



N° 11F0027MIF au catalogue — N° 010

ISSN: 1703-0412

ISBN: 0-662-88152-4

Document de recherche

Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis

par Kaïs Dachraoui et Tarek M. Harchaoui

Division de l'analyse micro-économique
Immeuble R.H. Coats, 18^{ième} étage, Ottawa, K1A 0T6

Téléphone: 1 800 263-1136



Toutes les opinions émises par les auteurs de ce document ne reflètent pas nécessairement celles de Statistique Canada.



Statistique
Canada

Statistics
Canada

Canada

Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis

par

Kais Dachraoui
et
Tarek M. Harchaoui

11F0027 N° 010
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-88152-4

Division de l'analyse micro-économique
18^{ième} étage, Immeuble R.H. Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada

Comment obtenir d'autres renseignements:
Service national de renseignements: 1 800 263-1136
Renseignements par courriel : linfostats@statcan.ca

Mars 2003

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Ce document reflète les opinions des auteurs uniquement et non celles de Statistique Canada.

Nous remercions John Baldwin, France Filion et deux arbitres anonymes pour leurs précieux commentaires et Faouzi Tarkhani pour son aide fort utile aux fins de l'élaboration des données. Une version antérieure de cet article a été présentée au congrès de 2002 de l'Association canadienne d'économie tenue à Calgary.

Also available in English

PUBLICATIONS ÉLECTRONIQUES DISPONIBLES À
www.statcan.ca



Table des matières

RÉSUMÉ.....	IV
SOMMAIRE.....	V
I. INTRODUCTION.....	1
II. MESURE DE LA PRODUCTIVITÉ : UNE APPROCHE FRONTIÈRE.....	2
III. SOURCES DES DONNÉES ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES	6
IV. MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE DES RÉSULTATS	10
1. APPLICATION DE LA MÉTHODE FRONTIÈRE AUX DONNÉES SUR LE CANADA ET LES ÉTATS-UNIS	10
2. ANALYSE DES RÉSULTATS.....	12
2.1 <i>Secteur des entreprises</i>	12
2.2 <i>Secteur de la fabrication</i>	13
2.3 <i>Robustesse des résultats et prolongement de l'analyse</i>	16
V. COMPARAISON ENTRE LA MESURE FRONTIÈRE ET LA MESURE DE COMPTABILITÉ STANDARD.....	21
VI. CONCLUSION.....	22
ANNEXE : L'INDICE DE MALMQUIST.....	25
BIBLIOGRAPHIE	28

Résumé

Même si une bonne partie du récent débat sur la productivité au Canada a traité de l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis, on a peu cherché à en déterminer et à en quantifier les sources. Dans le présent document, nous visons à combler ces deux lacunes en adoptant une approche frontière de la mesure de la productivité. Au moyen d'une méthode non-paramétrique et à partir des données sur les deux pays, nous construisons une frontière nord-américaine pour les secteurs des entreprises et de la fabrication. Nous comparons ensuite chaque secteur ou branche d'activité à cette frontière. Dans quelle mesure chaque secteur ou industrie de n'importe quel pays se rapproche de la frontière nord-américaine est reconnue comme étant de l'efficacité technique. Elle résulte du rattrapage de la technologie de production de la meilleure pratique. On appelle « progrès technologique » la mesure avec laquelle la frontière nord-américaine se déplace pour une combinaison d'intrants observés pour chaque secteur ou branche d'activité. Celui-ci résulte du type d'innovation qui permet au pays de disposer de la meilleure pratique technologique. La productivité qui découle de ces deux changements permet d'établir une version frontière de la croissance de la productivité multifactorielle dérivée à partir de l'indice de Malmquist de la croissance de la productivité multifactorielle.

Nous en sommes arrivés à la conclusion que le « problème » de productivité qu'a connu le Canada durant la période allant de 1988 à 2000, que ce soit au niveau du secteur des entreprises ou au niveau du secteur de la fabrication, est attribuable presque entièrement à la diminution de son efficacité technique, une indication que les entreprises utilisent une technologie de production qui les positionne derrière les meneurs. Les résultats laissent aussi supposer que la hausse récente de la productivité au Canada au cours des années 1995 à 2000 est attribuable à la reprise remarquable de cette efficacité. Nous constatons en outre, qu'au cours de la période 1981 à 1997, la dispersion de la distribution de l'efficacité technique entre les industries nord-américaines de la fabrication a augmenté de façon très marquée.

Mots clés : productivité, efficacité, progrès technologique , indice de Malmquist.

Sommaire

Cette étude explore une mesure alternative et expérimentale de la croissance de la productivité multifactorielle basée sur la frontière de production. Il s'agit d'une méthode d'évaluation comparative des unités observées (entreprises ou branches d'activités) par rapport à une frontière estimée de production représentant les meilleures pratiques. Cette frontière précise la quantité maximale de produits, ou extrants, que l'on peut obtenir à partir de diverses combinaisons d'intrants. L'évaluation comparative de chaque unité par rapport à la frontière efficiente donne une mesure de l'efficacité de l'unité relativement à la meilleure pratique. Cette mesure, basée sur une notion de distance par rapport à la frontière de production estimée, varie de zéro (absence de production) à un (production maximale permise par la technologie sur la frontière).

Cette étude utilise l'indice de Malmquist pour calculer une mesure du changement de productivité qui prend en compte, à la fois, les mouvements de la frontière de production et dans quelle mesure les entreprises se rapprochent de cette frontière. La mesure avec laquelle un secteur ou une branche d'activité d'un pays se rapproche de la frontière de production nord-américaine est appelée efficacité technique et les améliorations de l'efficacité ont lieu quand les firmes font du rattrapage par rapport à la technologie de la meilleure pratique. Les changements de la frontière résultent des innovations qui mènent à l'adoption au Canada de la technologie de la meilleure pratique. Le déplacement de la frontière de production nord-américaine à une combinaison donnée d'intrants de chaque secteur ou industrie est appelé « progrès technologique »; il résulte de l'introduction d'innovations qui permettent d'utiliser la technologie de la meilleure pratique. Les changements qui font que les entreprises se rapprochent de la frontière de production de la meilleure pratique ont lieu quand les technologies avancées sont diffusées par les meneurs vers les suiveurs au sein d'une industrie ou d'une industrie à l'autre.

La productivité qui résulte de ces deux composantes donne une version basée sur la frontière de production de la croissance de la productivité multifactorielle, c'est-à-dire l'indice de Malmquist de la croissance de la productivité multifactorielle. Contrairement aux indices habituellement utilisés en analyse de la productivité, l'indice de Malmquist a la propriété de permettre de faire la distinction entre le changement d'efficacité et le progrès technologique. Cette distinction est importante, car la composante dite d'innovation reflète uniquement la possibilité d'un progrès technologique pour une branche d'activité donnée. Tout déplacement avantageux de la frontière peut laisser les non-innovateurs à la traîne; autrement dit, leur efficacité peut diminuer quand le progrès technique augmente. Si la diffusion des améliorations technologiques des chefs de file vers les suiveurs de la branche d'activité est lente, l'inefficacité augmente.

En se basant sur des données canadiennes et américaines sur le secteur des entreprises et sur le secteur de la fabrication qui en fait partie, la présente étude aboutit aux conclusions suivantes.

- 1) Au niveau agrégé du secteur des entreprises, de 1981 à 2000, ce sont les États-Unis qui ont établi la frontière d'efficacité technique de l'économie nord-américaine. Le secteur canadien des entreprises n'était pas loin derrière cette durant les périodes 1981 à 1987. La période 1987 à 1992 montre une chute de l'efficacité du secteur canadien. En 1992, le niveau d'efficacité a atteint 90 % de celui du secteur des entreprises américain. À partir de 1993, le secteur canadien des entreprises a vu augmenter son efficacité technique et, à la fin des années 90, il avait pour ainsi dire regagné le terrain perdu à la fin des années 80 et au début des années 90. L'analyse ne permet pas de préciser si le regain d'efficacité des entreprises canadiennes est attribuable à des forces cycliques ou à l'évolution des tendances sous-jacentes, mais elle indique que la poussée récente de la productivité est attribuable à une augmentation de l'efficacité technique du Canada.
- 2) Durant toute la période étudiée, la croissance de la productivité dans le secteur des entreprises au Canada accusait un retard par rapport aux États-Unis largement en raison de la détérioration de l'efficacité technique au Canada. Le problème majeur semble donc être la lenteur de la diffusion des technologies de la meilleure pratique au Canada.
- 3) Le secteur de la fabrication constitue un cas de figure semblable. En effet, comme pour le secteur des entreprises, l'écart de productivité en faveur des États-Unis observé de 1981 à 1997 est attribuable à une perte d'efficacité plus rapide au Canada qu'aux États-Unis. Le rythme de croissance du progrès technologique a été à peu près le même pour les deux pays (7,5 % pour le Canada et 7,6 % pour les États-Unis).
- 4) La distribution de l'efficacité technique du secteur nord-américain de la fabrication a subi un déplacement important. En 1982, le niveau d'efficacité de toutes les 38 branches manufacturières était supérieur à 0,70, (le niveau 1 indique que l'industrie est techniquement efficace) alors qu'en 1988, cela n'était le cas que pour 17 branches d'activité et en 1997, que pour six d'entre elles. Des 17 branches d'activités les plus efficaces en 1988, six seulement étaient canadiennes et des 7 branches d'activité les plus efficaces en 1997, trois seulement l'étaient. Deux phénomènes se dégagent. Premièrement, l'asymétrie de la courbe de distribution de l'efficacité technique a changé au fil des ans. Deuxièmement, une forte proportion de branches d'activités canadiennes est devenue plus efficace vers le milieu des années 90. Par exemple, en 1997, parmi les branches d'activités nord-américaines dont l'efficacité technique était la plus faible, une sur deux était canadienne. Ceci constitue une baisse importante par rapport à 1988, année où deux industries canadiennes sur trois affichaient la plus faible efficacité technique.

I. Introduction

L'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis continue de retenir l'attention des économistes et des responsables de politiques publiques. Cette question suscite encore plus d'intérêt en raison de l'Accord de libre-échange entre le Canada et les États-Unis et de ses répercussions sur le volume des échanges, le niveau de vie et le développement industriel.

Même si l'écart de croissance de la productivité entre le Canada et les États-Unis a diminué de façon générale durant les années 60 et 70, des données recueillies récemment montrent que cette convergence a pris fin, ce qui a déclenché le soi-disant « débat sur la productivité au Canada ». Bien que le débat ait porté surtout sur l'écart de productivité qui existe entre le Canada et les États-Unis, curieusement, on n'a pas essayé d'en cerner les raisons éventuelles ni de les quantifier. Le présent document exploite l'approche frontière de la mesure de la productivité pour quantifier dans quelle mesure cet écart découle des déplacements de la frontière de production (progrès technologique) ou encore du fait que des entreprises s'approchent de la frontière (efficacité technique). Le progrès technologique résulte des déplacements de la frontière de production suite aux innovations qui mènent à l'adoption de la technologie de la meilleure pratique au Canada. Les améliorations d'efficacité ont lieu quand les entreprises s'approchent davantage de la frontière de production de la meilleure pratique. Ceci résulte de la diffusion des technologies avancées des meneurs vers les suiveurs dans une industrie ou d'une industrie à l'autre¹.

