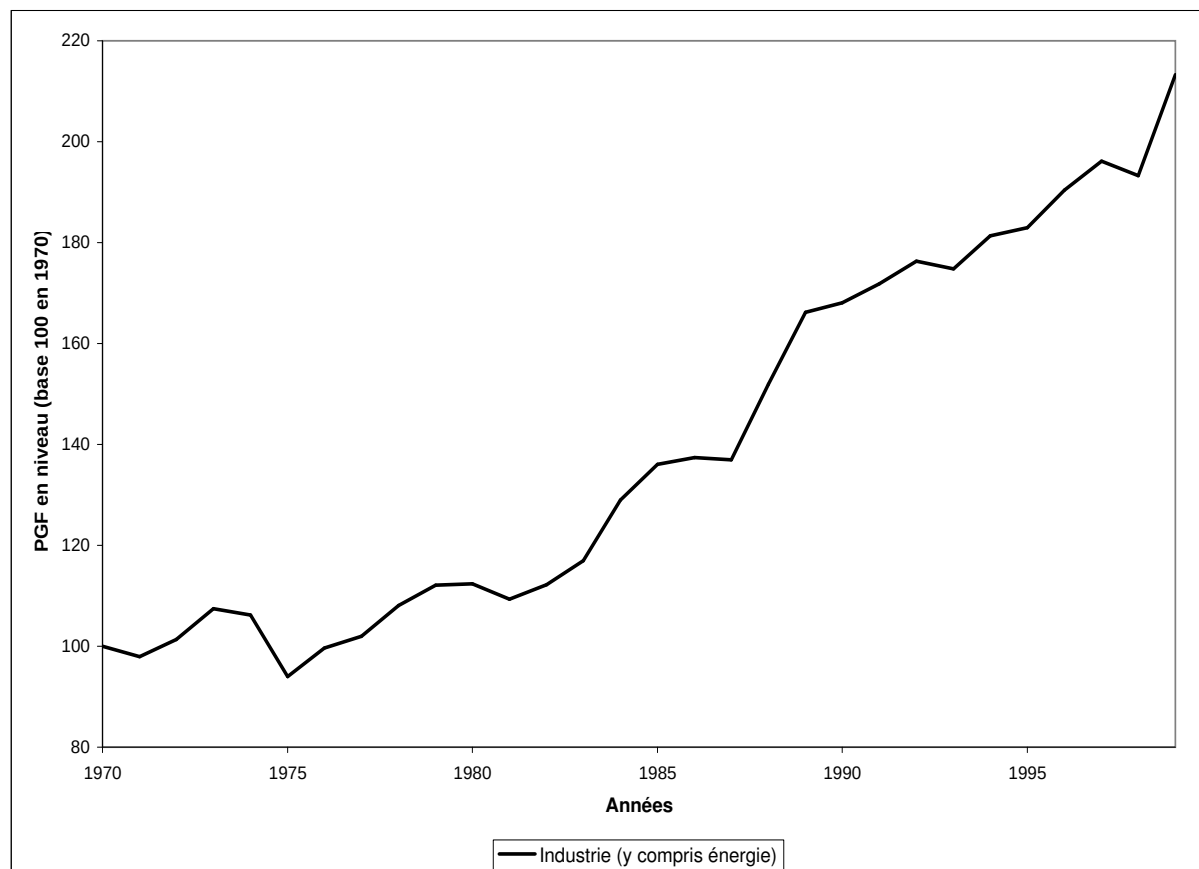


FIG. 2.2 – Evolution de la productivité globale des facteurs de l'Industrie au Luxembourg (1970-1999)

Périodes	Croissance VA g_Y	Contribution Emploi αg_L	Contribution Capital $(1 - \alpha) g_K$	Contribution PGF g_A
1970-1980	1.4	-0.6	0.9	1.1
1981-1990	3.5	-0.8	0.0	4.3
1991-1999	2.5	-0.2	0.3	2.4

TAB. 2.2 – Croissance annuelle moyenne de la VA de l’Industrie et de ses composantes au cours des trois périodes successives 1970-1980, 1981-1990, 1991-1999 (en %)

2.2.3 Evolution de la productivité du travail : accroissement de l’intensité capitalistique ou progrès technique ?

Les évolutions respectives de la productivité du travail et de la productivité globale des facteurs (cf Figure 2.3) reflètent une des spécificités de l’économie luxembourgeoise, déjà mise en évidence par le Rapport 1999 *Compétitivité de l’économie luxembourgeoise* [21] pour l’industrie : le taux de croissance moyen de la productivité globale des facteurs représente une très grande part du taux de croissance moyen de la productivité du travail (environ 80%).

Branches	1976-1999 ^a , en %			
	$g_{Y/L}$	g_A	$(1 - \alpha) g_{K/L}$	$(1 - \alpha)$
Industrie	4.0	3.2	0.8	0.4
Industrie, Commerce, Activité fin et Imm	2.0	2.2	-0.2	0.6

^aLes termes $(1 - \alpha)$, $g_{Y/L}$, g_A , et $(1 - \alpha) \times g_{K/L}$ représentent respectivement la part distributive du capital, les taux de variation de la valeur ajoutée par travailleur, de la PGF, et de la contribution de l’intensité capitalistique à la croissance de la productivité du travail (en %). Nous rappelons que $g_{Y/L} = g_A + (1 - \alpha) g_{K/L}$

TAB. 2.3 – Taux de croissance de la productivité du travail et de ses composantes au Luxembourg, 1976-1999 (en %).

Les calculs repris dans le Tableau 2.3 associés à la période 1976-1999 montrent que le taux de croissance moyen productivité du travail de l’industrie et services marchands semble exclusivement déterminé par le taux de croissance de la PGF. Ce résultat apparaît clairement sur la Figure 2.3 où les courbes associées aux productivités respectives du travail et globale des facteurs présentent un profil d’évolution similaire.

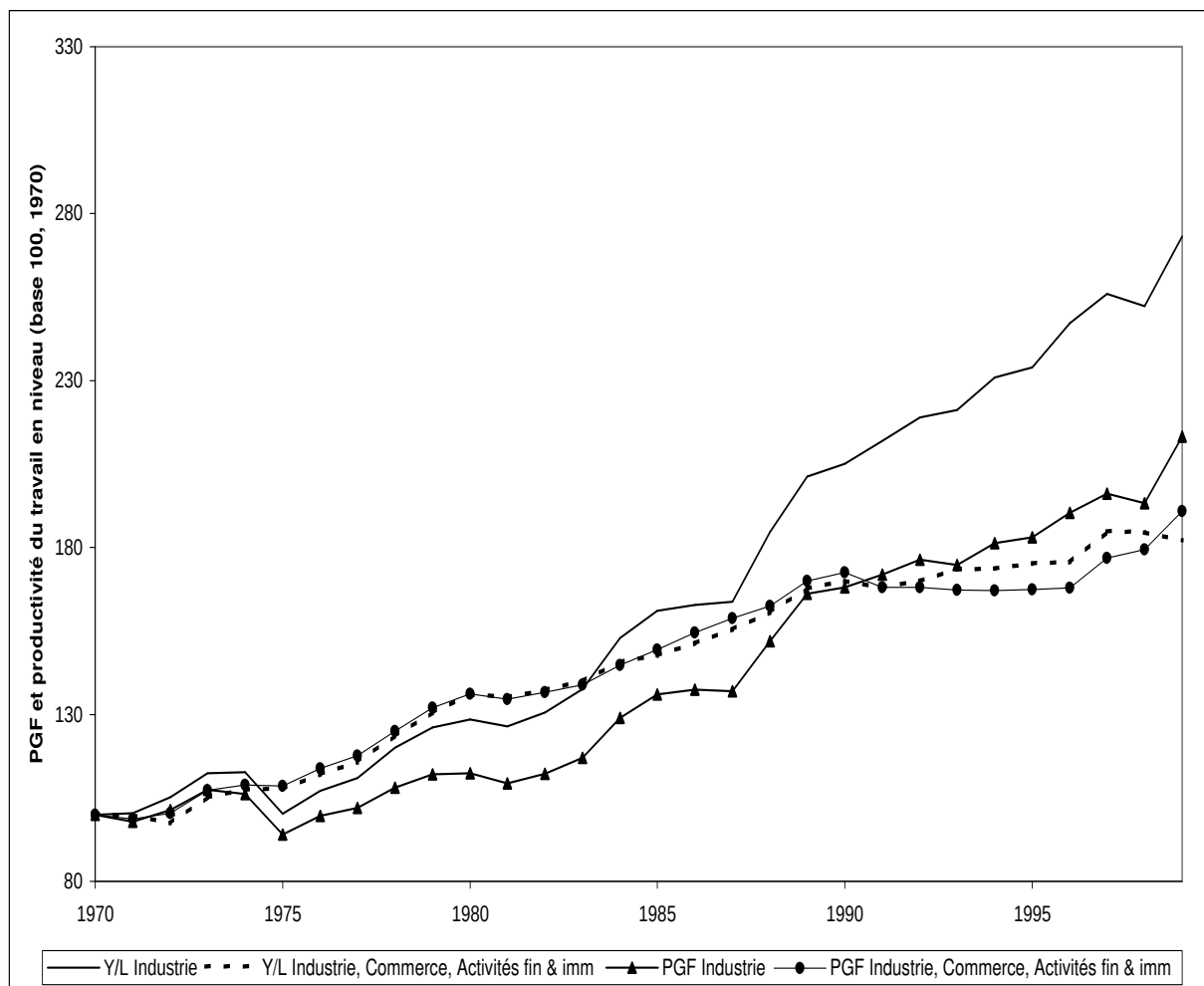


FIG. 2.3 – Evolution de la productivité du travail et de la productivité globale des facteurs au Luxembourg (1970-1999)

2.3 La décomposition sectorielle de la productivité globale des facteurs

2.3.1 Une approche en termes de réduction de coût

2.3.1.1 Objectif

Les résultats précédents mettent en évidence l'accélération des gains de PGF, à un niveau agrégé, depuis le milieu des années quatre-vingt dix au Luxembourg (cf Figure 2.1). Cette évolution favorable semble avoir pour origine les performances remarquables enregistrées par les branches *Industrie* et *Activités financières et immobilières*. Cependant, cette analyse ne permet pas, d'une part, par son niveau relativement agrégé, et d'autre part, en raison de l'absence de la mise en évidence de la contribution véritable des différentes branches à l'accélération des gains de productivité, de rendre compte des origines sectorielles de l'évolution de la PGF au niveau de l'ensemble des branches. L'objet de la présente section consiste à déterminer la véritable contribution de chaque branche à la croissance de la PGF de l'économie luxembourgeoise, en tenant compte de sa capacité à réduire les coûts, et de sa part dans la valeur ajoutée globale. Un travail similaire a déjà été réalisé par Bourgain et Pieretti [10]². L'objet de l'étude était de déterminer les secteurs *leaders* de la croissance de la PGF pour l'ensemble de l'industrie. Cependant, leur analyse est différente de la nôtre car les auteurs ne prennent en compte que les branches industrielles sur la période 1971-1993. Notre travail apparaît donc complémentaire de leur analyse puisque notre étude est effectuée d'une part, sur une période plus longue scindée en cinq sous-périodes distinctes de durée équivalente, et d'autre part, nous considérons un plus grand nombre de branches puisque notre analyse prend en compte les branches des *Services Marchands*.

2.3.1.2 Méthode adoptée

L'approche adoptée s'appuie sur la notion de réduction réelle de coût, c'est-à-dire qu'un accroissement de la PGF permet de produire le même niveau de production à un coût plus faible puisqu'elle nécessite une utilisation moindre des facteurs de production.

Afin de mettre en évidence les branches qui contribuent à l'augmentation de la productivité globale des facteurs, nous avons retenu la méthode proposée par Harberger [37] reposant sur la notion de réduction réelle de coût. A cette fin, nous considérons cinq périodes successives, soit 1970-1975, 1976-1981, 1982-1987, 1988-1993, et 1994-1999. Dans la section A.4, nous présentons cinq tableaux respectivement associés aux cinq périodes décrites ci-dessus, en expliquant leur construction. En outre, nous faisons apparaître les résultats principaux de la décomposition sectorielle à l'aide du Tableau 2.4. Il est possible de représenter cet ensemble d'informations de manière graphique. Ces figures³ (cf section A.4.2) font apparaître

²Bourgain et Pieretti [10] présentent l'approche de Harberger de manière formalisée et proposent notamment un exemple simplifié permettant de mieux appréhender la méthode de décomposition de la réduction réelle de coût (cf p.17-18).

³Les caractéristiques de ces figures et le mode de lecture de tels graphiques sont présentés dans la section

- le taux de croissance de la PGF de chaque branche,
- leur part dans la valeur ajoutée globale,
- et la tendance de la PGF de l'ensemble des branches (secteur marchand).

2.3.2 Résultats

Nous présentons les résultats associés aux trois périodes s'étalant de 1982 à 1999.

- i Au cours de la période 1982-1987, nous constatons que 6 branches, représentant moins de 18% de la valeur ajoutée (VA), soit les branches *Matériel de transport*, *Produits chimiques*, *Produits de la métallurgie*, *Transports et communication*, *Produits en caoutchouc ou en plastique*, et *Equipements électriques et électroniques*, ont permis à elles seules de réaliser une réduction de coût supérieure à la réduction de coût réalisée par l'ensemble des branches. Par ailleurs, la forte baisse de la PGF de la branche *Services financiers* sur la période 1982-1987 contribue négativement à la réduction réelle de coût global et son poids important dans la valeur ajoutée globale compense en partie les réductions de coût réalisées par les autres branches.
- ii Au cours de la période 1988-1993, 5 branches représentant moins de 4% de la VA globale, dont *Produits de l'industrie textile et de l'habillement*, *Produits chimiques*, et *Matériels de transport*, sont à l'origine d'une réduction réelle de coût supérieure à celle enregistrée par l'ensemble des branches. En outre la branche *Services financiers*, bien que ses gains de productivité soient faibles, contribue également positivement à la réduction réelle de coût par le biais de son poids important dans la VA globale.
- iii Enfin, au cours de la période 1994-1999, 7 branches, à savoir *Produits de la métallurgie*, *Matériel de transport*, *Equipements électriques et électroniques*, *Produits en caoutchouc ou en plastique*, *Services financiers*, *Construction*, et *Transports et communication*, ces dernières représentant 52% de la VA globale, ont à elles seules permis de réaliser 81% de la réduction réelle totale de coût enregistrée par l'ensemble des branches. Nous pouvons ajouter qu'à cette dernière période est associée la plus importante réduction réelle de coût enregistrée par l'économie luxembourgeoise au cours des trente dernières années.

Les performances enregistrées par les branches *leaders* luxembourgeoises en matière de réduction réelle de coût obtenue par d'importants gains de productivité, semblent donc encourageantes. Ces résultats peuvent avoir des origines internes, c'est-à-dire propres à l'activité domestique et aux mesures de politiques économiques, et externes c'est-à-dire propres à l'activité étrangère. Cette distinction a fait l'objet d'un développement approfondi dans le Chapitre 1 (cf section 1.6), où nous avons présenté les déterminants possibles de la PGF d'une petite économie ouverte telle que le Luxembourg. En d'autres termes, la détection des branches performantes et des déterminants structurels de la PGF d'une économie constitue deux éléments indispensables à la formulation de la politique économique puisque cela permet de révéler les canaux par lesquels opèrent les *externalités*. Enfin, une telle analyse fournit un repère aux décideurs politiques puisqu'elle devrait permettre de mettre en évidence les mécanismes sous-jacents à la croissance économique luxembourgeoise.

A.4.2.

Périodes	Résultats ^a			
	Branches leaders	$\frac{\Delta PGF_i}{PGF_i}$	$\sum_{i=1}^{nb} br \frac{VA_i}{VA} b$	$\sum_{i=1}^{nb} br \frac{\Delta PGF_i}{PGF_i} \times \frac{VA_i}{VA} c$
1982-1987	Matériels de transport	0.788	0.001	0.001
	Produits chimiques	0.559	0.005	0.003
	Produits métallurgiques	0.406	0.094	0.039
	Tansports et communications	0.339	0.144	0.056
	Produits caoutch. et plast.	0.279	0.175	0.064
	Equipements élec. et électro.	0.226	0.178	0.065
	Secteur marchand			0.041
1988-1993	Produits ind. text.	1.225	0.011	0.014
	Produits chimiques	0.413	0.019	0.017
	Autres prod min. non met.	0.298	0.034	0.021
	Autres prod manufacturés	0.290	0.036	0.022
	Matériels de transport	0.245	0.037	0.023
	Produits métallurgiques	0.142	0.119	0.034
	Secteur marchand			0.010
1994-1999	Produits métallurgiques	0.512	0.051	0.026
	Matériels de transport	0.485	0.052	0.027
	Equipements élec. et électro.	0.346	0.058	0.029
	Produits caoutch. et plast.	0.323	0.083	0.037
	Services financiers	0.228	0.339	0.095
	Construction	0.213	0.421	0.112
	Secteur marchand	0.208	0.514	0.132
				0.162

^aLes résultats pour l'ensemble des branches et des périodes sont présentés en Annexe A.4.2

^bCette expression correspond à la somme cumulée des parts des îemes premières branches dans la valeur ajoutée du secteur marchand

^cCette expression est la somme pondérée (cumulée) des gains de productivité réalisés par les îemes premières branches, où la pondération affectée à la îème branche est égale à sa part dans la VA du secteur marchand.

TAB. 2.4 – Résultats de la décomposition sectorielle pour les périodes 1982-1987, 1988-1993, et 1994-1999

2.3.3 Remarques

A partir des résultats obtenus à l'aide de cette décomposition sectorielle associée à 5 périodes successives, nous pouvons formuler un certain nombre de remarques, en établissant un parallèle avec les conclusions de Harberger [36].

1 Peu de branches demeurent leaders durablement. Depuis 1982, nous retrouvons un nombre réduit de branches parmi les 6 premières ayant enregistré la plus forte croissance de la PGF. La branche *Produits chimiques* apparaît à la deuxième place au cours de deux périodes successives, soit 1982-1987 et 1988-1993. Quant aux branches *Matériels de transport* et *Produits de la métallurgie et du travail des métaux*, elles se situent respectivement parmi les 5 et 6 premières branches au cours des trois périodes successives, soit 1982-1987, 1988-1993, et 1994-1999.

2 Une très forte concentration des réductions de coûts. Nous pouvons remarquer en examinant les Figures A.1, A.2, A.3, et A.4, respectivement associées aux périodes 1970-1975, 1976-1981, 1982-1987, et 1988-1993, que la réduction réelle de coût cumulée est réalisée par un nombre très (ou relativement) réduit de branches. En effet, sur la période 1970-1975, la réduction de coût réalisée par une seule branche, en l'occurrence *Services financiers et immobiliers* excédait la réduction de coût globale. Néanmoins, ce résultat doit être nuancé en raison de la faible réduction de coût (totale) réalisée par l'ensemble des branches au cours de cette période. Sur la période 1982-1987, seules les branches représentant 10% de la valeur ajoutée globale, réalisaient la réduction globale de coût observée. Enfin, la réduction de coût cumulée associée à la période 1988-1993 est remarquable car elle est réalisée par un très petit nombre de branches représentant une part très faible dans la valeur ajoutée globale. Ainsi, Harberger [36] (cf p. 10) souligne que des branches représentant une part très faible dans la VA globale peuvent réaliser à elles seules une réduction de coût égale à la réduction totale de coût.

3 Une compensation relative des réductions de coût positives et négatives.

Le Tableau 2.5 ci-dessous révèle des résultats intéressants rejoignant ceux de Harberger [36]. En effet, au cours de la période 1970-1975, 9 branches représentant 64% de la VA globale réalisent des réductions de coût dont la somme cumulée est 3,44 fois plus élevée que la réduction totale de coût. En outre, sur la période 1988-1993, les 11 premières branches (enregistrant une croissance positive de la PGF) représentant 59% de la VA globale réalisent une réduction de coût égale à moins de cinq fois la réduction réelle totale de coût. En d'autres termes, les mauvais résultats de certaines branches⁴ en termes de productivité sont compensés par les gains de productivité des autres branches. Enfin, le Tableau 2.5 montre, sur la période 1994-1999, qu'une part très faible des branches enregistrent des pertes de productivité (cf colonne⁵ (3) du Tableau 2.5).

⁴En examinant les figures apparaissant dans la section A.4.2, nous remarquons que les branches enregistrant des pertes de productivité, c'est-à-dire les branches situées à droite du sommet de la courbe, voient leurs mauvais résultats être compensés par les branches réalisant des gains de productivité, c'est-à-dire les branches situées à gauche du sommet de la courbe.

⁵Lorsque le rapport apparaissant dans la colonne (3) du Tableau 2.5 est proche de 100, alors une part très faible de branches enregistrent une baisse de leur PGF. En revanche, un rapport élevé (par exemple égal à 474) signifie qu'une part importante de branches enregistrent des pertes en coût de production (puisque les gains en coût de production des branches enregistrant une croissance positive de leur PGF sont 4.74 fois plus élevés que la réduction de coût global).

Périodes	Réduction de coût cumulé/VAG (ensemble des branches) (1)	Réduction de coût cumulé/VAG (branches avec $\frac{PGF}{PGF} > 0$) (2)	$\frac{(2)}{(1)} * 100$ (3)
1970-1975	0.0430	0.1483	344.88
1976-1981	0.0630	0.0851	135.08
1982-1987	0.0407	0.1157	284.28
1988-1993	0.0104	0.0493	474.04
1994-1999	0.1620	0.1656	102.22

TAB. 2.5 – Fraction de la réduction réelle de coût réalisée par les branches enregistrant une croissance de la PGF par rapport à la réduction globale de coût.

4 Une approche des mécanismes de croissance - Harberger [36] (p.24) énonce les cinq piliers de la croissance : les taux de croissance de la main d'oeuvre, du capital humain, du stock de capital physique, du taux de rendement de l'investissement, et la réduction réelle de coût. Il souligne que les pays enregistrant la croissance économique la plus rapide, sont également caractérisés par d'importantes contributions du capital et des gains de productivité. La réalisation de réductions de coût et la présence de taux de rendement élevés permettent d'attirer les investissements, ces derniers élevant la contribution du capital à la croissance de la valeur ajoutée. Harberger [36] (cf p. 26) conclut en soulignant que la croissance de la PGF (à quantités données de facteurs de production) constituerait le facteur (essentiel) à l'origine de taux de rendement élevés, produisant des opportunités d'investissement et par suite, une croissance soutenue de la valeur ajoutée.

2.4 Les arguments théoriques sous-jacents aux déterminants de la croissance économique

Un certain nombre de facteurs propres à un pays donné, dont les choix de politique économique, le comportements des agents, notamment en matière d'investissement en capital humain ou d'efforts en recherche-développement, peuvent influencer largement sa croissance économique à long terme.

