

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

VARIATION DE PRODUCTIVITÉ ET RENDEMENTS
D'ÉCHELLE EN DEA :
L'INTÉGRATION DE LA RÉGLEMENTATION

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉCONOMIE

PAR
JEAN-PATRICE QUESNEL

SEPTEMBRE 2006

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je ne peux pas présenter ce mémoire en passant sous silence l'incommensurable apport de mon directeur de mémoire, M. Pierre Ouellette. Par son dévouement et sa passion pour la transmission de son savoir, il m'a permis de me réconcilier avec la partie empirique de l'économie et de développer des outils sans conteste nécessaires pour un économiste. Je ne peux non plus passer outre MM. Frédéric Broussau et Patrick Petit pour m'avoir facilité la tâche grâce au superbe travail qu'ils ont accompli avant mon arrivée !

De plus, je remercie du fond de mon cœur ma moitié, Ethel, qui m'a fait découvrir un autre côté de ma vie, m'a soutenu tout au long de la rédaction de ce mémoire et qui, je l'espère, le fera encore longtemps.

Finalement, je dois remercier tous les professeurs qui m'ont enseigné, que ce soit durant mon baccalauréat ou ma maîtrise, pour m'avoir donné la piqûre de l'économie et m'avoir ouvert une brèche dans l'immense masse des applications de la science économique. Ils m'ont tous aidé à constater que l'économie est bien plus que ce que je croyais au départ.

TABLES DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VI
RÉSUMÉ	VII
CHAPITRE I	5
PRODUCTIVITÉ, EFFICIENCE ET AUTRES NOTIONS CONNEXES.....	5
1.1 LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS	5
1.2 LA DÉCOMPOSITION DE LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS.....	7
1.2.1 <i>Les rendements d'échelle</i>	7
1.2.2 <i>L'efficacité</i>	9
1.2.3 <i>Intrants quasi-fixes</i>	9
1.2.4 <i>Investissement</i>	12
1.2.5 <i>La réglementation</i>	12
1.3 RÉSUMÉ.....	17
CHAPITRE II	18
INDICE DE VARIATION DE LA PRODUCTIVITÉ DE MALMQUIST	18
2.1 L'INDICE	18
2.2 INDICE DE PRODUCTIVITÉ DE MALMQUIST ET PROGRÈS TECHNIQUE DE SOLOW	20
2.3 FONCTION DE DISTANCE	21
2.3.1 <i>Indice de variation de productivité de Malmquist et inefficience</i>	22
2.3.2 <i>Indice de variation de productivité de Malmquist et intrants quasi-fixes</i>	23
2.3.3 <i>Indice de variation de productivité de Malmquist et investissement</i>	25
2.3.4 <i>Indice de variation de productivité de Malmquist et rendements d'échelle variables</i> ..	25
2.3.5 <i>Indice de variation de productivité de Malmquist et réglementation</i>	28
2.4 INDICE DE MALMQUIST A FRONTIÈRE SÉQUENTIELLE.....	31
2.5 RÉSUMÉ.....	33

64	5.2.4. Investissement et capital.....
62	5.2.3. La réglementation.....
60	5.2.2. Les intrants.....
59	5.2.1. Les capitaux.....
59	5.2. LA BASE DE DONNÉES.....
58	5.1.2. Réglementation de la sécurité.....
56	5.1.1. Réglementation économique.....
55	5.1. L'INDUSTRIE DES TRANSPORTS AÉRIENS CANADIENS.....
55	APPLICATION.....
55	CHAPITRE V.....
54	4.5. RÉSUMÉ.....
53	4.4. RENDIMENTS D'ÉCHELLE TECHNOLOGIQUES OU RÉGLEMENTAIRE ?.....
50	4.3. RENDIMENTS D'ÉCHELLE ET RÉGLEMENTATION.....
49	4.2. RENDIMENTS D'ÉCHELLE ET INVESTISSEMENT.....
43	4.1. HISTORIQUE.....
43	LES RENDIMENTS D'ÉCHELLE EN <i>DVA</i>
43	CHAPITRE IV.....
42	3.5. RÉSUMÉ.....
40	3.4. L'INTÉGRATION EN <i>DVA</i>
38	3.3. PROGRAMMATION LINÉAIRE.....
35	3.2. PROGRAMME DE <i>DVA</i>
35	3.1. HYPOTHÈSE DE <i>DEA</i>
34	LE <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i>
34	CHAPITRE III.....

CHAPITRE VI	66
RÉSULTATS	66
6.1 INDICES ET SOUS-INDICES DE MALMQUIST	67
6.1.1 <i>Période réglementée</i>	67
6.1.2 <i>Période de transition</i>	69
6.1.3 <i>Période déréglementée</i>	71
6.2. LES RENDI-MENTS D'ÉCHELLE.....	73
6.3. COMPARAISON ENTRE MALMQUIST AVEC ET SANS RÉGLEMENTATION.....	74
CONCLUSION.....	76
BIBLIOGRAPHIE.....	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Représentation de la fonction de production réglementée.....	13
Figure 2.1	Représentation des fonctions de distance	21
Figure 2.2	Représentation des différentes composantes.....	26
Figure 3.1	Représentation de la libre-disposition des intrants et extrants.....	37
Figure 3.2	Approximation de la frontière de production	37
Figure 3.3	Infaisabilité des fonctions de distance en VRS.....	41
Figure 4.1	Rendements d'échelle d'une firme efficiente.....	48
Figure 5.1	Évolution de l'indice multilatéral des extrants, 1960-2002.....	60
Figure 5.2	Évolution de la force de travail, 1960-2002	61
Figure 5.3	Évolution de la consommation d'énergie, 1960-2002	61
Figure 5.4	Évolution des dépenses en matériel	62
Figure 5.5	Indice de réglementation économique, 1960-2002	63
Figure 5.6	Indice de réglementation sur la sécurité, 1960-2002	64
Figure 5.7	Évolution de la valeur du capital, 1960-2002.....	64
Figure 5.8	Évolution des dépenses d'investissement, 1960-2002.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 6.1	Indice de Malmquist lors de la période réglementée.....	68
Tableau 6.2	Sous-indices d'effcience et de changement technologique	69
Tableau 6.3	Indice de Malmquist lors de la période de transition	70
Tableau 6.4	Sous-indices d'effcience et de changement technologique	70
Tableau 6.5	Indice de Malmquist lors de la période déréglementée	72
Tableau 6.6	Sous-indices d'effcience et de changement technologique	72
Tableau 6.7	Rendements d'échelle réglementés dans l'industrie	73
Tableau 6.8	Comparaison de Malmquist avec et sans la nouvelle contrainte.....	74

RÉSUMÉ

Ce mémoire est une analyse à la fois théorique et empirique du comportement de la méthode du *Data Envelopment Analysis* (DEA) en présence de réglementation. Deux aspects de cette méthode sont explorés, l'indice de productivité de Malmquist et les rendements d'échelle. Dans un premier temps, nous nous sommes attardés à décrire la mesure conventionnelle de la productivité présentée par Solow en y ajoutant différents facteurs l'influençant, soit les rendements d'échelle non-constants, l'inefficience, les intrants quasi-fixes, l'investissement et la réglementation. Nous y dérivons aussi l'équation faisant le lien théorique entre les rendements d'échelle technologiques et les rendements d'échelle réglementés en s'assurant de bien différencier les deux concepts. Dans un deuxième temps, nous présentons un indice empirique de la mesure de productivité, l'indice de productivité de Malmquist. Suivant la chronologie de la littérature existante, nous intégrons l'inefficience, les intrants quasi-fixes, l'investissement, les rendements d'échelle non-constants et finalement, un pas en avant dans la littérature, la réglementation. Dans un troisième temps, la méthode du DEA est présentée brièvement dans ses qualités et ses défauts. Dans un quatrième temps, nous nous penchons sur le calcul des rendements d'échelle par la méthode du DEA et sur les implications, à la fois méthodologiques et au niveau de l'interprétation, de l'intégration de l'investissement et de la réglementation. Finalement, nous procédons à une analyse de la productivité des transporteurs aériens canadiens en rapport avec la déréglementation du secteur au fil des ans.

La réglementation a joué un rôle important dans l'industrie des transporteurs aériens au Canada en ralentissant la croissance de l'efficacité de près de 10 % en moyenne en empêchant l'ajustement optimal des intrants. Le mécanisme par lequel cette diminution de réglementation s'est opérée par le biais de la variation de l'inefficience, i.e. de la gestion des intrants (quasi-fixes et variables). De plus, nous avons montré que la taille optimale de l'industrie fut atteinte avant même la vague de fusion au milieu des années 80, ce qui tend à montrer que ces fusions ne furent pas faites pour profiter de rendements d'échelle encore croissants.

INTRODUCTION

Dans le monde économique moderne, le changement technologique joue un rôle prépondérant dans l'évolution de la richesse. Toutefois, comment déterminer quel système permet de générer le plus de croissance ? Avant de se poser ces questions de nature encore idéologique, il nous faut développer des outils méthodologiques pertinents et performants afin de nous donner des bases solides pour analyser ces questions.

La réponse à cette question passe par la capacité des entreprises à être concurrentielles et à produire le plus possible à partir des ressources (intrants) dont elles disposent, mais surtout de notre capacité à analyser quantitativement ce qui se passe devant nos yeux en tenant compte de l'environnement économique de ces firmes.

Dans l'état actuel des connaissances, la réponse est purement empirique ou alors, malheureusement, repose en bonne partie sur des *a priori* idéologiques. On n'a qu'à penser aux réflexions sur la productivité des organismes gouvernementaux souvent entendues, que ce soit dans les lignes ouvertes, dans les journaux ou à des paliers plus élevés, avec les « réingénieries » de l'État et les partenariats publics-privés (*PPP*). Ces commentaires et ces actions sont-ils justifiés ? Pour répondre à ces questions, on ne peut guère se permettre de se baser sur des présomptions ou des expériences purement anecdotiques pour juger du réel état des choses, les conséquences pouvant être très importantes sur les décisions qui s'en suivent. Trop souvent, les croyances idéologiques l'ont emporté sur la rigueur scientifique.

Les années 80 ont été le moment où des réformes importantes du cadre réglementaire occidental se sont produites sous le prétexte que le marché était un outil privilégié pour réguler les échanges entre consommateurs et d'atteindre plus facilement une plus grande efficacité. Le marché permettant de mieux satisfaire les besoins de la population. L'industrie des transporteurs aériens canadiens en est l'illustration. *A posteriori*, il est notable que ces variations dans le cadre réglementaire aient reposé sur des idéologies et non sur des bases

empiriques ou scientifiques. Cette époque nous mène donc à nous interroger sur l'impact des interventions gouvernementales, donc de la réglementation, sur notre économie.

Une partie de l'explication de cet état de fait provient certainement en partie des lacunes méthodologiques permettant de mesurer l'impact réglementaire. On peut penser que l'idéologie ne s'est exprimée que parce que l'état des connaissances ne permettait pas de faire mieux. C'est pourquoi il est primordial de développer des méthodes d'analyse les plus objectives et précises possibles.

Le but de ce mémoire est précisément de mettre sur pied un appareil méthodologique permettant d'identifier les sources et les déterminants de la productivité des firmes. Par déterminants, nous entendons les facteurs qui influencent la capacité des firmes à utiliser efficacement les ressources à leur disposition dans un environnement économique qui diffère d'une firme à l'autre.

Le traitement de ce sujet fait appel à une littérature économique touchant cinq courants, soit le changement technologique, la théorie des nombres indices, l'analyse de la productivité, l'analyse de l'efficacité et l'estimation de frontière de production tout en rejoignant la théorie de la croissance. La base de toute recherche remonte au travail pionnier de Solow (1957) concernant le progrès technique afin de définir à la base ce qu'est le progrès technique et à partir de quoi il est déterminé (changement technologique, rendements d'échelle, variation de l'inefficacité, etc.). À partir de cette idée, nous définissons notre notion de la productivité. Ce travail consiste en quelque sorte à faire la comptabilité de la croissance (*growth accounting*) et non pas à en expliquer les mécanismes. Ceci nous permettra d'arriver à un état de fait plus complet et plus précis comparativement à ce qui a été fait jusqu'à présent.

Afin de quantifier ces déterminants, des outils relevant de la recherche opérationnelle seront utilisés. Une grande littérature remontant à Farrell (1957) a culminé en 1978 (Charnes *et al.*) avec l'éclosion d'une nouvelle méthode d'estimation non paramétrique répondant au besoin des chercheurs sur la productivité à la fois par sa facilité et son caractère intuitif. Cette méthode est maintenant connue sous le nom de *Data Envelopment Analysis* (ci-après DEA)

permettant de calculer l'inefficience technique ou allocative d'une unité de décision¹. Cette méthode n'étant pas une fin en soi, nous la mettrons en pratique grâce à l'adaptation de l'indice de productivité de Malmquist, outil recevant une attention de plus en plus grande pour chiffrer les variations des différents éléments constituant la productivité totale des facteurs (ci-après *PTF*)². Cette adaptation consistera en l'ajout de la composante de réglementation dans l'indice de Malmquist. Celle-ci aura justement pour objectif de faciliter les prises de décisions des différentes instances de réglementation en quantifiant l'impact de leurs décisions passées.