Dans la poursuite de notre objectif, nous décomposons à l'aide de l'indice de Malmquist, la croissance de la productivité multifactorielle en deux composantes, soit les changements sur le plan de l'efficacité, et du déplacement de la technologie au fil du temps. Nous appliquons une méthode mise au point par Färe et coll. (1989) pour construire une frontière nord-américaine à partir de données sur les secteurs des entreprises au Canada et aux États-Unis, les secteurs de la fabrication et les branches d'activité qui le composent. Nous comparons chaque branche d'activité ou secteur national à la frontière nord-américaine correspondante. On appelle « rattrapage » la mesure avec laquelle un secteur ou une branche d'activité donnée s'est rapprochée de la frontière nord-américaine et « progrès technologique » ou « innovation » la mesure avec laquelle la frontière sectorielle ou la branche d'activité se déplace pour chaque combinaison observée des intrants. Ensemble, ces deux changements permettent d'établir une version frontière du changement de la productivité multifactorielle.

¹ Le groupe de la productivité de la Division de l'analyse microéconomique produit un ensemble d'estimations non-paramétriques de la productivité multifactorielle qui concorde avec la meilleure pratique internationale exposée dans le Manuel de la productivité de l'OCDE (OCDE 2001). Toutefois, afin de se tenir au courant des faits nouveaux et de s'assurer le contrôle de la qualité des bases de données utilisées pour produire ces estimations, le groupe de la productivité met à l'essai d'autres méthodes de mesure de la productivité. Ainsi, les estimations dans le présent document sont le résultat d'un examen d'un nouveau domaine dans le cadre duquel on a séparé les gains de productivité des déplacements de la frontière de production et du rapprochement des entreprises qui ne sont pas sur la frontière. Les estimations présentées dans le présent document sont de nature expérimentale et diffèrent des estimations officielles qui se trouvent dans la base de données CANSIM de Statistique Canada.

Nous en arrivons à la conclusion que le « problème de productivité » qu'a connu le Canada durant la deuxième moitié des années 1980 est largement attribuable à une diminution de l'efficacité — le Canada s'éloigne de la frontière nord-américaine. Par exemple, durant la période de 1981 à 1997 près du trois cinquième de l'écart de productivité en faveur des États-Unis était dû à un déclin de l'efficacité technique au rythme moyen de 0,3 % par an.

Au Canada, le problème d'efficacité semble être généralisé à la plupart des grands secteurs. L'écart de productivité de 0,7 point dans le secteur de la fabrication est presque entièrement attribuable à la diminution plus rapide de l'efficacité au Canada qu'aux États-Unis.

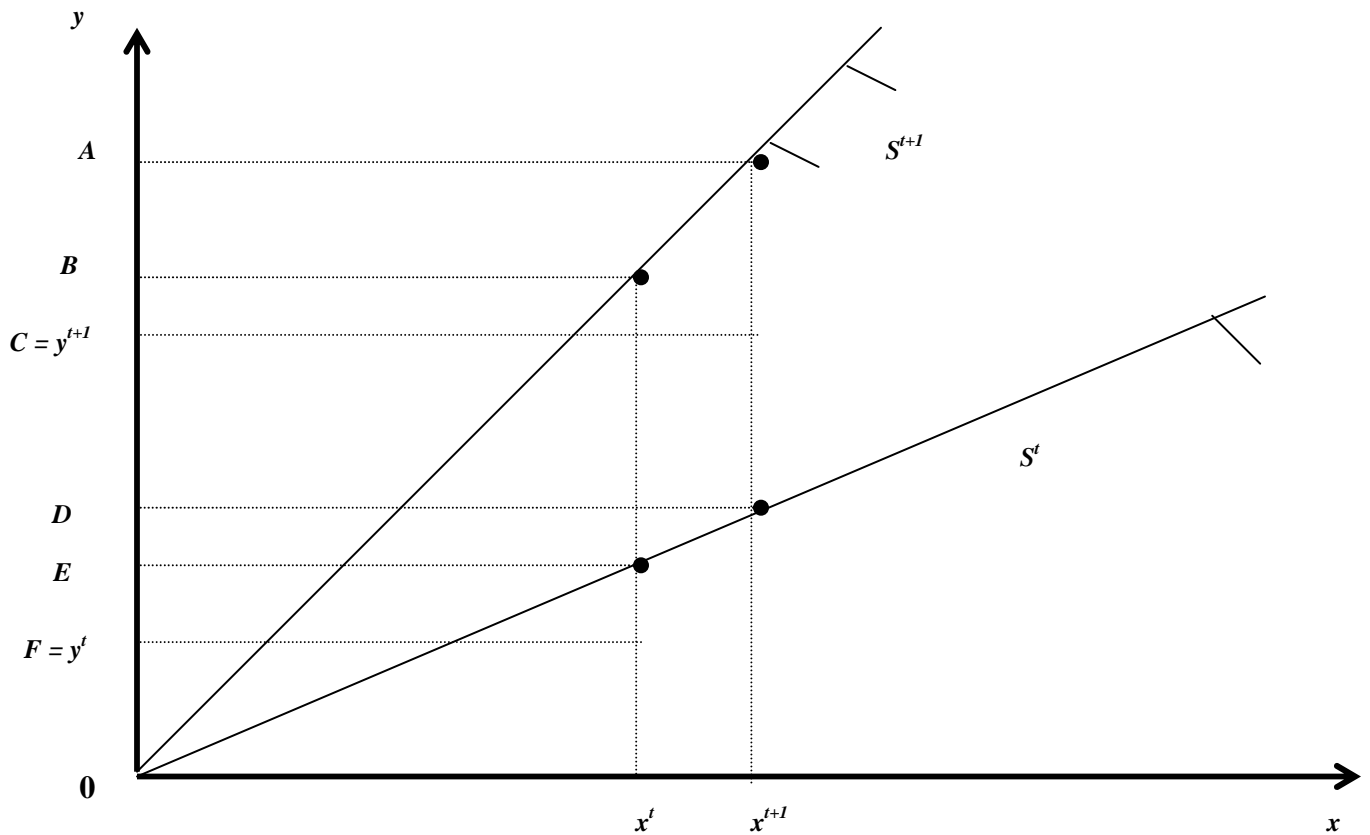
La suite de l'article est présentée comme suit. La section II comprend une brève introduction qui expose les grandes lignes de l'indice de productivité de Malmquist. Dans la section III, nous examinons les sources de données ainsi que leur analyse descriptive. La section IV traite de l'application de cette méthode aux données ainsi que les résultats obtenus et leurs implications. Une comparaison des résultats de l'analyse de la frontière à ceux obtenus par la procédure standard d'estimation de la productivité est présentée à la section V. À la section VI, nous présentons nos conclusions. L'annexe contient d'autres détails techniques sur l'approche frontière adoptée aux fins du présent article.

II. Mesure de la productivité : une approche frontière

Dans cette section, on donne une présentation intuitive de l'indice de Malmquist. Une description plus détaillée est donnée dans l'annexe. Elle décrit la mesure de distance qui sert à construire l'indice de Malmquist et une explication de la façon dont les mesures de la productivité sont calculées.

La figure 1 illustre le cas simple où un intrant x est utilisé pour produire un produit y et la technologie est caractérisée par des rendements d'échelle constants. Les technologies à rendements d'échelle constants pour la période t , S^t , et la période $t+1$, S^{t+1} sont délimitées par l'axe des abscisses et les rayons partant de l'origine. Les observations (x^t, y^t) portent sur la technologie en vigueur à la période t et pareillement en ce qui a trait à la période $t+1$.

Figure 1. Indice de productivité multifactorielle de Malmquist



À noter que l'efficacité technique aux périodes t et $t + 1$ sont données respectivement par $\frac{OF}{OE}$ et $\frac{OC}{OA}$.

Le taux de croissance de la productivité P_0 s'écrit comme :

$$P_0 = \frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OE}} \cdot \frac{OE}{OX_t} \quad (1)$$

P_0 peut être réécrit comme :

$$P_0 = \left(\frac{OC}{OA} \right) \left(\frac{OA}{OX_{t+1}} \right) \left(\frac{OE}{OX_t} \right) \quad (2)$$

Le premier terme dans l'équation (2) est le ratio de l'efficacité à la période $t+1$ par rapport à l'efficacité à la période t . Le second terme est le ratio de la productivité de la frontière en $t+1$ par rapport à la productivité de la frontière en t . La croissance de la productivité telle que mesurée par P_0 peut résulter donc d'une amélioration de l'efficacité ou d'un mouvement favorable de la frontière de production.

La productivité P_0 peut aussi être réécrite, du fait que $\frac{OD}{OX_{t+1}} = \frac{OE}{OX_t}$, comme :

$$P_0 = \left(\frac{OC}{OD} \right) \left(\frac{OD}{OX_{t+1}} \right) \left(\frac{OX_{t+1}}{OE} \right) \left(\frac{OE}{OX_t} \right) = \left(\frac{OC}{OF} \right) \left(\frac{OD}{OE} \right). \quad (3)$$

De la même manière et puisque $\frac{OA}{OX_{t+1}} = \frac{OB}{OX_t}$, on peut réécrire P_0 comme

$$P_0 = \left(\frac{OC}{OA} \right) \left(\frac{OA}{OX_{t+1}} \right) \left(\frac{OX_{t+1}}{OB} \right) \left(\frac{OB}{OX_t} \right) = \left(\frac{OC}{OF} \right) \left(\frac{OA}{OB} \right). \quad (4)$$

L'indice de Malmquist dans notre exemple est la moyenne géométrique des expressions dans (3) et (4), soit

$$M_o = \left(\frac{OC}{OD} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{OC}{OA} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{OD}{OE} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{OA}{OB} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

L'équation (5) est la moyenne géométrique de deux termes, chacun de ces termes est le taux de changement de l'efficacité technique. Par exemple, le premier terme dans (5) mesure l'efficacité avec les intrants de la période $t+1$ et la frontière de production en t relativement à l'efficacité calculée avec les intrants de la période t et la même frontière de production. Ce premier ratio mesure donc le changement dans l'efficacité suite à un changement dans les quantités des intrants. En d'autres termes, c'est une mesure du rattrapage par rapport à la meilleure pratique. Le second terme dans (5) est une mesure similaire qui fait appel à la technologie en $t+1$. L'indice de Malmquist est donc la moyenne géométrique des changements dans la mesure d'efficacité avec les technologies des deux périodes.

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

$$M_o = \left(\frac{OC}{OA} \right) \left(\frac{OD}{OE} \right) \left(\frac{OA}{OB} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Le premier membre de l'équation (2) correspond au ratio des indices d'efficacité technique aux périodes t et $t+1$ et mesure donc la variation de l'efficacité dans le temps, c'est-à-dire si la production se rapproche ou s'éloigne de la frontière (effet de rattrapage). Le second membre est la moyenne géométrique de deux ratios : $\frac{OA}{OD}$, qui reflète ce que la technologie à la période $t+1$ permettrait de produire comparativement à la technologie à la période t étant donné l'intrant à la période $t+1$, $\frac{OB}{OE}$ est la même mesure mais avec l'intrant de la période t . Ainsi, la mesure du progrès technique est une moyenne géométrique de deux changements sur le plan de la technologie aux niveaux x_t et x_{t+1} des intrants. L'indice de Malmquist est donc une mesure jointe du mouvement de la frontière de production et du changement d'efficacité.

L'indice de Malmquist et ses composantes sont calculés en supposant une technologie à rendements d'échelle constants. On s'attend à ce que la composante efficacité technique saisisse les effets d'une diffusion de la technologie. Les variations de productivité attribuables à la variation de l'utilisation de la capacité et aux différences dans la structure de chaque branche d'activité se refléteront aussi dans les changements qui se produiront dans la composante l'efficacité.