2.4.1 Les aspects théoriques

2.4.1.1 La connaissance comme un bien public

Nous résumons certains concepts que nous avons présentés de manière détaillée dans la section 1.4.1 de façon à les mettre en perspective avec les applications empiriques apparaissant dans les sections 2.5 et 2.6. Nous nous inspirons du modèle de Romer [60] (cf section 1.4.2 pour une présentation détaillée et formalisée) où apparaissent trois secteurs : le secteur de la recherche, le secteur de production de biens intermédiaires, et le secteur de production d'un

bien final. Dans ce cadre d'analyse, le moteur de la croissance réside dans le progrès technologique, résultant de façon endogène des décisions du secteur de la recherche (ou laboratoire), qui utilise du travail et le stock de savoir existant pour produire de nouvelles connaissances. Dans ce secteur, la connaissance est un bien public non exclusif. Tous les chercheurs peuvent utiliser le stock de savoir existant, et aucune de ces connaissances ne fait l'objet d'un droit de propriété intellectuelle qui permettrait à son détenteur d'en interdire l'usage aux autres. A l'aide d'un plan de fabrication (brevet) acheté au secteur de la recherche (rémunération du secteur de la recherche), les entreprises du secteur de production de biens intermédiaires produisent chacune un bien intermédiaire. Dans ce cadre, la connaissance devient exclusive : chaque entrepreneur doit payer l'*exclusivité* de la fabrication des biens intermédiaires matérialisant les innovations réalisées par le secteur de la recherche. Les connaissances sont alors qualifiées d'exclusives en ce sens que l'existence d'un brevet permet d'interdire l'usage de la connaissance à des fins de production⁶. Enfin, le secteur de production du bien final utilise comme inputs du travail et un stock de capital hétérogène composé de différents biens intermédiaires. Par l'acquisition des biens intermédiaires, ce secteur bénéficie de l'avancée technologique incorporé dans les biens intermédiaires. La croissance dans ce modèle résulte du nombre, de la variété de biens intermédiaires, qui dépend elle-même de l'effort consacré par l'économie à la recherche.

La gamme de biens intermédiaires disponibles s'élargit en raison de l'investissement consacré à l'activité de recherche-développement. Les entreprises du secteur de production de biens intermédiaires investissent des ressources destinées au développement de nouveaux biens intermédiaires afin de bénéficier d'une rente monopolistique. Par conséquent, la variété de biens intermédiaires est une fonction croissante de l'effort cumulé engagé en R-D par le pays considéré. Il s'ensuit que la productivité globale des facteurs exprimée sous forme logarithmique, égale à $\ln PGF = \ln Y - (1 - \alpha) \ln L - \alpha \ln K$, dépend de l'effort cumulé entrepris en R-D.

Notre analyse s'inscrit dans la ligne des travaux consistant à expliquer le *résidu de Solow*. Notre approche ne consiste pas à estimer une fonction de production puisque la variable expliquée apparaissant dans notre étude est la PGF (et non la valeur ajoutée). A travers le choix de cette variable au détriment d'une variable telle que la valeur ajoutée, nous essayons d'appréhender les externalités engendrées par l'activité de R-D en non l'effet total incorporant l'effet direct d'un tel investissement sur le rendement privé de la firme. En d'autres termes, l'adoption de la PGF comme variable expliquée permet d'évaluer le *rendement social* (et non le rendement privé) de la R-D puisque la croissance de la productivité globale des facteurs correspond à la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production (une partie des dépenses de l'entreprise industrielle consacrées à l'activité de recherche-développement est incluse dans le stock de capital et le facteur travail). Par conséquent, si le rendement social de la R-D est égal à son rendement privé alors l'élasticité de la PGF par rapport au stock de capital en R-D devrait être nulle. En revanche, une élasticité positive indiquerait la présence d'externalités (à l'origine d'un processus de croissance endogène).

⁶Notre étude ayant pour objet de faire émerger les déterminants de la productivité globale au Luxembourg, nous soulignons que les résultats empiriques présentés par Allegrezza [2] sur des données luxembourgeoises confirment que "l'appropriation augmente la probabilité de faire de la recherche ou d'innover" (cf Chapitre 7, p.183).

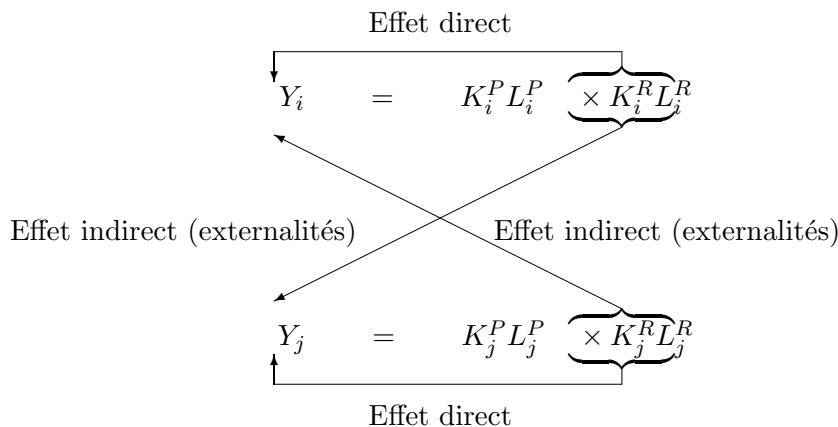


FIG. 2.4 – Effet direct et effet indirect induit par l'activité de Recherche-Développement.

La Figure 2.4 fait apparaître les fonctions de production de deux firmes notées respectivement i et j . Ces deux firmes, i et j , produisent un niveau d'output, Y_i et Y_j , à l'aide de capital et de travail. Nous distinguons le capital et le travail alloués à l'activité de R-D, notés K^R et L^R , et le capital et le travail en tant que facteurs de production destinés à l'activité de production, soit K^P et L^P . Les entreprises i et j décident de façon décentralisée d'un investissement optimal en activité de R-D. Dans ce cadre, l'effet direct (cf Figure 2.4) va refléter l'effet d'un tel investissement entrepris par les firmes i et j sur leurs niveaux respectifs de valeur ajoutée, soit Y_i et Y_j . L'agrégation de ces investissements privés vont engendrer un *supplément commun* à toutes les entreprises (par soucis de simplicité, nous ne considérons que deux firmes). En d'autres termes, les dépenses entreprises en activité de R-D par chaque firme devraient créer une *externalité*⁷ pouvant être interprétée comme un stock commun de connaissances.

En résumé, l'activité de recherche-développement est susceptible d'élever la productivité globale des facteurs d'une firme entreprenant une telle activité puisque la création de nouveaux produits et/ou de nouveaux procédés permettront à l'entreprise d'élever sa valeur ajoutée (à facteurs de production donnés) et/ou de réduire ses coûts (à valeur ajoutée donnée). Cet effet direct, comme le montre la Figure 2.4 peut être accompagné d'*externalités* positives, c'est-à-dire que l'investissement en R-D de la firme i pourra avoir un effet indirect sur la PGF de la firme j . La méthode de comptabilisation de la croissance nous a permis d'évaluer la part de la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production, c'est-à-dire de mesurer la croissance de la PGF de la branche *Industrie*. En régressant cette dernière par rapport au stock de R-D (ou stock commun de connaissance), nous cherchons de manière empirique à révéler la présence d'externalités induites par l'activité de R-D.

⁷Les estimations dont les résultats sont présentés dans la section 2.5.5, ont pour objet de "détecter" la présence de telles externalités induites par l'activité de R-D à l'origine d'un stock commun de savoir.

2.4.1.2 Les concepts d'externalité, rendement privé, rendement social

Cette section 2.4.1.2 est destinée à rappeler de manière succincte certaines notions ayant fait l'objet d'un développement approfondi dans la section 1.4.1. L'interprétation économique des résultats empiriques (cf sections 2.5 et 2.6) et leurs enseignements en termes de politique économique sont subordonnés à la compréhension de ces concepts.

Dans le cadre du modèle de Romer [60], les innovateurs sont censés recevoir un profit en raison de l'utilisation de leurs connaissances dans la production de biens intermédiaires, et non dans la production de connaissances. Ce postulat correspond à une donnée institutionnelle : lorsqu'un brevet est décerné pour une nouvelle technologie, celle-ci doit faire l'objet d'une description complète. Elle peut donc faciliter la tâche d'autres chercheurs. Par conséquent, le développement de connaissances nouvelles exerce une externalité positive sur tous ceux qui travaillent dans le secteur de la recherche (cf Romer [58], Chapitre 3).

Rappelons qu'il existe une externalité ou un effet externe, dès lors que la décision d'une entité (ou ses actions) modifie(nt) l'efficacité de production d'au moins une autre entreprise, en dehors du processus d'échange sur le marché.

Dès lors qu'une externalité a été introduite, l'optimum social ne coïncidera plus avec l'équilibre concurrentiel (ou équilibre décentralisé)⁸. Romer [60] montre que le taux de croissance optimal⁹ est supérieur au taux de croissance de l'équilibre concurrentiel : la fraction du capital humain consacrée à la recherche est plus élevée à l'optimum qu'à l'équilibre. La raison en est que les agents isolés ne prennent pas en compte l'externalité engendrée par la production de connaissances dans le secteur de la recherche, contrairement à ce que ferait un planificateur : le rendement privé de la recherche est inférieur à son rendement social.

La correction d'une telle distorsion justifie l'intervention de l'Etat pour "rapprocher" l'équilibre concurrentiel de l'optimum social : une subvention au secteur de la recherche permettrait d'internaliser l'externalité créée par la recherche courante sur la productivité de la recherche future.

2.4.2 Exportations de biens ou degré d'ouverture internationale

Il existe un certain nombre de raisons justifiant l'introduction de cette variable dans nos régressions :

- Piazzolo [57] souligne que dans les pays caractérisés par des marchés domestiques de petite taille, le développement du secteur de production de biens destinés à l'exportation conduit à des *effets d'échelle*. Cet effet provient du fait que, à l'instar des conclusions de Romer [60], une augmentation de la taille du marché (ou de la demande solvable) permet de répartir le coût fixe, induit par l'achat d'un brevet, de création d'un produit

⁸Dans le cadre de l'équilibre concurrentiel, les ménages et les entreprises résolvent séparément leurs programmes d'optimisation. Si l'optimum social coïncide avec l'équilibre concurrentiel, alors les agents, dans une configuration décentralisée de l'économie, prennent spontanément les décisions qui assurent que la croissance de l'économie est optimale.

⁹La détermination du taux de croissance optimal résulte du programme d'optimisation du planificateur.

nouveau sur un plus grand nombre de produits vendus.

- Une ouverture plus grande du pays aux marchés internationaux favorise une concurrence exacerbée, encourage l’adoption de technologies avancées, élève la demande de main d’œuvre qualifiée. Cette concurrence accrue sur les marchés internationaux contraint les secteurs exportateurs à réaliser des gains de productivité permettant ainsi de produire le même niveau de production à un coût plus faible puisqu’elle nécessite une utilisation moindre des facteurs de production.
- L’ouverture internationale d’un pays entraînera une réorientation des ressources vers les emplois les plus efficaces, cette réallocation étant engendrée par la spécialisation du pays. L’effet de l’allocation optimale des ressources sur la PGF a notamment été mis en évidence par Sonobe et Otsuka [70], en présentant une expression de la PGF comme une fonction de l’allocation optimale du capital. Lorsque les secteurs caractérisés par des taux de rendement du capital élevés, accroissent leur intensité capitaliste relativement plus rapidement que les autres secteurs, on assistera à une amélioration de la PGF globale.

2.4.3 Recherche-développement internationale

2.4.3.1 Les canaux de transmission de la R-D internationale

Notre travail s’inscrit dans la ligne des travaux empiriques ayant trait aux *transbordements technologiques internationaux* et à leur impact sur la productivité. Dans ce cadre, deux mécanismes de diffusion de la technologie, à travers les relations économiques internationales, ont été mis en évidence (cf Keller [43])

- 1 l’apprentissage (les gains) direct(s) de la connaissance technologique étrangère ; l’accès du pays domestique au stock international de découvertes, par le biais d’achats de brevets, permettra d’élever de manière significative la productivité du secteur national de la recherche. Ce secteur bénéficie d’*externalités actives* en ce sens que tous les chercheurs peuvent puiser dans un stock constitué des connaissances accumulées tant par l’économie domestique que par les pays étrangers ;
- 2 l’apprentissage indirect par le biais de l’importation de biens intermédiaires à fort contenu technologique, dont la conception et la fabrication ont été opérées à l’étranger. L’idée sous-jacente est la suivante : l’utilisation d’un bien intermédiaire étranger au sein du processus de production, implique l’usage implicite de la connaissance ayant trait à la mise au point de sa fabrication par le secteur étranger de la recherche dont l’investissement en activité de R-D a permis cette conception. On parle alors de *transbordement technologique passif* puisque les chercheurs domestiques ne disposent pas du plan de fabrication en tant que tel.

Le second canal de transmission de la technologie étrangère met l’accent sur les importations de biens à fort contenu technologique, et constitue un des canaux les plus importants comme le souligne l’enquête menée dans les pays membres de l’Union Européenne selon laquelle le progrès technique incorporé dans les biens d’équipement constitue la principale source d’innovation (cf Van Overbeke [75], p.7). Cette approche consisterait alors à se limiter

à l'évaluation des gains indirects induits par les échanges commerciaux, soit les *externalités passives*. Cependant, en construisant un indice de stock de connaissance étrangère auquel a accès le pays domestique en pondérant chaque stock de connaissance de ses partenaires commerciaux par la part des importations du Luxembourg en provenance de ce pays, nous disposons d'une variable pouvant refléter l'accès des branches industrielles luxembourgeoises en fonction de l'intensité de leurs relations économiques. En effet, cette variable pourra refléter le stock de capital étranger en R-D dont peut bénéficier le pays domestique à la fois par le biais des investissements directs étrangers, des conférences scientifiques et séminaires de recherche, de l'immigration de main d'oeuvre qualifiée, des achats de brevets, des technologies de l'information et de la communication,

2.4.3.2 Evolution des stocks de capital en R-D des partenaires commerciaux du Luxembourg

Nous présentons quelques statistiques (cf Tableau 2.6) permettant de mettre en évidence certaines caractéristiques quant à l'évolution des stocks de connaissance domestiques (des partenaires commerciaux du Luxembourg) et étrangère, au cours de la période 1971-1999.

	$\frac{SRDD_{1999}}{SRDD_{1971}}^a$	$\frac{SRDD_{1990}}{SRDD_{1971}}$	$\frac{SRDD_{1999}}{SRDD_{1991}}$	Taux de croissance annuel moyen 1971-1999(en %)
BE	3.02	2.20	1.32	3.89
ALL	2.72	2.19	1.20	3.51
FR	2.35	1.80	1.26	2.99
IT	2.98	2.33	1.22	3.83
PB	2.07	1.59	1.26	2.55
RU	1.38	1.24	1.09	1.11
US	2.62	1.96	1.29	3.38
SRDF	2.33	1.82	1.24	2.96
SRDD	-	-	1.68	-

^aLes stocks de capital étrangers en R-D ont été évalués à l'aide de la base de données *Science et Technologie* proposée par Eurostat, à l'aide des données produites par National Science Foundation, et Coe et Helpman [17] (cf section B.1). Enfin, pour évaluer le stock de capital domestique en R-D, nous avons utilisé la série "Dépenses de recherche-développement des entreprises" (cf STATEC, Annuaire Statistique, N.200, Source : Ministère de l'Economie). En raison de l'absence d'enquêtes statistiques concernant les dépenses privées en activité de R-D (jusqu'en 2002), nous nous sommes limités à la série proposée par le Ministère de l'Economie publiée par le STATEC.

TAB. 2.6 – Evolution des Stocks de capital domestiques en R-D et du stock de capital étranger en R-D

Les évolutions de stocks de capital domestique en R-D des partenaires commerciaux du Luxembourg apparaissent sur la Figure 2.5. L'ensemble des pays, entre 1971 et 1990, enregistrent une croissance soutenue de leur stock de connaissance domestique. Ces derniers sont plus de deux fois plus importants au cours de cette période en Italie, Belgique, Allemagne. En revanche, le stock de capital en R-D au Royaume-Uni s'élève de seulement 20% et enregistre la croissance la plus faible. A partir de la Figure 2.5, nous constatons que ce

phénomène se poursuit au Royaume-Uni entre 1991 et 1999. Le Tableau 2.6 fait apparaître une augmentation du stock de R-D luxembourgeois largement supérieure à celle de ses partenaires commerciaux, la Belgique se situant en seconde position entre 1981 et 1999. Enfin, on constate une forte disparité des taux de croissance annuels moyens entre les différents pays.

Quant au stock en R-D étrangère auquel ont accès les branches industrielles luxembourgeoises par le biais de leurs importations et la diffusion internationale de la connaissance, il s'élève à un rythme soutenu, soit environ 3% en moyenne par an entre 1971 et 1999.

	BE	ALL	FR	IT	PB	RU	US
parts moyennes	0.397	0.342	0.133	0.022	0.044	0.020	0.043

TAB. 2.7 – Parts des importations moyennes du Luxembourg sur la période 1971-1999 par pays de provenance

La Figure 2.6 présente l'évolution des parts des importations du Luxembourg par pays de provenance. Nous constatons que les importations luxembourgeoises en provenance de l'Allemagne se réduisent, leurs parts baissant de 0.42 en 1971 à 0.27 en 1999 ; cette évolution va se traduire par une importance décroissante du stock de connaissance allemand dans le stock de capital étranger en R-D dont bénéficient les branches industrielles luxembourgeoises. Enfin, le Tableau 2.7 permet de mettre en évidence l'intensité relative (selon les pays) des relations économiques du Luxembourg avec ses partenaires commerciaux.

2.4.4 Recherche-développement domestique

2.4.4.1 La R-D domestique et l'innovation

L'activité de recherche-développement, aboutissant à la création de nouveaux biens, de nouveaux procédés, et de nouvelles connaissances, constitue un facteur important de progrès technique (cf Guellec et van Pottelsberghe de la Potterie [34], p.6). Selon Romer [60], l'activité de R-D produit des transbordements puisqu'elle élève le stock total de connaissance auquel a accès l'ensemble des firmes par la circulation de l'information. Un grand nombre d'études empiriques ont examiné l'impact de la R-D privée sur la productivité totale en considérant plusieurs niveaux d'agrégation - firme, branche, pays - et des pays différents. L'ensemble de ces études mettent en évidence le rôle de la R-D, la valeur de l'élasticité de la production par rapport à la R-D privée étant comprise entre 0,1 et 0,3 (cf Nadiri [52]).

2.4.4.2 La R-D domestique et la capacité d'absorption

Les dépenses domestiques en R-D facilitent la compréhension et l'imitation des découvertes réalisées par les pays étrangers puisque cet investissement permet d'acquérir une *connaissance tacite* - une expertise - indispensable à la compréhension de ces découvertes. Griffith, Redding, et Van Reenen [31] examinent, d'une part, l'effet direct de l'investissement domestique

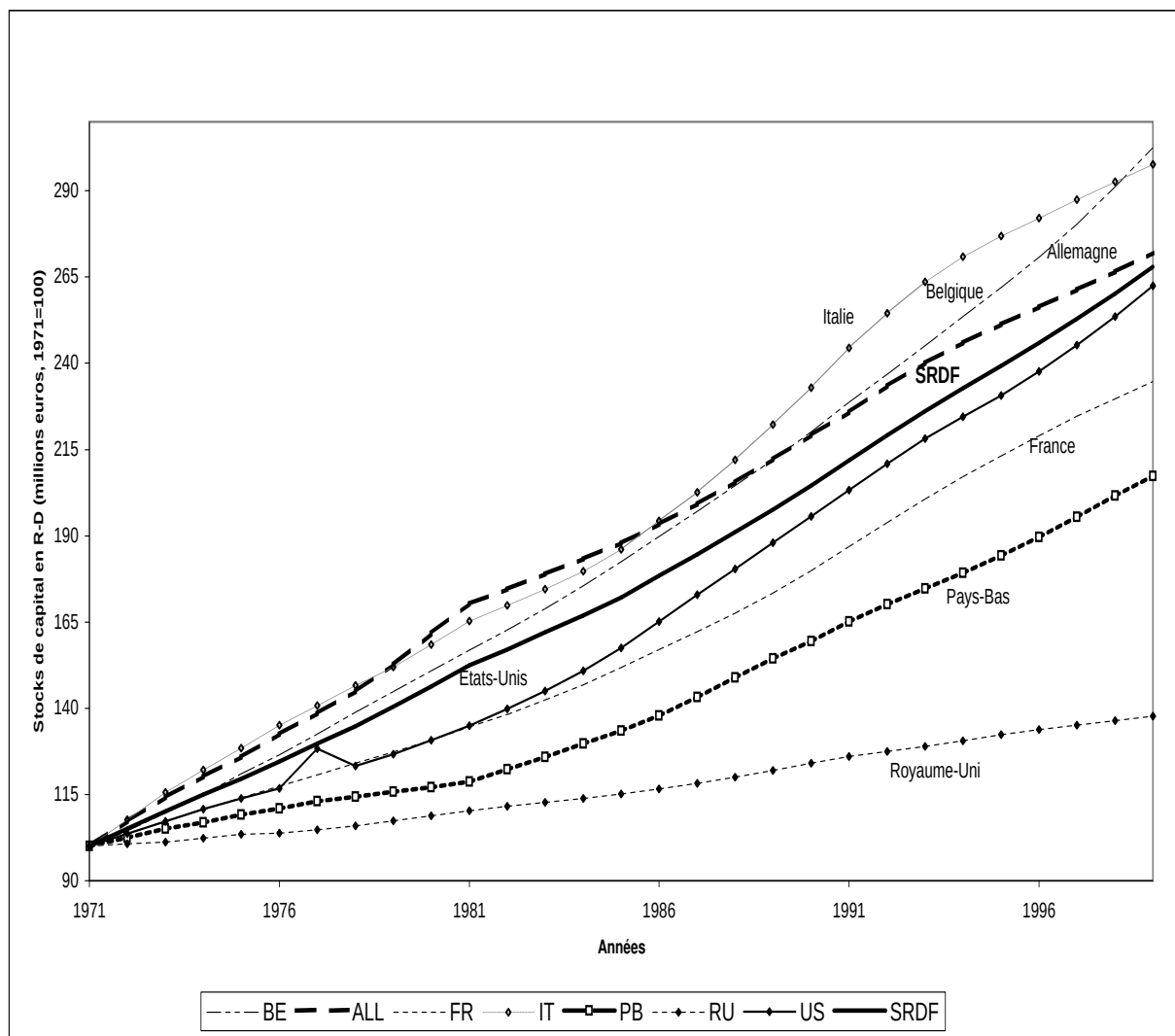


FIG. 2.5 – Evolution des stocks de capital en R-D des principaux partenaires commerciaux du Luxembourg et du stock de capital étranger en R-D (noté SRDF) (1971-1999)