Afin de mieux comprendre les apports de ce mémoire, il nous faut faire un bref historique de la théorie économique touchant la productivité multifactorielle. Solow (1957) constitue un jalon essentiel quant aux liens existant entre la productivité et la technologie. L'appareil théorique de Solow repose sur l'hypothèse que les rendements d'échelle sont constants. Les chercheurs ont commencé, dès les années 70 à s'intéresser à l'impact qu'ont les rendements d'échelle sur la mesure de la productivité. Il s'est avéré que le relâchement de l'hypothèse de la constance des rendements d'échelle remet en cause la partie empirique de la contribution de Solow. Il n'est plus possible de recourir à des indices pour mesurer la productivité « sur le dos d'une enveloppe ». Le recours à l'économétrie a été systématique afin de distinguer l'apport des rendements non constants d'autres facteurs comme le changement technologique. Deux problèmes majeurs étaient alors présents dans la littérature : les firmes étaient toutes supposées efficaces et l'économétrie exigeait des hypothèses sur le choix des formes fonctionnelles et sur la structure stochastique des erreurs.

Dans les années 80 et 90, les chercheurs se sont attaqués à ces problèmes. Bien qu'introduit dès 1957 par Farrell, il faudra attendre le début des années 80 pour que la méthode du DEA soit perçue comme une alternative aux méthodes économétriques. Le DEA permet d'éliminer les hypothèses sur la forme fonctionnelle et sur la structure stochastique des résidus. Le DEA a aussi permis d'incorporer l'inefficience des firmes dans le calcul de la productivité multifactorielle au début des années 90.

¹ DMU : *decision making unit*. Soit une firme, un secteur ou un pays dépendamment si nous sommes au niveau macroéconomique ou microéconomique.

² Aussi appelée productivité multifactorielle

Toutefois, des hypothèses fortes sur l'environnement économique dans lequel les firmes évoluent sont encore présentes dans la littérature. Dans ce mémoire, nous proposons de relâcher l'hypothèse voulant que les firmes évoluent dans un environnement non réglementé. Nous intégrerons la réglementation. Incorporer cet aspect important nous force à faire face à des difficultés déjà résolues dans des contextes plus simples. Par exemple, il nous faut redéfinir précisément ce qu'est la mesure des rendements d'échelle puisque la réglementation vient perturber la relation intrants-extrants à la base des rendements d'échelle. En plus d'une relation purement technologique, il existe une autre relation où cette première sera modifiée par l'environnement réglementaire. Nous montrerons dans ce mémoire comment tenir compte du facteur réglementaire et quels sont les liens entre les deux concepts de rendements d'échelle (technologiques et réglementés), tout ceci dans le contexte de la méthode DEA.

Une application de ce nouvel outil sera ensuite présentée dans les chapitres V et VI. Cette application portera sur l'industrie des transporteurs aériens canadiens entre 1960 et 2002. Les résultats ne serviront qu'à illustrer la nécessité de prendre en compte notre nouvel outil dans les industries réglementées. Cette application ne se veut pas une analyse exhaustive de l'industrie aérienne canadienne, mais plutôt une démonstration de l'impact de notre nouvel indice.

CHAPITRE I

PRODUCTIVITÉ, EFFICIENCE ET AUTRES NOTIONS CONNEXES

Pourquoi s'intéresser à la productivité des entreprises ? Elle constitue le pilier de la croissance économique d'une société. Ce concept est souvent servi à toutes les sauces sans que l'on sache vraiment ce qui l'influence. Plusieurs facteurs y jouent un rôle. Le premier à venir à l'esprit est l'impact des changements technologiques, une croissance technologique amenant une augmentation de la productivité, explication amenée par Solow en 1957. Ce n'est toutefois pas le seul facteur y jouant un rôle. Nous pouvons penser à des facteurs tels que les rendements d'échelle, la nature des intrants, l'efficacité des travailleurs ou encore la réglementation en vigueur dans le marché. Nous tenterons d'éclairer le rôle que joue chacun des facteurs et incidemment sur lesquels l'emphase devra être mise pour tenter de stimuler la productivité des firmes.

Toutefois, dans la littérature, plusieurs facteurs ont été omis lorsque venait le temps d'expliquer ce phénomène. Nous tenterons donc de pallier à ce manque en décomposant le plus précisément possible la productivité à un niveau microéconomique. La littérature a principalement abordé les questions d'efficacité, de changements technologiques, d'impact des intrants quasi-fixes et finalement, l'impact des rendements d'échelle. Dans ce travail, afin d'essayer de mieux comprendre l'impact que joue l'intervention étatique sur la productivité, nous nous intéressons à un facteur supplémentaire, la réglementation.

1.1 La productivité totale des facteurs

Avant de penser à calculer l'impact des différents facteurs sur la *PTF*, il nous faut formaliser ce qu'est la *PTF*. Pour ce faire, nous faisons appel à la mesure de progrès technique de Solow (1957). Ce dernier met en évidence un certain paramètre représentant le déplacement

de la fonction de production d'une économie³. Ce paramètre, $A(t)$, est une sorte de terme fourre-tout dans lequel on met tout ce qui déplace la fonction de production. Il faut donc être capable de décomposer ce paramètre en ses différentes composantes afin d'isoler ce qui constitue la variation de la productivité, définie par \dot{PTF}/PTF . Dérivons alors l'expression de Solow à partir de $y=f(x, t)$, soit l'approche primale. Premièrement, dérivons par rapport à t et divisons par y .

$$\frac{\dot{y}}{y} = \sum_i f_{x_i} \times \dot{x}_i \times \frac{1}{y} + f_t \times \frac{1}{y}. \quad (1-1)$$

Posons $\dot{A}/A = f_t \times 1/y$, le progrès technique représenté par la variation des extrants non attribuables aux variations dans la quantité d'intrants utilisée:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i f_{x_i} \times \dot{x}_i \times \frac{1}{y}. \quad (1-2)$$

Sous l'hypothèse de minimisation des coûts, nous obtenons par les conditions de premier ordre la condition suivante :

$$w_i = \lambda \times f_{x_i}. \quad (1-3)$$

De plus, par le théorème de l'enveloppe, on sait que :

$$\lambda = \partial C / \partial y \quad \rightarrow \quad f_{x_i} = w_i / C, \quad (1-4)$$

où C est la fonction de coût.

En combinant (1-4) à (1-2), en multipliant par C/C et x_i/x_i et en supposant des rendements d'échelle constants, on obtient une définition du progrès technique:

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}, \quad (1-5)$$

ou plus généralement, en considérant le cas de plusieurs extrants⁴ :

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} = \sum_m S_m \frac{\dot{y}_m}{y_m} - \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}, \quad (1-6)$$

³ Pour Solow, la fonction de production prend la forme suivante : $A(t) \times f(x, t)$.

⁴ Nous poursuivrons le reste du texte en ne considérant qu'un seul extrant afin d'alléger l'écriture.

où S_i est la part de l'intrant i dans le total des dépenses en intrant x_i et S_m la part de l'extrant m dans les revenus de la firme. Cette équation constitue la vision traditionnelle de ce qu'est le taux de croissance de la PTF en présence d'intrants variables, i.e. que $\dot{A}/A = P\dot{T}F/PTF$.

Cette équation est très intuitive. Elle explicite le fait que la variation de productivité soit égale à la variation relative de l'extrant soustrait de la variation des intrants, les deux pondérés par leur poids relatif dans la production totale de la firme. Ce qui n'est pas expliqué par la variation des intrants est attribuable à une variation de la productivité, ou pour conserver la terminologie de Solow, au progrès technique. Autrement dit, la variation de la productivité est une mesure résiduelle.

Lasserre et Ouellette (1985) montrent que ceci est vrai seulement sous certaines hypothèses restrictives telles que des rendements d'échelle constants, la capacité de la firme à ajuster instantanément la quantité de chacun des intrants à son niveau optimal (les intrants sont dits « variables ») et que seule la technologie restreigne les décisions de la firme. Il faut donc trouver une forme plus générale reflétant mieux la réalité. Nous proposons donc d'intégrer les économies d'échelle, les intrants quasi-fixes, la réglementation et l'inefficience à cette mesure. Il est assez aisé de montrer, sous hypothèse que les firmes minimisent leur coût, que $P\dot{T}F/PTF$ deviendra fonction de $(\varepsilon_{CY}, x, k, E, r)$, où ε_{CY} est l'élasticité d'échelle, k est le vecteur des intrants quasi-fixes, E est un terme reflétant l'inefficience et r est un vecteur de variables représentant la force et la nature des réglementations.

1.2 La décomposition de la productivité totale des facteurs

1.2.1 Les rendements d'échelle

Dans une série d'industries, le rôle que jouent les rendements d'échelle est primordial puisque ceux-ci peuvent amener, par exemple, la création de monopole naturel. Ceci est le cas dans les industries où les coûts fixes sont très élevés, ce qui exige une grande production pour couvrir ceux-ci. La diminution du coût moyen avec le niveau de production a alors un impact sur les résultats observés. Il faut donc en tenir compte dans l'analyse des données. Dans le contexte dans lequel nous travaillons, il devient important de dissocier rendements

d'échelle, deux concepts souvent confondus au niveau empirique. Ce concept apparaîtra dans l'équation (1-2) de la façon suivante :

$$f_x = w/C_y \quad \rightarrow \quad \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i \frac{w_i x_i / C}{C_y y / C} \frac{\dot{x}_i}{x_i}$$

où $C_y \times y / C = \varepsilon_{cy}$ est l'élasticité d'échelle, la variation relative du coût total suite à la variation relative d'une unité d'extrant. Après manipulation, on obtient l'équation suivante :

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{y}}{y} - \varepsilon_{cy}^{-1} \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}. \quad (1-7)$$

Cette équation diffère de celle présentée en (1-5) de par le terme ε_{cy} représentant l'élasticité d'échelle (élasticité coût-extrant) qui supposé égale à 1 dans (1-5).

On peut montrer que dans le cas à un seul output, la réciproque de l'élasticité d'échelle, ε_{cy}^{-1} , est la mesure locale des rendements d'échelle, i.e., $\varepsilon_{cy}^{-1} = RE$.

Il est possible de récupérer le taux de croissance de *PTF* en additionnant $\sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i} - \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}$ à

l'équation (1.7). Sachant que $\frac{PTF}{PTF} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}$, nous obtenons :

$$\frac{PTF}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} - (1 - RE) \times \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i}. \quad (1-8)$$

Cette reformulation de (1-6) nous apprend que les rendements d'échelle de la firme influencent notre interprétation de la variation de *PTF*. Il n'y a plus d'équivalence exacte entre la variation de *PTF* et le changement technologique sauf si on est en rendements d'échelle constants. Si les rendements d'échelle sont croissants, on revoit à la baisse l'estimation de la variation de *PTF* et inversement, si les rendements d'échelle sont décroissants, on la revoit à la hausse.

1.2.2 L'efficience

L'efficience est la capacité d'une firme à ne pas sous-utiliser ses ressources. L'objectif est d'utiliser tous les intrants au maximum de leur capacité. Une firme est inefficente lorsqu'elle se situe sous la frontière des possibilités de production (ci-après *FPP*). Le concept d'efficience que nous utiliserons dans ce travail mesure la distance par rapport à la *FPP*.

L'intégration de l'inefficience dans le calcul de la variation de *PTF* se fera en multipliant le facteur E , efficience, à la fonction de production, ce qui donne, $y = E \times f(x, l)$. Cet ajout se soldera par l'apparition d'un terme à l'équation en (1-8) :

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} - (1 - RE) \sum_i S_i \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \frac{\dot{E}}{E} \quad (1-9)$$

On constate alors qu'une diminution de l'efficience, $\dot{E} < 0$, fera diminuer la *PTF* et qu'au contraire une augmentation de l'efficience la fera augmenter.

1.2.3 Intrants quasi-fixes

Deux types d'intrants sont considérés dans ce travail: les intrants variables (x_i) et les intrants quasi-fixes (k_j). Les intrants variables sont ceux pouvant être ajustés au niveau optimal en tout temps et les intrants quasi-fixes, ceux ne pouvant l'être qu'après un certain temps, empêchant ainsi un producteur d'être à son niveau optimal de production à tout moment. Ce type d'intrants devient important en analyse de la productivité puisqu'il crée, en apparence, une certaine inefficience. Ouellette et Vierstraete (2004) ont montré que l'intégration de ces intrants amène une diminution de l'inefficience estimée, de là la pertinence de considérer ce type d'intrant.

Une embûche à l'intégration de ce facteur constitue le coût de celui-ci. *A priori*, la valeur d'un intrant quasi-fixe n'est pas observable directement dans les données. En effet, deux concepts de coûts sont associés à ce facteur, le coût de marché et le coût implicite du capital. Le premier représente le prix de marché qu'une firme aurait à payer pour la location d'une

unité supplémentaire du facteur alors que le deuxième est le prix que la firme serait prête à payer pour obtenir une unité supplémentaire de ce même facteur.