Les améliorations de la productivité se traduisent par des valeurs de l'indice de Malmquist supérieures à cent. La détérioration de la performance au fil du temps se reflète par une valeur de l'indice de Malmquist inférieure à cent. La même interprétation s'applique aux valeurs des composantes de l'indice de productivité multifactorielle globale. Les améliorations sur le plan de la composante efficacité donnent des valeurs de l'indice supérieures à cent et sont considérées comme des signes de rattrapage de la frontière. Les valeurs des composantes peuvent se déplacer dans des sens opposés. Ainsi, dans une situation d'inefficacité, la croissance de la productivité multifactorielle est définie comme étant l'effet net des variations d'efficacité et des déplacements de la frontière de production; il s'agit dans ce dernier cas d'un progrès technologique².

Il est à noter que lorsque les mesures de distance sont utilisées avec des données d'industries plutôt que d'entreprises, on suppose implicitement que les proportions d'intrants qui établissent la frontière sont technologiquement possibles pour n'importe quelle industrie. Autrement dit, la technologie ne contraint pas une industrie à utiliser les mêmes proportions d'intrants qu'une autre industrie pour atteindre un même niveau de production réelle. Notre mesure de changement d'efficacité dans le temps reflète donc la mesure avec laquelle les ressources sont réallouées vers les industries où les intrants sont les plus productifs.

² Les méthodes standards de comptabilisation de la croissance et d'application d'indices non-paramétriques ne tiennent pas compte de l'inefficacité.

III. Sources des données et statistiques descriptives

Le modèle exposé dans la section précédente est estimé à l'aide de données canadiennes et américaines du secteur des entreprises durant la période 1981 à 2000 et du secteur de la fabrication et les 19 branches d'activité qui le composent (niveau à deux chiffres de la classification des industries) durant la période 1981 à 1997.

À une exception près, les données sur la production réelle, l'intrant capital et l'intrant travail pour le secteur des entreprises, le secteur de la fabrication et les branches d'activité manufacturière qui le composent sont toutes puisées des bases de données KLEMS de Statistique Canada et du *U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS)*. Les estimations de la production réelle du secteur de la fabrication proviennent du *U.S. Bureau of Economic Analysis* qui produit des estimations de la valeur ajoutée réelle comparables à celles produites au Canada. Il convient de donner une brève description de l'ensemble de données³.

Production réelle : La mesure de la production du secteur des entreprises utilisée dans cette étude est fondée sur le produit intérieur brut réel. Cette mesure de la production se base et concorde avec les Comptes des revenus et des dépenses (CRD) et les *National Income and Product Accounts (NIPA)* préparés, respectivement, par Statistique Canada et l'*U.S. Bureau of Economic Analysis*.

La production réelle du secteur des entreprises est un indice annuel pondéré (indice de Fisher). Il est construit à partir du produit intérieur brut (PIB) en excluant les composantes suivantes : administrations publiques générales, organismes sans but lucratif et valeur de location des logements occupés par leur propriétaire. On fait les mêmes exclusions lorsqu'on calcule la production et les intrants en dollars courants (prix courants et prix constants) pour le secteur.

Pour le secteur de la fabrication et les industries qui le constituent, cette étude utilise la valeur ajoutée réelle comme mesure de la production (*gross output originating* pour les États-Unis). La valeur ajoutée est définie comme la production brute nette des transactions intersectorielles ou des intrants intermédiaires (biens et services acquis d'autres industries nationales ou étrangères)⁴. Donc, la valeur ajoutée représente la valeur qui est ajoutée par application du capital et du travail aux intrants intermédiaires pour transformer ces intrants en produits finis⁵.

Intrant travail : Le Canada et les États-Unis utilisent le même concept d'intrant travail dans leurs estimations de la productivité multifactorielle au niveau du secteur des entreprises. Au Canada les données provenant d'enquêtes auprès des ménages sont utilisées pour ventiler le nombre d'heures travaillées selon la catégorie de travailleurs définie à l'aide de variables démographiques comme l'âge et le niveau de scolarité. L'intrant travail est alors la somme

³ La production et les intrants ont été agrégés à partir du détail industriel et par type de bien et actif, puis l'indice de Malmquist a été appliqué au niveau de la production et des deux intrants combinés.

⁴ L'output brut est égal aux ventes, plus les changements des inventaires.

⁵ La production agrégée pour les États-Unis basée sur la notion de *gross output originating* (qui est analogue à la valeur ajoutée) tend à surestimer la croissance du PIB du secteur des entreprises comparativement au PIB de la demande finale.

pondérée du nombre d'heures travaillées par les diverses catégories de travailleurs, en choisissant comme coefficient de pondération le taux relatif de rémunération. Cette pondération permet de tenir compte de la différence dans la composition de la main-d'œuvre.

Au niveau du secteur des entreprises, le BLS classifie les heures travaillées en trois catégories — niveau d'éducation, expérience de travail et sexe. Les procédures économétriques sont utilisées pour supprimer les effets d'autres caractéristiques, telle que le statut marital, sur le salaire moyen dans chacun des trois groupes. Les salaires prédits par ces régressions sont ensuite utilisés par le BLS pour la pondération des heures travaillées. Au Canada, on répartit les heures travaillées selon le niveau d'éducation, l'âge et le type de travail. Le salaire moyen dans chaque groupe est alors utilisé pour fin de pondération sans correction pour les autres caractéristiques individuelles⁶.

Contrairement au secteur des entreprises, l'intrant travail dans le secteur de la fabrication aux États-Unis est mesuré comme étant la somme des heures travaillées par toutes les personnes. Par conséquent, pour assurer la comparabilité d'un pays à l'autre aux fins de la présente étude, les estimations de l'intrant travail au Canada, à la fois, pour le secteur des entreprises et celui de la fabrication, ont été ramenées au plus petit dénominateur commun, qui est simplement la somme des heures travaillées. Ainsi, dans cette étude, les heures travaillées pour le Canada et les États-Unis sont agrégées directement selon les différentes catégories de travailleurs. Les taux de croissance qui en résultent ne tiennent pas compte des effets de changements dans la composition de la main-d'œuvre.

Intrant capital : L'intrant capital dans les mesures de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis est calculé en fonction du flux des services du capital physique, c'est-à-dire les machines et le matériel, les structures, les inventaires et les terrains. On détermine l'intrant pour les principaux secteurs de la façon suivante : 1) on élabore une gamme détaillée des stocks de capital pour diverses catégories d'actifs dans diverses branches d'activité; 2) on agrège les stocks de capital des diverses catégories de biens d'équipement pour chaque branche d'activité afin de mesurer l'intrant du capital pour la branche; 3) on agrège l'intrant capital dans les différentes branches d'activité pour mesurer l'intrant capital au niveau sectoriel.

Au Canada, les actifs sont détaillés selon 16 types de machines et de matériel (28 aux États-Unis), 6 types de structures non-résidentielles (22 aux États-Unis), 4 types de structures résidentielles⁷ (9 aux États-Unis), 3 types d'inventaires (selon l'étape de transformation), et les terrains.

Pour chaque branche d'activité, les procédures de Statistique Canada sont appliquées à 122 branches (57 dans le cas des États-Unis) dans le secteur des entreprises, correspondant approximativement au niveau à 3 chiffres de la classification type des industries de 1980 (CTI) (au niveau à 2 chiffres dans le cas de la CTI de 1987 des États-Unis). Ces mesures des stocks de capital sont agrégées au moyen d'un indice en chaîne Fisher (Törnqvist dans le cas des

⁶ Ne pas tenir compte les caractéristiques du travailleur a peu d'impact sur les estimations (voir Baldwin et Harchaoui, 2003, ch. 3)

⁷ Les logements occupés par le propriétaire sont exclus pour les deux pays.

États-Unis). Le facteur de pondération pour chaque catégorie d'actifs est fondé sur la moyenne établie sur deux ans de la mesure de la part de la rémunération de capital revenant à cette catégorie d'actif dans chaque branche d'activité. L'allocation de la rémunération du capital de chaque industrie aux différents types d'actifs s'opère au moyen des estimations des « prix de location implicites ». Comme certaines catégories d'actifs ont tendance à se détériorer beaucoup plus rapidement que d'autres et étant donné que les règles fiscales sont spécifiques aux catégories d'actifs, le véritable coût économique de l'utilisation d'un dollar de stock varie considérablement selon la catégorie d'actifs.

Tableau 1a. Taux annuels moyens de croissance de la production et des intrants, 1981 à 1997, secteur des entreprises (1981=100)

	PIB réel		Services du capital		Heures	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
1981	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1982	95,1	97,2	102,5	104,1	94,9	97,3
1983	98,0	102,5	104,9	107,4	94,9	99,1
1984	105,5	111,6	107,3	112,6	97,9	105,0
1985	110,9	116,4	111,2	117,9	102,1	107,2
1986	113,7	120,7	115,3	123,0	105,5	107,8
1987	119,5	125,1	120,9	127,1	109,8	111,1
1988	125,5	130,5	127,3	130,9	114,6	114,5
1989	128,3	135,1	133,9	134,9	117,3	117,3
1990	126,6	137,0	138,4	138,5	116,6	117,4
1991	120,9	135,4	141,7	141,7	111,7	114,6
1992	121,4	140,5	143,6	144,6	109,6	114,6
1993	125,2	145,1	145,0	148,3	111,3	117,6
1994	134,0	152,1	148,6	152,9	115,0	121,7
1995	139,3	157,0	152,7	158,7	116,9	124,8
1996	142,7	163,9	157,4	165,3	119,8	126,7
1997	151,2	172,5	165,1	173,4	123,8	130,4
1998	158,3	181,1	173,0	184,1	126,9	133,4
1999	167,8	189,7	180,4	195,0	131,3	136,1
2000	176,6	198,4	187,6	206,6	136,1	137,6
1981 à 2000	3,0	3,7	3,4	3,9	1,6	1,7
1981 à 1997	2,6	3,5	3,2	3,5	1,3	1,7

Au niveau sectoriel, on détermine l'intrant capital agrégé au moyen d'un indice en chaîne de Fisher pour le Canada et d'un indice de Törnquist pour les États-Unis. L'intrant capital de chaque branche d'activité est agrégé en utilisant comme facteur de pondération la part moyenne de chaque branche d'activité dans la part de la rémunération du capital.

Aux tableaux 1a et 1b, nous indiquons les taux annuels moyens de croissance de la production réelle et des intrants en termes réels pour le secteur des entreprises durant la période 1981 à 2000, et pour le secteur de la fabrication et les branches d'activité qui le composent pour la période 1981 à 1997.

Durant la période 1981 à 2000, le PIB réel du secteur des entreprises aux États-Unis a augmenté à un rythme supérieur à celui de son homologue au Canada (3,7 % aux États-Unis comparativement à 3,0 % au Canada), tandis que le taux de croissance de l'intensité du capital (mesuré par la croissance du rapport des services du capital aux heures travaillées) a augmenté à un rythme plus lent qu'aux États-Unis (1,8 % au Canada et 2,2 % aux États-Unis).

Les données sur le secteur de la fabrication ne portent que sur la période 1981 à 1997. Durant cette période, l'écart de croissance de la production était légèrement plus prononcé dans le secteur des entreprises (2,6 % pour le Canada contre 3,5 % pour les États-Unis), comparativement à la période 1981-2000. Les États-Unis ont aussi une croissance plus importante au niveau du secteur de la fabrication (3,8 % comparativement à 3,1 % au Canada), et un rythme de croissance plus rapide pour l'intensité du capital (2,6 % comparativement à 2,3 % au Canada).