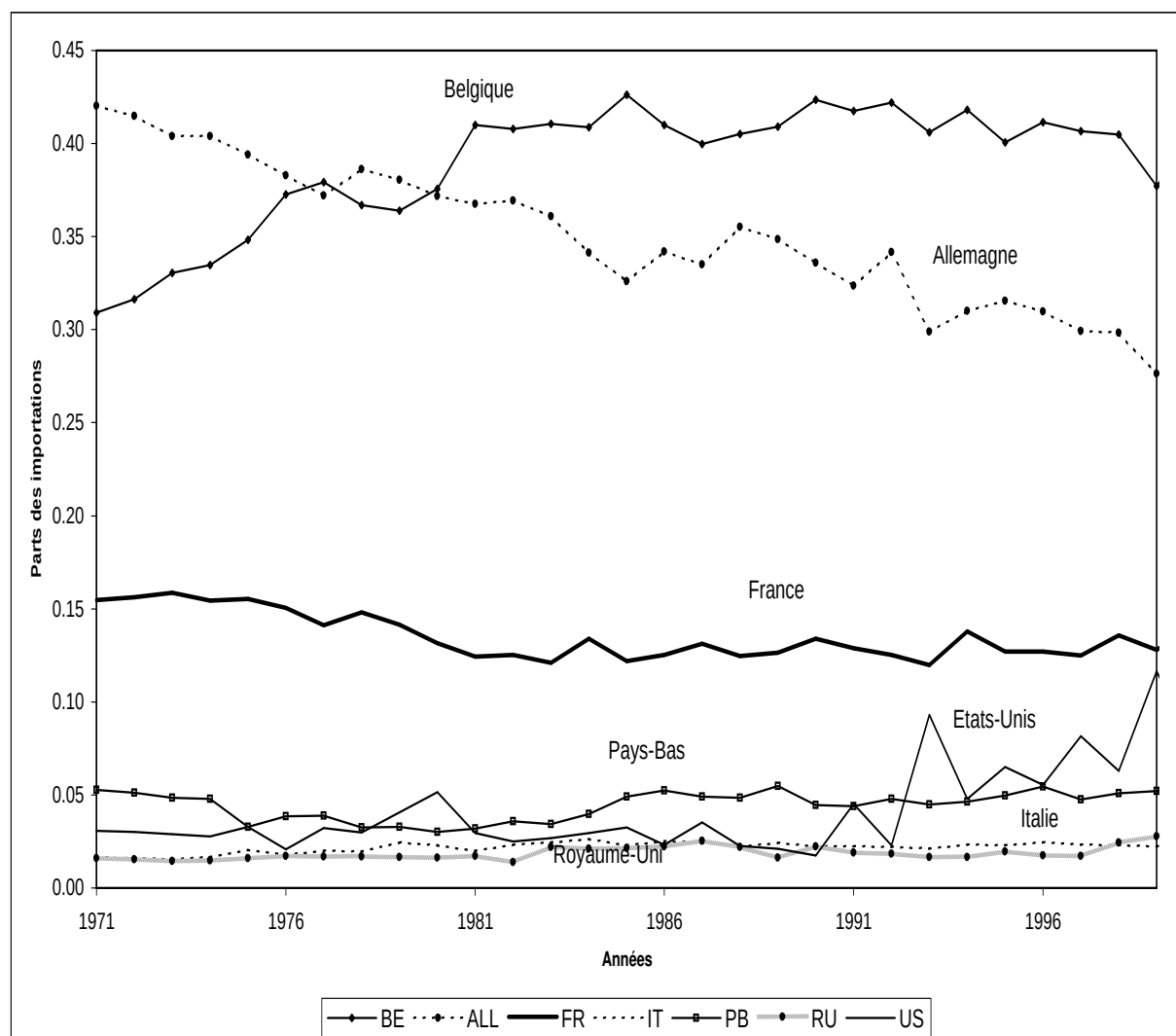


FIG. 2.6 – Evolution des parts des importations du Luxembourg par pays de provenance (1971-1999)

en recherche-développement sur la PGF par le biais de l'innovation, et d'autre part son effet en fonction de la distance de la PGF d'un pays par rapport à la *frontière technologique*. L'idée sous-jacente est la suivante : plus la distance du pays à la frontière technologique est grande, plus l'investissement en R-D sera susceptible d'accélérer les gains de productivité par le biais du transfert technologique. En d'autres termes, le second rôle de la R-D domestique consisterait en une interaction entre les activités de recherche-développement domestique et étrangère¹⁰.

2.4.4.3 Justification du choix de la variable

Nous construisons une mesure du stock de connaissance domestique à partir des dépenses cumulées en recherche-développement entreprises par les branches industrielles luxembourgeoises (cf section B.2.2). La série "Dépenses de recherche-développement des entreprises" (cf STATEC, Annuaire Statistique, N.200, Source : Ministère de l'Economie) constitue la seule série disponible pour une période suffisamment longue dont nous pouvons disposer. Le Rapport du STATEC [76] souligne que cette série correspond aux dépenses prévues au moment de la soumission du projet de la firme au titre de l'aide à l'innovation. En d'autres termes, ces dépenses en R-D correspondent exclusivement aux dépenses en matière de R-D des entreprises subventionnées. Nous justifions le choix de la *proxy* "Dépenses en recherche-développement des entreprises" en tant que variable reflétant la progression des dépenses totales de R-D des entreprises industrielles luxembourgeoises à l'aide des deux hypothèses suivantes :

Hypothèse 3 *les dépenses en recherche-développement des entreprises non subventionnées sont négligeables.*

Hypothèse 4 *les entreprises candidates, au titre de l'aide à l'innovation, dont les projets ont été rejetés abandonnent, en majeure partie, leurs projets faute de subventions accordées dans le cadre de l'aide publique à l'innovation.*

La grande majorité des projets étant mis en oeuvre par des entreprises de grande taille (cf Rapport SNCI 1999 [67] p. 20), nous pouvons poser l'hypothèse 3 selon laquelle les projets en matière d'innovation ne faisant pas l'objet d'aides (aides gouvernementales ou prêts à l'innovation accordés par la SNCI), sont de moindre importance ou réalisés par des entreprises de petite taille.

Par ailleurs, le rapport de la SNCI [67] souligne que l'élaboration d'un produit ou la mise en place d'un procédé de fabrication nouveau "exige souvent des dépenses élevées qui dépassent largement le cadre des dépenses courantes et qui font l'objet d'un amortissement sur plusieurs exercices" (p.57). Par conséquent, nous pouvons considérer, dans une certaine mesure, que les entreprises dont le projet n'est pas retenu (par exemple lorsque le projet innovant soumis ne répond pas aux critères définis par le gouvernement), abandonneront leur projet faute de subventions¹¹.

¹⁰Cohen et Levinthal [20] ont introduit le concept des deux rôles, ou "visages", de la R-D.

¹¹En calculant le rapport des aides publiques accordées dans le cadre de la politique de soutien à l'innovation, au coût associé aux projets innovants, on observe que les "aides allouées" par le gouvernement représentent

Les hypothèses (hypothèses 3 et 4) relatives à l'utilisation de la série "dépenses en recherche-développement des entreprises" (Source : Ministère de l'économie), pourront être relâchées lorsque nous disposerons des données issues de l'enquête de l'activité en R-D au Luxembourg menée conjointement par le STATEC et Eurostat. Cependant, les résultats empiriques obtenus (cf section 2.5.5) rejoignent les résultats des articles antérieurs examinant notamment l'impact de l'activité de recherche-développement sur la croissance de la productivité globale des facteurs, dans le cadre de petits pays. La cohérence et la pertinence de nos estimations semblent donc confirmer que la série "dépenses en recherche-développement des entreprises" à l'aide de laquelle nous évaluons le stock de connaissance domestique au Luxembourg semble refléter la progression des dépenses totales engagées par les branches industrielles en matière d'innovation.

Nous concluons cette section en soulignant qu'il existe d'une part, peu de données ayant trait à l'activité de R-D au Luxembourg, et d'autre part peu de travaux concernant l'activité d'innovation. Cependant, notons que notre étude s'avère complémentaire au travail de recherche d'Allegrezza [2] concernant les déterminants et les modes de l'appropriation de l'innovation technologique, dont les études empiriques ont été menées à l'aide des deux sources de données EDEL/CEPS et CIS/STATEC/CEPS¹².

2.4.5 Politique de modernisation

2.4.5.1 Eléments de la politique économique

Les gouvernements luxembourgeois successifs ont pris conscience de la vulnérabilité de l'industrie sidérurgique. La nécessité d'une modification structurelle de l'économie s'est traduite par la mise en place de politiques de diversification et de développement économique depuis le début des années cinquante. A partir de 1977, la politique gouvernementale s'est renforcée en vue de maintenir la croissance économique. Cette politique s'articule autour de trois axes principaux :

- 1 l'implantation d'industries nouvelles ;
- 2 la modernisation des PME ;
- 3 l'innovation par l'activité de recherche-développement.

De manière à favoriser la modernisation des entreprises existantes, un certain nombre d'instruments ont été mis en place : (cf STATEC [76])

- élargissement et intensification de l'application des lois-cadre en faveur d'investissements supplémentaires ;
- politique fiscale en faveur de l'investissement (aide fiscale)

environ un cinquième des dépenses prévues par les entreprises en matière de R-D. En outre, "l'intervention de la SNCI se situe normalement entre 25% et 50% du coût global éligible du projet de recherche-développement (cf Rapport SNCI [67], p.57).

¹²Nous invitons le lecteur à se référer à la section 2 du Chapitre 6 de la thèse de Allegrezza [2] pour une description approfondie des bases de données existantes.

- interventions de la Société Nationale du Crédit (SNCI) par le biais de prêts à moyen et à long terme de crédits d'équipement en faveur de projets d'investissements.

Depuis 1977, les crédits d'équipement constituent l'un des instruments privilégiés de la SNCI¹³. Ils visent le financement partiel des investissements réalisés par les petites et moyennes entreprises. En outre, soulignons le rôle essentiel d'une institution telle que la SNCI en tant que système de garantie.

2.4.5.2 Les crédits à l'équipement

A travers la prise en compte d'une variable reflétant la politique de modernisation, nous nous intéressons aux externalités liées à l'investissement en capital physique. D'après Romer [59], l'agrégation des investissements privés engendre une externalité positive pouvant être interprétée comme un stock commun de savoir, de connaissances, dans la ligne des travaux de Arrow [4] à propos de *l'apprentissage par la pratique*. Les connaissances produites par les firmes sont disponibles sans coût pour ces mêmes firmes qui en bénéficient par le biais de la circulation de l'information. En outre, Romer [59] légitime l'intervention publique (cf section 2.4.1.2). Dans ce cadre, l'Etat peut accorder une subvention pour élever le rendement privé du capital afin de le faire coïncider avec son rendement social. Par conséquent, une politique de modernisation entreprise par les pouvoirs publics au Luxembourg, devrait permettre d'amplifier les externalités liées à l'investissement¹⁴.

La présence d'externalités induites par l'opération d'investissement justifie l'intervention de l'état par le biais d'organismes ayant pour rôle de soutenir, à l'aide de taux d'intérêt bonifiés, de la fiscalité, de subventions ..., cette opération d'investissement. Cependant, des problèmes peuvent surgir concernant le choix des investissements devant bénéficier d'un soutien. En effet, la politique de subvention peut favoriser certaines formes d'investissement ou des régions particulières. En d'autres termes, la politique industrielle n'a pas comme seul objectif l'accroissement de la productivité (ou de la compétitivité) mais aussi la diversification et l'aménagement du territoire. Par conséquent, certains projets pouvant s'avérer relativement plus rentables pourraient être écartés. Une telle situation génèrerait une baisse du rendement global des projets d'investissement entrepris.

A l'aide d'une série reflétant la politique de modernisation entreprise par les gouvernements successifs, nous évaluons l'impact des *crédits à l'équipement* accordés par la SNCI aux entreprises du secteur de *l'Industrie* sur leurs gains de productivité¹⁵.

¹³Le Rapport de la SNCI 1999 [67] (p.46-48), souligne que le régime des crédits d'équipement fonctionnait depuis 1948 par le biais du Trésor Public. Afin de disposer d'une série plus longue, c'est-à-dire s'étalant de 1975 à 1999, nous avons considéré le régime de crédits d'équipement fonctionnant de 1975-1977 par le biais de Trésor Public, puis à partir de 1977, par le biais de la SNCI.

¹⁴Chaque entreprise détermine un niveau d'investissement optimal sans tenir compte de l'externalité : le rendement privé sera donc inférieur au rendement social de l'investissement. Une politique de soutien de l'investissement permettra d'internaliser l'externalité créée par l'accumulation de capital (ou de connaissance par une firme) sur la productivité des autres firmes.

¹⁵En disposant de données désagrégées permettant d'identifier les branches bénéficiant du soutien de la SNCI, cette étude fournirait des résultats plus fins puisque notre modèle économétrique ne permet d'identifier le rôle d'un certain nombre de facteurs sur l'évolution des gains de productivité qu'au niveau de l'ensemble

2.4.6 Politique de diversification

2.4.6.1 Mutation structurelle de l'industrie luxembourgeoise

Malgré les mouvements successifs de diversification au cours des années soixante et au début des années soixante-dix, “la conjoncture industrielle restait fortement tributaire de la conjoncture sidérurgique” (cf Bulletin du STATEC [66]). La part de la *sidérurgie* dans la valeur ajoutée industrielle totale illustre cette spécificité puisqu'elle atteint environ 67% en 1960¹⁶. En revanche, la réduction de la part de la *sidérurgie* dans la VA industrielle, soit respectivement 60% et 42% en 1974 et 1985, reflète la mutation structurelle de l'industrie luxembourgeoise résultant de l'encouragement à la création d'activités (entités) économiques nouvelles par les pouvoirs publics, notamment par le biais du renforcement de la politique de diversification industrielle à partir de 1977.

Nous pouvons évaluer le processus de diversification au sein des branches industrielles luxembourgeoises par le biais de l'indice de Herfindahl, noté H , de manière analogue au Rapport *Compétitivité de l'économie luxembourgeoises* (cf Rapports [21] et CREA2). A cette fin, nous présentons de manière graphique l'évolution de l'indicateur D sur la Figure 2.7. De manière intuitive, cet indicateur D sera d'autant plus proche de 0 que l'économie est peu diversifiée, c'est-à-dire est caractérisée par une concentration des activités au sein d'une même branche. De manière formelle, D s'écrit de la manière suivante

$$D = 1 - H = 1 - \sum_{j=1}^n b_j^2 \quad (2.3)$$

où b_j est la part de la valeur ajoutée de la branche j dans la valeur ajoutée de l'ensemble des branches. Nous avons opéré la construction de l'indicateur D à l'aide de la valeur ajoutée (à prix constants 1995) associée à chacune des 12 branches industrielles (Source : STATEC). La courbe croissante représentative de l'indicateur D apparaissant sur la Figure 2.7 traduit la tendance à la diversification de l'industrie luxembourgeoise depuis le début des années 70.

2.4.6.2 Une mesure de la diversification : le nombre d'entreprises nouvelles

Afin de vérifier empiriquement le phénomène de complémentarité ou d'*externalité informationnelle*, nous avons choisi le nombre d'entreprises nouvelles créées après 1975 (nettes des disparitions) dans le cadre de la politique de diversification industrielle, comme *proxy* de la diversité des activités. Un certain nombre de raisons justifient l'introduction d'une telle composante dans le vecteur des variables explicatives :

- Matsuyama [49] introduit l'idée selon laquelle l'entrée de nouvelles firmes engendre des *effets de complémentarité* si l'arrivée de nouvelles entreprises élargit la variété des produits (ou des services) offerts sur le marché domestique. Par conséquent, selon Matsuyama, l'élargissement de la gamme de biens et services disponibles est susceptible d'élèver les rendements à un niveau agrégé.

des branches industrielles.

¹⁶Calculs à partir du Tableau 1 du Bulletin du STATEC [66], p. 157.

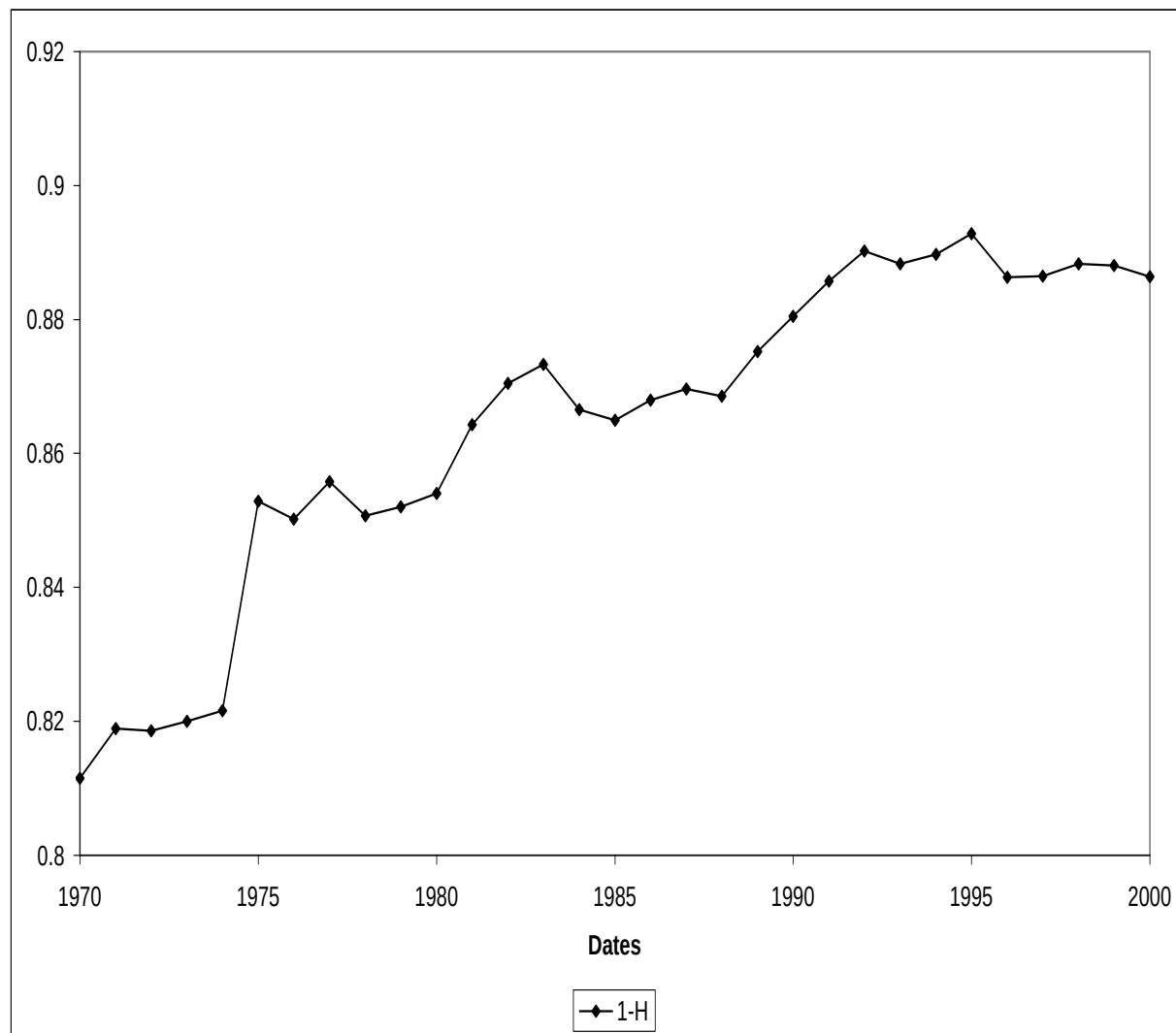


FIG. 2.7 – Indicateur $(1 - H)$ de diversification de l'industrie luxembourgeoise (1970-1999)

- Dans la ligne des travaux de Matsuyama, Bourgain et Pieretti [11] construisent un indicateur permettant de prendre en compte les *externalités informationnelles* résultant de la proximité d’unités de production différentes. Dans ce cadre, l’accroissement du nombre d’activités différentes est susceptible d’élever les opportunités d’interactions entre les facteurs humains.

Nous examinons dans quelle mesure la diversité des entreprises élève la productivité globale des facteurs à un niveau agrégé (ensemble des branches industrielles). En d’autres termes, nous évaluons l’ampleur des externalités de type Jacobs¹⁷ liées à la proximité d’industries différenciées. Selon cette approche, les firmes vont bénéficier de flux de connaissance et d’idées résultant de la diversité des activités. Les innovations technologiques de produit et de procédé, ou de nature organisationnelle (mise en place de techniques avancées de gestion, adoption d’orientations stratégiques nouvelles, modification du processus de production, par exemple) au sein d’une branche sont susceptibles d’affecter les autres branches, par le biais de la diffusion de la connaissance en raison des interactions entre les individus.

Soulignons que l’attractivité du site permettant d’attirer de nouveaux investissements dépendra notamment de l’importance des infrastructures publiques et de leur qualité¹⁸. En outre, l’ampleur des externalités informationnelles, résultant de l’implantation de nouvelles firmes sur le site industriel, serait fonction des compétences de la main d’oeuvre oeuvrant au sein des différentes entreprises et de la fluidité de la diffusion de la connaissance entre ces facteurs humains.

2.5 La productivité globale des facteurs : l’impact de la recherche-développement

2.5.1 Objectif

Les estimations ci-dessous sont entreprises dans le but de révéler les déterminants de la PGF de la branche *Industrie*, liés principalement à l’activité de recherche-développement. Le cadre d’analyse des nouveaux modèles de croissance justifiant l’endogénéisation du progrès technique, a été élargi afin de prendre en compte le lien entre le commerce international et la croissance économique. De manière analogue aux travaux de Coe et Helpman [17], nous nous intéressons exclusivement aux *externalités* liées aux efforts d’innovation des firmes domestiques et à la diffusion de la technologie et des connaissances, à travers les relations économiques internationales. L’idée sous-jacente est que les flux internationaux de biens et de services reflétant l’intensité des relations économiques que le pays domestique entretient

¹⁷Nous pouvons distinguer deux types d’effets de *débordements technologiques*. Les externalités de type Marshall-Arrow-Romer (MAR) suggèrent des effets externes induits par la concentration d’activités au sein d’une même branche. En revanche, les externalités de type Jacobs émergent en raison de la diversité d’activités inter-industrielles.

¹⁸Certaines activités gérées par l’Etat telles que les autoroutes, la distribution de l’eau, la justice, peuvent être sujets à l’engorgement. De tels effets de congestion sont modélisés par Barro et Sala-i-Martin [6] (cf Chapitre 4, p. 176-178) en considérant qu’une augmentation du niveau de la production globale va réduire le service public disponible pour chaque producteur, ce dernier assistant alors à une baisse de son propre niveau de production.

avec ses partenaires commerciaux, sont des vecteurs puissants de la diffusion internationale des connaissances technologiques.