L'intégration du vecteur k représentant les intrants quasi-fixes se fera directement dans la fonction de production, $y = E \times f(x, k, t)$. Afin d'intégrer les intrants quasi-fixes, il nous faut redéfinir l'équation de base de Solow, soit l'équation (1-5). Celle-ci est maintenant égale, en présence d'intrants quasi-fixes, à :

$$\frac{P\dot{T}F}{PTF} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i S_{x_i} \frac{\dot{x}_i}{x_i} \implies \frac{P\dot{T}F}{PTF} = \frac{\dot{y}}{y} - \sum_i S_{x_i} \frac{\dot{x}_i}{x_i} - \sum_j S_{k_j} \frac{\dot{k}_j}{k_j}, \quad (1-10)$$

où $S_{x_i} = w_{x_i} x_i / CT$ représente la part de l'intrant variable i dans les coûts totaux (CT)
 $S_{k_j} = w_{k_j} k_j / CT$ la part de l'intrant quasi-fixe j dans les coûts totaux pondérée par les coûts de marché,

$CT = \sum_i w_{x_i} x_i + \sum_j w_{k_j} k_j$, est le coût total évalué aux prix de marché, avec w_{k_j} le prix de marché de l'intrant quasi-fixe j .

Toutefois, suite à l'ajout des intrants quasi-fixes, il devient aussi nécessaire de redéfinir les rendements d'échelle. En effet, jusqu'à présent, les rendements d'échelle étaient représentés par ε_{cy} alors qu'avec l'ajout des intrants quasi-fixes, ce terme n'a plus la même interprétation. Ce terme ne représente plus que l'élasticité coût-extrant. Si nous voulons isoler l'impact des rendements d'échelle de la technologie, il faut les redéfinir. En présence d'intrants quasi-fixes, les rendements d'échelle deviendront égaux à :

$$RE = \varepsilon_{cy}^{-1} \left(1 - \sum_j \varepsilon_{ck_j} \right) = \varepsilon_{cy}^{-1} \left(1 - \sum_j \frac{z_j k_j}{C} \right), \quad (1-11)$$

où $\varepsilon_{ck_j} = -\frac{\partial C}{\partial k_j} \times \frac{k_j}{C}$ représente l'élasticité coût variable-intrants quasi-fixes,

z_j représente le prix implicite de l'intrant quasi-fixe j (N.B. $z_j = -\frac{\partial C}{\partial k_j}$),

$C = \sum_i w_{x_i} x_i$ est le coût variable.

Suite aux redéfinitions des rendements d'échelle et de la variation de PTF , la nouvelle équation représentant la variation de la productivité en présence de rendements d'échelle non-constants, d'inefficience et d'intrants quasi-fixes deviendra :

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} + (RE - 1) \left[\sum_i S'_{x_i} \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j S'_{k_j} \frac{\dot{k}_j}{k_j} \right] + \left[\sum_i (S'_{x_i} - S_{x_i}) \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j (S'_{k_j} - S_{k_j}) \frac{\dot{k}_j}{k_j} \right] + \frac{\dot{E}}{E} \quad (1-12)$$

où $S'_{x_i} = \frac{w_{x_i} x_i}{CT^I}$: la part de l'intrant variable x_i dans les coûts totaux implicites (CT^I),

$S'_{k_j} = \frac{z_j k_j}{CT^I}$: la part de l'intrant quasi-fixe j dans les coûts totaux implicites (CT^I),

$CT^I = \sum_i w_{x_i} x_i + \sum_j z_j k_j$ où z_j est le prix implicite du capital.⁵

Le premier terme représente le changement technologique, le deuxième terme, l'impact de la non-constance des rendements d'échelle, le troisième terme, l'impact du déséquilibre de long terme de la firme sur les intrants quasi-fixes, et finalement, le quatrième terme, l'inefficience de la firme.

On voit alors que si les rendements d'échelle sont constants ($RE=1$), le deuxième terme de l'équation (1-12) disparaît. Ensuite, si les intrants quasi-fixes (k_j) sont à l'équilibre de long terme ($z_j = w_{k_j}$), CT et CT^I seront égaux, ce qui fera disparaître le troisième terme. On retrouvera alors une équation dans laquelle seulement le changement technologique et l'inefficience auraient un impact. Sous efficience, la variation de PTF sera égale au changement technologique, tel que Solow l'affirmait. Cette expression démontre que le déséquilibre de long terme des intrants quasi-fixes peut avoir un impact important sur la mesure de la productivité des firmes.

⁵ En toute rigueur, il serait plus approprié de parler de loyer implicite du capital puisqu'il s'agit du prix pour l'utilisation du stock de capital pendant une période.

1.2.4 Investissement

Lorsqu'une firme fait des investissements importants, elle monopolise une partie de ses ressources (intrants) dans la production d'autres choses que des extrants. Ceci a donc un impact sur la croissance de la production d'une firme. Une firme consacrant une bonne partie de ses ressources à ses investissements ne voit pas sa production croître à court terme, mais voit ceux-ci porter fruit dans le futur. Il devient donc important de corriger la variation de la *PTF* pour en tenir compte. En l'intégrant dans l'équation (1-12), nous obtenons :

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} + (RE - 1) \left[\sum_i S'_i \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left(S'_{k_j} \frac{\dot{k}_j}{k_j} + S'_{l_j} \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) \right] \\ + \left[\sum_i (S'_i - S_i) \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left((S'_{k_j} - S_{k_j}) \frac{\dot{k}_j}{k_j} + (S'_{l_j} - S_{l_j}) \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) \right] + \frac{\dot{E}}{E}$$

où S'_i représente la part de l'investissement dans les coûts totaux implicites., S_i représente la part de l'investissement dans les coûts totaux.

1.2.5 La réglementation

La réglementation peut prendre différentes formes dépendamment des industries. En aviation par exemple, sujet de notre application, des règles sur la sécurité (caractéristiques des appareils, nombre d'exams de routine, par exemple) et sur le nombre de transporteurs existent ou ont existé. D'autres règlements sur la pollution, le bruit ou sur la limitation des rentes peuvent exister. Cette question revêt donc une importance capitale puisqu'elle peut jouer un rôle sur les différentes décisions de la firme. Nous croyons qu'en proposant l'ajout de cette variable, nous serons en mesure d'offrir une décomposition plus complète des facteurs influençant la *PTF*.

L'intégration de cette variable se fait par l'entremise d'une fonction de production réglementée (f^R) et d'un vecteur de paramètres (r) représentant l'ensemble des variables affectant la réglementation, concept développé dans Lasserre et Ouellette (1994) et repris dans Ouellette et Vigeant (2000). L'intuition derrière l'idée des auteurs est que la fonction de

production réglementée est équivalente à la fonction de production « normale » réduite à l'ensemble des intrants permis par la réglementation. Plus formellement, définissons quatre fonctions ou ensembles :

$L(y) = \{x : f(x) \geq y\}$, l'ensemble des combinaisons d'intrants possibles,

$h_i(x, y, w, p, r) \leq 0$, un vecteur représentant l'ensemble de la réglementation,

$R_i(y, w, p, r) = \{x : h_i(y, x, w, p, r) \leq 0\}$, l'ensemble des combinaisons d'intrants respectant la contrainte réglementaire i ,

$R(y, w, p, r) = \bigcap_i R_i(y, w, p, r)$, l'ensemble des combinaisons d'intrants respectant l'ensemble des contraintes de réglementation i .

À partir de ces fonctions, nous pouvons définir plus formellement ce qu'est la fonction de production réglementée :

$$f^R(x, w, p, r) := \max \{y : x \in L(y) \cap R(y, w, p, r)\} \quad (1-13)$$

où $L(y) \cap R(y, w, p, r)$ représente l'ensemble dans lequel à la fois la réglementation et la fonction de production sont respectées.

Nous restreignons en quelque sorte l'ensemble des possibilités de production d'une firme pour faire en sorte que la réglementation soit respectée. Graphiquement, on peut représenter cette nouvelle fonction de production comme suit :

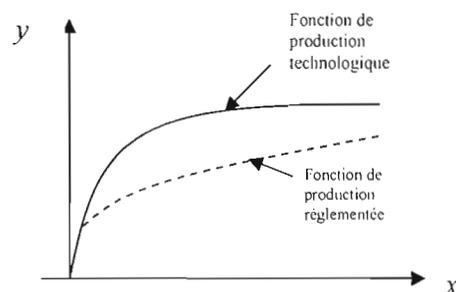


Figure 1.1 Représentation de la fonction de production réglementée

Plusieurs constatations découlent directement de cette fonction de production réglementée. Sans réglementation, nous travaillons avec la fonction de production f , alors qu'en présence de réglementation, nous travaillons avec la fonction de production f^R . Première incidence, les rendements d'échelle avec et sans réglementation sont différents. Avant toute chose, que sont les rendements d'échelle ? Les rendements d'échelle sont à la base une relation entre des intrants et des extrants modélisée à l'intérieur d'une fonction de production. Tel que défini plus haut, en présence de réglementation, on se retrouve en présence d'une fonction de production réglementée (f^R). Cette fonction de production réglementée nous mènera alors nécessairement vers des rendements d'échelle réglementés (RE^R), alors qu'avec une fonction non-réglementée, nous obtenons RE^T qui sont les rendements d'échelle que nous qualifierons de technologiques. Mais y a-t-il un lien entre RE^T et RE^R ? En ajustant les estimations pour tenir compte de l'environnement réglementaire dans lequel les firmes évoluent, il est possible de lier ces deux concepts. L'objectif ultime est donc de trouver le lien unissant la fonction de production réglementée à la fonction de production technologique et du même coup, trouver le lien entre RE^T et RE^R .

Proposition 1

L'équation liant les rendements d'échelle réglementée et les rendements d'échelle technologiques a la forme suivante :

$$RE^R - RE^T = \psi \times \left[RE^R \times \frac{\partial h}{\partial y} y + \frac{\sum_i \frac{\partial h}{\partial x_i} x_i + \sum_j \frac{\partial h}{\partial k_j} k_j}{\left(C_j^R + \psi' \frac{\partial h}{\partial y} \right) y} \right]$$

où ψ est le vecteur des multiplicateurs de Lagrange du problème d'optimisation associés aux contraintes de réglementations (h) et h le vecteur des contraintes réglementaires.

Preuve :

Prenons une firme minimisant ses coûts dans un marché réglementé :

$$\begin{aligned} \min C^R &= \min w'x \quad \text{s.à} \\ f(x, y, k, t) &= 0 \\ h_i(x, y, k, w, p, r, t) &\geq 0 \quad \forall i. \end{aligned}$$

D'où le lagrangien suivant :

$$L = w'x - \lambda f(x, y, k, t) - \psi' h(x, y, k, w, p, r, t),$$

où ψ est le vecteur des multiplicateurs de Lagrange associés à chacune des contraintes réglementaires et h est le vecteur de ces mêmes contraintes.

Cela est équivalent au problème d'optimisation suivant :

$$\begin{aligned} \min C^R &= \min w'x \quad \text{s.à} \\ f^R(x, y, k, w, p, r, t) &= 0 \end{aligned}$$

qui amène le Lagrangien suivant :

$$L = w'x - \mu f^R(x, y, k, w, p, r, t).$$

De ces deux problèmes d'optimisation on trouve les équivalences suivantes :

$$\frac{\partial C^R}{\partial y} = -\lambda \frac{\partial f}{\partial y} - \psi' \frac{\partial h}{\partial y} = -\mu \frac{\partial f^R}{\partial y} \quad (A)$$

et

$$\frac{\partial C^R}{\partial k_j} = -\lambda \frac{\partial f}{\partial k_j} - \psi' \frac{\partial h}{\partial k_j} = -\mu \frac{\partial f^R}{\partial k_j}. \quad (B)$$

Ainsi que la condition de premier ordre suivante :

$$w_i = \lambda \frac{\partial f}{\partial x_i} + \psi' \frac{\partial h}{\partial x_i} = \mu \frac{\partial f^R}{\partial x_i}. \quad (C)$$

Or, nous savons par définition que les rendements d'échelle technologiques sont, en présence d'intrants quasi-fixes, égaux à :

$$RE^T = -\frac{\sum_i \frac{\partial f}{\partial x_i} x_i + \sum_j \frac{\partial f}{\partial k_j} k_j}{\frac{\partial f}{\partial y} y}. \quad (D)$$

En insérant les relations (A), (B) et (C) dans (D), nous obtenons après quelques manipulations :

$$RE^R - RE^T = \psi' \times \left[RE^R \times \frac{\partial h}{\partial y} y + \frac{\sum_i \frac{\partial h}{\partial x_i} x_i + \sum_j \frac{\partial h}{\partial k_j} k_j}{\left(C_y^R + \psi' \frac{\partial h}{\partial y} \right) y} \right],$$

la différence entre les rendements d'échelle réglementés et les rendements d'échelle non-réglementés. Cette différence est donc fonction de la forme des contraintes de réglementation (h) et de leur impact sur les intrants et les extrants.