Tableau 1b. Taux annuels moyens de croissance de la production et des intrants, 1981 à 1997, secteur de la fabrication

Branche d'activité	Canada			É.-U.		
	PIB réel	Services du capital	Heures	PIB réel	Services du capital	Heures
Secteur de la fabrication	3,1	2,5	0,2	3,8	2,5	-0,1
Aliments et produits analogues	1,2	0,8	-0,2	-0,6	1,8	0,3
Tabac	-1,8	-1,9	-4,0	-4,3	1,7	-3,1
Produits d'usines de produits textiles	0,6	0,0	-1,1	1,1	0,8	-1,4
Vêtements et produits connexes	0,2	0,3	-1,4	1,8	1,5	-2,1
Bois et produits en bois	0,5	1,0	1,4	4,2	-0,3	1,5
Meubles et articles d'ameublement	2,1	1,6	2,4	3,5	2,4	1,2
Papier et produits connexes	1,8	1,2	-0,8	0,3	2,4	0,4
Imprimerie et édition	0,1	2,7	1,5	2,9	4,4	1,7
Produits chimiques et produits analogues	3,6	0,4	0,1	1,8	2,6	-0,2
Produits raffinés du pétrole	0,8	-0,01	-0,03	8,1	0,9	-2,5
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	5,2	4,5	3,0	1,2	3,6	1,9
Cuir et produits en cuir	-4,1	-1,9	-4,5	1,1	-1,2	-5,6
Pierre, argile, verre et béton	0,6	-1,9	-0,1	2,3	-0,4	0,1
Métaux de première transformation	3,8	-0,6	-1,3	-0,4	-0,8	-1,9
Produits métalliques	1,7	1,5	1,7	6,0	1,5	0,1
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	8,2	1,6	1,2	10,5	3,9	-0,3
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	1,9	4,5	-0,5	4,1	5,7	0,1
Matériel de transport	4,6	6,8	2,4	0,7	1,7	0,5
Instruments et activités diverses de fabrication	4,1	3,0	1,2	3,4	3,2	-0,5

Les taux annuels de croissance de la production aux États-Unis indiqués au tableau 1b attestent de variations sensiblement plus fortes sur l'ensemble du secteur de la fabrication comparativement au Canada. Certaines branches d'activité ont affiché une augmentation impressionnante de la production. Les taux de croissance les plus élevés ont été enregistrés dans la branche des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique au Canada (8,2 %) et dans celle des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique aux États-Unis (10,5 %). La branche des instruments et activités diverses de fabrication a aussi enregistré un rythme de croissance de production relativement élevé dans les deux pays — 4,1 % au Canada et 3,4 % aux États-Unis. Pour le reste, la liste des industries ayant les taux de croissance les plus élevés est différente pour les deux pays : produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique (5,2 %), matériel de transport (4,6 %) et produits chimiques (3,6 %) au Canada, produits raffinés du pétrole (8,1 %), matériel électronique (4,1 %), bois (4,2 %) et meubles (3,5 %) aux États-Unis.

La production a augmenté à un taux annuel modérément élevé, allant de 1,7 % à 2,1 % dans les branches des produits métalliques, du papier et des produits connexes et du matériel électronique et autre matériel électrique au Canada (de 1,8 % à 2,9 % dans les branches des vêtements et produits connexes, des produits chimiques et produits connexes, de la pierre, de l'argile, du verre et du béton ainsi que de l'imprimerie et l'édition aux États-Unis).

Par contre, la croissance de la production a été plutôt modeste, dans les branches des aliments et produits analogues (1,2 %), des produits raffinés du pétrole (0,8 %) et du bois et des produits en bois (0,5 %) au Canada et dans celles des produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique (1,2 %) et du matériel de transport (0,7 %) aux États-Unis. La branche du cuir et des produits en cuir et de la branche du tabac au Canada ainsi que celle de la branche du tabac aux États-Unis ont enregistré un déclin dans le niveau de production.

IV. Méthodologie et analyse des résultats

1. Application de la méthode frontière aux données sur le Canada et les États-Unis

L'importante diversité de la croissance de la production et de l'utilisation des intrants dans les secteurs et à travers les branches d'activité durant la période fournit un ensemble de données riche qui nous permet de construire une frontière nord-américaine fondée sur la meilleure pratique. La frontière nord-américaine a été construite différemment pour le secteur des entreprises et celui de la fabrication. Le secteur des entreprises de chaque pays est comparé à la frontière de la meilleure pratique construite à partir des données annuelles sur la production et les intrants pour le Canada et les États-Unis.

Au niveau du secteur de la fabrication, nous avons procédé selon deux méthodes distinctes mais complémentaires :

Premièrement, les données sur la production et les intrants pour la même branche d'activité au Canada et aux États-Unis sont utilisées pour construire la frontière nord-américaine du secteur de la fabrication à chaque année. Ceci est fait pour chaque paire d'industries manufacturières (par exemple la branche du bois et des produits en bois au Canada est comparée à la branche du bois et des produits en bois aux États-Unis, etc.). Les résultats ainsi obtenus des indices de productivité, d'efficience et de progrès technologique pour la branche de la fabrication en question dans chaque pays, sont ensuite agrégés de manière à établir des estimations pour le secteur de la fabrication au Canada et aux États-Unis. Les résultats obtenus par cette méthode sont présentés dans la section 2.2.

En deuxième lieu, nous avons aussi appliqué la méthode groupée à la mesure de productivité par la frontière dans le secteur de la fabrication. Chaque branche de la fabrication d'un pays donné au cours de chaque période est étalonnée par rapport à la frontière de production établie pour l'ensemble de l'échantillon des branches de la fabrication en Amérique du Nord pour la même période (par exemple la branche des bois et des produits en bois est comparée à toutes les autres branches qui composent la frontière de production). Bien que cette approche maximise l'échantillon utilisé à chaque année et donc peut produire des résultats plus robustes, elle présente l'inconvénient de supposer que toutes les branches de la fabrication utilisent la même technologie à chaque période. Les résultats de cette technique sont présentés dans la section 2.3.

Il est à noter que les deux approches mentionnées supposent, à des degrés variables, que le Canada peut adopter la technologie utilisée aux États-Unis. Au niveau du secteur des entreprises, l'approche frontière suppose implicitement que le Canada peut utiliser les mêmes proportions d'intrants et de production que les États-Unis en dépit des différences dans la structure industrielle. La première approche est moins sensible à cette hypothèse puisqu'elle construit une frontière pour chaque paire d'industries. Cependant, nous devons reconnaître que ces comparaisons sont effectuées seulement au niveau de la classification industrielle à 2 chiffres, ce qui peut occasionner des différences importantes en terme de composition. La deuxième approche utilisée pour le secteur de la fabrication qui compare une industrie de la fabrication en particulier à toutes les autres industries de la fabrication suppose que n'importe quelle industrie puisse se rapprocher de la meilleure pratique peu importe l'industrie qui définit cette meilleure pratique.

À première vue cette hypothèse est restrictive. Le bois ne peut pas être produit par une raffinerie de pétrole. Cependant, nous examinons les branches d'activités à un haut niveau d'agrégation. À ce niveau d'agrégation, il est approprié de se demander comment les volumes agrégés du capital et du travail sont transformés en production et si une industrie est plus efficiente qu'une autre. Évidemment, il est vrai que ces agrégats seront affectés par la structure industrielle. Mais la structure industrielle affecte les moyennes et constitue un élément important dans la détermination de l'efficience de l'économie. Bien que les effets de la structure industrielle

pourraient être éliminées de l'analyse, cela reviendrait à ignorer une cause importante des différences.

2. Analyse des résultats

2.1 Secteur des entreprises

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes de l'indice et de ses composantes durant la période 1981 à 2000 et différentes sous-périodes. Une valeur inférieure à cent de l'indice de Malmquist ou de l'une de ses composantes représente une diminution de la performance et vice versa au cas où la valeur est supérieure à cent. Il importe de rappeler que ces indicateurs saisissent la production par rapport à la meilleure pratique dans l'échantillon, soit celle que représente la frontière établie pour le Canada et les États-Unis.

D'après les données figurant au bas du tableau 2, on constate que, selon l'indice de Malmquist, la productivité multifactorielle de l'ensemble du secteur des entreprises au Canada a augmenté en moyenne d'environ 0,6 % pendant la période 1981 à 2000 (0,88 % aux États-Unis).

Près de trois cinquièmes de l'écart de productivité de 0,28 points de pourcentage en faveur des États-Unis est attribuable à une détérioration de l'efficacité technique au Canada relativement aux États-Unis. Cette détérioration s'est effectuée à une moyenne annuelle de 0,16 % sur la période 1981 à 2000. Le reste de l'écart s'explique par un progrès technologique plus rapide aux États-Unis (0,88 % pour les États-Unis comparativement à 0,76 % pour le Canada).

Un examen de l'indice de l'efficacité technique du secteur des entreprises révèle que les États-Unis ont établi la frontière du secteur des entreprises en Amérique du Nord pendant toute la période 1981 à 2000. Le secteur des entreprises au Canada a d'abord établi la frontière de production durant la période allant de 1981 à 1987 de concert avec celui des États-Unis, mais il n'a cessé de baisser ensuite pour atteindre 90 % de l'efficacité de son homologue américain en 1992. L'efficacité du secteur des entreprises au Canada a amorcé toutefois une tendance à la hausse en 1993 et, à la fin des années 90, elle avait presque regagné le terrain perdu à la fin des années 80 et au début des années 90. En 2000, pour la première fois depuis plus d'une décennie, le Canada a presque retrouvé son niveau d'efficacité technique de 1988 (97,1 %); elle demeure toutefois inférieure à celle des États-Unis, bien que l'écart soit faible. Même si l'analyse ne permet pas de déterminer s'il y a lieu d'attribuer le rétablissement de l'efficacité du Canada à des forces cycliques ou à une évolution de la tendance sous-jacente, elle indique simplement que la récente reprise de la productivité est attribuable à l'amélioration de l'efficacité au Canada.

La performance du Canada et des États-Unis durant la première décennie présentent des différences par rapport à celles de la deuxième décennie. L'écart de productivité entre le secteur des entreprises au Canada et celui aux États-Unis a diminué presque de moitié pour atteindre 0,2 points de pourcentage en faveur des États-Unis durant 1988 à 2000, soit la moitié seulement de celui de la période 1981-1988 (0,42 points de pourcentage). Cela s'explique principalement par un plus petit écart sur le plan du progrès technique (qui est passé de 0,26 à 0,05 points de pourcentage).

Tableau 2. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, 1981 à 2000, secteur des entreprises

	Productivité multifactorielle		Progrès technologique		Efficience	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	U.S.
1981	100,0	100,0	100.0	100.0	100.0	100.0
1982	96,7	96,6	96.7	96.6	100.0	100.0
1983	99,5	99,2	99.6	99.2	99.9	100.0
1984	103,9	103,0	103.9	103.0	100.0	100.0
1985	104,9	103,6	104.9	103.7	100.0	99.9
1986	104,0	105,1	104.0	105.2	100.0	100.0
1987	104,2	105,7	104.2	105.7	100.0	100.0
1988	104,0	107,0	105.1	107.1	98.9	100.0
1989	101,1	107,8	105.6	107.8	95.6	100.0
1990	98,3	107,9	105.8	107.9	93.1	100.0
1991	96,2	106,7	104.9	106.7	91.8	100.0
1992	98,4	109,6	108.9	109.6	90.4	100.0
1993	100,0	110,4	109.5	110.4	91.2	100.0
1994	103,6	112,0	111.0	112.0	93.3	100.0
1995	105,9	112,1	111.8	112.1	94.8	100.0
1996	105,7	113,8	112.1	113.8	94.3	100.0
1997	107,8	115,2	113.1	115.2	95.3	100.0
1998	108,9	116,1	113.6	116.1	95.9	100.0
1999	110,8	116,9	114.6	116.9	96.7	100.0
2000	112,1	118,2	115.5	118.2	97.1	100.0
1981 à 2000	0,60	0,88	0.76	0.88	-0.16	0.00
1981 à 1988	0,56	0,98	0.72	0.98	-0.16	0.00
1988 à 2000	0,63	0,83	0.78	0.83	-0.15	0.00
1988 à 1997	0.41	0.82	0.82	0.82	-0.41	0.00
1981 à 1997	0,47	0,89	0.77	0.89	-0.30	0.00

2.2 Secteur de la fabrication

Nous avons examiné les sources de la croissance de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis au niveau du secteur des entreprises durant la période 1981 à 1997. Nous avons montré que l'écart de productivité (0,42 points de pourcentage) s'explique en majeure partie par la diminution de l'efficience au Canada.