A travers notre première spécification, nous supposons que la productivité globale des facteurs est une fonction du degré d'ouverture internationale et des activités domestique et étrangère en recherche-développement, soit

$$PGF = F(X, SRDD, SRDF)$$

avec

$$\begin{aligned} X &= \text{degré d'ouverture internationale} \\ SRDD &= \text{Stock de connaissance domestique} \\ SRDF &= \text{Stock de connaissance étrangère} \end{aligned}$$

2.5.2 Les mécanismes de transmission des activités domestique et étrangère en recherche-développement

Nous présentons de manière synthétique, à l'aide de la Figure 2.8, les mécanismes possibles de transmission des activités domestique et étrangère en recherche-développement. Les efforts de R-D entrepris par les partenaires commerciaux du Luxembourg élèvent d'une part, la qualité et la variété des biens intermédiaires qui vont pouvoir être introduits au sein du processus de production des firmes domestiques par le biais des importations et d'autre part, élèvent le stock total de connaissance étrangère dont vont pouvoir bénéficier les branches industrielles luxembourgeoises par la diffusion de la technologie étrangère. Par ailleurs, une ouverture internationale plus grande devrait se traduire par une accélération du processus de transfert de technologie.

Les investissements domestiques en R-D constituent le vecteur de l'innovation et contribuent à l'augmentation du stock de connaissance domestique. Enfin, les efforts nationaux en R-D seront susceptibles d'élever les gains de productivité induits par la diffusion de la connaissance étrangère, en facilitant et en accélérant le processus de transfert de technologie. Cette idée sera captée par le terme multiplicatif appelé *terme d'interaction* (cf Figure 2.8) mis en évidence par notre choix de spécification (cf eq B.14, et cf Tableau 2.8, colonne (3)).

En construisant un indicateur de stock de capital étranger en R-D comme une moyenne pondérée des stocks de capital en R-D des principaux partenaires commerciaux du Luxembourg, de telle manière que le poids affecté à chaque pays étant équivalent à la part des importations du Luxembourg en provenance de ce pays, nous disposons d'une variable pouvant refléter le stock de connaissance étrangère auquel ont accès les branches industrielles luxembourgeoises à travers leurs relations économiques internationales.

2.5.3 Méthode adoptée

Cette analyse empirique est appliquée aux branches industrielles de l'économie luxembourgeoise. Ce champ d'application se justifie par les variables explicatives prises en compte,

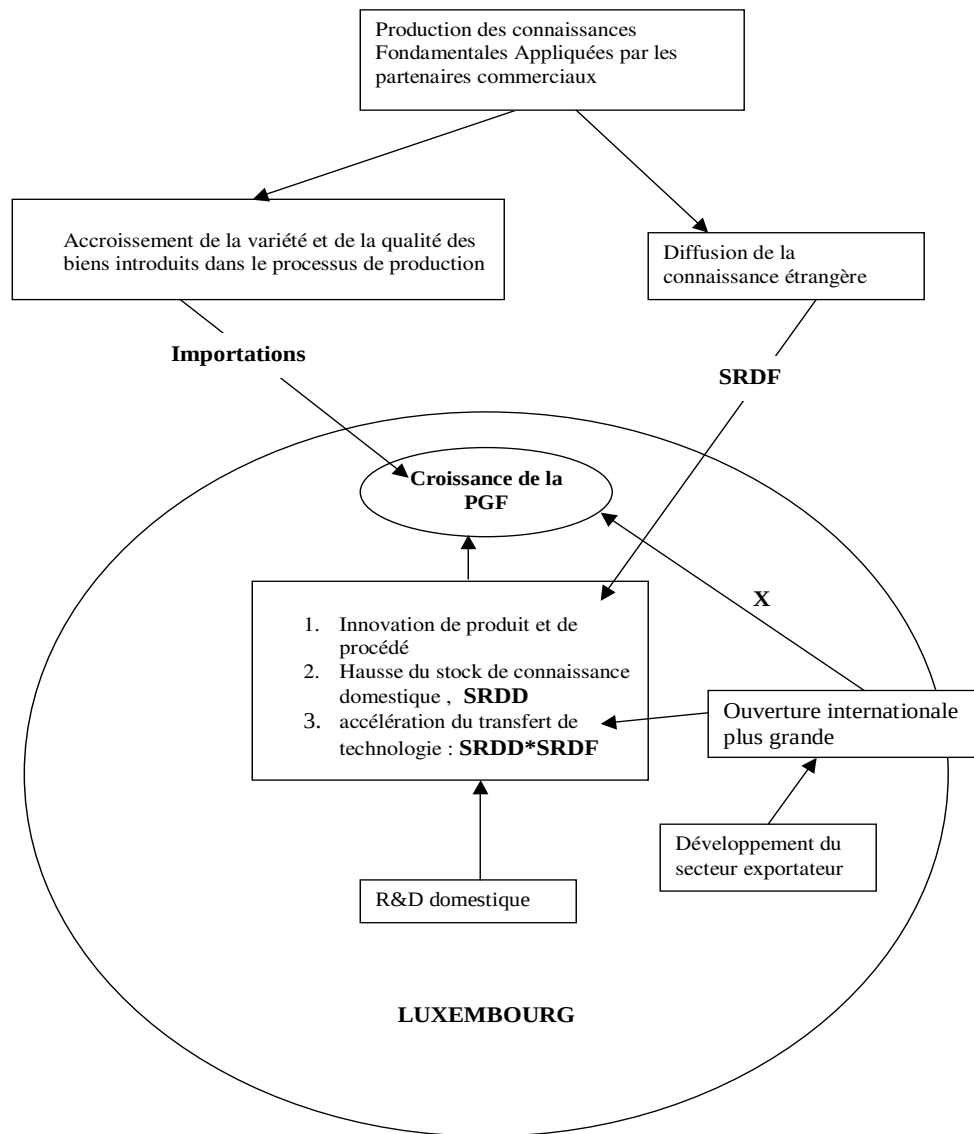


FIG. 2.8 – Impact des activités domestique et étrangère sur la PGF de l'industrie

en particulier la recherche-développement domestique et étrangère qui ne devraient se révéler pertinentes que pour l'*Industrie* (cf Griliches [33]). Les branches concernées sont les suivantes : l'industrie manufacturière (hors produits d'extraction) et l'énergie.

Nous proposons une spécification (cf section A.4) permettant de répondre aux quatre questions suivantes :

- Les branches industrielles luxembourgeoises bénéficient-elles de transbordements technologiques induits par l'activité de recherche-développement entreprise par les partenaires commerciaux du Luxembourg et quelle est l'ampleur de ces externalités ?
- Quel est l'impact des efforts d'innovation des branches industrielles sur les gains de productivité ?
- La R-D étrangère se substitue-t-elle ou vient-t-elle en complément de la R-D domestique privée ?
- Le développement du secteur de production de biens exportables produit-il les effets attendus en matière de gains de productivité ?

A l'aide d'un modèle à correction d'erreur, nous avons procédé aux trois estimations suivantes :

- 1** La première a pour but de mettre en évidence l'impact de la R-D étrangère sur la PGF industrielle au cours de période 1971-1999.
- 2** La deuxième permet de comparer, sur la période 1981-1999, l'impact des efforts d'innovation domestique et étrangère sur les gains de productivité des branches industrielles luxembourgeoises.
- 3** Enfin, la troisième a pour but d'examiner si la R-D internationale dont bénéficient les firmes luxembourgeoises se substitue ou vient en complément de la R-D domestique sur la période 1981-1999. En d'autres termes, nous testons l'hypothèse selon laquelle les dépenses en R-D entreprises par les branches industrielles luxembourgeoises élèvent la capacité d'assimilation et par suite, amplifie l'impact de la R-D étrangère sur les gains de productivité de l'*Industrie*.

2.5.4 Les données

Les données utilisées dans notre application proviennent principalement du STATEC et d'Eurostat.

2.5.4.1 La variable expliquée

La variable expliquée est la PGF de l'*Industrie*. Elle a été calculée à partir de la méthode de comptabilisation de la croissance présentée dans les sections 2.2.1 et A.1. Les données utilisées pour la calculer proviennent du STATEC.

2.5.4.2 Les variables explicatives

Trois variables apparaissent essentielles aux cours des périodes 1971-1999 et 1981-1999.

- 1 Nous avons construit une mesure du stock de connaissance étrangère, soit la variable explicative *SRDF*, à l'aide de la méthodologie présentée dans la section B.2.1. Cette série s'étalant sur la période 1971-1999, est exprimée en millions d'euros à prix constants 1995 (Source principale : Eurostat). Les stocks de capital domestiques en R-D des 7 principaux partenaires commerciaux du Luxembourg et la série de stock de capital extérieur en R-D sont présentés dans la section B.1.
- 2 La variable explicative *SRDD* correspond au stock de R-D construit à partir des dépenses en R-D entreprises par les branches industrielles luxembourgeoises. Cette série n'était disponible que pour la période 1981-2000. Elle est exprimée à prix constants 1995 (Source : STATEC, Annuaire Statistique, N.200).
- 3 La troisième variable explicative, notée *X* reflète le degré d'ouverture internationale du Luxembourg ou le développement du secteur de production de biens destinés à l'exportation. En suivant Piazolo[57], cette variable est définie comme le montant total des exportations de l'*Industrie* à prix constants 1995 (Source : STATEC).

2.5.5 Résultats des estimations

Les résultats des régressions sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ils nous conduisent à formuler un certain nombre de conclusions et de remarques.

- i La première estimation permet de rendre compte de l'ampleur de l'impact des transbordements technologiques induits par la diffusion internationale de la connaissance sur les gains de productivité des branches industrielles luxembourgeoises. Les résultats de la première régression portant sur la période 1971-1999 conduisent à la relation de long terme suivante,

$$PGF_t = e^{0.74} SRDF_t^{0.84} \quad (2.4)$$

D'après la relation (2.4), lorsque le stock de connaissance étrangère s'élève de 10%, la PGF s'accroît de 8,4%. Nous rejoignons les résultats empiriques de Coe et Helpman [17] qui ont montré, pour 21 pays de l'OCDE plus Israël, sur la période 1971-1990, que le pays pour lequel l'externalité liée à la diffusion internationale de la connaissance est la plus forte est la Belgique - suivi de l'Irlande, des Pays-Bas, et d'Israël-. En d'autres termes ils soulignent que les petits pays sont susceptibles de gagner plus que les grands à l'ouverture.

- ii La deuxième régression consiste à évaluer l'impact respectivement du stock de capital domestique et étranger en R-D sur la PGF industrielle sur la période 1981-1999. Les résultats conduisent à la relation de long terme suivante,

$$PGF_t = e^{1.45} SRDF_t^{0.56} SRDD_t^{0.07} \quad (2.5)$$

L'élasticité de la PGF par rapport à la R-D étrangère est égale à 0.56. Elle signifie qu'une augmentation de 10% du stock de capital étranger en R-D élève les gains

$\Delta \ln PGF_t$	(1) ^a	(2)	(3)
Nb Observations	28	18	18
Périodes	71-99	81-99	81-99
Constante	0.225** (0.103)	1.308** (0.588)	1.713** (0.820)
$\ln PGF_{t-1}$	-0.306*** (0.079)	-0.902*** (0.304)	-0.847*** (0.297)
$\Delta \ln X_t$	0.576*** (0.098)	0.562** (0.221)	0.583** (0.224)
$\ln SRDF_{t-1}$	0.256*** (0.068)	0.507** (0.198)	0.362* (0.181)
$\ln SRDD_{t-1}$	-	0.063** (0.029)	-
$\ln SRDD_{t-1} \times \ln SRDF_{t-1}$	-	-	0.014* (0.007)
R^2	0.655	0.594	0.580
R^2 ajusté	0.612	0.469	0.450
Test Breusch-Godfrey (LM) (2)			
F-Stat	1.768	0.172	0.158
Probabilité	0.194	0.844	0.856

^asignificatif au seuil *** de 1%, ** de 5%, * de 10%

TAB. 2.8 – Impact de la R-D domestique, de la R-D internationale, et des exportations sur la croissance de la PGF des branches industrielles luxembourgeoises

de productivité des branches industrielles luxembourgeoises de 5.6%. Ce résultat est comparable à celui de Coe et Helpman [17] (p.872) puisque l'élasticité de la PGF par rapport au stock de capital en R-D domestique est d'environ 8% pour les 15 pays les plus petits parmi 22 pays industrialisés¹⁹. Quant à Eaton et Kortum [25], ils modélisent l'activité de recherche-développement et la diffusion de la connaissance dans le cadre d'achats internationaux de brevets. Ils estiment, pour les pays du G-5, que la part de la croissance de la productivité induite par l'activité domestique en R-D - par rapport à l'activité étrangère en R-D - est comprise entre 11 et 16% pour l'Allemagne, la France, et le Royaume-Uni ; cette part est d'environ 35% pour la Japon, et 60% pour les Etats-Unis. Enfin, les résultats obtenus par Guellec et Van Pottelsberghe de la Potterie [34] révèlent qu'un accroissement de 10% de la R-D internationale élève la PGF de 4,4%, et qu'une hausse de 10% de la R-D domestique n'accroît la PGF que de 1,3%.

- iii L'impact du terme d'interaction $srdd \times srdf$ peut être interprété comme l'influence du stock de capital étranger en R-D sur la croissance de la productivité de l'*Industrie*, de manière conditionnelle aux efforts de R-D entrepris par les branches industrielles luxembourgeoises. En d'autres termes, l'effet de la R-D étrangère s'élève avec l'activité domestique en R-D lorsque le coefficient associé au terme d'interaction est positif. Le Tableau 2.8 indique que ce coefficient est égal à 0.014, c'est-à-dire que l'impact de la R-D étrangère sur la croissance de la PGF est d'autant plus grand que la R-D domestique est élevée.

La troisième régression permet de confirmer l'hypothèse de complémentarité des activités de R-D domestique et internationale. En d'autres termes, l'activité de R-D domestique permettant une meilleure assimilation ou compréhension des découvertes étrangères amplifie l'impact induit par la diffusion internationale de la connaissance. A partir de l'équation (B.13) (à long terme), nous pouvons établir l'expression de l'effet total du stock de R-D étrangère sur la PGF des branches industrielles luxembourgeoises, soit

$$\frac{\partial pgf_t}{\partial srdf_t} = \frac{\iota_1}{1 - \zeta} + \frac{\iota_2}{1 - \zeta} srdd_t = 0.427 + 0.017 \times srdd_t \quad (2.6)$$

D'après l'expression (2.6), l'activité domestique en R-D entreprise par l'*Industrie* va amplifier l'externalité liée à la diffusion de la connaissance étrangère. De manière comparable, Guellec et Van Pottelsberghe de la Potterie [34] soulignent que "l'impact de la technologie étrangère sur la PGF est plus élevé dans les pays où l'activité du secteur privé en R-D est plus soutenue" (cf p.4). La complémentarité entre $SRDF$ et $SRDD$ va donc élever l'externalité engendrée par les transbordements technologiques, puisque la R-D domestique facilite le transfert de technologie.

- iv Quelle que soit le type de spécification envisagée, la variable X reflétant le degré d'ouverture internationale exerce une influence positive et statistiquement significative (seuil de confiance de 1% et 5%) sur la croissance de la PGF, à court terme.

¹⁹l'élasticité de la PGF par rapport à la R-D domestique est d'environ 23% pour les pays du G-7.

2.6 L'impact des politiques économiques sur la productivité globale des facteurs

2.6.1 Objectif

Nous proposons une deuxième spécification permettant d'examiner l'ampleur de l'impact des politiques de développement économique sur la croissance de la productivité globale des facteurs de la branche *Industrie*²⁰. Notre spécification consiste à supposer que la productivité globale des facteurs, soit la variable expliquée, est fonction de deux variables explicatives reflétant les politiques de modernisation et de diversification :

$$PGF = F(NBENT, CRED)$$

avec

NBENT = variable reflétant la politique de diversification
 CRED = variable reflétant la politique de modernisation

2.6.2 Les mécanismes de transmission des politiques de modernisation et de diversification

Cette section 2.6.2 est destinée, à l'aide de la Figure 2.9, à présenter les mécanismes possibles de transmission des politiques de développement économique aux gains de productivité des branches industrielles luxembourgeoises.

Nous considérons deux types de politiques de développement économique mises en place par les pouvoirs publics : une politique de modernisation sous la forme de *crédits à l'équipement* et une politique de diversification prenant la forme de créations de nouvelles entreprises (dans diverses activités industrielles).

A travers la prise en compte d'une variable reflétant la politique de modernisation, c'est-à-dire les *crédits à l'équipement*, nous nous intéressons aux externalités (ou effets externes) liées à l'investissement en capital physique. Une politique de soutien à l'investissement devrait :

- favoriser la mise en place d'équipements à fort contenu technologique ;
- amplifier les externalités liées à l'apprentissage par la pratique ;
- enfin, en raison de la présence d'imperfections sur le marché du crédit, l'accès au financement externe d'une firme peut être limité, notamment pour les entreprises de petite taille. Par conséquent, l'intervention de la SNCI, sous la forme d'un soutien à l'investissement, permet de desserrer une telle contrainte.

²⁰Les objectifs, la mise en oeuvre, et les instruments de ces politiques économiques font l'objet d'un développement dans les sections 2.4.5 et 2.4.6

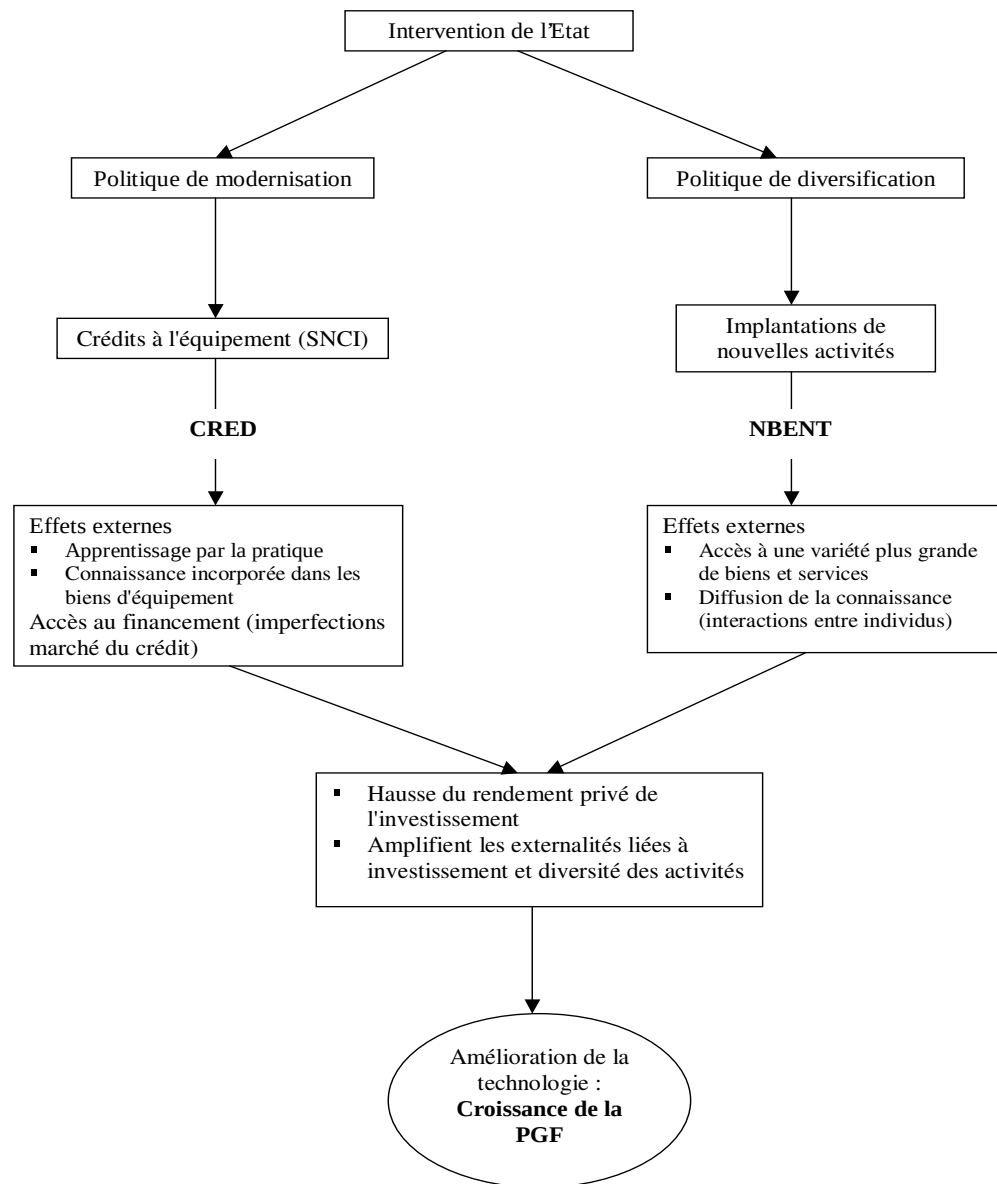


FIG. 2.9 – Impact des politiques de modernisation et de diversification sur la PGF de l'industrie

Une politique visant à diversifier le tissu industriel par le biais de la création, de l'implantation de nouvelles activités, devrait permettre :

- d'élargir la gamme de biens et services dont peuvent bénéficier les entreprises déjà implantées.
- Par ailleurs, la diversité des activités devrait favoriser les interactions entre individus, les échanges d'informations, les projets en commun, et donc contribuer à la diffusion de la connaissance. Par conséquent, les innovations de nature technologique ou organisationnelle au sein d'une branche sont susceptibles d'exercer un effet positif sur les autres branches, par la circulation de l'information (les branches vont bénéficier d'effets externes positifs).

En conclusion, ces deux politiques conduiraient :

- 1** à une augmentation du rendement privé de l'investissement ;
- 2** à une amplification des externalités liées à l'investissement et à la diversité des activités industrielles.

Par conséquent, elles devraient affecter la PGF de la branche *Industrie*.

2.6.3 Méthode adoptée

Cette analyse est appliquée aux branches industrielles de l'économie luxembourgeoise. Nous proposons une spécification (cf section B.4.2) permettant de répondre aux deux questions suivantes :

- Les politiques de diversification et de modernisation ont-elles un impact significatif sur les gains de productivité des branches industrielles ?
- Quelle est l'ampleur des effets respectifs de ces deux politiques économiques sur la croissance de la PGF de la branche *Industrie*.

A l'aide d'un modèle à correction d'erreurs, nous avons procédé à une estimation consistant à mettre en évidence, sur la période 1975-1999, les externalités liées d'une part, à l'investissement en capital physique, et d'autre part, liées à l'implantation (ou la création) d'activités nouvelles.

2.6.4 Les données

2.6.4.1 La variable expliquée

La variable expliquée est la PGF de l'*Industrie*. Elle a été calculée à partir de la méthode de comptabilisation de la croissance présentée dans les sections 2.2 et A.1. Les données utilisées pour la calculer proviennent du STATEC.