CQFD \square

Cette équation nous montre que la réglementation influence la mesure de productivité des firmes à la fois par les rendements d'échelle et par l'impact de la réglementation directement sur les facteurs de production. Notre nouvelle formulation de la variation de la PTF devra donc tenir compte de ces impacts. La variation de la PTF devient :

$$\begin{aligned}
\frac{\dot{PTF}}{PTF} &= \frac{\dot{A}}{A} + \left[\sum_i (S'_{x_i} - S_{x_i}) \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left((S'_{k_j} - S_{k_j}) \frac{\dot{k}_j}{k_j} + (S'_{l_j} - S_{l_j}) \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) \right] \\
&+ (RE^T - 1) \left[\sum_i S'_{x_i} \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_l \left(S'_{k_l} \frac{\dot{k}_l}{k_l} + S'_{l_l} \frac{\dot{l}_l}{l_l} \right) + \sum_\rho \varepsilon_{cr_\rho} \frac{\dot{r}_\rho}{r_\rho} \right] \\
&+ (RE^R - RE^T) \left[\sum_i S'_{x_i} \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left(S'_{k_j} \frac{\dot{k}_j}{k_j} + S'_{l_j} \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) + \sum_\rho \varepsilon_{cr_\rho} \frac{\dot{r}_\rho}{r_\rho} \right] \\
&+ \sum_\rho \varepsilon_{cr_\rho} \frac{\dot{r}_\rho}{r_\rho} + \frac{\dot{E}}{E}.
\end{aligned} \tag{1-14}$$

L'équation (1-14) constitue la forme finale que nous utiliserons. Elle met en lumière le fait que le taux de croissance de la PTF est expliqué par les changements technologiques (A), le déséquilibre de long terme des intrants quasi-fixes (z_j vs w_k), la non-constance des rendements d'échelle technologique ($RE^T - 1$), l'impact de la réglementation sur les rendements d'échelle ($RE^R - RE^T$), l'impact de la réglementation directement sur les facteurs de production et les coûts (ε_{cr_ρ}), et finalement, l'inefficience (E). L'intégration de ces variables devrait donner une lecture différente des résultats obtenus précédemment dans la littérature.

Il se peut que le calcul des rendements d'échelle technologiques ne soit pas possible. Nous verrons plus loin que c'est le cas actuellement avec la méthode DEA. Dans ce cas, il faut plutôt utiliser la formule suivante⁶ :

$$\begin{aligned} \frac{PTF}{PTF} = \frac{\dot{A}}{A} + & \left[\sum_i (S'_i - S_i) \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left((S'_k - S_k) \frac{\dot{k}_j}{k_j} + (S'_l - S_l) \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) \right] \\ & + (RE^R - 1) \left[\sum_i S'_i \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \sum_j \left(S'_k \frac{\dot{k}_j}{k_j} + S'_l \frac{\dot{l}_j}{l_j} \right) + \sum_p \varepsilon_{crp} \frac{\dot{r}_p}{r_p} \right] \\ & + \sum_p \varepsilon_{crp} \frac{\dot{r}_p}{r_p} + \frac{\dot{E}}{E}. \end{aligned} \quad (1-15)$$

Alors, nous avons une décomposition de la variation de la *PTF* qui prend en compte le changement technologique, le déséquilibre de long terme, la non-constance des rendements d'échelle réglementés, l'impact de la réglementation sur les facteurs de production et les coûts et finalement, l'inefficience.

1.3 Résumé

Dans ce chapitre, quelques améliorations ont été apportées à la littérature sur la productivité multifactorielle afin que l'équation englobe la réglementation. Les contributions concernent principalement l'intégration de la réglementation à la décomposition de la productivité multifactorielle (équations 1-14 et 1-15) ainsi que le lien entre les rendements d'échelle réglementés et les rendements d'échelle technologiques (proposition 1). Une dernière contribution concerne la constatation que les rendements d'échelle en présence d'intrants quasi-fixes (ε_{cy}) n'ont pas la même forme qu'en présence de seulement les intrants variables (équation 1-11). Toutes ces contributions visent à généraliser la façon d'aborder la productivité des firmes.

⁶ Les équations (1-14) et (1-15) sont parfaitement équivalentes. L'avantage de (1-14) est que la décomposition est plus complète en prenant en compte la différence entre RE^R et RE^T .

CHAPITRE II

INDICE DE VARIATION DE LA PRODUCTIVITÉ DE MALMQUIST

Ce qui est frappant en regardant la formule de Solow, c'est qu'elle peut se calculer « sur le dos d'une enveloppe ». Les prix et quantités des intrants et extrants sont nécessaires et suffisants à ce calcul. L'indice de Törnquist qui est une approximation observable en temps discret de la formule de Solow utilise cette propriété. La formule plus générale (1-13) ne possède pas cette caractéristique. Plusieurs termes additionnels apparaissent et ne sont pas observables directement. Il faut donc mettre sur pied une méthode pour quantifier ces termes.

C'est pourquoi Caves *et al.* (1982) ont introduit l'indice de Malmquist permettant de calculer la variation de *PTF* en n'utilisant que des notions de quantités. Celui-ci ne constituait qu'un indice théorique et les auteurs ont démontré son équivalence avec l'indice de Törnquist sous certaines hypothèses très contraignantes. Ce n'est qu'en 1994 que Färe *et al.* en ont fait un indice mesurable, applicable et plus général. La section qui suit présente cet indice de façon plus formelle.

2.1. L'indice

L'indice de Malmquist, tel que mentionné dans Caves *et al.*, est un indice théorique qui n'est pas nécessairement mesurable. En effet, si les paramètres de la fonction de production (incidemment les fonctions de distance) sont connus, il est facile de calculer l'indice. Malheureusement, il est plutôt rare de connaître parfaitement une technologie, il devient alors difficile, voire impossible, de calculer l'indice correctement. Son utilité s'en voit réduite. Au cours des recherches, deux solutions sont apparues. La première nous vient de Caves *et al.*

(1982). Les auteurs établissent une relation entre l'indice de Malmquist et l'indice de Törnqvist ne nécessitant que des informations sur les prix et les quantités⁷.

La deuxième méthode, utilisée ici, consiste à utiliser la programmation linéaire afin d'approximer les fonctions de distance. Cette façon de procéder fut proposée par Färe *et al.* (1994b). Cette technique a pour avantage de n'utiliser que des observations sur les quantités. Cette propriété devient avantageuse lorsque sont pris en compte des facteurs tels que les intrants quasi-fixes et la réglementation puisqu'il devient difficile d'établir des prix pour ces facteurs. Un deuxième avantage, plus subjectif, plaidant en faveur de l'approche non paramétrique est la simplicité de la méthode utilisée et l'intuition économique qui s'en dégage.

L'indice de Malmquist sert donc à calculer la valeur du taux de croissance de la *PTF*. Il permet de comparer différentes DMUs⁸ entre elles ou encore une même DMU à différents points dans le temps. Cet indice, qui peut prendre plusieurs formes, permet de calculer facilement le taux de croissance de la *PTF* en faisant appel aux fonctions de distance définies plus loin. Il constitue un ratio de mesures de distance prises à deux périodes représentant l'évolution de la firme par rapport à une *FPP*. L'équation de base de l'indice de productivité prend alors la forme suivante:

$$M'_{oc}(x', y', x'^{+1}, y'^{+1}) = \frac{D'_{oc}(x'^{+1}, y'^{+1})}{D'_{oc}(x', y')} \quad (2-1)$$

où $D'_{oc}(x', y') = \min_{\theta} \left\{ \theta : \left(\frac{y'}{\theta}, x' \right) \in f(x', y') \right\}$,

$$D'_{oc}(x'^{+1}, y'^{+1}) = \min_{\theta} \left\{ \theta : \left(\frac{y'^{+1}}{\theta}, x'^{+1} \right) \in f(x', y') \right\}.$$

Où D'_{oc} est une fonction de distance orientée extrant à rendements d'échelle constants.

⁷ Sous les hypothèses que les fonctions de distances soient *translog* et, plus important, les rendements d'échelle sont constants, tous les intrants sont variables, il n'y a pas de réglementation et les firmes sont efficientes.

⁸ DMU : *decision making unit*. Soit une firme, un secteur ou un pays dépendamment si nous sommes au niveau macroéconomique ou microéconomique.

La frontière de production (f) est construite comme suit :

$$f(x', y') = \{(x', y') : y' \leq \sum \lambda_j y', x' \geq \sum \lambda_j x', \lambda_j \geq 0\}.$$

Cet indice compare les points observés sur deux périodes par rapport à une même frontière prise à la même période. Puisque le choix de la période de référence (t ou $t+1$) est arbitraire, il est aussi possible de calculer l'indice suivant en période $t+1$:

$$M_{oc}^{t+1}(x', y', x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x', y')} \quad (2-2)$$

Il est conventionnel d'utiliser la moyenne géométrique des deux indices pris sur deux périodes de référence.

$$M_{oc}(x', y', x^{t+1}, y^{t+1}) = \left(\frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x', y')} \times \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x', y')} \right)^{1/2} \quad (2-3)$$

Le défi sera d'adapter cet indice basé sur les fonctions de distance pour être en accord avec les nouvelles formulations du taux de croissance de la *PTF* présentées plus haut.

2.2. Indice de productivité de Malmquist et progrès technique de Solow

En quoi l'indice de productivité de Malmquist est équivalent à la forme traditionnelle de mesure du progrès technique présentée par Solow ? Supposons une fonction de production représentée par une forme générale $y_t = A(t) \times F(x_t)$ où $A(t)$ représente l'évolution dans le temps de la fonction de production causée par des changements techniques⁹. Dans ce cas, la fonction de distance orientée extrant deviendra (Färe *et al.* 1994b) :

$$D_o'(x_t, y_t) = y_t / A(t)F(x_t) \quad (2-4)$$

En remplaçant ce résultat dans l'indice de productivité de Malmquist en (2-3), on obtient :

$$M_o = \left[\frac{y^{t+1} / A(t)F(x_t^{t+1})}{y' / A(t)F(x_t')} \times \frac{y^{t+1} / A(t+1)F(x_t^{t+1})}{y' / A(t+1)F(x_t')} \right]^{1/2} = \frac{y^{t+1}}{F(x_t^{t+1})} \frac{F(x_t')}{y'} = \frac{A(t+1)}{A(t)} \quad (2-5)$$

⁹ $A(t)$ a la même signification que pour Solow.

L'équation en (2-3) est donc équivalente à la formulation générale du progrès technique de Solow présentée en (2-5). Elle montre la variation du paramètre représentant l'évolution technologique, $A(t)$. Le but est maintenant de découvrir les facteurs expliquant cette variation.

En fait, cette analyse découle de Caves *et al.* qui supposait l'efficacité du processus de production. Mais nous verrons que cela est aussi compatible avec le cas où il y a de l'inefficience. Dans ce cas, le terme $A(t)$ peut contenir à la fois le changement technologique (le déplacement de la fonction de production), la variation de l'inefficience (distance par rapport à la frontière de production), l'impact des intrants quasi-fixes et de la réglementation et finalement, les rendements d'échelle.

2.3. Fonction de distance

L'indice de Malmquist est basé principalement sur le calcul de fonctions de distance présenté à l'origine par Shephard (1970). La fonction de distance est un concept découlant directement de la dualité avec la fonction de production et en lien direct avec le concept d'*efficacité technique* introduit par Farrell (1957). Elles est à la base de cet indice. Pour en expliciter le sens, nous allons suivre la méthode présentée par Färe et Primont (1995).

Prenons une fonction de production quelconque $F(x)$ (la quantité d'intrants nécessaires pour la production d'un extrant y) et une firme quelconque, DMU_0 .

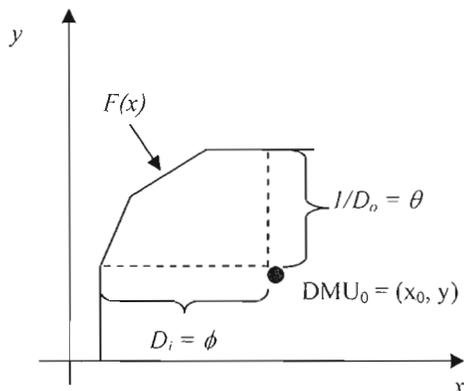


Figure 2.1 Représentation des fonctions de distance

Dans cette figure, ϕ est la valeur projetant la combinaison d'intrants x_0 sur la frontière $F(x)$, donc la fonction de distance orientée intrant. $1/\theta$ constitue pour sa part la fonction de distance orientée extrant, i.e., le facteur par lequel la DMU_0 devrait multiplier son extrant pour devenir efficace. Ceci correspond à la mesure d'inefficience proposée par Farrell (1957). Plus formellement, on écrit :

$$D_i(y,x) = \inf_{\phi} \{ \phi : \phi x \in L(y) \}$$

$$1/D_o(y,x) = \sup_{\theta} \{ \theta : \theta y \in L(y) \}$$

où $D_i(y,x)$ et $D_o(y,x)$ représentent les fonctions de distance orientée intrants et extrants, la mesure d'efficience technique de Farrell.

2.3.1. Indice de variation de productivité de Malmquist et inefficience

Dans les travaux de Caves *et al.* (1982), les différentes DMU étaient considérées comme étant sur la *FPP*, i.e. efficaces. Il a fallu attendre Färe *et al.* (1994b) pour que soit proposée une modélisation faisant appel à la mesure d'efficience présentée par Farrell (1957).