Nous examinons maintenant les données sur les branches d'activité afin de retracer les sources de croissance de la productivité multifactorielle agrégée et de ses composantes à partir des branches d'activité manufacturières. Comme dans le cas du secteur des entreprises au Canada et aux États-Unis, les industries manufacturières prises individuellement sont étalonnées à la frontière basée sur une paire annuelle d'industries similaires. Le reste de cette section résume notre méthodologie et discute les résultats.

Tableau 3.1. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, secteur de la fabrication, 1981 à 1997

	Productivité multifactorielle		Progrès technique		Changement de l'efficacité	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
Aliments et produits analogues	100,7	97,0	106,8	107,0	94,3	90,7
Tabac	102,1	98,0	108,3	110,0	94,3	89,0
Produits d'usines de produits textiles	100,9	101,2	106,6	107,2	94,6	94,4
Vêtements et produits connexes	100,8	101,6	107,3	107,5	94,0	94,5
Bois et produits en bois	99,5	104,1	106,5	106,3	93,5	98,0
Meubles et articles d'ameublement	100,1	101,3	106,1	106,9	94,4	94,7
Papier et produits connexes	102,0	98,5	107,6	106,9	94,7	92,1
Imprimerie et édition	97,4	99,2	106,4	106,9	91,6	92,8
Produits chimiques et produits analogues	102,9	99,6	106,1	107,1	96,9	92,9
Produits raffinés du pétrole	107,5	107,9	109,5	108,4	98,2	99,6
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101,9	97,8	107,6	106,9	94,7	91,5
Cuir et produits en cuir	100,3	106,2	108,7	109,6	92,3	96,9
Pierre, argile, verre et béton	102,5	102,4	106,4	106,3	96,3	96,2
Métaux de première transformation	105,5	101,0	107,5	107,9	98,1	93,7
Produits métalliques	100,3	104,9	106,6	107,2	94,0	97,9
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	108,7	109,5	107,4	109,4	101,3	100,0
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	102,5	102,5	109,8	109,6	93,4	93,5
Matériel de transport	101,9	99,1	109,4	106,8	93,1	92,8
Instruments et activités diverses de fabrication	101,6	103,0	107,2	108,9	94,7	94,5
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (en pourcentage))	2,0	2,7	7,5	7,6	-5,0	-4,5

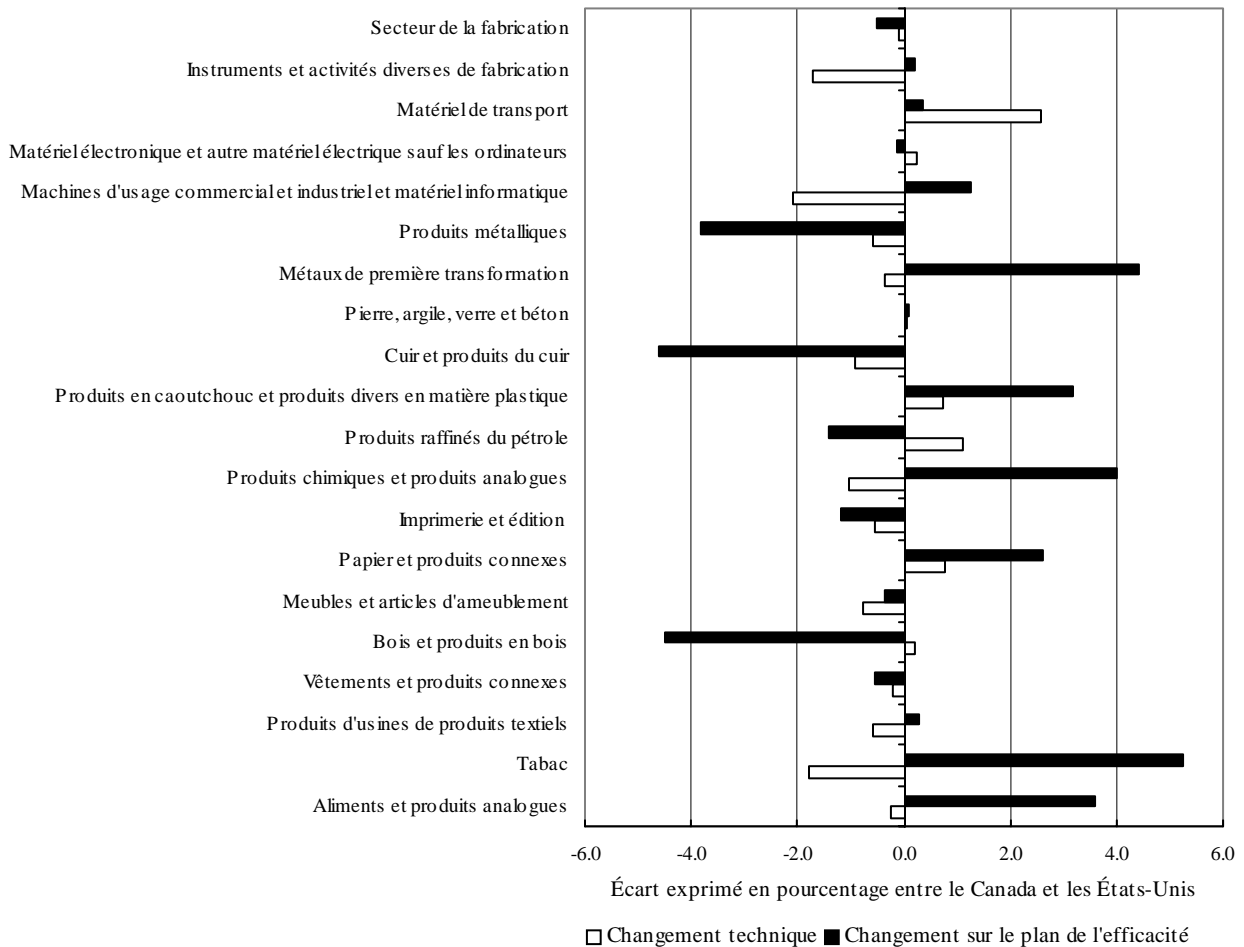
Dans le secteur de la fabrication, les résultats indiqués au bas du tableau 3.1 montrent que la productivité au Canada a augmenté durant la période 1981 à 1997 à un taux de croissance annuel moyen de 2,0 %, comparativement à 2,7 % aux États-Unis. Cet écart de productivité de 0,7 points de pourcentage est plus élevé que celui de 0,42 points de pourcentage observé pour le secteur des entreprises durant la même période.

L'écart de productivité du secteur de la fabrication au Canada par rapport à celui aux États-Unis durant la période 1981 à 1997, comme celle du secteur des entreprises, est attribuable à la diminution plus rapide de l'efficacité au Canada par rapport aux États-Unis. Par contre, le rythme du progrès technologique a été presque identique dans les deux pays (7,5 % au Canada et 7,6 % aux États-Unis).

La variation de la productivité semble donc s'expliquer surtout par le progrès technologique dans le cas de la majorité des branches d'activité dans les deux pays durant toute la période étudiée. Toutefois, dans presque tous les cas, le progrès technologique s'est accompagné d'un changement en sens inverse sur le plan de l'efficacité technique. Cette observation montre qu'il n'y a pas toujours une corrélation positive entre les notions de progrès technologique et de

changement sur le plan de l'efficacité. Cela s'explique par le fait que la composante progrès technologique ne tient compte que de la possibilité de changement dans une branche d'activité donnée. Tout déplacement favorable de la frontière peut laisser les entreprises non innovatrices encore plus à la traîne, c'est-à-dire que le progrès technologique peut entraîner une diminution de leurs efficacités. Lorsque les entreprises qui suivent sont lentes à adopter les améliorations technologiques apportées par les entreprises chefs de file, leurs inefficacités augmentent. Ce résultat montre bien qu'il importe de faire la distinction entre le progrès technologique et le changement sur le plan de l'efficacité.

Figure 2. Écart dans le changement de l'efficacité technique et le progrès technologique entre les industries canadiennes et américaines de la fabrication, 1981 à 1997



Nota : Un signe négatif indique que l'écart est en faveur des É.-U.

Même si le progrès technologique a augmenté à la même moyenne durant la période 1981 à 1997 dans les deux pays, il n'en demeure pas moins que les variations à travers les industries sont plus importantes (figure 2). Dans les branches du transport, des bois et des produits raffinés du pétrole, du caoutchouc et du papier le Canada a une longueur d'avance sur les États-Unis. La situation est tout autre pour le restant des branches d'activités, quoique la différence est minime. Sur le plan de l'efficacité technique le Canada a l'avantage dans les branches des métaux, du caoutchouc, des produits chimiques, du papier, du tabac et des aliments. Cet avantage est cependant contre balancé par les branches de fabrication des produits métalliques, du cuir et du bois. Les branches du cuir et du bois ont même enregistré un recul en terme d'efficacité.

2.3 Robustesse des résultats et prolongement de l'analyse

Étant donné que la méthode appliquée ci-dessus est fondée sur une paire d'observations sur le secteur des entreprises et les branches d'activité du secteur de la fabrication pour chacune des périodes étudiées, il importe de déterminer la robustesse des résultats au moyen de la méthode de regroupement appliquée aux fins de la mesure de la frontière. Selon cette méthode, on regroupe toutes les branches de la fabrication au Canada et aux États-Unis pour chaque période étudiée pour construire la frontière de production. Les deux méthodes donnent des résultats cohérents pour l'ensemble du secteur de la fabrication et des branches qui le composent. Selon la méthode de regroupement, la longueur d'avance des États-Unis sur le plan de la productivité dans le secteur de la fabrication est plus faible (0,5 points de pourcentage comparativement à 0,7 points de pourcentage selon la méthode utilisée ci-dessus), l'écart s'explique encore une fois par la diminution de l'efficacité technique au Canada. Malgré certaines différences dans l'ordre de grandeur entre les deux méthodes au niveau des branches d'activité, les résultats demeurent cohérents, ce dont atteste une forte corrélation de rang (0,89).

Nous pouvons exploiter davantage la méthode de regroupement de manière à faire ressortir certains des enjeux intéressants au niveau des branches d'activité pour le secteur de la fabrication en Amérique du Nord. Tant au Canada qu'aux États-Unis, l'efficacité a diminué rapidement (quoique davantage au Canada) durant chacune des sous-périodes de 1981 à 1988 et de 1988 à 1997 (voir le tableau 3.2). On peut en déduire qu'au fil des ans, la plupart des branches d'activité s'éloignaient de la frontière nord-américaine établie par les branches listées au tableau 4. Il importe aussi de signaler le changement important survenu dans la nature des branches d'activité qui établissent la frontière américaine depuis le milieu des années 90. Entre 1981 et 1995, la frontière était essentiellement établie par des branches canadiennes et américaines ayant des liens étroits avec le secteur primaire. Elles ont été relayées, ensuite, par les branches productrices de technologie de l'information.