2.6.4.2 Les variables explicatives sur la période 1975-1999

Deux variables apparaissent essentielles sur cette période :

- 1 La variable explicative NBENT représentant le nombre d'entreprises nouvelles créées après 1975 (nettes des disparitions) permet de prendre en compte, d'une part "les effets d'agglomération engendrés par la diversité des activités, et d'autre part, l'expansion du secteur industriel par des implantations étrangères" (cf Bourgain et Pieretti [10]). Cette mesure de la diversification du secteur industriel a pour objet, par le biais de notre estimation, de rendre compte de l'efficacité de la politique de diversification industrielle (cf section 2.4.6) en apparaissant comme l'un des déterminants possibles de la PGF des branches industrielles. En s'inspirant des travaux de Matsuyama [49], nous tentons de mettre en évidence l'impact du phénomène d'interactions informationnelles lié tant à la proximité des activités qu'aux apports extérieurs d'investissements directs, sur la PGF de l'*Industrie* (cf Bourgain et Pieretti [11]) (Source : STATEC et Ministère de l'Economie).
- 2 La deuxième variable explicative, notée CRED, représente le montant de *crédits à l'équipement* (cf section refs3.9) accordés par la SNCI, constituant l'un des instruments de la politique de modernisation des PME initiée par les autorités publiques. Le montant des *crédits à l'équipement* est exprimé à prix constants (base 1995) (Source : Rapport SNCI).

2.6.5 Résultats des estimations

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ils nous conduisent à formuler un certain nombre de conclusions et de remarques.

Les résultats empiriques permettent de rendre compte de l'ampleur de l'impact de la politique de diversification et, dans une moindre mesure, de la politique de modernisation, sur les gains de productivité des branches industrielles luxembourgeoises. Les estimations portant sur la période 1975-1999 conduisent à la relation de long terme suivante,

$$PGF_t = e^{0.99} NBENT^{0.69} CRED^{0.08} \quad (2.7)$$

En premier lieu, la valeur élevée de l'élasticité de la PGF industrielle par rapport au nombre d'entreprises nouvelles reflétant la diversification du secteur industriel, permet de rendre compte du succès de la politique gouvernementale. Ce résultat suggère la présence d'externalités informationnelles (cf Bourgain et Pieretti [11]) engendrée par l'implantation d'activités nouvelles. En second lieu, notre estimation révèle un impact positif des *crédits à l'équipement* accordés par la SNCI encourageant les investissements de modernisation des PME. Cette relation suggère des gains de productivité globale réalisés au sein du secteur industriel par le biais d'une réduction réelle de coût induite par la modernisation de l'appareil productif des petites et moyennes entreprises. En d'autres termes, le progrès technique réalisé par ces dernières leur permet de produire le même niveau de production à un coût plus faible puisqu'elle nécessite une utilisation moindre des facteurs de production. En outre, il serait intéressant de vérifier, dans le cadre des données de panel, que les branches ayant bénéficié de montants importants de crédits ont également enregistré des gains substantiels de productivité globale.

$\Delta \ln PGF_t$	(1) ^a
Nb Observations	24
Période	75-99
Constante	0.361 (0.229)
$\ln PGF_{t-1}$	-0.364** (0.156)
$\Delta \ln CRED_t$	0.024* (0.013)
$\ln NBENT_{t-1}$	0.251** (0.102)
$\ln CRED_{t-1}$	0.030* (0.015)
R^2	0.357
R^2 ajusté	0.222
Test Breusch-Godfrey (LM) (2)	
F-Stat	2.117
Probabilité	0.151

^asignificatif au seuil *** de 1%, ** de 5%, * de 10%

TAB. 2.9 – Impact des politiques de diversification et de modernisation sur la croissance de la PGF des branches industrielles luxembourgeoises

2.7 Conclusion

Les nouvelles théories de la croissance, où l'accroissement de la PGF est induit par l'innovation, ont mis en évidence les mécanismes de transmission entre les flux d'importations de biens intermédiaires (ou encore les relations économiques internationales) et les gains de productivité d'un pays. Cependant, comme le soulignent Coe et Helpman [17], les analyses en données de panel privilégiant l'explication de la croissance de la valeur ajoutée constituent le cadre prédominant de la littérature économique. Dans notre étude, nous avons choisi de focaliser notre étude sur d'une part, l'explication de la croissance de la PGF puisqu'elle constitue la composante de la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production, et d'autre part, une modélisation s'appuyant sur les séries temporelles afin de présenter des résultats reflétant les spécificités nationales. Guellec et Van Pottelsberghe de la Potterie [34] ajoutent que des mesures de politiques économiques peuvent difficilement être avancées lorsque l'analyse en termes de données de panel est réalisée sur des données moyennes excessivement agrégées. Nous soulignons qu'une telle analyse, dans un second temps, demeure indispensable pour examiner d'éventuelles convergences des productivités globales entre les pays et entre les branches, et identifier les canaux par lesquels opèrent les *externalités* en introduisant notamment l'activité de R-D, le capital humain, et le degré d'ouverture (cf Griffith, Redding, et Van Reenen [31]).

Un des fondements classiques de l'intervention publique est lié à la présence d'externalités produites par l'action des agents économiques. La mise en évidence, à travers cette étude, du rôle crucial de l'activité tant interne qu'externe en R-D sur les gains de productivité, de l'interaction entre ces deux activités, et du rôle non négligeable des politiques de modernisation et de diversification, suggère certains enseignements en matière de politique économique. Au vu des résultats obtenus, la postface suggère certaines voies possibles en matière de politique économique, permettant de soutenir l'évolution de la PGF de l'économie luxembourgeoise, étant donné les spécificités du Luxembourg.

Les résultats présentés ci-dessus pourront faire l'objet d'une analyse empirique plus approfondie d'une part, en prenant en compte des variables supplémentaires (par exemple en constituant une série reflétant l'évolution du capital humain), et d'autre part, en adoptant, par exemple, une approche en données de panel. L'étude empirique étant limitée par la disponibilité des données, des travaux empiriques en termes de coupe transversale pourrait être entrepris, suite à la publication d'indicateurs concernant l'activité de R-D au Luxembourg dans le cadre de l'enquête menée par le STATEC (en collaboration avec EUROSTAT). Enfin, cette étude s'inscrit plus largement dans la recherche des sources de la croissance du Luxembourg, et la présentation des conditions d'une croissance endogène, et nécessite d'être poursuivie afin de proposer les meilleures stratégies de croissance possibles adaptées à la situation d'un petit pays tel que le Luxembourg. Par exemple, il serait intéressant d'évaluer l'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), des investissements directs étrangers, de l'immigration d'une main d'oeuvre qualifiée sur la productivité globale des facteurs au Luxembourg.

Annexe A

L'évaluation de la productivité globale des facteurs : analyse aux niveaux agrégés et sectoriels

A.1 La méthode de comptabilisation de la croissance

La croissance d'une économie, d'un secteur, ou d'une entreprise, peut être décomposée à partir de la croissance des différents facteurs utilisés au sein du processus de production. La formalisation associée à cette décomposition a été proposée par Solow [69].

Nous présentons succinctement les étapes conduisant à l'équation (2.2) de manière analogue à Schubert [63] (cf Chapitre 6). A cette fin, nous écrivons la fonction de production de la manière suivante

$$Y_t = A_t F(K_t, L_t) \quad (\text{A.1})$$

où A_t représente le progrès technique neutre au sens de Hicks. On appelle encore A_t la *productivité globale des facteurs*. Les termes K_t et L_t correspondent respectivement au stock de capital et au nombre de travailleurs.

En différenciant le logarithme de la fonction de production (A.1) par rapport au temps, on obtient

$$\frac{\dot{Y}_t}{Y_t} = \frac{\dot{A}_t}{A_t} + \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} \frac{K_t}{Y_t} \frac{\dot{K}_t}{K_t} + \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} \frac{L_t}{Y_t} \frac{\dot{L}_t}{L_t} \quad (\text{A.2})$$

L'hypothèse 1 de concurrence parfaite permet d'écrire que les facteurs de production sont rémunérés à leur productivité marginale, soit de manière formelle

$$\frac{\partial Y_t}{\partial K_t} = \frac{u_t}{p_t} \quad \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} = \frac{w_t}{p_t} \quad (\text{A.3})$$

où u_t est le coût d'usage du capital, w_t le salaire nominal, et p_t le prix de la production ; en outre, $\beta = \frac{u_t K_t}{p_t Y_t}$ est la part en valeur du capital dans la valeur ajoutée courante, et $\alpha = \frac{w_t L_t}{p_t Y_t}$, la part du travail.

Enfin, d'après l'hypothèse 2 de constance des rendements d'échelle ¹, le théorème d'Euler permet d'écrire

$$Y_t = \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} K_t + \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} L_t \quad (\text{A.4})$$

En divisant les membres de gauche et de droite de l'expression (A.4) par le terme Y_t , et en utilisant (A.3), on obtient

$$\alpha + \beta = 1 \quad (\text{A.5})$$

En utilisant l'expression (A.2) et l'égalité (A.5), nous pouvons alors exprimer le résidu de Solow sous une forme très simple

$$\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \frac{\dot{Y}_t}{Y_t} - (1 - \alpha) \frac{\dot{K}_t}{K_t} - \alpha \frac{\dot{L}_t}{L_t} \quad (\text{A.6})$$

où la notation $\dot{x}_t$, pour la variable $x = A, Y, K, L$, signifie la dérivée de la variable considérée par rapport au temps.

En notant g_x le taux de croissance de la variable x , avec $x = A, Y, K, L$, nous pouvons réécrire l'expression (A.6) de la manière suivante

$$\underbrace{g_Y}_{\text{croissance VA}} = \underbrace{g_A}_{\text{croissance PGF}} + \underbrace{\alpha g_L}_{\text{contribution emploi}} + \underbrace{(1 - \alpha) g_K}_{\text{contribution capital}}, \quad (\text{A.7})$$

où $(1 - \alpha) g_K$ et αg_L représentent respectivement les contributions de la croissance des facteurs capital et travail à la croissance de la valeur ajoutée ; le terme g_A correspond à la fraction de la croissance de la valeur ajoutée qui n'est pas attribuée à l'accumulation des facteurs de production, soit le capital et le travail.

A.2 La méthode de comptabilisation de la croissance par l'approche primale

La méthode de *comptabilisation de la croissance* que nous venons de présenter, permet d'analyser la croissance de la valeur ajoutée. Cette approche dite *primale*, traditionnellement adoptée dans les études (cf travaux cités ci-dessous), permet d'expliquer le taux de croissance de la valeur ajoutée en fonction de l'accumulation des différents facteurs de production.

L'intérêt de cette approche *primale* (par le biais des facteurs de production) est qu'elle ne nécessite pas d'hypothèse particulière concernant la technologie de production². Dans le

¹L'hypothèse de rendements d'échelle constants permet d'évaluer la part distributive du capital de manière résiduelle (cf Hulten [38], p.11).

²En revanche, elle repose sur des hypothèses de concurrence sur les marchés des biens et des facteurs, ainsi que sur l'hypothèse de rendements d'échelle constants, pouvant sembler relativement restrictives, soit les hypothèses 1 et 2. Lorsque ces hypothèses ne sont pas vérifiées, l'évaluation de la productivité globale des facteurs va alors intégrer les rendements d'échelle et la marge (cf Schubert [63], p. 209-211). Cependant, en s'appuyant sur les travaux de Durand [2001] en matière de PGF du secteur marchand hors secteur bancaire, un test complémentaire de Wald a permis de montrer, pour chaque période de 1987 jusqu'à l'année 2000, qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle, à des niveaux de seuil acceptables, selon laquelle les rendements d'échelle sont constants. La somme des parts distributives associées respectivement au travail et au capital peut donc être considérée égale à l'unité sur la période 1987-2000.

cadre de notre étude, nous avons adopté la méthode de comptabilisation de la croissance, en suivant l'approche *primale*. Nous soulignons que cette approche a été adoptée jusqu'à récemment, dans le cadre des études cherchant à mesurer la contribution de l'informatisation à la croissance économique (cf Oliner et Sichel [56] et Jorgenson et Stiroh [41] pour les Etats-Unis, et Cette, Mairesse et Kocoglu [16] pour la France). En outre, Cette, Mairesse et Kocoglu [16] soulignent que cette "évaluation repose sur les hypothèses d'une représentation satisfaisante (...) de concurrence parfaite sur le marché des facteurs et sur le marché des produits".

Enfin, comme nous l'avons souligné précédemment, la méthode de comptabilisation de la croissance demeure la méthode traditionnellement utilisée. Par conséquent, elle permet des comparaisons internationales.

A.3 Variations de la PGF, de la productivité du travail, et de l'intensité capitalistique

Nous présentons trois tableaux successifs :

- 1 Le premier tableau présente les taux de croissance de la PGF par branche au cours des 5 périodes successives, soit 1970-1975, 1976-1981, 1982-1987, 1988-1993, et 1994-1999 ;
- 2 Le deuxième tableau rassemble les variations de la productivité du travail au cours de ces mêmes périodes et permet d'indiquer éventuellement les origines de la croissance ou de la décroissance de la PGF d'une ou des branches spécifiques ;
- 3 Le troisième tableau est intéressant au même titre que le précédent puisqu'il présente les variations de l'intensité capitalistique des différentes branches, une modification du rapport capital-travail ayant une influence sur la variation de la PGF selon la méthode de comptabilisation de la croissance.

Branches	1970-75	1976-81	1982-87	1988-93	1994-99
Industrie, y compris énergie					
Produits manufacturés	-0.0624	0.1174	0.2171	0.1462	0.1759
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.0748	0.1334	0.2411	0.1589	0.1966
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	-0.2076	-0.1253	0.1397	-0.0257	-0.1600
Papiers et cartons ; produits édités, imprimés ou reproduits	-0.2984	-0.1319	-0.8360	1.2248	0.1935
Produits chimiques	-0.1377	-0.0554	0.0189	0.0746	-0.0558
Produits en caoutchouc ou en plastique	0.1144	0.0361	0.5597	0.4126	0.0432
Autres produits minéraux non métalliques	-0.0161	0.4116	0.2794	-0.0264	0.3227
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.0386	0.2167	0.1819	0.2982	0.1781
Machines et équipements	-0.2036	0.1582	0.4063	0.1416	0.5123
Équipements électriques et électroniques	0.0737	0.0333	-0.0315	-0.1595	0.1214
Matériels de transport	0.0085	-0.1566	0.2235	-0.1252	0.3463
Autres produits manufacturés	0.2110	-0.0316	0.7882	0.2447	0.4849
Électricité, gaz et eau	-0.1508	-0.1359	0.0286	0.2897	-0.1651
Construction	-0.0571	0.0358	0.0222	0.0498	0.0010
Commerce	0.0712	0.0471	0.1227	-0.1372	0.2131
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	-0.0162	0.1729	0.1364	-0.1061	0.1301
Services d'hôtellerie et de restauration	-0.3227	-0.0797	0.0046	0.0254	0.1278
Transports et communications	-0.1025	-0.2107	-0.1944	0.0202	0.0066
Activités financières ; immobilier, location et services aux entreprises	0.3055	0.2234	0.3388	-0.1510	0.2076
	0.3112	0.1906	0.1255	-0.0014	0.1028
Services financiers	1.3703	0.1033	-0.1860	0.0353	0.2276
Services immobiliers, de location et aux entreprises	0.0061	0.0430	0.2070	-0.0691	0.0373

TAB. A.1 – Variation de la PGF par branches au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99

Branches	1970-75	1976-81	1982-87	1988-93	1994-99
Industrie, y compris énergie					
Produits manufacturés	0.0024	0.1796	0.2542	0.1971	0.1834
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.0277	0.1940	0.2826	0.1994	0.1982
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	0.1716	0.0187	0.1832	0.0151	-0.1957
Papiers et cartons ; produits édités, imprimés ou reproduits	0.3837	0.3820	0.0600	1.8746	0.2086
Produits chimiques	0.0234	0.1494	-0.0167	0.2662	-0.0413
Produits en caoutchouc ou en plastique	0.5163	0.3317	0.3196	0.2434	-0.1430
Autres produits minéraux non métalliques	-0.1011	0.2873	0.2414	-0.0892	0.2184
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.0650	0.2903	0.1424	0.3893	0.1152
Machines et équipements	-0.1810	0.1477	0.4224	0.1849	0.5617
Équipements électriques et électroniques	0.0830	0.0741	0.1036	-0.1733	0.1332
Matériels de transport	0.1685	-0.0449	0.3373	-0.0477	0.2988
Autres produits manufacturés	0.0305	-0.0191	0.8142	0.2630	0.4148
Électricité, gaz et eau	-0.0810	0.0483	0.0917	0.3656	0.5248
Construction	0.3224	-0.0280	-0.0035	0.1105	0.0017
Commerce	0.0424	0.0537	0.0769	-0.1179	0.1547
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	-0.4717	0.0885	0.0946	0.0347	0.1551
Services d'hôtellerie et de restauration	-0.9727	0.0952	0.0578	0.0621	0.1404
Transports et communications	-0.0141	-0.0402	-0.1275	-0.0517	-0.0842
Activités financières ; immobilier, location et services aux entreprises	0.2108	0.1434	0.2780	0.0307	0.2054
	1.2459	0.0149	-0.0605	-0.0365	-0.1346
Services financiers					
	1.2737	0.3768	-0.1241	0.1304	0.1041
Services immobiliers, de location et aux entreprises	1.9773	-0.1915	0.0289	-0.1901	-0.3245

TAB. A.2 – Variation de la productivité du travail au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99

Branches	1970-75	1976-81	1982-87	1988-93	1994-99
Industrie, y compris énergie	0.1773	0.2082	0.0754	0.1071	0.0116
Produits manufacturés	0.1442	0.2642	0.0930	0.0892	-0.0032
Produits des industries agricoles et alimentaires	0.6688	0.2236	0.0466	0.0824	-0.1044
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	1.6012	0.9200	3.4328	0.5109	0.0141
Papiers et cartons ; produits édités, imprimés ou reproduits	0.4899	0.7553	-0.1110	0.5362	0.0117
Produits chimiques	0.8324	1.4981	-0.3073	-0.3379	-0.2780
Produits en caoutchouc ou en plastique	-0.1328	-0.1835	-0.0629	-0.1175	-0.1779
Autres produits minéraux non métalliques	0.1136	0.4060	-0.0992	0.1190	-0.1282
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.1231	0.3821	0.0540	0.1823	0.1818
Machines et équipements	0.0204	0.1436	0.4766	-0.0223	0.0514
Équipements électriques et électroniques	0.9725	1.1836	0.3951	0.2065	-0.1128
Matériels de transport	-0.5556	0.5890	0.3027	0.1686	-0.2576
Autres produits manufacturés	0.1958	0.7180	0.1920	0.1528	1.8199
Électricité, gaz et eau	0.3680	-0.0807	-0.0347	0.0872	-0.0008
Construction	-0.0674	0.0127	-0.1036	0.0484	-0.1423
Commerce	-0.6426	-0.1522	-0.0733	0.3010	0.0283
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	-0.9765	0.3384	0.0881	0.0620	0.0058
Services d'hôtellerie et de restauration	0.1240	0.3183	0.1207	-0.1312	-0.1896
Transports et communications	-0.1970	-0.2964	-0.1662	0.5284	-0.0183
Activités financières ; immobilier, location et services aux entreprises	1.0288	-0.1856	-0.2053	-0.0524	-0.3335
Services financiers	-0.0583	0.2606	0.0912	0.1650	-0.1991
Services immobiliers, de location et aux entreprises	2.4966	-0.2554	-0.1796	-0.1554	-0.4497

TAB. A.3 – Variation de l'intensité capitalistique au cours des cinq périodes successives 70-75, 76-81, 82-87, 88-93, 94-99

A.4 Annexe Tableaux : décomposition sectorielle

A.4.1 La méthode

L'objectif de la méthode proposée par Harberger [36], que nous présentons ci-dessous (de manière intuitive), permet d'une part, de donner un aspect plus concret au concept de PGF, et d'autre part, d'évaluer la contribution de chaque branche à la réduction réelle de coût en fonction de

- sa capacité à réduire les coûts ;
- sa part dans la valeur ajoutée globale, c'est-à-dire du secteur marchand.

Cette approche consiste à appréhender les gains de productivité réalisés par une branche comme une réduction réelle de coût. En d'autres termes, ces gains de productivité permettent de produire le même niveau de production mais à un coût plus faible (cf section 1.2.2). Par conséquent, nous pouvons définir la réduction réelle de coût comme la variation de la valeur ajoutée provenant des seuls gains de productivité globale des facteurs, soit

$$\underbrace{\Delta C}_{\text{gain coût production}} = \underbrace{\Delta Y}_{\text{variation VA}} = \underbrace{Y}_{\text{VA initiale}} \times \underbrace{\frac{\Delta A}{A}}_{\text{gains productivité}},$$

où ΔY reflète la variation de la valeur ajoutée (cf eq (A.7) en raisonnant à facteurs de production donnés). De manière à faire apparaître les origines sectorielles des gains de productivité globale, nous écrivons la croissance de la PGF du secteur marchand comme la somme pondérée des gains de productivité réalisés par chaque branche où les pondérations affectées à chaque branche sont égales à la part de la valeur ajoutée de la i ème branche dans la VA globale (du secteur marchand), c'est-à-dire

$$\frac{\Delta A}{A} = \sum_{i=1}^{nb \text{ branches}} \frac{Y_i}{Y} \times \frac{\Delta A_i}{A_i},$$

où $\Delta A/A$ et $\Delta A_i/A_i$ correspondent aux variations de PGF enregistrés respectivement par le secteur marchand et par la branche i . L'expression ci-dessus montre que chaque branche contribue additivement aux gains de productivité réalisés par le secteur marchand.

A.4.2 Représentation graphique

Nous proposons cinq tableaux rassemblant les calculs conduisant à la représentation des figures présentées dans la section A.5.

La colonne (1) fait apparaître le taux de croissance de la PGF de chaque branche classée par ordre décroissant. Un taux de croissance positif (négatif) de la productivité totale signifie que la branche contribue positivement (négativement) à la réduction réelle globale du coût. La colonne (2) présente la valeur ajoutée initiale - ou de début de période - associée à chaque branche. La somme cumulée des valeurs ajoutées initiales apparaissent dans la colonne (3). Les parts cumulées de chaque branche dans la valeur ajoutée globale apparaissent dans la colonne (4). Quant à la colonne (5), la valeur associée à chaque branche est le produit du

taux de croissance de la productivité globale des facteurs enregistrée par cette branche, soit la colonne (1), et de sa valeur ajoutée nominale initiale, soit la colonne (2), la valeur obtenue traduisant la réduction réelle de coût réalisée par la branche considérée - certains facteurs à l'origine de cette diminution du coût sont identifiés dans les sections 2.5 et 2.6 -. La colonne (6) révèle la véritable contribution de chaque branche à la réduction réelle globale du coût. Les valeurs apparaissant dans cette colonne sont obtenues à partir du rapport de la réduction réelle de coût enregistrée par la branche, soit la colonne (5), à la somme des valeurs ajoutées de l'ensemble des branches, soit la VA globale. Enfin, la colonne (7) est obtenue à partir de la somme cumulée de la colonne (6). La valeur située à la dernière ligne de la colonne (7) correspond à la réduction réelle globale de coût (rapportée à la valeur ajoutée du secteur marchand, y compris *Construction*) enregistrée par l'ensemble des branches, puisqu'elle résulte de la somme cumulée des valeurs apparaissant dans la colonne (6).