À la base, la variation de la *PTF* peut être décomposée en deux termes, soit le déplacement relatif de la *FPP* (changement technologique) et la variation relative de l'inefficience technique¹⁰. L'indice de productivité de Malmquist de base est comme en (2-3)¹¹.

$$M'_{oc}(x', y', x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\frac{D'_{oc}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D'_{oc}(x', y')} \times \frac{D^{t+1}_{oc}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}_{oc}(x', y')} \right]^{1/2}$$

où D_{oc} : fonction de distance orientée extrants et à rendements d'échelle constants

$$D'_{oc}(x_t, y_t) = \min_{\theta} \left\{ \theta : \left(\frac{y_t}{\theta}, x_t \right) \in \left\{ (x', y') : y' \leq \sum \lambda_j y', x' \geq \sum \lambda_j x', \lambda_j \geq 0 \right\} \right\}$$

¹⁰ En théorie de la croissance, ce terme peut être associé à la convergence de la productivité des pays (*catching up*).

¹¹ L'indice qui suit est calculé sous rendements d'échelle constants puisque historiquement l'indice de productivité multifactorielle est calculé lui-même en rendements d'échelle constants. La littérature en DEA a donc conservé cette hypothèse afin de démontrer son équivalence à la méthode traditionnelle.

$$D_{oc}^{t+1}(x_t, y_t) = \min_{\theta} \left\{ \theta : \left(\frac{y_t}{\theta}, x_t \right) \in \left\{ (x^{t+1}, y^{t+1}) : y^t \leq \sum \lambda_j y_j^{t+1}, x^t \geq \sum \lambda_j x_j^{t+1}, \lambda_j \geq 0 \right\} \right\}.$$

Färe *et al.* obtiennent la décomposition suivante¹² :

$$M'_{oc}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D'_{oc}(x^t, y^t)} \left[\frac{D'_{oc}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D'_{oc}(x^t, y^t)}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}, \quad (2-6)$$

où le premier terme représente la variation de l'inefficience technique ($TE\Delta_c$), i.e. le ratio de l'évolution de la fonction de distance (efficience) entre t et $t+1$, et le terme entre crochet représente le déplacement de l'ensemble des possibilités de production ($T\Delta_c$). Nous avons alors une première décomposition du taux de croissance de la *PTF* qui inclut l'inefficience de la firme.

2.3.2. *Indice de variation de productivité de Malmquist et intrants quasi-fixes*

Il est important de considérer les intrants quasi-fixes lors d'une analyse sur la productivité et l'efficience. Les intrants quasi-fixes ne sont pas ajustables en tout temps, ce qui peut empêcher une firme de se situer sur la frontière de production optimale. De Borger et Kerstens (2000) et Färe *et al.* (2000) se sont penchés sur la question en utilisant l'indice de productivité de Malmquist. Ils adaptent l'indice à l'aide d'un indice d'utilisation du capital qui agit comme une correction de l'extrant, ce qui a pour effet d'adapter l'indice à la surcapacité (intrants quasi-fixes inutilisés). Toutefois, cette modification laisse l'indice inchangé, puisque les intrants quasi-fixes sont traités comme des intrants variables. Ouellette et Vierstraete (2004) ont tenté à leur tour de remédier à ce problème en assimilant le fait que plusieurs intrants ne soient pas sous le contrôle immédiat des firmes. Ils intègrent dans un premier temps les intrants quasi-fixes (k_t) dans la fonction de distance selon la technique proposée par Banker et Morey (1986) $\Rightarrow D_o(x^t, k^t, y^t)$, ce qui amène l'indice de Malmquist suivant :

$$M'_{oc}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})}{D'_{oc}(x^t, k^t, y^t)} \left[\frac{D'_{oc}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D'_{oc}(x^t, k^t, y^t)}{D_{oc}^{t+1}(x^t, k^t, y^t)} \right]^{1/2}. \quad (2-7)$$

¹² Cette décomposition et les subséquentes sont obtenues en multipliant par des ratios de fonctions de distance égalant 1.

Cette formulation ne tient toutefois pas compte de la dynamique de la fixité des intrants. Les auteurs proposent donc une démarche en deux étapes où dans un premier temps k' reste fixe pour ensuite le faire varier comme dans une différentielle totale :

$$(x', k', y') \Rightarrow (x'^1, k', y'^1) \Rightarrow (x'^1, k'^1, y'^1).$$

L'indice de Malmquist devient donc,

$$M = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})} \times \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1})}{D_{oc}'(x', k', y')} \times \left(\frac{D_{oc}'(x', k', y')}{D_{oc}^{t+1}(x', k', y')} \times \frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1})} \right)^{1/2} \times \left(\frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1})} \times \frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})} \right)^{1/2},$$

ou encore sous la forme finale :

$$M = \left\{ E_{\bar{X}K'} \times MP_{\bar{X}K'} \right\} \times \left\{ E_{\bar{X}^{t+1}K} \times MP_{\bar{X}^{t+1}K} \right\}, \quad (2-8)$$

où $E_{\bar{X}K'} = D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1}) / D_{oc}'(x', k', y')$ est la variation dans l'efficacité de la gestion des intrants variables, $MP_{\bar{X}K'} = \left(\frac{D_{oc}'(x', k', y')}{D_{oc}^{t+1}(x', k', y')} \times \frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1})} \right)^{1/2}$ est le changement technologique associé à la transformation des intrants variables, $E_{\bar{X}^{t+1}K} = D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1}) / D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})$ est la variation de l'inefficacité associée aux intrants quasi-fixes, $MP_{\bar{X}^{t+1}K} = \left(\frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k', y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k', y^{t+1})} \times \frac{D_{oc}'(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, k^{t+1}, y^{t+1})} \right)^{1/2}$ est le changement technologique associé à la transformation des intrants quasi-fixes.

Le premier terme représente un indice de Malmquist ($M_{\bar{X}K'}$) dans lequel les intrants quasi-fixes sont maintenus à leur niveau initial (k'). Le deuxième terme est un indice de productivité de Malmquist dans lequel les intrants variables sont fixés à leur valeur finale et dans lequel nous faisons varier les intrants quasi-fixes.

Cette façon d'intégrer les intrants quasi-fixes dans l'indice de productivité de Malmquist permet de mieux comprendre l'impact et la dynamique de la présence des intrants quasi-fixes et se rapproche de la théorie économique en isolant l'impact spécifique de chacun des facteurs.

2.3.3. *Indice de variation de productivité de Malmquist et investissement*

L'intégration de l'investissement dans l'indice de Malmquist ne se fera qu'à l'intérieur du calcul de la fonction de distance et non pas dans la décomposition de l'indice. Nous traiterons donc cet ajout comme une nouvelle contrainte dans notre programme de *DEA* à résoudre. L'investissement sera alors une contrainte de coûts d'ajustement pour les firmes. L'intuition derrière ceci est qu'une firme faisant face à des coûts d'investissement (positifs ou négatifs) consacre une partie de ses ressources dans la « production » de cet investissement, ressources qui deviennent improductives à court terme. Ces investissements seront traités en valeur absolue en supposant la symétrie des coûts d'investissement, i.e. qu'un investissement négatif est aussi coûteux pour la firme en ressources qu'un investissement positif.

2.3.4. *Indice de variation de productivité de Malmquist et rendements d'échelle variables*

La façon de traiter les rendements d'échelle dans les indices de Malmquist amène des débats incessants auprès des spécialistes. La première partie de cette section se veut donc une sorte de bref historique de ce débat.

Comme expliqué plus haut, les premières versions des indices de *PTF* (Solow en tête de liste) considéraient des rendements d'échelle constants. La théorie subséquente sur les nombres indices présupposa donc les mêmes hypothèses. Les chercheurs ayant participé à l'élaboration de l'indice de Malmquist n'y ont donc pas échappé; les indices étant basés sur une technologie à rendements d'échelle constants. Une évolution fut donc d'y intégrer des rendements d'échelle variables en se basant sur les travaux de Afriat (1972). La littérature s'est donc dirigée vers le calcul de Malmquist à rendements d'échelle variables jusqu'à ce que Griffell-Tatjé et Lovell (1995) montrent que cet indice est systématiquement biaisé. Cette critique, bien que fondée, a un fondement plus empirique que théorique. L'explication

théorique est simple : l'indice de productivité auquel est comparé traditionnellement l'indice de Malmquist en est un à rendements d'échelle constants (voir Caves *et al.*, 1982). Nous n'arrivons donc nécessairement pas à la bonne conclusion en utilisant des rendements d'échelle variables.

Ce résultat, sans détruire la validité de l'indice de Malmquist, a plutôt réorienté la recherche. En effet, l'indice de Malmquist, pour être en conformité avec l'indice « empirique » de Solow, doit être calculé avec des rendements d'échelle constants. Il est toutefois possible de calculer un indice de Malmquist basées sur des rendements d'échelle variables, mais il faut corriger pour les effets d'échelle. L'article présenté par Lambert (1999)¹³ en a fait la démonstration empirique. Un ensemble de ratio mélangeant des technologies à rendements d'échelle variables et constants nous permet d'isoler des variations d'inefficience « pures », de changements technologiques « purs » et d'effets de variations d'échelles¹⁴ :

$$M_{oc} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_{oc}^t(x^t, y^t)}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \times \frac{D_{oc}^t(x^t, y^t) / D_o^t(x^t, y^t)}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \quad (2-9)$$

Cette décomposition correspond à celle présentée par Lambert (1999). Les termes correspondent respectivement à la variation d'inefficience d'échelle, la variation technologique et la variation de l'échelle.

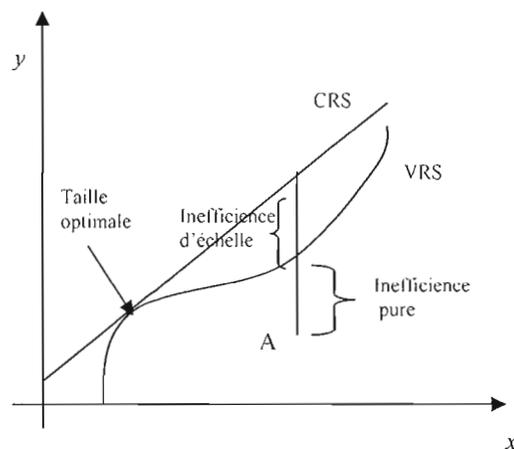


Figure 2.2 Représentation des différentes composantes

¹³ Lambert a appliqué les recommandations faites dans Banker *et al.* (1984) et par CCD (1982).

¹⁴ La disparition du c dans D_{oc} signifie que la technologie devient à rendements d'échelle variables (VRS).

La figure 2.2 nous montre l'interprétation graphique des différents termes de la décomposition de Lambert (1999). Le terme d'efficacité d'échelle nous montre à quelle distance une firme est de la taille optimale, i.e. la taille à laquelle les rendements d'échelle sont constants. Ce terme permet donc de faire la différence entre l'inefficacité technique et l'inefficacité d'échelle due à la taille de la firme. Plus formellement, cette décomposition prend la forme suivante :

$$M = EP \times P \times S, \quad (2-10)$$

où EP : variation de l'efficacité « pure »,
 P : déplacement de la fonction de production,
 S : variation de l'efficacité d'échelle.

Il est ensuite possible d'appliquer la même procédure au terme de changement technologique pour qu'il devienne un changement technologique « pur », ce qui donne l'équation suivante :

$$\begin{aligned} M'_{oc}(x', y', x^{t+1}, y^{t+1}) &= \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x', y')} \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_o^t(x', y')}{D_o^{t+1}(x', y')} \right]^{1/2} \\ &\times \left[\frac{D'_{oc}(x^{t+1}, y^{t+1})/D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x', y')/D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D'_{oc}(x', y')/D_o^t(x', y')}{D_o^{t+1}(x', y')/D_o^{t+1}(x', y')} \right]^{1/2}, \\ &= EP \times PP \times S\Delta. \end{aligned} \quad (2-11)$$

où le dernier terme, $S\Delta$, représente la moyenne géométrique de la variation de l'efficacité d'échelle. Cette décomposition est celle généralement admise dans la littérature (voir Lovell, 2003).

La décomposition de ce terme d'échelle peut toutefois aller encore plus loin en séparant deux termes : la variation de l'échelle optimale et la variation de l'efficacité d'échelle (Zofio 2004). L'intuition économique derrière cette nouvelle décomposition est de faire le constat qu'une firme peut tenter de se rapprocher de l'échelle optimale, mais se tromper sur ses prédictions sur ce qu'elle sera à la période suivante suite aux différents chocs technologiques et de productivité. Ceci nous mène donc vers une décomposition dynamique des processus

de décisions de la firme. Dans un premier temps, la firme observe où elle se situe par rapport à l'échelle optimale. Dans un deuxième temps, elle réoriente sa taille en fonction de cette échelle optimale observée et de ses anticipations sur la taille optimale à la prochaine période suite aux différents chocs. Dans un troisième temps, elle observe sa position par rapport à la nouvelle taille optimale. Cette nouvelle décomposition prend donc la forme suivante :

$$M = EP \times PP \times SEC \times STC,$$

où *SEC* est la variation de l'efficacité d'échelle de la firme (*scale efficiency change*) et *STC* la variation de l'échelle optimale de l'industrie (*scale – bias – technical change*).