Tableau 3.2. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, secteur de la fabrication

	Productivité multifactorielle		Progrès technologique		Changement de l'efficience	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
1981 à 1988						
Aliments et produits analogues	101,6	101,2	108,2	108,4	93,9	93,4
Tabac	103,9	90,4	110,3	110,8	94,2	81,6
Produits d'usines de produits textiles	102,4	103,7	107,9	108,4	94,8	95,7
Vêtements et produits connexes	99,8	102,3	108,5	108,9	92,0	93,9
Bois et produits en bois	102,3	107,9	108,1	107,9	94,7	100,0
Meubles et articles d'ameublement	98,7	101,0	107,2	108,0	92,1	93,4
Papier et produits connexes	100,2	102,1	108,4	108,1	92,5	94,5
Imprimerie et édition	100,0	97,8	107,6	108,3	93,0	90,4
Produits chimiques et produits analogues	105,7	105,1	107,3	108,8	98,5	96,7
Produits raffinés du pétrole	109,4	110,3	111,1	110,3	98,6	100,0
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101,5	103,1	109,1	107,9	93,0	95,5
Cuir et produits en cuir	101,1	103,6	109,5	110,7	92,3	93,5
Pierre, argile, verre et béton	105,7	103,6	108,0	107,6	97,9	96,2
Métaux de première transformation	104,3	99,8	108,7	110,5	95,9	90,3
Produits métalliques	101,4	104,5	108,1	108,9	93,8	96,0
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	104,9	107,3	110,1	110,4	95,3	97,2
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	101,0	105,2	110,9	110,1	91,1	95,6
Matériel de transport	101,4	105,1	108,9	108,2	93,1	97,1
Instruments et activités diverses de fabrication	105,0	104,8	109,0	109,8	96,3	95,4
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (%))	2,6	3,8	8,6	9,0	-5,4	-4,7
1988 à 1997						
Aliments et produits analogues	100,0	93,7	105,5	105,9	94,7	88,5
Tabac	101,3	103,8	106,8	109,4	94,9	94,9
Produits d'usines de produits textiles	99,4	99,8	105,3	106,1	94,4	94,0
Vêtements et produits connexes	100,5	101,3	106,1	106,4	94,7	95,2
Bois et produits en bois	97,5	101,2	104,8	104,6	93,0	96,8
Meubles et articles d'ameublement	101,1	101,4	105,0	105,8	96,2	95,9
Papier et produits connexes	102,0	96,2	106,9	105,8	95,4	90,9
Imprimerie et édition	95,8	99,8	105,2	105,8	91,1	94,3
Produits chimiques et produits analogues	101,4	96,3	104,9	105,9	96,7	91,0
Produits raffinés du pétrole	106,6	106,3	108,3	107,0	98,4	99,4
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101,7	94,5	106,5	105,9	95,5	89,2
Cuir et produits en cuir	99,4	108,0	108,0	108,7	92,1	99,3
Pierre, argile, verre et béton	100,1	101,8	104,7	105,0	95,5	96,9
Métaux de première transformation	105,5	102,4	106,5	105,9	99,0	96,7
Fabrication des produits métalliques	99,8	106,5	105,3	105,9	94,8	100,6
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	109,8	110,8	106,1	108,7	103,5	101,9
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	103,0	100,8	109,0	109,1	94,5	92,4
Matériel de transport	103,2	95,7	109,5	105,5	94,2	90,7
Instruments et activités diverses de fabrication	101,7	102,3	105,9	108,2	96,0	94,6
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (%))	1,5	1,8	6,7	6,5	-4,7	-4,4

Tableau 4. Branches d'activité au Canada et aux États-Unis qui établissent la frontière d'efficacité du secteur de la fabrication en Amérique du Nord

	Canada	É.-U.
1982	-	Matériel de transport
1983	Bois et produits en bois, matériel de transport	Produits raffinés du pétrole
1984	Métaux de première transformation, matériel de transport	Matériel de transport, produits raffinés du pétrole
1985	Bois et produits en bois	Produits raffinés du pétrole
1986	Bois et produits en bois, métaux de première transformation	Bois et produits en bois
1987	-	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1988	-	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1989	Produits raffinés du pétrole	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1990	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1991	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1992	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1993	Métaux de première transformation	Produits raffinés du pétrole
1994	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Produits raffinés du pétrole
1995	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique
1996	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique
1997	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique

Une autre constatation importante est celle du changement significatif survenu dans la distribution de l'efficacité technique dans le secteur nord-américain et de l'augmentation de sa dispersion. Les figures 3 à 5 présentent en histogramme le niveau d'efficacité technique pour les 38 branches d'activité en 1982, 1988 et 1997. En 1982, toutes les branches de la fabrication enregistraient un niveau d'efficacité supérieur à 0,70, comparativement à 17 branches en 1988 (ou 45 % de toutes les branches de la fabrication) et 7 branches seulement (ou 18 %) en 1997. En 1988, seulement 6 de ces 17 branches étaient canadiennes (35 %), comparativement à 3 branches sur 7 (43 %) en 1997.

Nous pouvons tirer deux conclusions importantes : En premier lieu, la distribution de l'efficacité technique, d'abord asymétrique vers la gauche, est devenue au fil des ans asymétrique vers la droite, comme en témoigne le niveau médian d'efficacité technique qui est passé de 0,86 en 1982 à 0,68 en 1988 puis à 0,40 en 1997. En deuxième lieu, une forte proportion de branches d'activité canadiennes a augmenté leur efficacité durant le milieu des années 90. Par exemple en 1997 une branche nord-américaine sur deux les moins techniquement efficaces était canadienne. Ceci représente une forte baisse par rapport à 1988, année où nous comptons deux branches sur trois, mais néanmoins une proportion élevée par rapport au début des années 80.

Figure 3. La distribution des niveaux d'efficacité technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1982

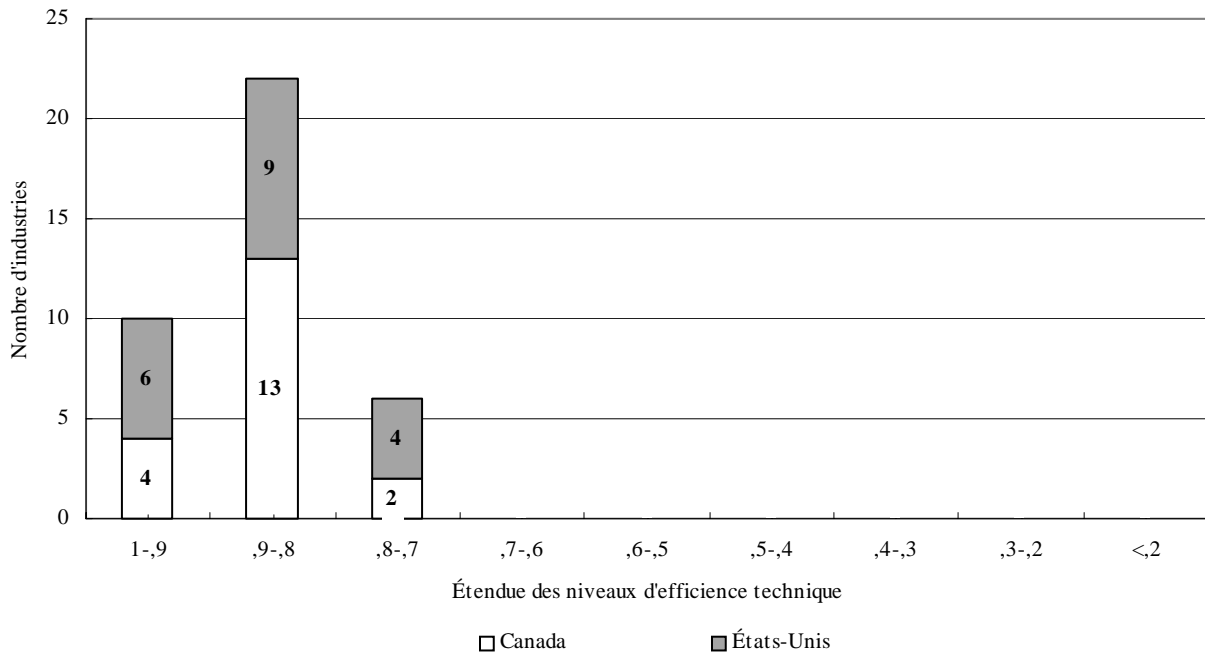


Figure 4. La distribution des niveaux d'efficacité technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1988

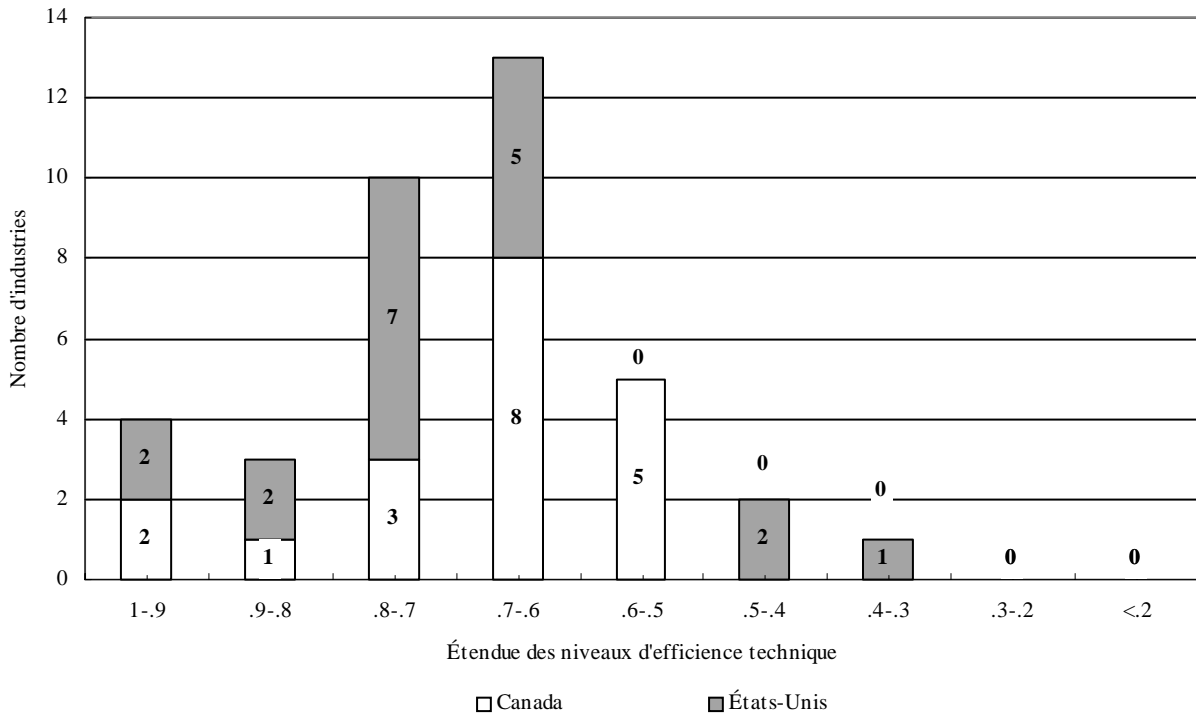


Figure 5. La distribution des niveaux d'efficacité technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1997