Chaque tableau est accompagné d'une figure permettant de mettre en évidence les résultats obtenus. Nous avons porté en abscisse les parts cumulées de la valeur ajoutée associées à chaque branche, soit la colonne (4), et en ordonnée apparaît la réduction réelle de coût cumulée rapportée à la valeur ajoutée (ou encore le taux de croissance cumulée de la PGF). La pente du segment reliant le point d'origine et le point de réduction totale de coût - soit la branche ayant enregistré le plus faible taux de croissance de productivité totale -, correspond au taux de croissance de la PGF de l'ensemble des branches. En revanche, chaque segment reliant les différentes branches, reflète le taux de croissance de la PGF enregistrée par chacune des branches. Par ailleurs, la projection de chaque segment sur l'axe des abscisses permet de rendre compte de la part de la valeur ajoutée de la branche considérée dans la VA globale. Enfin, les branches sont classées par ordre décroissant en fonction des gains de productivité qu'elles ont réalisés au cours de la période. Les gains de productivité (ou la réduction de coût cumulé rapporté à la VA globale) atteignent une valeur maximale au sommet de la courbe : les branches se situant à gauche enregistrent des gains de productivité positifs (pente positive) et à droite enregistrent des pertes de productivité (pente négative).

Branches	$\frac{PGF}{PGF}$ (1)	VA courante 70 (2)	Cumul VA 70 (3)	Parts cumulées dans VAG (4)	Reduction coût (5)	Réduction coût/VAG (6)	Cumul Réduction coût/VAG (7)
Services financiers	1.3703	4756.31	4756.31	0.0847	6517.49	0.1160	0.1160
Transports et communications	0.3055	3843.52	8599.83	0.1531	1174.35	0.0209	0.1369
Matériels de transport	0.2110	37.69	8637.52	0.1538	7.95	0.0001	0.1371
Produits chimiques	0.1144	687.23	9324.75	0.1660	78.65	0.0014	0.1385
Machines et équipements	0.0737	1945.28	11270.03	0.2006	143.29	0.0026	0.1410
Construction	0.0712	4490.02	15760.05	0.2806	319.86	0.0057	0.1467
Autres produits minéraux non métalliques	0.0386	582.95	16343.00	0.2909	22.49	0.0004	0.1471
Équipements électriques et électroniques	0.0085	97.56	16440.56	0.2927	0.83	0.0000	0.1471
Services immobiliers, de location et aux entre-prises	0.0061	10562.82	27003.37	0.4807	64.31	0.0011	0.1483
Produits en caoutchouc ou en plastique	-0.0161	2126.52	29129.89	0.5186	-34.29	-0.0006	0.1477
Électricité, gaz et eau	-0.0571	2354.47	31484.37	0.5605	-134.37	-0.0024	0.1453
Services d'hôtellerie et de restauration	-0.1025	1514.72	32999.09	0.5874	-155.21	-0.0028	0.1425
Papiers et cartons	-0.1377	394.25	33393.34	0.5945	-54.27	-0.0010	0.1415
Autres produits manufacturés	-0.1508	230.88	33624.22	0.5986	-34.81	-0.0006	0.1409
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	-0.2036	13596.87	47221.09	0.8406	-2768.10	-0.0493	0.0916
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.2076	1279.12	48500.21	0.8634	-265.52	-0.0047	0.0869
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	-0.2984	430.94	48931.15	0.8710	-128.58	-0.0023	0.0846
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	-0.3227	7243.97	56175.12	1.0000	-2337.75	-0.0416	0.0430

TAB. A.4 – Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1970-1975

Branches	$\frac{PGF}{PGF}$ (1)	VA courante 76 (2)	Cumul VA 76 (3)	Parts cumulées dans VAG (4)	Reduction coût (5)	Réduction coût/VAG (6)	Cumul Réduction coût/VAG (7)
Produits en caoutchouc ou en plastique	0.4116	3805.61	3805.61	0.0313	1566.44	0.0129	0.0129
Transports et communications	0.2234	7057.26	10862.87	0.0895	1576.28	0.0130	0.0259
Autres produits minéraux non métalliques	0.2167	990.42	11853.29	0.0976	214.59	0.0018	0.0277
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.1582	14407.88	26261.16	0.2163	2279.85	0.0188	0.0464
Services financiers	0.1033	28815.06	55076.22	0.4536	2977.32	0.0245	0.0710
Construction	0.0471	9858.02	64934.24	0.5348	464.42	0.0038	0.0748
Services immobiliers, de location et aux entre-prises	0.0430	22574.10	87508.34	0.7208	970.70	0.0080	0.0828
Produits chimiques	0.0361	1193.97	88702.31	0.7306	43.06	0.0004	0.0831
Électricité, gaz et eau	0.0358	3804.33	92506.65	0.7620	136.38	0.0011	0.0843
Machines et équipements	0.0333	3220.87	95727.52	0.7885	107.30	0.0009	0.0851
Matériels de transport	-0.0316	343.20	96070.71	0.7913	-10.83	-0.0001	0.0850
Papiers et cartons	-0.0554	920.29	96991.00	0.7989	-50.99	-0.0004	0.0846
Ventes, réparations automobiles et d'articles domestiques	-0.0797	16305.67	113296.67	0.9332	-1300.28	-0.0107	0.0739
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.1253	2593.06	115889.73	0.9545	-325.02	-0.0027	0.0712
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	-0.1319	1384.08	117273.81	0.9660	-182.53	-0.0015	0.0697
Autres produits manufacturés	-0.1359	467.57	117741.38	0.9698	-63.56	-0.0005	0.0692
Équipements électriques et électroniques	-0.1566	316.75	118058.13	0.9724	-49.61	-0.0004	0.0688
Services d'hôtellerie et de restauration	-0.2107	3349.58	121407.71	1.0000	-705.62	-0.0058	0.0630

TAB. A.5 – Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1976-1981

Branches	$\frac{PGF}{PGF}$ (1)	VA courante 82 (2)	Cumul VA 82 (3)	Parts cumulées dans VAG (4)	Reduction coût (5)	Réduction coût/VAG (6)	Cumul Réduction coût/VAG (7)
Matériels de transport	0.7882	226.15	226.15	0.0011	178.26	0.0008	0.0008
Produits chimiques	0.5597	836.01	1062.16	0.0049	467.92	0.0022	0.0030
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.4063	19055.76	20117.92	0.0935	7742.15	0.0360	0.0390
Transports et communications	0.3388	10790.88	30908.80	0.1437	3656.24	0.0170	0.0560
Produits en caoutchouc ou en plastique	0.2794	6639.97	37548.77	0.1746	1855.41	0.0086	0.0646
Équipements électriques et électroniques	0.2235	629.19	38177.96	0.1775	140.62	0.0007	0.0653
Services immobiliers, de location et aux entre-prises	0.2070	38055.82	76233.78	0.3544	7877.32	0.0366	0.1019
Autres produits minéraux non métalliques	0.1819	2491.65	78725.43	0.3660	453.20	0.0021	0.1040
Produits des industries agricoles et alimentaires	0.1397	4187.38	82912.81	0.3854	585.01	0.0027	0.1067
Construction	0.1227	13142.29	96055.09	0.4465	1612.11	0.0075	0.1142
Autres produits manufacturés	0.0286	609.87	96664.96	0.4494	17.45	0.0001	0.1143
Électricité, gaz et eau	0.0222	6395.80	103060.77	0.4791	142.26	0.0007	0.1150
Papiers et cartons	0.0189	1633.49	104694.25	0.4867	30.94	0.0001	0.1151
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	0.0046	28785.75	133480.00	0.6205	133.03	0.0006	0.1157
Machines et équipements	-0.0315	4679.10	138159.10	0.6423	-147.35	-0.0007	0.1150
Services financiers	-0.1860	68847.61	207006.71	0.9623	-	-0.0595	0.0555
Services d'hôtellerie et de restauration	-0.1944	5600.91	212607.63	0.9884	12804.10	-0.0051	0.0504
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	-0.8360	2504.53	215112.15	1.0000	-2093.68	-0.0097	0.0407

TAB. A.6 – Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1982-1987

Branches	$\frac{PGF}{PGF}$ (1)	VA courante 88 (2)	Cumul VA 88 (3)	Parts cumulées dans VAG (4)	Reduction coût (5)	Réduction coût/VAG (6)	Cumul Réduction coût/VAG (7)
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	1.2248	3465.27	3465.27	0.0112	4244.36	0.0137	0.0137
Produits chimiques	0.4126	2372.85	5838.12	0.0188	979.00	0.0032	0.0168
Autres produits minéraux non métalliques	0.2982	4627.14	10465.26	0.0337	1379.78	0.0044	0.0213
Autres produits manufacturés	0.2897	650.53	11115.79	0.0358	188.48	0.0006	0.0219
Matériels de transport	0.2447	327.99	11443.77	0.0368	80.26	0.0003	0.0221
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.1416	25443.10	36886.88	0.1187	3603.09	0.0116	0.0337
Papiers et cartons	0.0746	2708.82	39595.69	0.1275	202.04	0.0007	0.0344
Électricité, gaz et eau	0.0498	7269.44	46865.13	0.1509	361.68	0.0012	0.0355
Services financiers	0.0353	85226.88	132092.01	0.4252	3010.49	0.0097	0.0452
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	0.0254	42161.20	174253.21	0.5609	1068.84	0.0034	0.0487
Services d'hôtellerie et de restauration	0.0202	9361.04	183614.25	0.5911	189.29	0.0006	0.0493
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.0257	5647.92	189262.17	0.6092	-145.01	-0.0005	0.0488
Produits en caoutchouc ou en plastique	-0.0264	10131.88	199394.04	0.6419	-267.63	-0.0009	0.0479
Services immobiliers, de location et aux entreprises	-0.0691	59345.32	258739.36	0.8329	-4101.56	-0.0132	0.0347
Équipements électriques et électroniques	-0.1252	1484.36	260223.72	0.8377	-185.80	-0.0006	0.0341
Construction	-0.1372	22258.90	282482.63	0.9093	-3054.81	-0.0098	0.0243
Transports et communications	-0.1510	21890.32	304372.95	0.9798	-3304.92	-0.0106	0.0137
Machines et équipements	-0.1595	6279.39	310652.34	1.0000	-1001.30	-0.0032	0.0104

TAB. A.7 – Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1988-1993

Branches	$\frac{PGF}{PGF}$ (1)	VA courante 94 (2)	Cumul VA 94 (3)	Parts cumulées dans VAG (4)	Reduction coût (5)	Réduction coût/VAG (6)	Cumul Réduction coût/VAG (7)
Produits de la métallurgie et du travail des métaux	0.5123	22166.64	22166.64	0.0512	11356.95	0.0263	0.0263
Matériels de transport	0.4849	309.69	22476.33	0.0520	150.16	0.0003	0.0266
Équipements électriques et électroniques	0.3463	2448.60	24924.92	0.0576	847.97	0.0020	0.0286
Produits en caoutchouc ou en plastique	0.3227	10761.49	35686.41	0.0825	3472.45	0.0080	0.0366
Services financiers	0.2276	110999.07	146685.49	0.3391	25259.57	0.0584	0.0950
Construction	0.2131	35374.14	182059.63	0.4209	7537.70	0.0174	0.1124
Transports et communications	0.2076	40267.79	222327.42	0.5140	8361.12	0.0193	0.1317
Produits de l'industrie textile et de l'habillement	0.1935	7360.18	229687.60	0.5310	1424.23	0.0033	0.1350
Autres produits minéraux non métalliques	0.1781	7775.71	237463.31	0.5490	1384.77	0.0032	0.1382
Ventes ; réparations automobiles et d'articles domestiques	0.1278	57958.55	295421.86	0.6829	7409.61	0.0171	0.1554
Machines et équipements	0.1214	5443.60	300865.46	0.6955	660.72	0.0015	0.1569
Produits chimiques	0.0432	5568.80	306434.26	0.7084	240.54	0.0006	0.1574
Services immobiliers, de location et aux entreprises	0.0373	92285.84	398720.10	0.9217	3440.06	0.0080	0.1654
Services d'hôtellerie et de restauration	0.0066	13429.64	412149.74	0.9528	89.26	0.0002	0.1656
Électricité, gaz et eau	0.0010	7772.53	419922.27	0.9708	8.08	0.0000	0.1656
Papiers et cartons	-0.0558	4273.96	424196.23	0.9806	-238.57	-0.0006	0.1651
Produits des industries agricoles et alimentaires	-0.1600	7257.93	431454.16	0.9974	-1161.30	-0.0027	0.1624
Autres produits manufacturés	-0.1651	1116.23	432570.39	1.0000	-184.30	-0.0004	0.1620

TAB. A.8 – Contribution de chaque branche (industrie, construction, services marchands luxembourgeois) à la réduction réelle globale de coût sur la période 1994-1999