L'objectif de cette décomposition, et incidemment de l'article de Zofio (2004), est de donner un sens économique aux décompositions de l'indice de Malmquist. Nous croyons qu'avec cette nouvelle décomposition nous obtenons une décomposition davantage en accord avec la théorie économique. Nous n'utiliserons toutefois pas cette décomposition dans l'illustration empirique de notre modèle, puisque la base de données ne nous permet pas de manipuler tous ces termes. Il serait toutefois intéressant de se pencher plus sérieusement sur cette question dans l'industrie des transporteurs aériens, milieu dans lequel les rendements d'échelle jouent un rôle clé.

Pour terminer cette section, nous croyons pertinent de noter que ces différentes décompositions n'influencent pas la valeur de l'indice de Malmquist, mais bien seulement l'interprétation qui est faite des différents termes. La décomposition retenue n'est pas la seule et unique valable. Il faut utiliser celle adéquate pour nos besoins en faisant un juste arbitrage entre l'interprétation des termes et la complexité du modèle utilisé.

2.3.5. *Indice de variation de productivité de Malmquist et réglementation*

Le défi théorique de ce travail consiste donc à intégrer la notion de réglementation au calcul de la *PTF* et de l'indice de Malmquist. Comme montré précédemment, il est raisonnable de croire que celle-ci aurait un rôle à jouer sur le calcul à la fois de la *PTF* et de l'inefficience.

La littérature sur le sujet est assez brève. Berg *et al.* (1992) ont tenté de montrer, à l'aide de l'indice de Malmquist, que la déréglementation de l'industrie bancaire en Norvège a eu un impact positif sur la croissance de la productivité. Toutefois, ils n'ont pas adapté l'indice, mais plutôt analysé l'évolution dans le temps de l'indice. Ils ne parviennent donc pas réellement à isoler l'impact de cette déréglementation. Nous proposons donc d'adapter l'indice de Malmquist en présence de réglementation (r) pour ainsi isoler l'impact de celle-ci.

Afin de parvenir à effectuer cette tâche, nous nous inspirerons de deux travaux, Ouellette et Vigeant (2001) et Ouellette et Vierstraete (2004). Dans un premier temps, définissons la nouvelle fonction de distance qui tiendra compte de cette nouvelle variable (r). Pour ce faire, nous partons de la fonction de production réglementée de Ouellette et Vigeant (2001) :

$$f(x, k) \rightarrow f^R(x, k, r).$$

Plus formellement, cette nouvelle fonction de production est définie comme suit :

$$\max \{y : x \in L(y, k) \cap R(r)\}.$$

De cette fonction de production réglementée nous pouvons calculer une fonction de distance réglementée. La définition formelle d'une fonction de distance réglementée sera :

$$1/D^R(x, y, k, r) = \max \{\theta : f^R(x, k, r) \leq \theta y\}.$$

Ayant défini la nouvelle fonction de distance réglementée, nous pouvons nous attaquer à l'adaptation de l'indice de productivité de Malmquist. Nous proposons de traiter la réglementation de la même façon que dans l'article de Ouellette et Vierstraete (2004) où les auteurs développent un indice de Malmquist en deux temps prenant en compte la quasi-fixité de certains intrants et le fait qu'ils ne peuvent varier qu'à certains moments. Ces intrants quasi-fixes ne sont pas sous le contrôle immédiat de la DMU. Nous proposons donc de traiter la réglementation de la même façon que les intrants quasi-fixes puisque celle-ci est exogène à la firme. En combinant la décomposition en (2-8) et celle en (2-11) nous obtenons :

$$M^R = \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} \times MP_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} \right\}}_{\text{Intrants variables}} \times \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}^{t+1} k^t r^t} \times MP_{\bar{x}^{t+1} k^t r^t} \right\}}_{\text{Réglementation}} \times \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r} \times MP_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r} \right\}}_{\text{Intrants quasi-fixes}} \times S\Delta \quad (2-12)$$

où $E_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)}{D_o^t(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t)}$ est la variation de l'inefficience associée à la gestion

des intrants variables,

$$MP_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} = \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)} \frac{D_o^t(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
 est le changement technologique

associé à la transformation des intrants variables,

$$E_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)}{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)}$$
 est la variation de l'inefficience associée à la gestion

des intrants quasi-fixes,

$$MP_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r} = \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^t, r^t)} \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
 est le changement

technologique associé à la transformation des intrants quasi-fixes,

$$E_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r^{t+1}} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1})}{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)}$$
 est la variation de l'inefficience associée à la gestion

de l'environnement réglementaire,

$$MP_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r^{t+1}} = \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1})} \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$
 est le changement

technologique associé à l'impact de la réglementation,

$$S\Delta = \left[\frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1}) / D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t, k^t, r^t) / D_o^t(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t)} \right. \\ \left. \times \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1}) / D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, i^{t+1}, k^{t+1}, r^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t) / D_o^{t+1}(x^t, y^t, i^t, k^t, r^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

est la variation de l'efficacité d'échelle.

On voit que dans un premier temps, la réglementation (r) et les intrants quasi-fixes (k) restent fixes et les intrants variables varient. Ensuite, nous faisons varier k tout en gardant r fixe en t

et x fixe en $t+1$. Finalement, nous faisons varier r tout en gardant les deux autres variables fixes en $t+1$. Cette équation nous présente donc une décomposition tenant à la fois compte des intrants quasi-fixes, de l'investissement et de la réglementation en tant que variables non discrétionnaires. Cette décomposition sera celle utilisée dans notre illustration empirique au chapitre V.

Toutefois, en combinant la décomposition présentée en 2.3.4 et celle de l'équation (2-12), nous pouvons retrouver une décomposition plus précise, mais qui est très exigeante par la quantité de données nécessaires à son calcul. En décomposant le terme d'échelle $S\Delta$ tel que Zofio (2004) le recommande, on retrouve la décomposition suivante :

$$M^R = \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} \times MP_{\bar{x}\bar{k}^t r^t} \right\}}_{\text{Intrants variables}} \times \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^t r^t} \times MP_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^t r^t} \right\}}_{\text{Réglementation}} \times \underbrace{\left\{ E_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^{t+1} r} \times MP_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^{t+1} r} \right\}}_{\text{Intrants quasi-fixes}} \times SEC \times STC .$$

Cet ajout ne fait que tenir compte du fait que la variation de la productivité dépend de l'inefficience, du changement technologique, de la gestion des intrants quasi-fixes, de l'impact de la réglementation, ainsi que l'impact de toutes ces composantes sur l'efficacité de la firme elle-même (SEC) et sur l'échelle optimale de l'industrie (STC).

2.4. Indice de Malmquist à frontière séquentielle

La littérature concernant l'évolution de l'indice de Malmquist dans le temps est ambiguë. La question est de savoir de quelle façon traiter la croissance de l'indice de Malmquist sur une base annuelle. Certains ont proposé un indice avec une période de référence fixe (Berg *et al.*, 1992), alors que d'autres utilisent un indice avec une période de référence variable (Färe *et al.*, 1994 entre autres), une période de référence globale (Lovell et Zofio, 2005) ou encore une période de référence à frontière séquentielle (Shestalova, 2003). Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients et chaque base de données nécessite une méthode adaptée.

La période de référence fixe calcule année après année les indices de Malmquist en gardant comme référence la même période, habituellement la première. Cette méthode a l'avantage

de respecter la circularité, i.e. que l'on peut multiplier les indices de deux années adjacentes et obtenir la croissance totale sur ces deux périodes. Toutefois, les résultats dépendent de la période de référence¹⁵ et ne résolvent pas les problèmes d'infaisabilité.

La période de référence variable recalcule l'indice de Malmquist en prenant la période précédente comme référentiel. Cette méthode ne respecte pas la condition de circularité et ne résout pas les problèmes d'infaisabilité. Elle ne souffre toutefois pas de dépendance à la période de référence. Toutefois, elle ne prend pas en compte le passé dans l'efficacité des firmes.

La période de référence globale prend l'ensemble de la base de données qui sert ainsi de *FPP* pour toutes les observations. Celle-ci respecte la circularité, l'indépendance de la période de référence et résout une partie des problèmes d'infaisabilité. Toutefois, cette méthode ne respecte pas un principe de base voulant que la production d'aujourd'hui n'était pas faisable il y a dix ans. On ne peut donc pas comparer ces deux périodes ensemble. Bref, on ne peut pas comparer le passé au futur, mais on peut comparer le futur au passé.

La frontière séquentielle s'inspire de ce principe en l'adaptant quelque peu. Elle part du principe que ce qui s'est fait dans le passé est encore faisable aujourd'hui. Ainsi, l'indice de Malmquist séquentiel consiste à reconstruire année après année la période de référence avec les nouvelles informations que nous recevons. Il compare la production d'aujourd'hui avec tout ce qui s'est fait dans le passé. Ainsi, une diminution de la productivité est en fait attribuable à une diminution de l'efficacité et non pas à la diminution de la fonction de production de l'industrie (changement technologique négatif), ce qui est plus en accord avec la théorie économique. Cette méthode est indépendante de la période de référence et résout une partie des problèmes d'infaisabilité. Il n'est toutefois pas circulaire. Dans notre situation, la structure de la base de données – nombre de données annuelles restreint – nous privilégions l'indice de Malmquist séquentiel de par son respect de la théorie économique.

¹⁵ *Base-period dependence*

2.5. Résumé

Ce chapitre a permis de trouver une décomposition de l'indice de Malmquist prenant en compte l'impact de la réglementation. La façon de faire diffère de la littérature actuelle et passée par le fait qu'elle permet d'isoler et de quantifier l'effet de la réglementation sur la productivité multifactorielle et non pas seulement la qualifier. Ensuite, une décomposition du terme de l'efficacité d'échelle permet d'ajouter de l'information aux analyses et pave la voie à une décomposition dynamique ainsi qu'une décomposition plus complète incluant la réglementation. De plus, l'utilisation d'une frontière séquentielle permet de bien faire la différence entre l'effet de l'inefficience et du changement technologique puisque cette frontière ne permet pas les reculs technologiques, ce qui est plus en accord avec la théorie économique.

CHAPITRE III

LE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Au début des recherches sur la productivité, l'économétrie constituait (et constitue encore à certains égards) la méthode la plus utilisée. Toutefois, certaines recherches ont pavé la voie à de nouvelles techniques d'estimation. Pourquoi passer outre l'économétrie ? À la base de cette remise en question se situe la nécessité d'avoir une très grande qualité de données afin d'appliquer correctement la méthode économétrique. Un nombre de données trop petit ou encore une trop grande hétérogénéité menant à des erreurs considérables. Ceci n'est toutefois pas la seule critique à cet égard. La plus importante porte sur le grand nombre d'hypothèses et leur impact sur le résultat final. Des hypothèses sur la forme fonctionnelle, sur le comportement des résidus, sur la courbure de certaines fonctions, etc. ont tous un impact sur le résultat final (Gagné et Ouellette, 1998 et 2002). C'est pourquoi certains spécialistes se sont interrogés sur la possibilité d'utiliser une méthode alternative (moins coûteuse en hypothèses) pour arriver à leurs fins. Ainsi est apparu le *Data Envelopment Analysis* (ci-après DEA) basée sur les travaux de pionnier de Farrell (1957).

Il est toutefois à noter que ceci ne constitue pas un plaidoyer contre l'économétrie, mais plutôt la constatation que cette méthode n'est pas la meilleure pour traiter les problèmes d'efficacité. Toutefois, le DEA n'est pas sans problème. La construction d'une frontière de production tout comme l'économétrie déterministe a pour effet de créer une frontière extrêmement sensible aux erreurs d'observations.

De plus, le développement de l'inférence statistique n'étant pas encore à point, il est difficile d'évaluer les intervalles de confiance de nos estimateurs. N'étant pas capable de déterminer la précision de nos estimateurs, les estimations deviennent moins pertinentes et utiles pour la prise de décision. C'est donc dans ce courant de recherche que la majeure partie du travail de

développement est présentement faite. Des méthodes de *bootstrapping* (Ferrier et Hirschberg, 1997 et Simar et Wilson, 2000) ont été développées afin de déterminer empiriquement la variance de notre estimateur. Sommairement, il faut répéter un nombre B de fois le calcul de l'efficacité technique en faisant varier les sous-échantillons de grandeur n de l'échantillon avec lequel nous travaillons. Cette méthode, complexe, est toujours l'objet de recherches actives et est la prochaine grande étape à franchir pour le DEA.

3.1. Hypothèse de DEA

Le DEA constitue une option attrayante pour les économistes de par le nombre restreint d'hypothèses. À la base, la seule hypothèse utilisée est la libre disposition des intrants et des extrants, i.e. qu'à un niveau d'intrants donné, tout extrant demandant une quantité plus petite d'intrants est faisable. Cette hypothèse ne semble pas restrictive et est économiquement justifiable. L'avantage d'avoir cette seule et unique hypothèse est de ne pas supposer de forme fonctionnelle ou de comportement des résidus et autres limites associées à l'économétrie. Les résultats sont complètement déterminés par les observations et non pas influencés par les hypothèses de formes fonctionnelles ou de structures stochastiques.