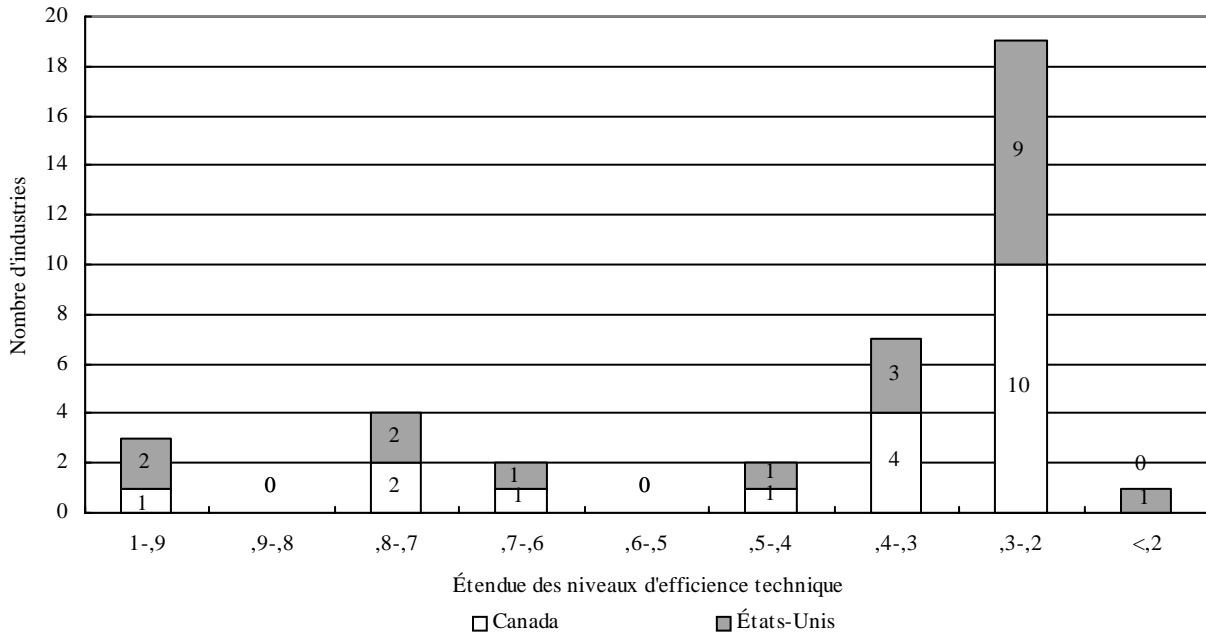
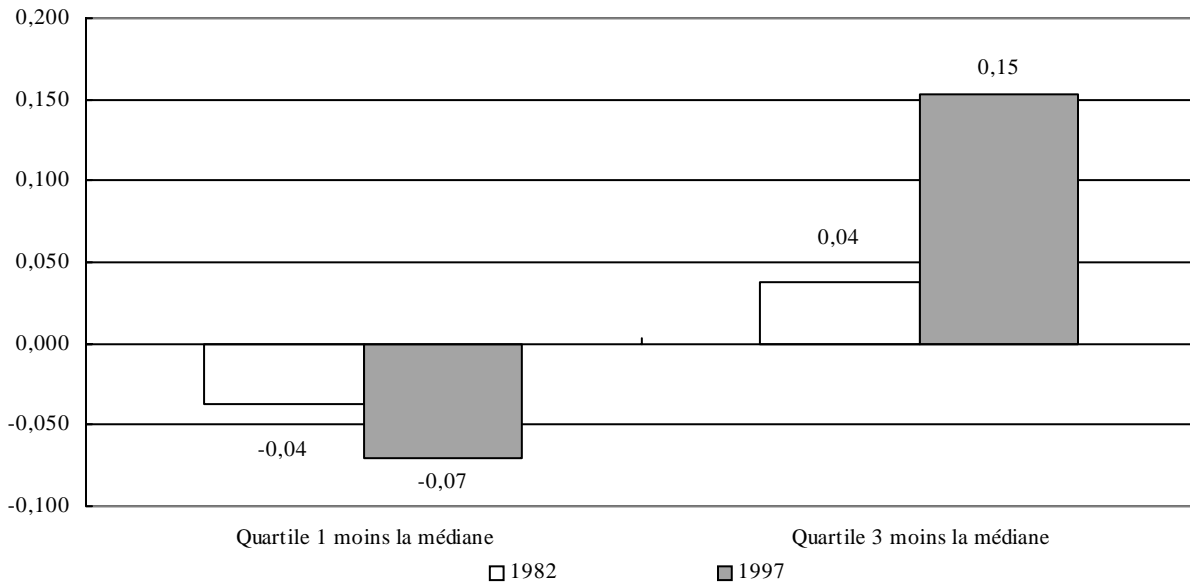


Figure 6. Interquartiles des niveaux d'efficacité techniques : secteur nord-américain de la fabrication



La forte baisse du niveau médian d'efficacité technique entre 1982 et 1997 ne permet pas de déterminer si les branches d'activité efficaces le sont devenues davantage et si celles qui sont moins efficaces ont vu leur efficacité baisser encore au fil des ans. Un examen des inter-quartiles nous aide à répondre à cette question. La figure 6 montre que l'écart entre le quartile supérieur et la médiane a augmenté de 0,22 points de pourcentage entre 1982 et 1997, comparativement à l'écart de 0,08 points de pourcentage entre le quartile inférieur et la médiane pour la même période. Il semble donc que les branches efficaces le sont devenues davantage au cours de la période 1982 à 1997⁸.

V. Comparaison entre la mesure frontière et la mesure de comptabilité standard

Les résultats présentés dans ce papier font appel à une approche similaire mais non identique à celle généralement utilisée dans la méthode standard d'estimation de la productivité. Il est donc utile de comparer les résultats obtenus selon la méthode frontière de la mesure de la productivité à ceux fondés sur le cadre comptable standard de la croissance de la productivité. La méthode standard de la croissance de la productivité multifactorielle est déterminée simplement à titre de valeur résiduelle, elle englobe l'effet de tout ce qui affecte l'efficacité avec laquelle les intrants sont utilisés. Il ne s'agit donc pas simplement d'une mesure du taux de progrès technologique.

Le tableau 5 présente les estimations du taux de croissance moyen de la productivité multifactorielle selon la méthode standard de la comptabilisation de la croissance et la méthode de Malmquist. Pour l'ensemble du secteur de la fabrication, selon les deux mesures de la productivité, les États-Unis ont une longueur d'avance, bien que l'écart soit plus marqué selon l'approche frontière que selon la méthode standard de la comptabilisation de la croissance. Pareillement, l'approche frontière donne des variations (en termes d'écart-type) plus importantes entre les branches d'activité que la méthode fondée sur la comptabilisation de la croissance entre les deux pays (1,23 % pour la méthode frontière par rapport à 1,12 % pour la méthode de comptabilisation de la croissance dans le cas du Canada; 1,52 % par rapport à 1,06 % dans le cas des États-Unis). Toutefois, les deux méthodes donnent des résultats cohérents au niveau des branches, comme en atteste la corrélation des rangs élevée (0,73 pour le Canada et 0,82 pour les États-Unis). On obtient des résultats presque identiques selon une méthode ou l'autre pour les trois branches les plus performantes dans les deux pays. Mais ceci n'est pas le cas pour les trois branches les moins performantes.

⁸ À partir des microdonnées du secteur de la fabrication au Canada pour la période 1973 à 1997, Braun et Townsend (2002) en sont arrivés à la même conclusion concernant la baisse d'efficacité dans ce secteur au fil du temps. Leur travail repose sur la définition de Baldwin (1992) de l'efficacité des branches d'activité comme étant la productivité du travail dans la branche d'activité par rapport à la productivité du travail dans les établissements les plus productives.

Tableau 5. Croissance de la productivité multifactorielle 1981 à 1997 (Taux annuel moyen de croissance)

	Malmquist		Comptabilisation de la croissance	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
Aliments et produits analogues	0,7	-3,0	1,2	-2,0
Tabac	2,1	-2,0	-1,7	-4,7
Produits d'usines de produits textiles	0,9	1,2	1,2	1,1
Vêtements et produits connexes	0,8	1,6	0,2	1,7
Bois et produits en bois	-0,5	4,1	1,4	3,9
Meubles et articles d'ameublement	0,1	1,3	3,6	3,2
Papier et produits connexes	2,0	-1,5	1,4	0,1
Imprimerie et édition	-2,6	-0,8	-0,1	2,5
Produits chimiques et produits connexes	2,9	-0,4	3,7	0,8
Produits raffinés du pétrole	7,5	7,9	0,8	6,5
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	1,9	-2,2	5,3	0,7
Cuir et produits en cuir	0,3	6,2	-4,0	1,0
Pierre, argile, verre et béton	2,5	2,4	1,1	2,1
Métaux de première transformation	5,5	1,0	5,1	-0,9
Produits métalliques	0,3	4,9	2,1	5,6
Machines d'usage industriel et commercial et matériel informatique	8,7	9,5	5,3	9,8
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	2,5	2,5	1,5	2,7
Matériel de transport	1,9	-0,9	4,5	0,2
Instruments and activités diverses de fabrication	1,6	3,0	4,0	3,2
Secteur de la fabrication	2,0	2,7	2,7	3,0

On constate d'importantes différences quantitatives dans certaines branches d'activité comme celles du tabac, ainsi que des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique au Canada (celles du cuir et des produits en cuir ainsi que des produits des usines de produits textiles aux États-Unis). Dans toutes ces branches, le taux de croissance de la productivité est plus élevé selon l'indice de Malmquist que selon la méthode de comptabilisation de la croissance, et vice versa dans le cas des meubles et articles d'ameublement ainsi que du matériel de transport (dans le cas des produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique ainsi que des meubles et articles d'ameublement pour les États-Unis).

VI. Conclusion

Dans le présent document, nous avons utilisé l'indice de Malmquist pour mesurer la croissance de la productivité multifactorielle et pour la décomposer en deux parties, soit les changements sur les plans de l'efficacité technique et du progrès technologique. L'indice de productivité de Malmquist et la méthode fondée sur la comptabilisation de la croissance donnent tous deux des résultats cohérents en ce qui a trait à l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis. Toutefois, l'indice de Malmquist apporte un éclairage additionnel puisqu'il montre que l'écart

tient à la diminution de l'efficience au Canada non seulement au niveau du secteur des entreprises mais aussi, au niveau des branches manufacturière et non manufacturière qui le composent.

Le deuxième résultat important de notre étude est le changement marqué constaté dans la distribution de l'efficience technique dans le secteur de la fabrication en Amérique du Nord. L'efficience médiane est passée de 0,86 en 1982 à 0,68 en 1988 et à 0,40 en 1997. Pareillement, toutes les 38 branches d'activité manufacturière ont enregistré un niveau d'efficience supérieur à 0,70 en 1982, comparativement à 17 en 1988 et à seulement 7 en 1997. Seulement 6 des 17 branches efficaces étaient canadiennes en 1988 (35 %) comparativement à 3 sur 7 en 1997 (43 %).

À la lumière de ces résultats nous pouvons conclure que les changements technologiques récents ont eu des répercussions différentes sur les branches d'activité. Il est convenu que les gains de productivité des dernières années sont attribuables essentiellement à deux branches d'activités qui tournent autour des microprocesseurs. Ce papier permet de quantifier l'effet de ces différences. Ce qui importe pour le progrès de l'économie dans son ensemble c'est la vitesse avec laquelle les industries les moins efficaces rattrapent celles qui sont chefs de file à mesure qu'elles incorporent les nouvelles technologies d'information dans leur processus de production.