A.5 Annexe Figures : décomposition sectorielle

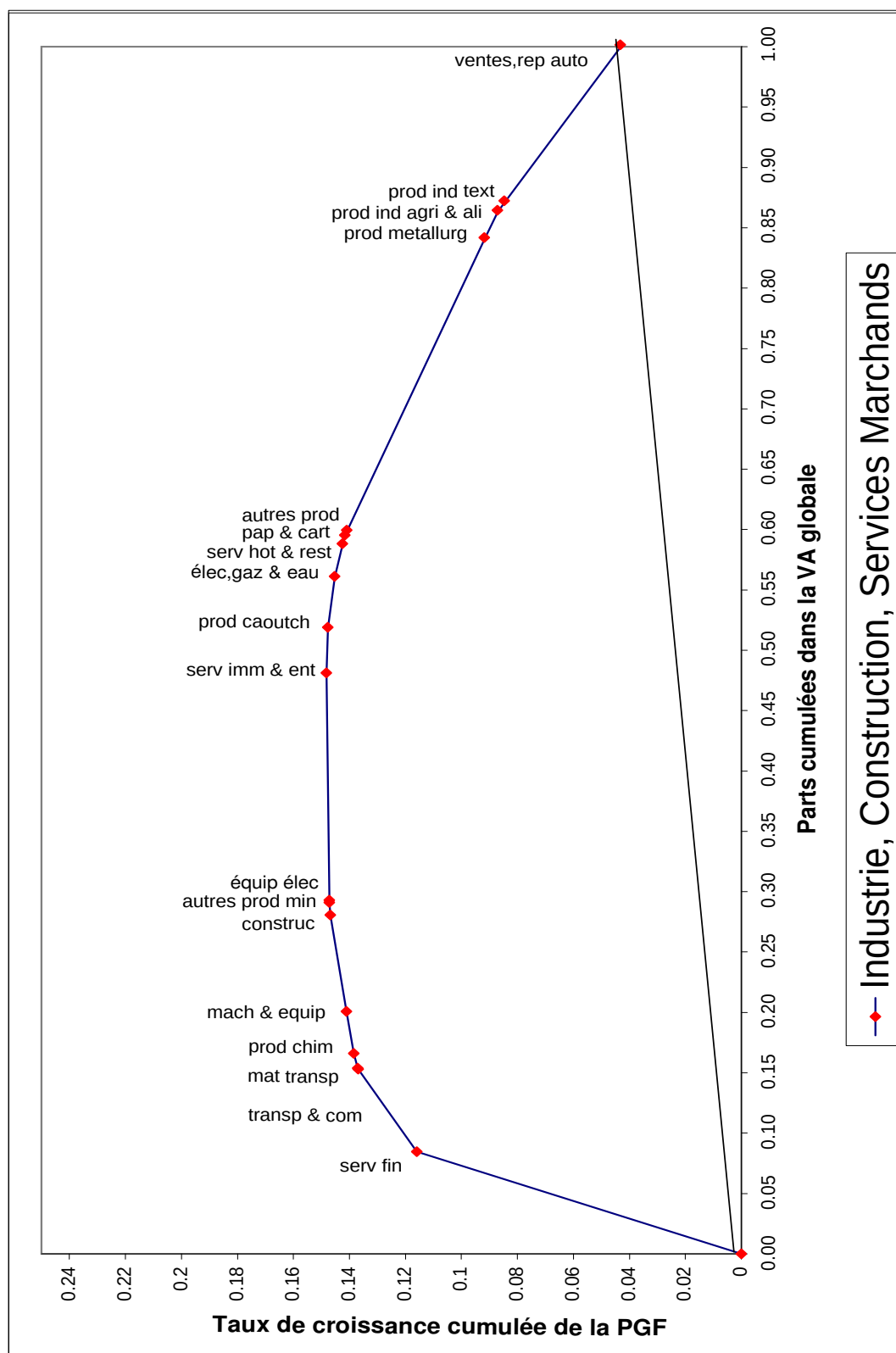


FIG. A.1 – Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1970-1975

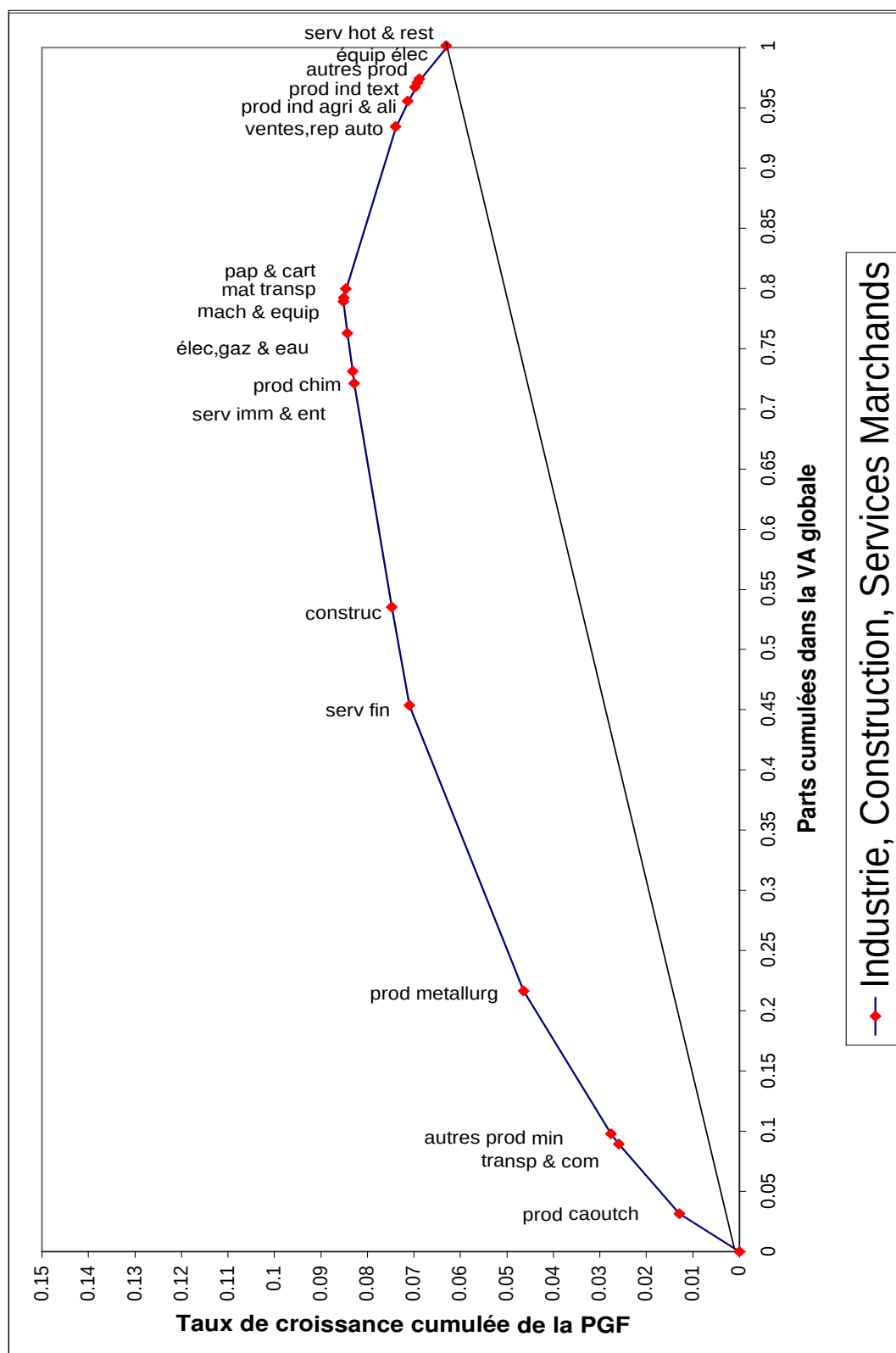


FIG. A.2 – Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1976-1981

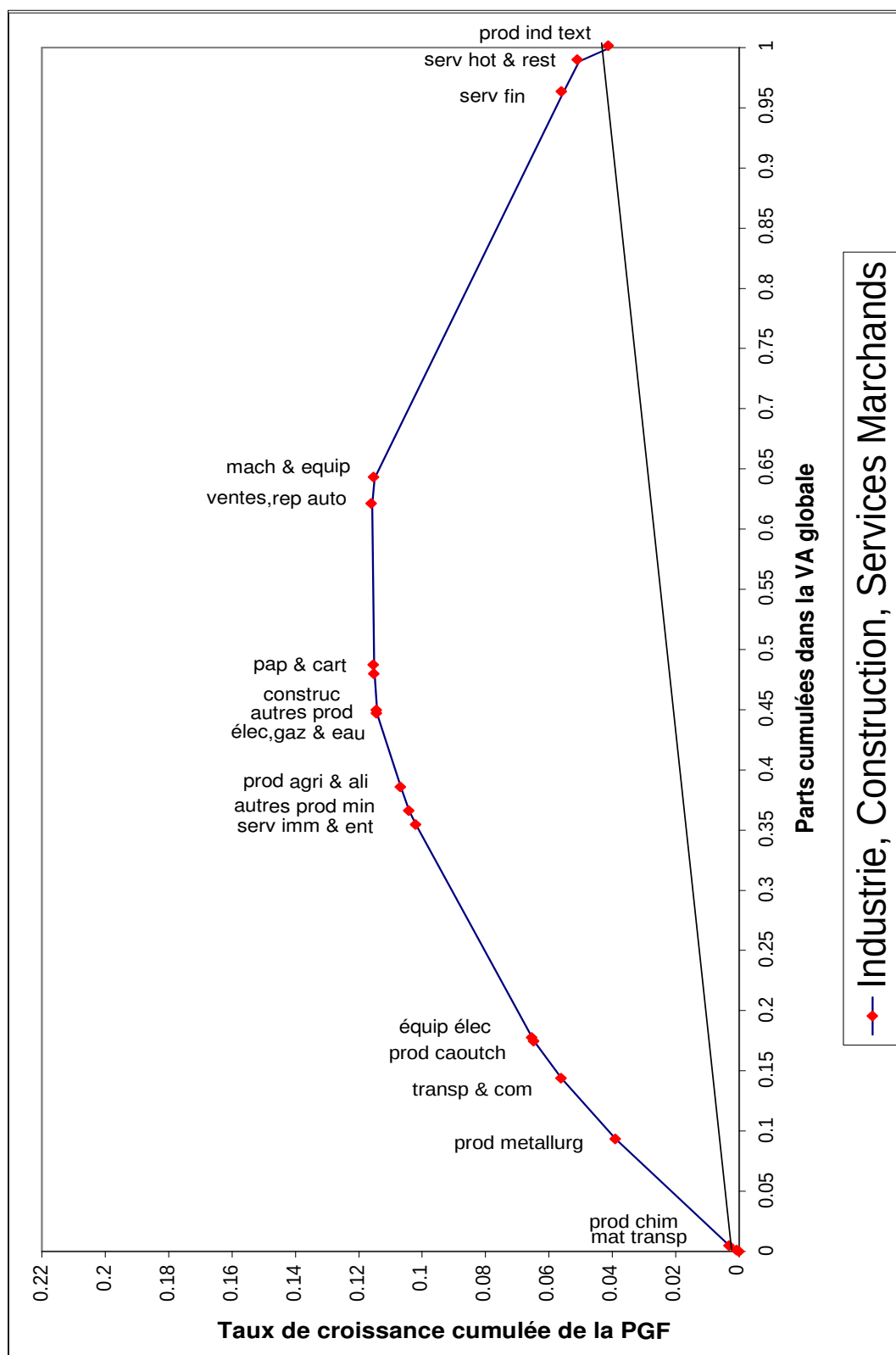


FIG. A.3 – Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1982-1987

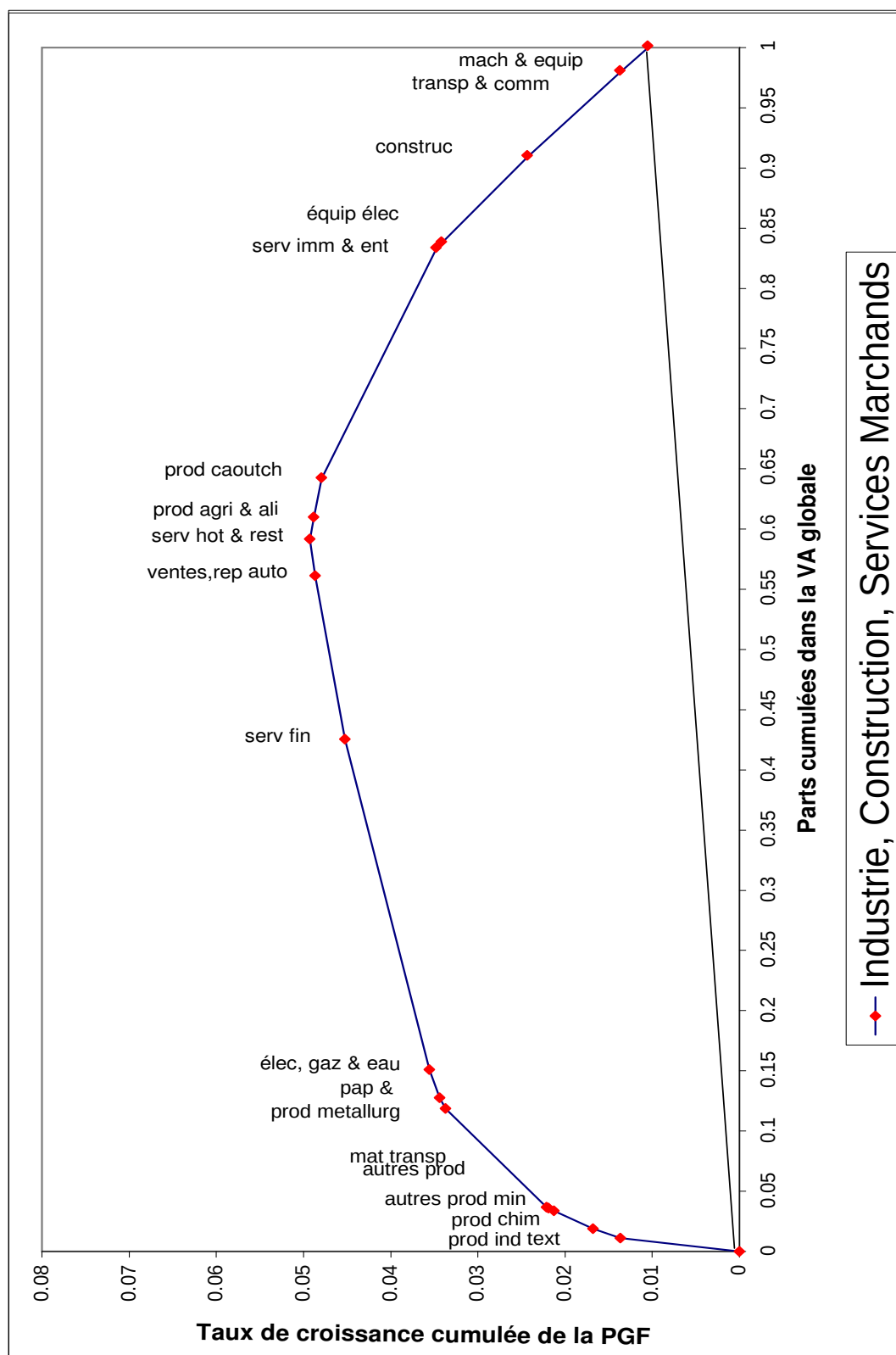


FIG. A.4 – Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1988-1993

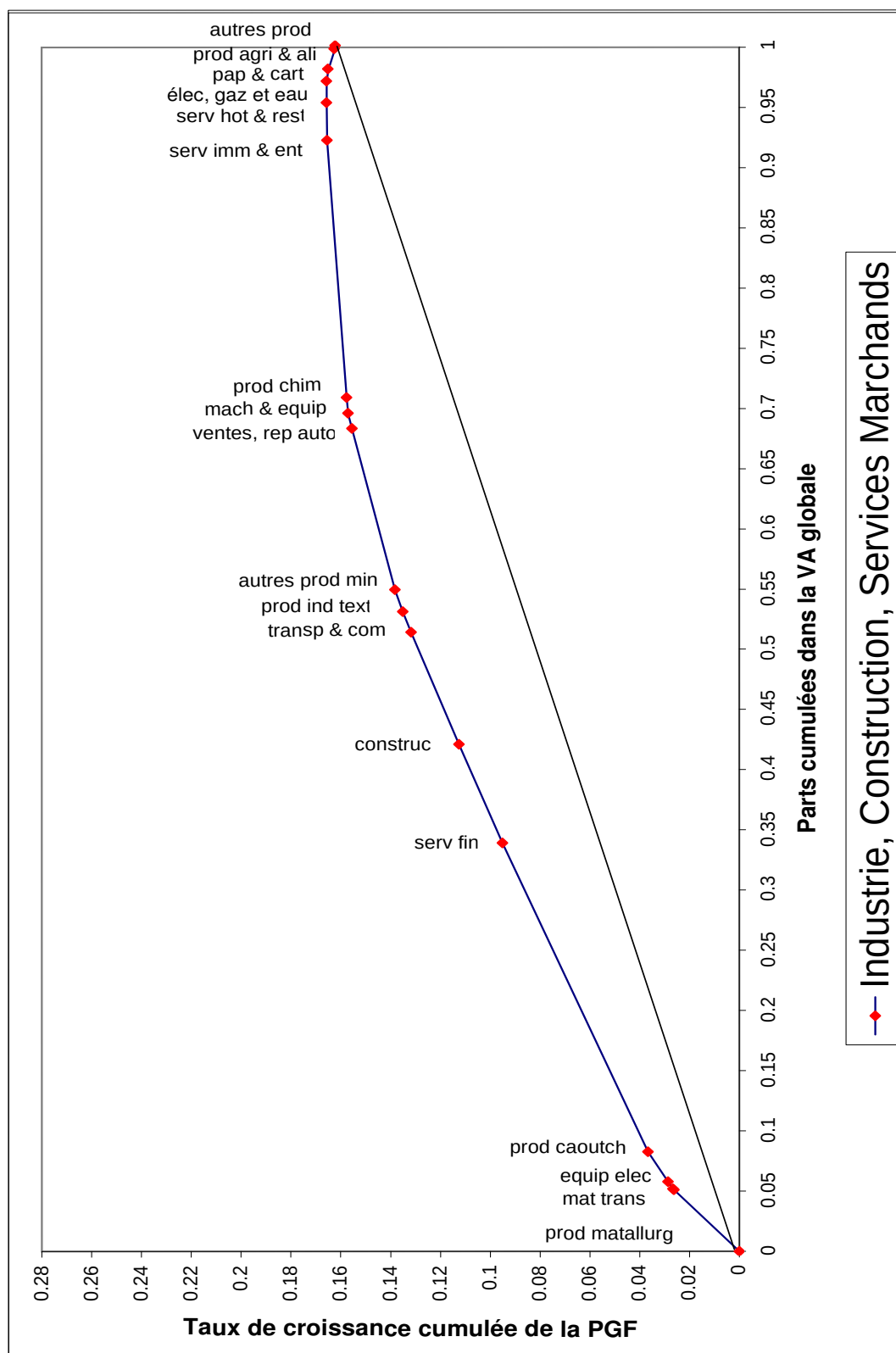


FIG. A.5 – Décomposition sectorielle de la croissance de la PGF (industrie, construction, et services marchands luxembourgeois) sur la période 1994-1999

Annexe B

Analyse empirique des déterminants de la productivité globale des facteurs : données et méthode

B.1 Stocks de capital domestiques et étranger en RD

La construction des stocks de capital en R-D a été opérée à l'aide des dépenses totales -ensemble des secteurs institutionnels (privé, public, enseignement supérieur et institutions privées sans but lucratif) - en recherche-développement selon la méthodologie présentée dans la section B.2. Les efforts de R-D accomplis respectivement par la Belgique, l'Allemagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, et les Etats-Unis ont été obtenus principalement par le biais de la base de données *Science et Technologie* proposée par Eurostat. Les données manquantes associées aux années 1981, 1982, 1990, et 1992 pour la Belgique ont été évaluées à partir des dépenses en R-D entreprises par le secteur privé. Quant au Royaume-Uni, les données de 1982 et 1984 ont été définies à l'aide des données fournies par National Science Foundation.

Le stock international en R-D est défini comme une moyenne arithmétique pondérée des stocks de connaissance domestique calculés à partir des dépenses intérieures brutes en R-D entreprises par les 7 principaux partenaires commerciaux du Luxembourg, soit l'Allemagne, la Belgique, les Etats-Unis, la France, l'Italie, les Pays-Bas, et le Royaume-Uni, les pondérations étant définies comme la part des achats de biens et services du Luxembourg au pays considéré. La série, s'étalant sur la période 1981-1999, est exprimée en millions d'euros à prix constants 1995. Afin de disposer d'une série plus longue, nous avons utilisé les données fournies par Coe et Helpman [17] (p.879), et constitué une série du stock de R-D extérieure, pondérée des importations, sur la période s'étalant de 1971 à 1999.

	BE	ALL	FR	IT	PB	RU	US	SRDF
1971	38.18	39.80	46.91	36.12	54.28	75.60	43.34	41.78
1972	39.88	42.67	48.56	38.90	55.65	76.13	44.92	43.89
1973	41.86	45.45	50.34	41.76	57.01	76.56	46.50	46.02
1974	43.91	47.83	51.92	44.10	57.97	77.35	48.01	48.01
1975	46.18	50.12	53.49	46.37	59.20	78.23	49.38	49.92
1976	48.30	52.74	55.06	48.79	60.23	78.49	50.61	52.05
1977	50.57	55.12	56.64	50.84	61.32	79.19	55.62	54.19
1978	52.98	57.66	58.21	52.97	62.07	80.06	53.42	56.33
1979	55.32	60.77	59.71	54.87	62.82	81.11	54.93	58.66
1980	57.58	64.37	61.36	57.22	63.57	82.25	56.65	61.13
1981	59.85	67.81	63.14	59.71	64.46	83.39	58.50	63.69
1982	62.09	69.48	64.84	61.32	66.35	84.38	60.62	65.57
1983	64.47	71.23	66.82	63.01	68.34	85.27	62.86	67.70
1984	67.02	72.96	68.90	64.92	70.42	86.05	65.36	69.73
1985	69.66	74.75	71.20	67.20	72.43	87.00	68.27	71.91
1986	72.47	76.99	73.64	70.16	74.86	88.10	71.59	74.55
1987	75.24	79.30	76.07	73.19	77.71	89.43	74.91	77.13
1988	78.10	81.83	78.62	76.60	80.81	90.78	78.21	79.86
1989	80.92	84.45	81.35	80.29	83.77	92.22	81.51	82.54
1990	84.06	87.19	84.36	84.14	86.57	93.75	84.81	85.50
1991	87.32	89.88	87.69	88.29	89.62	95.25	88.09	88.50
1992	90.39	92.90	90.90	91.94	92.34	96.34	91.38	91.57
1993	93.59	95.59	94.10	95.19	94.80	97.42	94.53	94.49
1994	96.76	97.91	97.15	97.83	97.29	98.67	97.34	97.28
1995	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1996	103.33	102.04	102.73	101.91	102.89	101.16	103.00	102.74
1997	107.03	104.03	105.38	103.85	106.05	102.19	106.27	105.66
1998	111.18	106.11	107.76	105.68	109.41	103.12	109.86	108.71
1999	115.48	108.31	110.10	107.54	112.51	104.15	113.75	111.96

TAB. B.1 – Stocks de capital domestiques en R-D des partenaires commerciaux du Luxembourg et stock de capital étranger en R-D (Millions Euros, 1995=100)

B.2 Evaluation des stocks de capital étranger et domestique en R-D

B.2.1 Stock de capital étranger en R-D

En suivant la méthodologie de Coe et Helpman, nous considérons les dépenses cumulées de R-D comme une variable reflétant l'évolution du stock de connaissance. Ainsi, nous construisons un stock de connaissance domestique à partir des dépenses en R-D entreprises par chaque partenaire commercial du Luxembourg. A l'aide de ces stocks en R-D, nous construisons un stock de R-D étrangère défini comme la moyenne pondérée des stocks de R-D de ces parte-

naires commerciaux, le poids affecté à chaque pays étant égal à sa part respective dans les importations luxembourgeoises.

Nous construisons respectivement 7 stocks de capital en R-D notés $SRDD^i$, en retenant l'approche de l'inventaire perpétuel. De manière formelle, en notant RDD_{t-1}^i les dépenses en R-D entreprises par le pays i à la date $t-1$, nous pouvons écrire (cf Coe et Helpman [17], p. 883)

$$SRDD_t^i = (1 - \delta_1)SRDD_{t-1}^i + RDD_{t-1}^i \quad (\text{B.1})$$

où δ_1 est le taux de dépréciation qui est supposé être égal à 5%¹ ; $SRDD_t^i$ représente le stock en R-D domestique du pays i à la date t .

La mise en oeuvre de la méthode d'inventaire perpétuel nécessite un stock de début de période. Ce dernier est obtenu à l'aide de la procédure suggérée par Griliches [32], soit

$$SRDD_0^i = \frac{RDD_0^i}{g_1^i + \delta_1} \quad (\text{B.2})$$

où g_1^i est le taux de croissance annuel moyen des dépenses en R-D du pays i sur la période 1971-1998. En outre, RDD_0^i et $SRDD_0^i$ correspondent respectivement aux dépenses et au stock en R-D du pays i au début de la période considérée, soit 1971.

De manière formelle, l'indicateur reflétant le stock de R-D extérieure auquel ont accès les branches industrielles luxembourgeoises à travers les relations économiques qu'elles entretiennent avec leurs partenaires commerciaux - principalement les pays voisins - peut s'écrire de la manière suivante

$$SRDF_t = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} SRDF_t^i, \quad i = 1, \dots, 7 \quad (\text{B.3})$$

où $SRDF_t$ représente le stock de R-D extérieure à la date t , m_i le montant des achats de biens du Luxembourg au pays i et m le montant total des importations luxembourgeoises.

B.2.2 Stock de capital domestique en R-D

La construction du stock de capital en R-D domestique, noté $SRDD$, est réalisée en retenant l'approche de l'inventaire perpétuel. De manière formelle, nous pouvons écrire

$$SRDD_t = (1 - \delta_2)SRDD_{t-1} + RDD_{t-1} \quad (\text{B.4})$$

où δ_2 est le taux de dépréciation du stock de connaissance domestique qui est supposé être égal à 20%, et RDD correspond aux dépenses en R-D entreprises par les branches industrielles

¹Le choix d'une valeur de δ peut apparaître arbitraire. Cependant, l'hypothèse de Coe et Helpman quant à la valeur d'un taux de dépréciation de 0.05 produit des résultats relativement comparables à ceux associés à une valeur de $\delta_1 = 0.15$.

luxembourgeoises. En outre, le stock de début de période a été calculé comme suit

$$SRDD_0 = \frac{RDD_0}{g_2 + \delta_2} \quad (\text{B.5})$$

où g_2 est le taux de croissance annuel moyen des dépenses en R-D sur la période 1981-1998, RDD_0 l'investissement en R-D, et $SRDD_0$ représente le stock de capital domestique en R-D de début de période.

B.3 La justification du choix d'un modèle à correction d'erreurs

L'estimation "classique" ne considère que des processus qui sont caractérisés par le fait que leurs propriétés statistiques ne se modifient pas au cours du temps et qu'ils sont issus d'un système stable qui a atteint un état stationnaire. Cette propriété d'invariance temporelle tant de l'espérance, de la variance ou des covariances joue un rôle important dans l'économétrie traditionnelle puisqu'elle constitue une hypothèse de base qui conditionne la pertinence des résultats obtenus. Cependant, de nombreuses séries statistiques ne sont pas stationnaires et une régression classique aboutira à une relation fallacieuse.

Afin de surmonter ce problème, les variables sont généralement exprimées en termes de variation et non en niveau. En effet, un grand nombre de séries statistiques non stationnaires deviennent stationnaires lorsqu'elles sont exprimées sous forme de différence première. Cependant, cette approche "classique" de stationnarisation comporte des limites qui sont principalement de trois ordres.

- i L'opération de différenciation ne prend en compte que les changements intervenus d'une période à l'autre, les relations entre les niveaux des variables n'étant plus considérées. Ainsi, l'application des méthodes de filtrage pour rendre les variables stationnaires masquent les propriétés de long terme des séries temporelles. Par exemple, supposons une relation s'écrivant sous la forme suivante²

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \epsilon_t \quad (\text{B.6})$$

où ϵ_t est un terme d'erreur. Sous forme de différence première, cette expression s'écrit

$$Y_t - Y_{t-1} = \beta_1 (X_{1,t} - X_{1,t-1}) + \beta_2 (X_{2,t} - X_{2,t-1}) + u_t \quad (\text{B.7})$$

où $u_t = \epsilon_t - \epsilon_{t-1}$. En estimant (B.7), aucune information sur le terme β_0 ne peut être obtenue. L'équation (B.7) met l'accent sur la relation de court terme entre Y et X , ignorant ainsi la relation de long terme.

- ii En outre, si des relations stables entre les variables interviennent dans le long terme, on parle alors de relation cointégrée. Les modèles économétriques traditionnels demeurent incapables d'en rendre compte.

²Cet exemple est emprunté à l'ouvrage de Thomas, R. L., *Introductory Econometrics : Theory and applications*, Longman Economics Series, Second Edition (1993), Chapitre 7

La modélisation *ECM* (“Error Correction Model”) permet de réconcilier les horizons temporels, soit le court terme et le long terme, et de disposer d’une information complète sur la nature et les modifications des relations dans le temps. Cette modélisation demeure étroitement liée à la théorie de la cointégration. Cette dernière s’appuie sur des tests de racine unitaire s’interprétant comme des tests de stationnarité.

B.4 Spécification du modèle économétrique

B.4.1 Spécification d’un modèle économétrique et impact de l’activité de R-D sur la productivité globale des facteurs

La spécification que nous avons retenue a pour but de mettre en évidence d’une part, les transbordements technologiques induits par la diffusion de la connaissance étrangère s’opérant par le biais des relations économiques internationales du Luxembourg, et d’autre part l’effet des dépenses cumulées en R-D entreprises par les branches industrielles domestiques sur la PGF de l’*Industrie*.

L’indice de technologie peut s’écrire de la manière suivante

$$PGF_t = C(SRDF_t)^{\vartheta_1}(SRDD_t)^{\vartheta_2}(X_t)^{\vartheta_3} \quad (\text{B.8})$$

Ces variables sont à l’équilibre lorsque l’équation suivante - les lettres en minuscule signifiant le logarithme de la variable considérée - est satisfaite

$$pgf_t - \left(\vartheta_0 + \vartheta_1 srdf_t + \vartheta_2 srdd_t + \vartheta_3 x_t \right) = 0 \quad (\text{B.9})$$

avec $\vartheta_0 = \ln(C)$.