Une hypothèse additionnelle peut être ajoutée afin de permettre la modélisation des rendements d'échelles variables. En effet, pour ce faire, il faut supposer la convexité des points. Toutefois, cette hypothèse n'est pas nécessaire lors de l'élaboration des programmes DEA, mais la littérature récente semble pointer vers le fait que cette hypothèse supplémentaire ajoute aux modèles.

3.2. Programme de DEA

La méthode du DEA constitue une façon d'estimer la frontière de production à l'aide d'un programme linéaire. Cette méthode d'estimation linéaire est apparue pour la première fois dans Charnes *et al.* (1978) qui ont généralisé la mesure d'efficacité technique présentée par Farrell (1957) en faisant le lien entre la mesure d'inefficience et la mesure de la FPP. Le DEA propose une méthode alternative à l'économétrie permettant de retirer l'information

pertinente d'une population donnée. Cette technique optimise par rapport à chaque observation avec l'objectif d'estimer la *FPP* avec les observations les plus efficaces.

Dans les méthodes paramétriques, l'information s'applique par construction à toutes les observations alors que dans le DEA, chaque résultat est optimisé pour les observations individuellement. Le programme de DEA de l'unité décision A à la forme suivante :

$$\min_{\theta^A} (\theta^A : (x^A, y^A / \theta^A) \in f(x, y)).$$

Ce programme exige donc l'estimation de la fonction de production, $f(x, y)$, afin de résoudre le problème. Ce problème peut toutefois avoir une forme non-linéaire. Pour linéariser ce problème, il nous faut dans un premier temps en prendre l'approximation de Taylor de premier ordre de ce problème. Ensuite, il nous est possible d'approximer ce problème à l'aide d'un programme linéaire. Cette estimation se fera sous la forme de quatre contraintes. Ce programme linéaire estimera à la fois la *FPP* et la distance de la DMU_A de celle-ci :

$$\frac{1}{D_o^t(x_t, y_t)} = \max_{\theta^A, \lambda_1^A, \dots, \lambda_n^A} \theta^A \quad \text{s.à}$$

- (1) $\sum_i \lambda_i^A y_i \geq \theta^A y_A$ → Libre-disposition des extrants
- (2) $\sum_i \lambda_i^A x_i \leq x_A$ → Libre-disposition des intrants
- (3) $\sum_i \lambda_i^A = 1$ → Contrainte de convexité (en VRS)
- (4) $\lambda_i^A \cdot \theta^A \geq 0$

θ^A est la fonction-objectif et correspond à la distance de l'observation x_A par rapport à la *FPP*. Les contraintes servent à construire cette *FPP*. Les contraintes de libre-disposition montrent que le point efficace de l'observation A se situera sur une droite qui est une combinaison linéaire d'autres points observés plus efficaces (soit plus d'extrants pour les mêmes intrants, soit moins d'intrants pour autant d'extrants). La libre-disposition des intrants et extrants signifient qu'une firme peut produire autant d'extrants avec plus d'intrants et moins

d'extrants avec autant d'intrants. Tout ce qui est sous la *FPP* est faisable comme le montre la figure 3.1. La partie hachurée étant ce qui est faisable mais non efficace.

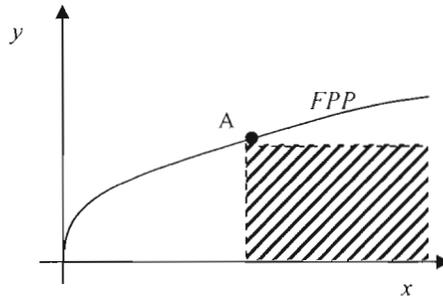


Figure 3.1 Représentation de la libre-disposition des intrants et extrants

Le coefficient θ^j représente le facteur par lequel les extrants devront être multipliés pour que la DMU_A soit optimale. La contrainte (3) n'est pas une contrainte nécessaire à la résolution du programme, mais elle a toutefois une signification économique. Elle « convexifie » la *FPP* pour permettre des rendements d'échelle variables. Si celle-ci n'était pas présente, on aurait une fonction de production linéaire, i.e. à rendements d'échelle constants, ce qui augmenterait l'ensemble des points inefficients. La figure 3.2 présente les différences entre les approximations.

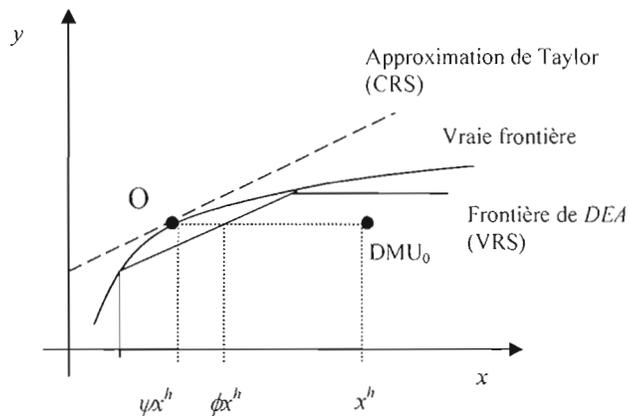


Figure 3.2 Approximation de la frontière de production

La figure 3.2 montre bien le fait que la frontière de DEA est en fait une approximation linéaire de la vraie *FPP*, ou plus précisément une approximation de l'approximation linéaire locale de cette *FPP*. La vraie valeur de l'inefficacité de la DMU_0 est dans ce cas ψ alors que

l'approximation linéaire par le DEA nous donne une inefficience de ϕ par rapport à la firme O. La construction de l'ensemble de combinaison linéaire concave par le DEA amène donc une sous-estimation empirique de la vraie inefficience.

En bref, le but de ce programme est de trouver le coefficient (θ^1) par lequel les extrants de la DMU_A devront être multipliés pour atteindre un niveau efficient. Le niveau de production efficient sera calculé à partir d'une firme « synthétique » créée par combinaisons linéaires (pondérées par le vecteur des λ) des autres firmes respectant les contraintes d'optimisation. À partir de ce programme, il nous sera possible de calculer les différentes fonctions de distances pour ensuite calculer les composantes de l'indice de Malmquist. Il ne faudra que modifier les différents paramètres, x_t par x_{t-1} par exemple, selon les besoins comme lors du calcul des fonctions de distance non contemporaines (comparer les observations en t à la FPP en $t+1$).

3.3. Programmation linéaire

Pour calculer l'indice de Malmquist adapté à la réglementation, nous aurons besoin de calculer huit programmes linéaires en VRS et quatre en CRS¹⁶. Les variables de réglementation, d'investissement et des intrants quasi-fixes seront traitées tel que des variables discrétionnaires dans le modèle proposé par Banker et Morey (1986) :

¹⁶ *Variable return-to-scale et constant return-to-scale.*

$$\frac{1}{D_o'(x_t, y_t, k_t, |I_t, r_t)} = \max_{\theta^A, \lambda_1^A, \dots, \lambda_b^A} \theta^A \quad \text{s.à}$$

- (1) $\sum_i^D \lambda_i^A y_i \geq \theta_A y_A$ → Libre-disposition des extrants
- (2) $\sum_i^D \lambda_i^A x_i \leq x_A$ → Libre-disposition des intrants
- (3) $\sum_i^D \lambda_i^A k_i \leq k_A$ → Libre-disposition des intrants quasi-fixes
- (4) $\sum_i^D \lambda_i^A r_i \geq r_A$ → contrainte de réglementation
- (5) $\sum_i^D \lambda_i^A |I_i| \geq |I_A|$ → contrainte de coûts d'ajustements symétriques (investissement)
- (6) $\sum_i \lambda_i = 1$ → contrainte de convexité
- (7) $\lambda_i^A, \theta_A \geq 0$

Nous ajoutons alors une contrainte supplémentaire permettant de comparer la force de la réglementation à laquelle toutes les firmes font face et une autre pour comparer les coûts d'ajustement symétriques des firmes (investissement). Les firmes seront donc comparées à une autre « synthétique » faisant face à des contraintes réglementaires plus difficiles, plus contraignantes.

Une différence majeure apparaît toutefois dans le programme en VRS. En effet, traditionnellement en DEA, le programme linéaire à optimiser en VRS consiste à ajouter une contrainte de convexité (6) alors que pour le problème en CRS, nous n'avons qu'à la retirer. Par contre, en présence de réglementation, le retrait de cette contrainte n'est plus la bonne façon de procéder. Le problème en CRS en présence de réglementation devient donc comme suit¹⁷ :

¹⁷ Dans le chapitre IV, nous démontrons pourquoi c'est ainsi

$$\frac{1}{D'_{oc}(x_i, y_i, k_i, |I_i, r_i)} = \max_{\theta^A, \lambda_i^A, \dots, \lambda_D^A} \theta^A \quad \text{s.à}$$

- (1) $\sum_i^D \lambda_i^A y_i \geq \theta_A y_A$ → Libre-disposition des extrants
- (2) $\sum_i^D \lambda_i^A x_i \leq x_A$ → Libre-disposition des intrants
- (3) $\sum_i^D \lambda_i^A k_i \leq k_A$ → Libre-disposition des intrants quasi-fixes
- (4) $\sum_i^D \lambda_i^A (r_i - r_A) \geq 0$ → contrainte de réglementation et de convexité
- (5) $\sum_i^D \lambda_i^A |I_i| \geq |I_A|$ → contrainte de coûts d'ajustements symétriques (investissement)
- (6) $\lambda_i^A, \theta_A \geq 0$

On voit alors que la contrainte de convexité traditionnelle ($\sum_i \lambda_i = 1$) est jumelée à la

contrainte réglementaire ($\sum_i^D \lambda_i^A r_i \geq r_A$) pour former une nouvelle contrainte :

($\sum_i^D \lambda_i^A (r_i - r_A) \geq 0$). Ce nouveau programme permet donc de contraindre le programme

linéaire d'avoir des rendements d'échelle constants en présence de réglementation. Le chapitre IV montrera formellement comment arriver à ce résultat.

3.4. L'infaisabilité en *DEA*¹⁸

Dans les différents programmes linéaires que nous devons traiter, huit seront en VRS. Ceci implique la possibilité qu'une partie des programmes ne soit pas solvable, i.e., ils seront infaisables. Dans notre situation, ce problème apparaît assez fréquemment due à la taille de la base de données et plus précisément le nombre d'observations par année ainsi qu'à l'hétérogénéité des firmes. Xue et Harker (2003) décrivent une des raisons pour laquelle ce problème survient.

¹⁸ Nous utilisons dans cette section seulement les intrants variables et les extrants pour alléger l'écriture.

Condition 1

Dans un modèle de DEA orienté extrant en VRS, il doit exister au moins deux observations, DMU i et DMU j , ($i \in I, j \in I, i \neq j$) tel que $x_i = x_j = \min_{k \in I} \{x_{kn}\}$ pour qu'aucun problème d'infaisabilité ne survienne dans le modèle en super-efficacité.

Cette proposition affirme que pour qu'aucun problème d'infaisabilité ne survienne, il doit y avoir au moins deux observations pour chacune des composantes du vecteur d'intrants qui ont la même valeur qui est en même temps la valeur minimale de l'échantillon pour cette composante. Si cette condition n'est pas respectée, il y aura au moins un cas infaisable dans l'échantillon. Cette condition est définie en terme de *super efficacité*, mais s'applique tout aussi bien à tous les problèmes de DEA original où des fonctions du type $D^i(x^i, y^i)$, soient non contemporaines, doivent être calculées. La figure 3.3 illustre la situation dans laquelle ceci peut arriver.

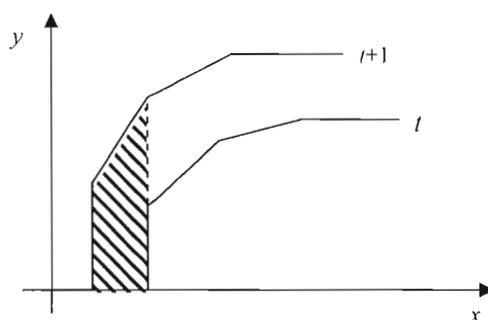


Figure 3.3 Infaisabilité des fonctions de distance en VRS

Toutes les DMUs au temps $t + 1$ situées dans la région hachurée auront des programmes non contemporains, $D^i(x_{t+1}, y_{t+1})$, infaisables puisque aucune autre firme n'a un niveau d'intrants aussi petit que ces firmes¹⁹. L'intuition derrière la fonction de distance orientée extrant est de savoir de combien les firmes de comparaison doivent augmenter leurs extrants pour atteindre le niveau de production de la firme sous observation. Il devient alors impossible pour les firmes de comparaison d'augmenter leurs intrants pour atteindre le niveau de la firme sous observation lorsque cette dernière se situe dans la région A, la fonction de distance tendra

¹⁹ Un niveau d'extrants plus élevé lorsque le modèle est orienté intrant.

donc vers l'infini. Malgré tout, ce problème peut se régler en utilisant le modèle à rendements d'échelle décroissants (DRS).