Bien que ces résultats permettent aussi de répondre à la question qu'on s'est posée en début de cette étude, à savoir, expliquer l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis, elles sont seulement suggestives. En tirant des conclusions, les lecteurs doivent cependant tenir compte de certains faits et hypothèses implicites et explicites discutées ci-dessous.

La première question concerne la précision des estimations inhérentes à l'indice de Malmquist et autres mesures de productivité. Nous avons insisté (voir Baldwin et Harchaoui 2001) sur le fait que les estimations de productivité doivent être accompagnées par des intervalles de confiance. Ces derniers sont importants car les données utilisées pour le calcul sont affectées par une incertitude. En outre, certaines de ces données font l'objet de révisions.

Nous reconnaissons qu'il n'est pas facile de définir les intervalles de confiance qui doivent être utilisés dans les estimations de la productivité multifactorielle. Mais à titre indicatif, nous suggérons que l'intervalle a une étendue de 0,2 à 0,4 points de pourcentage. Bon nombre des différences entre le Canada et les États-Unis révélées par ce travail demeurent à l'intérieur de cet intervalle, voire même proches. Par conséquent, le lecteur devrait traiter les résultats présentés ici comme indicatifs des possibilités qui devraient être examinées avec des sources de données et des méthodologies alternatives. La reproduction des résultats est de mise avant de tirer des conclusions fermes.

La seconde question concerne la notion d'inefficience. Dans cette étude, nous avons postulé que les entreprises ou les industries peuvent opérer en deçà de la frontière et qu'une partie de la hausse de productivité normalement mesurée découle du déplacement de la production vers la frontière. Les économistes ne sont pas tous favorables à la notion que certaines entreprises dans une industrie peuvent être inefficentes. Ceux qui le sont peuvent ne pas être à l'aise avec la notion qu'une industrie puisse être inefficente à partir des combinaisons d'intrants/production utilisées par d'autres industries. Il est facile d'arguer que les installations pétrolières ne peuvent produire l'acier ou que les technologies de production entre les industries sont tellement différentes qu'une industrie ne devrait pas être utilisée comme référence pour les autres en termes de la façon de transformer le travail et le capital en production.

Bien que ces préoccupations sont légitimes, nous croyons que le type d'exercice présenté ici est utile à ceux qui comparent la capacité des différentes économies à déplacer leurs ressources des usages moins productifs à ceux qui le sont davantage. Bon nombre d'observateurs ont noté qu'une des raisons pour lesquelles l'économie américaine est devenue plus productive que son homologue canadienne est que celle-ci a élargi son secteur des technologies d'informations plus rapidement que celle du Canada. Cette observation et la préoccupation qui lui est associée tournent autour de la croyance que la capacité d'une économie à tirer avantage des nouvelles industries est aussi importante que la capacité à produire ce qu'elle produit déjà de la façon la plus efficiente possible.

Il y a une autre raison pour laquelle la procédure de la frontière utilisée ici donne des résultats utiles même en présence des différences de structure industrielle. La procédure utilisée ici repose sur la mesure du changement. Nous sommes intéressés à savoir si les facteurs qui influencent l'efficience changent plus ou moins rapidement selon les pays. Il est intéressant de se demander si les changements associés à la révolution des technologies d'informations font évoluer les industries à différents rythmes. Supprimer l'effet de la structure industrielle reviendrait à ignorer le fait que les révolutions industrielles affectent les industries de façon différente et que le progrès réalisé par un pays dépend de sa capacité à réallouer les ressources vers des usages plus productifs.

Annexe : L'indice de Malmquist

Dans la présente annexe, nous exposons avec plus de détails techniques, l'indice que nous avons utilisé pour mesurer la croissance de la productivité multifactorielle. Cet indice est défini selon les fonctions distance de la production. Ces fonctions mesurent le rayon entre un vecteur de production donné et la production maximale possible. Cette production maximale se situe à la limite de la technologie de référence ou frontière de référence. Nous expliquons tout d'abord comment la frontière est construite à partir des données.

Nous illustrons cette méthode à l'aide de deux secteurs $i = 1, 2$ à chaque période $t = 1, 2, \dots, T$ qui utilisent les intrants $x_i^t = (x_{K,i}^t, x_{L,i}^t) \in R_+$ pour produire un seul produit $y_i^t \in R_+$. À partir d'une paire d'observations portant sur chaque période, nous construisons une technologie de production pour l'ensemble du secteur. Au lieu de préciser et d'estimer une fonction de production particulière, nous avons choisi de construire des technologies non-paramétriques, au moyen de l'analyse de l'activité. Cette méthode est aussi appelée méthode d'enveloppement des données (voir Charnes et al., (1978)).

Pour une période donnée t , et étant donné les observations pour chacun des deux secteurs $(x_{K,1}^t, x_{L,1}^t, y_1^t)$ et $(x_{K,2}^t, x_{L,2}^t, y_2^t)$, la technologie pour la période t est construite comme suit

$$S_{CRS}^t = \left\{ (x^t, y^t) : z_1^t y_1^t + z_2^t y_2^t \geq y^t, z_1^t x_{K,1}^t + z_2^t x_{K,2}^t \leq x_K^t, z_1^t x_{L,1}^t + z_2^t x_{L,2}^t \leq x_L^t, z_1^t, z_2^t \geq 0 \right\}. \quad (\text{A.1})$$

Cette formule prend en compte les rendements d'échelle constants (REC) et la libre allocation des intrants et de la production. Les niveaux de production peuvent être inférieurs ou égaux à des combinaisons linéaires de la production observée, c'est-à-dire que la production est allouée librement. Les niveaux des intrants peuvent être supérieurs ou égaux à des combinaisons linéaires des intrants observés, c'est-à-dire que les producteurs peuvent aussi allouer librement les intrants. La technologie et, par conséquent, les fonctions de distance qui y sont associées, sont indépendantes des unités de mesure et, même si les REC sont imposés dans chaque période, on permet d'avoir des technologies à REC différentes d'une période à l'autre.

Les variables de l'intensité z_1^t et z_2^t montrent à quel niveau d'intensité une activité donnée peut être utilisée aux fins de la production optimale. Selon la technologie à REC, il suffit que ces variables soient non négatives de manière à permettre à la technologie d'être représentée par un cône de données. Si nous ajoutons la contrainte voulant que la somme de z_1^t et z_2^t soit égale à un, la technologie qui en résulte prend la forme de combinaisons convexes des intrants et de produits observés, c'est-à-dire une technologie à rendements d'échelle variables (REV).

La fonction distance de la production pour à période t peut être définie comme suit (pour plus de détails, voir Shephard, 1970 ou Färe, 1988) :

$$\begin{aligned}
 D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t) &= \min \left\{ \theta : \left(x_i^t, \frac{y_i^t}{\theta} \right) \in S_{CRS}^t \right\} \\
 &= \left[\max \left\{ \theta : \left(x_i^t, \theta y_i^t \right) \in S_{CRS}^t \right\} \right]^{-1} \\
 &= \left[F_o^t(x_i^t, y_i^t) \right]^{-1}.
 \end{aligned} \tag{A.2}$$

Dans l'équation (A.2), $F_o^t(\cdot)$ représente la mesure de l'efficacité technique axée sur la production de Farrell (1957). Ainsi, l'équation (A.2) montre que la fonction de distance et la mesure de l'efficacité technique de Farrell sont équivalentes. Ce fait est important, puisque l'indice de productivité est décomposé en deux composantes, l'une mesurant le changement sur le plan de l'efficacité et l'autre sur le plan du progrès technologique. Cet indice est connu sous le nom d'indice de Malmquist. Il a été exposé pour la première fois en tant qu'indice théorique par Caves, Christensen et Diewert (1982) (CCD), qui l'ont nommé indice de productivité (fondé sur la production) de Malmquist d'après Sten Malmquist qui avait montré plutôt comment construire des indices de quantité comme ratios des fonctions distance (voir Malmquist, 1953).

À la suite des travaux de Färe et al. (1994), l'indice de variation de la productivité de Malmquist est défini comme suit :

$$M_o(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}, x_i^t, y_i^t) = \left[\frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \cdot \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}. \tag{A.3}$$

Cet indice est la moyenne géométrique de deux indices de productivité de Malmquist, tels que définis par Caves et al. (1982) (CCD), soit :

$$M_{CCD}^t = \frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \tag{A.4}$$

et

$$M_{CCD}^{t+1} = \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)}. \tag{A.5}$$

Une importante caractéristique de la version de l'indice de Malmquist de Färe et coll. (1994), équation (A.3), est que l'indice peut être décomposé en deux composantes indépendantes l'une de l'autre, soit le changement sur le plan de l'efficacité (ECH_i^t) et le progrès technologique (TCH) :

$$ECH_i^t = \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \tag{A.6}$$

$$TCH_i^t = \left[\frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \cdot \frac{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (A.7)$$

Il convient de signaler que l'équation (A.6) est équivalente au ratio de l'efficacité technique de Farrell durant la période t divisé par l'efficacité technique de Farrell durant la période $t+1$, tandis que l'équation (A.7) est la moyenne géométrique de l'évolution technologique observée au niveau des intrants x^{t+1} et l'évolution technologique évaluée à x^t . Ainsi, l'équation (A.3) peut être formulée comme suit :

$$M_o(i, t, t+1) = MALM_i^t = ECH_i^t \times TCH_i^t \quad (A.8)$$

et on peut calculer pour chaque branche d'activité i les trajectoires dans le temps de la productivité, du changement sur le plan de l'efficacité et du progrès technique.

Bibliographie

Baldwin, J. R. 1992. « Industry Efficiency and Plant Turnover in the Canadian Manufacturing Sector. » in R. E. Caves (Ed.), *Industrial Efficiency in Six Nations*, Chapter 17, MIT Press.

Baldwin, J. R. et T. Harchaoui. 2001. « Précision des mesures de la productivité, » Dans Baldwin, J. R. et al. *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, N° 15-204-XPF au catalogue, Ottawa, chapitre. 3.

Baldwin, J. R. et T. Harchaoui (eds) 2003. Aggregate Productivity Growth 2002. Catalogue No. 15-204. Ottawa, Statistique Canada.

Braun, N. et J. Townsend. 2002. « Efficiency and Dynamics in Canadian Manufacturing. » en cours.

Caves, D., L. Christensen, et W.E. Diewert. 1982. « The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity. » *Econometrica* 50: 1390-414.

Charnes, A., W.W. Cooper, W.W. et E. Rhodes 1978. « Measuring the Efficiency of Decision Making Units. » *European Journal of Operational Research* 2: 429-44.

Domar, E. 1961. « On the Measurement of Technical Change. » *Economic Journal* 71: 709-729.

Färe, R. 1988. *Fundamentals of Production Theory*, Springer-Verlag, Heidelberg.

Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren et P. Roots. 1989. « Productivity Developments in Swedish Hospitals; A Malmquist Output Index Approach. » Discussion Paper No. 89-3, Southern Illinois University.

Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris et Z. Zhang. 1994. « Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. » *American Economic Review* 84: 66-83.

Farrell, M.J. 1957. « The Measurement of Productive Efficiency » *Journal of Royal Statistical Society*, Series A, General, 120: 253-81.

Malmquist, S. 1953. « Index Numbers and Indifference Curves. » *Trabajos de Estadística* 4: 209-42.

OCDE 2001. Mesurer la productivité : Manuel de l'OCDE : mesurer la croissance de la productivité par secteur et pour l'ensemble de l'économie Statistics Directorate, Directorate for Science, Technology and Industry, 149 p.

Shephard, R.W. 1970. *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press