La relation de déséquilibre s’écrit de la manière suivante

$$\begin{aligned} pgf_t = & \alpha + \beta_1 srdf_t + \beta_2 srdf_{t-1} + \gamma_1 srdd_t + \gamma_2 srdd_{t-1} + \\ & + \delta_1 x_t + \delta_2 x_{t-1} + \zeta pgf_{t-1} + u_t \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

En soustrayant les membres de gauche et de droite par le terme pgf_{t-1} , en posant $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ pour la variable $y = pgf, srdf, srdd, x$, nous obtenons l’expression suivante

$$\begin{aligned} \Delta pgf_t = & \alpha + \beta_1 \Delta srdf_t + \gamma_1 \Delta srdd_t + \delta_1 \Delta x_t + (\beta_1 + \beta_2) srdf_{t-1} + \\ & + (\gamma_1 + \gamma_2) srdd_{t-1} + (\delta_1 + \delta_2) x_{t-1} + (\zeta - 1) pgf_{t-1} + u_t \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

L’expression (B.11) permet de rendre compte de l’impact des seuls efforts d’innovation domestique et étranger sur les gains de productivité des branches industrielles. Cependant, cette analyse a été enrichie par des recherches récentes, notamment celles de Griffith, Redding et Van Reenen [31] ou de Engelbrecht [26]. Ces derniers tentent de mettre en évidence

les “deux visages de la R-D”, soit l’innovation et l’apprentissage - ou l’assimilation de la technologie étrangère ou encore l’imitation - et mettent en évidence le rôle essentiel de l’activité domestique en R-D au niveau de la capacité d’assimilation des innovations étrangères. Cette idée peut être introduite au sein de la spécification (B.11) en supposant que le taux de transfert de la technologie s’écrit

$$\beta_1 + \beta_2 = \iota_1 + \iota_2 srdd_{t-1} \quad (\text{B.12})$$

En substituant (B.12) dans (B.13), et en factorisant par $(1 - \zeta)$, le modèle s’écrit

$$\begin{aligned} \Delta pgf_t = & \beta_1 \Delta srd f_t + \gamma_1 \Delta srdd_t + \delta_1 \Delta x_t - (1 - \zeta) \left[pgf_{t-1} - \frac{\alpha}{1 - \zeta} - \frac{\iota_1}{1 - \zeta} srd f_{t-1} - \right. \\ & \left. - \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{1 - \zeta} srdd_{t-1} - \frac{\iota_2}{1 - \zeta} srdd_{t-1} \times srd f_{t-1} - \frac{\delta_1 + \delta_2}{1 - \zeta} x_{t-1} \right] + u_t \end{aligned} \quad (\text{B.13})$$

ou encore

$$\begin{aligned} \Delta pgf_t = & \beta_1 \Delta srd f_t + \gamma_1 \Delta srdd_t + \delta_1 \Delta x_t - (1 - \zeta) \left[pgf_{t-1} - \vartheta_0 - \varsigma_1 srd f_{t-1} - \right. \\ & \left. - \varsigma_2 srdd_{t-1} \times srd f_{t-1} - \varsigma_3 srdd_{t-1} - \vartheta_3 x_{t-1} \right] + u_t \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

avec

$$\begin{aligned} \vartheta_0 &= \frac{\alpha}{1 - \zeta}; & \varsigma_1 &= \frac{\iota_1}{1 - \zeta}; & \varsigma_2 &= \frac{\iota_2}{1 - \zeta}; \\ \vartheta_2 &= \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{1 - \zeta}; & \vartheta_3 &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{1 - \zeta}; \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

Le terme entre crochets de l’expression (B.14) sera égal à zéro lorsque la relation de long terme sera vérifiée (cf équation B.9). Quant le système s’écarte de son équilibre, une part de cet écart sera corrigée. Le processus d’ajustement sera stable si $0 < (1 - \zeta) < 1$, et sera d’autant plus rapide que ce terme tend vers l’unité. Les termes apparaissant sous la forme de différence du premier ordre reflètent le processus d’ajustement de court terme. Les termes faisant partie de la dynamique de court terme sont indépendants de la relation d’équilibre, et des variables supplémentaires peuvent donc être incluses sous forme de première différence, sans qu’elles apparaissent au sein de la relation de long terme, si elles améliorent l’estimation.

B.4.2 Spécification d’un modèle économétrique et impact des politiques économiques sur la productivité globale des facteurs

L’indice de technologie peut s’écrire de la manière suivante

$$PGF_t = C(NBENT_t)^{\kappa_1} (CRED_t)^{\kappa_2} \quad (\text{B.16})$$

En renouvelant la démarche présentée dans la section B.4.1, on aboutit à la spécification dynamique suivante permettant de faire apparaître une composante de court terme et une composante de long terme

$$\begin{aligned} \Delta pgf_t = & \varphi_1 \Delta nbent_t + \chi_1 \Delta cred_t - (1 - \zeta) \left[pgf_{t-1} - \kappa_0 - \kappa_1 nbent_{t-1} - \right. \\ & \left. - \kappa_2 cred_{t-1} \right] + u_t \end{aligned} \quad (\text{B.17})$$

B.5 Co-intégration

Nous avons présenté dans la section B.3 les limites des approches *classiques* de stationnarisation et avons établi les avantages d’une modélisation de type *ECM*. L’*ECM* peut être décrit comme un processus d’ajustement consistant “à modéliser la variable endogène de manière à la faire coïncider avec une cible constituant l’objectif de long terme” (cf Bresson [14], p. 405). L’*ECM* fait coexister d’une part, des variables non stationnaires en niveau s’interprétant comme les déterminants de l’équilibre de long terme, et d’autre part, des variables stationnaires - les taux de croissance de la cible et d’autres variables exogènes -.

Par soucis de clarté et de rigueur, nous introduisons succinctement les définitions de base au sein de notre exposé ayant trait à la méthode de *co-intégration* initiée par Engle et Granger [27].

Une série est dite *intégrée* d’ordre d , notée $I(d)$, si elle doit être différenciée d fois avant de devenir stationnaire. Deux séries temporelles sont dites *co-intégrées* d’ordre d , b , notée $CI(d, b)$, si

- i ces deux séries sont intégrées d’ordre d ;
- ii et il existe néanmoins une combinaison linéaire de ces deux séries qui est intégrée d’ordre $b < d$.

Nous devons donc vérifier deux conditions préalables à la modélisation *ECM*

- la stationnarité des séries consistant à rechercher leur ordre d’intégration ;
- l’hypothèse de cointégration des variables, ce qui revient à s’assurer de la convergence des sentiers de croissance sur le long terme.

B.5.1 Détermination de l’ordre d’intégration

L’analyse de la stationnarité des variables introduites dans le modèle économétrique est conduite à l’aide du test *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) consistant à tester l’hypothèse nulle d’existence d’une racine unitaire contre l’hypothèse alternative que le processus est stationnaire. Les résultats des tests *ADF* montrent que les variables *PGF*, *SRDF*, *SRDD*, et *X* ont le même ordre d’intégration, c’est-à-dire sont $I(1)$.

Les tests ADF opérés successivement sur les variables PGF , $SRDF$, $SRDD$, et X non-stationnaires en niveau nous conduisent, en première différence, à rejeter l'hypothèse de non-stationnarité. Après avoir appliqué les tests de racine unitaire sur chaque série et identifié leur ordre d'intégration, nous pouvons alors passer à la procédure d'estimation.

B.5.2 La procédure d'estimation

L'approche traditionnellement utilisée dans le cadre de la théorie de la co-intégration est la méthode à deux étapes (Engle et Granger [27]).

Considérons les quatre relations statiques suivantes,

$$pgf_t = \vartheta_0 + \vartheta_1 srdf_t + u_t^1 \quad (\text{B.18})$$

$$pgf_t = \vartheta_0 + \vartheta_1 srdf_t + \vartheta_2 srdd_t + u_t^2 \quad (\text{B.19})$$

$$pgf_t = \vartheta_0 + \varsigma_1 srdf_t + \varsigma_2 srdd_t \times srdf_t + u_t^3 \quad (\text{B.20})$$

$$pgf_t = \kappa_0 + \kappa_1 nbent_t + \kappa_2 cred_t + u_t^4, \quad (\text{B.21})$$

où u_t^i , avec $i = 1, 2, 3, 4$, représente le terme d'erreur associé à chacune des quatre relations.

Afin d'envisager une modélisation *ECM* (deuxième étape dans la procédure de Engle et Granger, cf Tableau 2.8 et Tableau 2.9), il est nécessaire de vérifier que les variables définissant la relation statique (ou relation de long terme) dans la modélisation sont cointégrées (première étape dans la procédure de Engle et Granger). Si ces variables sont cointégrées, cela signifie que la combinaison linéaire de celles-ci est stationnaire, c'est-à-dire $I(0)$. Il s'agit alors de tester l'existence d'une racine unitaire dans les résidus estimés $\hat{u}_t^i$ associés à chaque relation statique, soit

$$\text{Test ADF : } \Delta \hat{u}_t^i = \phi_i \hat{u}_{t-1}^i + \sum_{j=1}^p \theta_j \hat{u}_{t-j}^i + \epsilon_t^i. \quad (\text{B.22})$$

Si le t de *Student* calculé du coefficient $\hat{\phi}_i$ est supérieur à la valeur théorique, on accepte

$$H_0 : \phi_i = 0 \quad (\text{ou } \rho = 1 \text{ puisque } \phi_i = \rho - 1),$$

les variables de la relation statique correspondante ne sont pas cointégrées. En revanche, si le t de *Student* calculé du coefficient $\hat{\phi}_i$ est inférieur à la valeur théorique, on rejette H_0 , les variables sont cointégrées, on peut estimer la relation statique puis envisager une modélisation *ECM* (deuxième étape dans la procédure de Engle et Granger).

Le Tableau B.2 présente les résultats (t-stat ($\hat{\phi}_i$) calculé) de ce test ADF, sans constante ni trend utilisant un décalage de trois retards sur l'endogène.

Le test ADF montre qu'on peut rejeter l'hypothèse de non-stationnarité des résidus d'estimations associés à chacune des quatre équations (cf eq (B.18)-(B.21)) aux seuils de 5% ou de 10%. Pour chaque type de spécification envisagée (cf eq (B.18)-(B.21)), la combinaison linéaire des variables est donc $I(0)$, ce résultat confirmant l'existence d'une relation statique (long terme) entre les niveaux des variables.

Résidus	ADF ^a
Resid eq (B.18)	-2.089**
Resid eq (B.19)	-2.253**
Resid eq (B.20)	-2.224**
Resid eq (B.21)	-1.795*

^at-stat calculé inférieur au t-stat théorique implique
rejet de $H_0 : \rho = 1$, au seuil de ** 5%, * 10%.

TAB. B.2 – Résultats des tests de cointégration (test ADF)

Bibliographie

- [1] Aghion, Philippe, et Peter Howitt, Théorie de la Croissance Endogène, Dunod (Paris), 2000.
- [2] Allegrezza, Serge, Les Déterminants de l'Appropriation et des Modes d'Appropriation de l'Innovation Technologique : Le Cas des PMI au G.D Luxembourg, Thèse Doctorale, Université de Liège (2001).
- [3] Amable, Bruno, et Dominique Guellec, Les Théories de la Croissance Endogène, *Revue d'Economie Politique*, 102 (3) (mai-juin 1992), 313-377.
- [4] Arrow, Kenneth, The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies*, 29 (Juin 1962), 155-73.
- [5] Askenazy, Philippe, et Christian Gianella, Le Paradoxe de Solow Enfin Résolu ?, *Problèmes Economiques*, n0. 2.720 (4 Juillet 2001), 20-24.
- [6] Barro, Robert J., et Xavier Sala-i-Martin, La Croissance Economique, Collection Sciences Economiques Mc Graw-Hill, Ediscience (1996).
- [7] Baudchon, Hélène, et Olivier Brossard, Croissance et Technologies de l'Information en France et aux Etats-Unis, *Revue de l'OFCE*, 76 (Janvier 2001), 54-115.
- [8] Baudchon, Hélène, Une Troisième Revolution Industrielle aux Etats-Unis ?, *Problèmes Economiques*, n0. 2.642 (1er Décembre 1999), 11-14.
- [9] Borensztein, Eduardo, José De Gregorio et Jong-Wha Lee, How Does Foreign Direct Investment Affect Economic Growth, mimeo, (Avril 1995), 1-25.
- [10] Bourgain, Arnaud, et Patrice Pieretti, Analyse de la Productivité Totale des Facteurs dans l'Industrie Luxembourgeoise, *Cahiers d'Economie du Centre Universitaire de Luxembourg*, Fascicule XIV (1999), 9-27.
- [11] Bourgain, Arnaud, et Patrice Pieretti, Effets de Complémentarité Externe et Incidence sur la Productivité : Le Cas de l'Economie Manufacturière Luxembourgeoise, *Document de Travail CREA*, n⁰ 98-2 (Avril 1998, m.à.j. Juillet 2001), 1-15.
- [12] Bourgain, Arnaud, Olivier Cardi, et Patrice Pieretti, Compétitivité et Productivité Globale des Facteurs, *Document de Travail CREA*, n⁰ 01-2 (Août 2001).
- [13] Braconnier, Henrik, et Frederik Sjöholm, National and International Spillovers from R-D : Comparing a Neoclassical and an Endogenous Growth Approach, *Working Paper Series in Economics and Finance* n⁰ 211 (Décembre 1997), 1-26.
- [14] Bresson, Georges et Alain Pirotte, Econométrie des Séries Temporelles : Théorie et Applications, Presses Universitaires de France (Paris), 1995.

- [15] Cardi, Olivier, Productivité Totale des Facteurs : Déterminants et Pistes Possibles pour le Luxembourg, *Document de Travail 1 CREA*, 01-05 (juillet 2001).
- [16] Cette, Gilbert, Jacques Mairesse, et Yussuf Kocoglu, La Diffusion des Technologies de l'Information et de la Communication en France : Mesure et Contribution à la croissance, dans *Nouvelle Economie*, Rapport du Conseil d'Analyse Economique, La Documentation Française (1998), 87-114.
- [17] Coe, David T., et Elhanan Helpman, International R-D Spillovers, *European Economic Review*, 39 (1995), 859-887.
- [18] Coe, David T., Elhanan Helpman et Alexander W. Hoomaister, North-South R-D Spillovers, *Economic Journal*, 107 (Janvier 1997), 134-49.
- [19] Coe, David T., et Reza Moghadam, Capital and Trade as Engines of Growth in France, *IMF Staff Papers*, Vol. 40, n^o3 (Septembre 1993), 542-566.
- [20] Cohen, W., et D. Levinthal, Innovation and Learning : The Two Faces of R-D, *Economic Journal*, 99 (1989), 569-596.
- [21] CREA-STATEC, Compétitivité de l'Economie Luxembourgeoise, *Cahiers Economiques* n^o 90, Rapport 1999.
- [22] CREA-STATEC, Compétitivité de L'Economie Luxembourgeoise, *Cahiers Economiques* n^o 92, Rapport 2000.
- [23] Dixit, Avinash K., et Joseph E. Stiglitz, Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity, *American Economic Review*, 67 (3) (Juin 1977), 297-308.
- [24] Durand, Alex, Analyse de la Productivité Multi-Factorielle du Secteur Marchand Luxembourgeois, *Document de Travail 2 CREA*, 01-05 (juillet 2001).
- [25] Eaton, Jonathan, and Samuel Kortum, International Patenting and Technology Diffusion : Theory and Measurement, *International Economic Review*, 40 (1999), 537-570.
- [26] Engelbrecht, Hans-Jurgén, Absorptive Capacity, International R-D Spillovers and Productivity in OECD Economies, *Discussion Paper* (Massey University), 96-4 (Mai 1996), 1-27.
- [27] Engle, Robert F. et Granger, Clive W. J., Co-Integration and Error Correction : Representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*, Mars (1987), 251-276.
- [28] Erkel-Rousse, Hélène, Les Performances Extérieures de la France et de l'Allemagne : L'Effet de l'Investissement sur la Compétitivité, *Economie et Statistique*, n^o 253 (Avril 1992), 35-47.
- [29] Firth, Lucy, et David Mellor, Learning and the New Growth Theories : Policy Dilemma, *Research Policy*, 29 (2000), 1157-1163.
- [30] Gordon, Rober J., Does the "New Economy" Measure up to the Great Inventions of the Past ?, *Journal of Economic Perspectives*, 14 n^o 4 (fall 2000), 49-74.
- [31] Griffith, Rachel, Stephen Redding, et John Van Reenen, Mapping the Two Faces of R-D : Productivity Growth in a Panel of OECD Industries, *Working Paper IFS* (The Institute for Fiscal Studies), 02/00 (Janvier 2000), 1-71.
- [32] Griliches, Zvi, R-D and Productivity Slowdown, *American Economic Review*, Vol 70 (1980), 343-348.

- [33] Griliches, Zvi, Productivity Puzzles and R-D : Another Nonexplanation, *Journal of Economic Perspectives*, Volume 2, n^o 4 (Fall 1988), 9-21.
- [34] Guellec, Dominique, et Bruno van Pottelsberghe de la Potterie, R-D and Productivity Growth : Panel Data Analysis of 16 OECD countries, *STI (Science, Technology and Industry) Working Papers*, OECD, 3 (Juin 2001), 1-25.
- [35] Gunnarsson, Gudmundur, Erik Mellander, et Eleni Savvidou, Is Human Capital the Key to the IT Productivity Paradox ?, The Research Institute of Industrial Economics, *Working Paper n^o 551* (2001), 1-48.
- [36] Harberger, Arnold C., A Vision of the Growth Process, *American Economic Review*, (march 1998), 1-32.
- [37] Harrigan, James, Estimation Cross-Country Differences in Industry Production Functions, *Journal of International Economics*, 47 (1999), 267-293.
- [38] Hulten, Charles, Total Factor Productivity : A Short Biography, *NBER Working Paper*, 7471 (2000).
- [39] Jones, Charles, Growth : With or Without Scale Effects, *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 89 n^o 2 (mai 1999), 139-144.
- [40] Jorgenson, Dale W., et Zvi Griliches, The Explanation of Productivity Change, *Review of Economic Studies*, vol. 34, n^o 9 (juillet 1967), 249-280.
- [41] Jorgenson, Dale W., et Kevin J. Stiroh, Raising the Speed Limit : US Economic Growth in the Information Age, *Brooking Papers on Economic Activity*, 1 (2000), 125-211.
- [42] Karras, Georgios, Long-Run Economic Growth in Europe : Is it Endogenous or Neoclassical, *International Economic Journal*, Volume 15, n^o 2 (Summer 2001), 63-76.
- [43] Keller, Wolfgang, International Technology Diffusion, *NBER Working Paper Series*, n^o 8573 (Octobre 2001), 1-59.
- [44] Keller, Wolfgang, Geographic Localization of International Technology Diffusion, *American Economic Review*, Vol. 92 n^o 1 (mars 2002), 120-142.
- [45] Link, Albert N., Technological Change and Productivity Growth, édité par F. M. Scherer, second édition (1992), Harwood Academic Publishers, Fundamentals of Pure and Applied Economics : vol 13.
- [46] Lucas, Robert M., On the Mechanics of Economic Development, *Journal of Monetary Economics*, 22 (Juillet 1988), 3-42.
- [47] Mankiw, Gregory N., The Growth of Nations, *Brooking Papers on Economic Activity*, 1 (1995), 275-325.
- [48] Mankiw, Gregory N., David Romer, et David N. Weil, A Contribution to the Empirics of Economic Growth, *The Quarterly Journal of Economics*, (Mai 1992), 407-437.
- [49] Matsuyama, Kiminori, Complementarities and Cumulative Processes in Models of Monopolistic Competition, *Journal of Economic Literature*, Vol 33, (Juin 1995), 701-729.
- [50] Maudos, Joaquim, Jose Manuel Pastor, et Lorento Serrano, Total Factor Productivity Measurement an Human Capital in OECD countries, *Economic Letters*, 63 (1999), 39-44.
- [51] Miller, Stephen M., et Mukti P. Upadhyay, The Effects of Openness, Trade Orientation, and Human Capital on Total Factor Productivity, *Journal of Development Economics*, 63 (2000), 399-423.

- [52] Nadiri, Ishaq M., Innovations and Technological Spillovers, *NBER Working Papers* 4423 (1993), 1-45.
- [53] OCDE, The Measurement of Scientific and Technological Activities : Standard Practice for Surveys of Research And Experimental Developemnt, Manuel de Frascati, OCDE (Paris).
- [54] OCDE, A New Economy ? : The Changing Role of Innovation and Information Technology in Growth, Contribution for the June 2000 Meeting of the OECD Council at Ministerial Level, (25 mai 2000).
- [55] OCDE, Etudes Economiques de l'OCDE : Luxembourg, Février 2001.
- [56] Oliner, S., et D. Sichel, The Resurgence of Growth in the Late 1990's : Are Computers the Story ?, *Journal of Economic Perspectives*, 14 n^o4 (fall 2000), 3-22.
- [57] Piazzolo, Marc, Determinants of South Korean Economic Growth, 1955-1990, *International Economic Journal*, Vol 9, n^o 4 (Winter 1995), 109-133.
- [58] Romer, David, Macroéconomie Approfondie, Collection Sciences Economiques Mc Graw Hill, Ediscience (1997).
- [59] Romer, Paul, Increasing Returns and Long-Run Growth, *Journal of Political Economy*, 98 (Octobre 1986), 1002-37.
- [60] Romer, Paul, Endogenous Technical Change, *Journal of Political Economy*, 98 (Octobre 1990), s71-s102.
- [61] Romer, Paul, New Goods, Old Theory, and the Welfare Costs of Trade Restrictions, *Journal of Development Economics*, 43 (février 1994), 5-38.
- [62] Scarpetta, Stefano, Andrea Bassanini, Dirk Pilat, et Paul Schreyer, Economic Growth in the OECD Area : Recent Trends at the Aggregate and Sectoral Level, *Economic Department Working Papers-OCDE*, n^o 248 (Juin 2000), 1-128.
- [63] Schubert, Kateline, Macroéconomie : Comportements et Croissance, Vuibert (Paris) (2000).
- [64] Scott, M. FG., Policy Implications of "a New View of Economic Growth", *The Economic Journal*, 102 (Mai 1992), 622-632.
- [65] Senhadji, Abdelhak, Sources of Economic Growth : An Extensive Growth Accounting Exercise, *IMF Staff Papers*, Vol. 47, n^o1 (2000), 129-157.
- [66] Service Central de la Statistique et des Etudes Economique, Mutations Structurelles et Politique de Diversification Economique, *Bulletin du STATEC*, n^o7 (1987), 155-191.
- [67] SNCI, Rapport et Bilan, 2000.
- [68] Solow, Robert M., A Contribution to the Theory of Economic Growth, *Quarterly Journal of Economics*, 50 (Février 1956), 65-94.
- [69] Solow, Robert M., Technical Change and the Agregate Production Function, *Review of Economics and Statistics*, 39 (1957), 312-320.
- [70] Sonobe, Tetsushi, et Keijiro Otsuka, A New Decomposition Approach to Growth Accounting : Derivation of the Formula and its Application to Prewar Japan, *Japan and the World Economy*, 13 (2001), 1-14.
- [71] Stiroh, Kevin, Investment and Productivity Growth : A Survey from the Neoclassical and New Growth Perspectives, *Industry Canada Research Publications Program*, Occasional Paper, Number 24 (Juin 2000), 1-62.

- [72] Swan, Trevor W., Economic Growth and Capital Accumulation, *Economic Record*, 32 (Novembre 1956), 334-361.
- [73] Teste, Thierry, Technologies de l'Information et de la Communication : Approches Econométriques sur le Paradoxe de la Productivité, miméo (Commissariat Général au Plan), (mai 1998), 1-12.
- [74] Turnovsky, Stephen J., Growth in an Open Economy : Some Recent Developments, *Working Papers-Research Series National Bank of Belgium*, n^o 5 (Mai 2000), 1-68.
- [75] Van Overbeke, Mary, Les Politiques de Recherche et d'Innovation Aujourd'hui : Fondements Economiques et Illustration à Partir d'un Cas Belge, *Working Paper Bureau Fédéral du Plan* (Analyses et Prévisions Economiques), 5-01 (Juillet 2001), 1-51.
- [76] Weides, Robert, Nico Weydert (STATEC), et George Schmit (Ministère de l'Economie), Mutations Structurelles et Politique de Diversification Economique, Rapport, Vol XXXIII, n^o 7 (1987), 155-192.