Ceci justifie donc l'utilisation de la technologie en DRS lorsque le programme linéaire est infaisable. Toutefois, cette stratégie ne résout pas tous les problèmes d'infaisabilité, et c'est pour cette raison qu'en dernier recours nous utiliserons la technologie à rendements d'échelle constants (CRS). Ceci aura pour effet de rendre notre indice de Malmquist présenté en (2-12) différent de celui présenté en (2-3) puisque les fonctions de distance ne seront pas toutes approximées avec la même technologie. Pour remédier à ce problème, nous poserons donc le terme $S\Delta$ comme étant la différence entre l'indice de Malmquist en (2-12), sans le terme d'échelle, et l'indice de Malmquist de base en (2-3). Ceci n'est pas si différent de la littérature puisque Lambert (1999) procède ainsi pour trouver le terme d'échelle. Plus formellement :

$$S\Delta = \frac{M_{oc}(x', y', x'^{+1}, y'^{+1})}{M_o(x', y', x'^{+1}, y'^{+1})}$$

3.5. Résumé

Dans cette section nous avons résumé en quoi consistait la méthode du DEA de façon traditionnelle pour ensuite l'adapter en présence d'intrants quasi-fixes et de réglementation. Pour ce faire, nous avons découvert que le programme linéaire traditionnel ne parvient pas à contraindre correctement le problème à avoir des rendements d'échelle constants (CRS) en présence de réglementation. En effet, nous avons démontré comment contraindre le problème à avoir des rendements d'échelle constants. Nous avons de plus compris une partie des raisons pourquoi des programmes infaisables survenaient dans la méthode DEA et en même temps compris pourquoi le DEA demande une grande quantité de données pour que l'on puisse arriver à des résultats concluants.

CHAPITRE IV

LES RENDEMENTS D'ÉCHELLE EN *DEA*

4.1. Historique

Le calcul des rendements d'échelle en *DEA* est un développement relativement récent datant du début des années 90. Avant, les différents articles traitant du sujet ne s'intéressaient seulement qu'à la caractérisation des rendements d'échelles d'une technologie, i.e. la croissance, la décroissance ou la constance de ceux-ci. Le premier article à ce sujet (Banker *et al.*, 1984) nous donne une série de façons de calculer qualitativement le type de rendement d'échelle. Une première méthode consiste à calculer la somme des poids λ dans le problème d'efficacité technique à rendements d'échelle constants et une deuxième méthode, à regarder le signe de la variable duale associée à la contrainte de convexité (ν_θ). Ces résultats, quoique utiles, ne répondaient pas tout à fait aux besoins des économistes qui voulaient une quantification des rendements d'échelle afin de pouvoir en analyser l'évolution.

Finalement, Banker et Thrall (1992) et Førsund et Hjalmarsson (2004) sont parvenus, en utilisant la relation entre ν_θ et les rendements d'échelle à la quantification de ces derniers. Plus formellement, on a le problème d'optimisation suivant :

$$\begin{aligned} \frac{1}{D'_o(x_i, y_i, k_i, |I|, r_i)} &= \max_{\theta^A, \lambda_i^A, \dots, \lambda_b^A} \theta^A \text{ s.à} \\ (1) \sum_i^D \lambda_i^A y_i &\geq \theta^A y_A \\ (2) \sum_i^D \lambda_i^A x_i &\leq x_A \\ (3) \sum_i^D \lambda_i^A k_i &\leq k_A \\ (4) \sum_i^D \lambda_i^A r_i &\geq r_A \\ (5) \sum_i^D \lambda_i^A |I_i| &\geq |I_A| \\ (6) \sum_i \lambda_i &= 1 \end{aligned}$$

Le lagrangien de ce problème s'écrit donc comme suit :

$$\begin{aligned} L^P = \theta_A - \sum_{k=1}^m \nu_{kA}^y \left[\theta_A y_{kA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} y_{kj} \right] - \sum_{r=1}^n \nu_{rA}^x \left[\sum_{j=1}^N \lambda_{jA} x_{rj} - x_{rA} \right] - \sum_{l=1}^o \nu_{lA}^k \left[\sum_{j=1}^N \lambda_{jA} k_{lj} - k_{lA} \right] \\ - \sum_{q=1}^p \nu_{qA}^r \left[r_{qA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} r_{qj} \right] - \sum_{w=1}^l \nu_{wA}^I \left[|I|_{wA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} |I|_{wj} \right] - \nu_0 \left[\sum_{j=1}^N \lambda_{jA} - 1 \right] \quad (4-1) \end{aligned}$$

où ν^y : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte sur les extrants

ν^x : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte sur les intrants

ν^k : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte sur les intrants quasi-fixes

ν^I : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte sur les coûts d'ajustement
(investissement)

ν^R : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte sur la réglementation

ν_0 : le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de convexité

N : le nombre de firmes

m : le nombre d'extrants

n : le nombre d'intrants variables

o : le nombre d'intrants quasi-fixes

p : le nombre d'indices de réglementation

w : le nombre de variables d'investissement

A : la DMU observée

N : nombre de DMUs.

De ce problème, on peut tirer le problème dual suivant en réécrivant :

$$\min \left\{ \sum_{r=1}^n v_{rA}^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_{lA}^k k_{lA} - \sum_{q=1}^p v_{qA}^r r_{qA} - \sum_{w=1}^l v_{wA}^l |I|_{wA} + \sum_{q=1}^p v_r r_q + v_0 \right\} \quad \text{s.à} \quad (4-2)$$

$$\sum_{k=1}^m v_{kA}^y y_{kA} = 1 \quad (\theta)$$

$$-\sum_{k=1}^m v_{kj}^y y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + \sum_{l=1}^o v_{lj}^k k_{lj} - \sum_{q=1}^p v_{qj}^r r_{qj} - \sum_{w=1}^l v_{wj}^l |I|_{wj} + v_0 \geq 0 \quad (\lambda)$$

où la deuxième contrainte deviendra, sur la *FPP*, i.e. lorsque efficiente:

$$-\theta^A \sum_{k=1}^m v_{kj}^y y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + \sum_{l=1}^o v_{lj}^k k_{lj} - \sum_{q=1}^p v_{qj}^r r_{qj} - \sum_{w=1}^l v_{wj}^l |I|_{wj} + v_0 = 0$$

Le lagrangien de ce problème dual est donc,

$$\begin{aligned} L^D = & \sum_{r=1}^n v_{rA}^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_{lA}^k k_{lA} - \sum_{q=1}^p v_{qA}^r r_{qA} - \sum_{w=1}^l v_{wA}^l |I|_{wA} + \sum_q v_r r_q + v_0 - \theta^A \left(\sum_{k=1}^m v_{kA}^y y_{kA} - 1 \right) \\ & - \sum_{j=1}^N \lambda_j \left(\theta^A \sum_{k=1}^m v_{kj}^y y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + \sum_{l=1}^o v_{lj}^k k_{lj} - \sum_{q=1}^p v_{qj}^r r_{qj} - \sum_{w=1}^l v_{wj}^l |I|_{wj} + v_0 \right). \end{aligned} \quad (4-3)$$

En prenant une approche économique des rendements d'échelle, on sait qu'en présence d'intrants quasi-fixes²⁰, ils sont égaux à :

$$RE = - \left(\frac{\sum_{r=1}^n F_r^x x_{rr} + \sum_{l=1}^o F_l^k k_{ll}}{\sum_{k=1}^m F_k^y y_{ik}} \right) \quad (4-4)$$

où F^x : la dérivée partielle de la fonction de production (F) par rapport à x ,

F^k : la dérivée partielle de la fonction de production par rapport à k ,

F^y : la dérivée partielle de la fonction de production par rapport à y .

²⁰ Pour l'instant nous n'incluons pas l'investissement et la réglementation.

Pour parvenir à les calculer par la méthode *DEA*, il nous faudra utiliser les variables duales de notre problème linéaire. Démontrons donc l'équivalence entre les dérivées partielles présentes dans l'équation ci-haut et les variables duales du programme de *DEA*.

Nous voulons donc résoudre le problème suivant :

$$\max_{\theta} [\theta^A : F(x, \theta^A y, k, r, |I|) = 0]$$

Ou encore sous la forme d'un lagrangien :

$$L_{IT} = \theta^A + \mu \times F(x, \theta^A y, k, r, |I|)$$

En prenant une approximation de Taylor du premier ordre autour de $(x^0, y^0, k^0, r^0, |I^0|)$, on obtient :

$$\begin{aligned} L_{IT} &\approx \theta^A + \mu [F(x^0, y^0, k^0, r^0, |I^0|) + F_y^0(\theta^A y^h - y^0) + F_x^0(x^h - x^0) + F_k^0(k^h - k^0) + F_r^0(r^h - r^0) + F_{|I|}^0(|I|^h - |I^0|)], \\ &\approx \theta^A + \mu F(x^0, y^0, k^0, r^0, |I^0|) + \mu F_y^0(\theta^A y^h - y^0) - \mu F_x^0(x^h - x^0) - \mu F_k^0(k^h - k^0) + \mu F_r^0(r^h - r^0) + \mu F_{|I|}^0(|I|^h - |I^0|). \end{aligned}$$

Il s'ensuit donc que cette approximation est comparable au lagrangien (L^p) présenté plus haut :

$$\begin{aligned} L^p = \theta^A - \sum_{k=1}^m v_{kA}^y \left[\theta_A y_{kA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} y_{kj} \right] - \sum_{r=1}^n v_{rA}^x \left[\sum_{j=1}^N \lambda_{jA} x_{rj} - x_{rA} \right] - \sum_{l=1}^o v_{lA}^k \left[\sum_{j=1}^N \lambda_{jA} k_{lj} - k_{lA} \right] \\ - \sum_{q=1}^p v_{qA}^r \left[r_{qA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} r_{qj} \right] - \sum_{w=1}^l v_{wA}^I \left[|I|_{wA} - \sum_{j=1}^N \lambda_{jA} |I|_{wj} \right] - v_0 \left[\sum_{l=1}^N \lambda_{lA} - 1 \right]. \end{aligned}$$

Ou encore, sous forme matricielle :

$$L^p = \theta^A + v_y' [Y \lambda - y_A \theta^A] - v_x' [X \lambda - x_A] - v_k' [K \lambda - k_A] + v_l' [l \lambda - |I_A|] + v_R' [R \lambda - r_A] - v_0' [l \lambda - l]$$

$$\begin{aligned}
\text{où } \quad \mu F_y^0 = v_y' & \quad \rightarrow \quad F_y^0 = \theta^A v_y / \mu, \\
\mu F_x^0 = -v_x' & \quad \rightarrow \quad F_x^0 = -v_x / \mu, \\
\mu F_k^0 = -v_k' & \quad \rightarrow \quad F_k^0 = -v_k / \mu, \\
\mu F_r^0 = v_R' & \quad \rightarrow \quad F_r^0 = v_r / \mu, \\
\mu F_l^0 = v_l' & \quad \rightarrow \quad F_l^0 = v_l / \mu.
\end{aligned}$$

Ceci nous donne donc le lien entre les variables duales du problème linéaire et les dérivées partielles de la fonction de production.

Le calcul des rendements d'échelle s'en suit donc naturellement de la façon suivante :

$$RE = - \left(\frac{\sum_{r=1}^n -v_r^x x_{rA} / \mu + \sum_{l=1}^o -v_l^k k_{kA} / \mu}{\sum_{k=1}^m v_k^y \theta^A y_{kA} / \mu} \right) = \left(\frac{\sum_{r=1}^n v_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_l^k k_{kA}}{\theta^A \sum_{k=1}^m v_k^y y_{kA}} \right) \quad (4-5)$$

Ceci correspond alors à l'équation intuitive des rendements d'échelle. Toutefois, en utilisant

la première contrainte (θ) du problème dual (L^D), on constate que le dénominateur $\sum_{k=1}^m v_k^y y_{kA}$

est égal à 1. Ainsi, on obtient l'équation suivante :

$$RE = \left(\frac{\sum_{r=1}^n v_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_l^k k_{kA}}{\theta^A} \right) \quad (4-6)$$

De plus, la deuxième contrainte (λ) permet de constater que $\sum_{r=1}^n v_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_l^k k_{kA}$ égal $\theta^A \cdot v_0$.

L'équation des rendements d'échelle en (4.6) est donc équivalente à :

$$RE = 1 - \frac{v_0}{\theta^A}, \quad (4-7)$$

qui est exactement la même équation que celle présentée par Førsund (1996, 2004). Dans cette dernière équation, on voit tout de suite l'impact de la contrainte de convexité. En effet,

$$v_0^{out-min} = \arg \min[v_0]^{23} \text{ s.à} \quad (4-8)$$

$$\sum_{r=1}^n v_{rA}^x x_{rA} + v_0 = 1$$

$$\sum_{k=1}^m v_{kA}^y y_{kA} = 1$$

$$-\sum_{k=1}^m v_{kj}^y y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + v_0 \geq 0$$

et

$$v_0^{out-max} = \arg \max[v_0] \text{ s.à} \quad (4-9)$$

$$\sum_{r=1}^n v_{rA}^x x_{rA} + v_0 = 1$$

$$\sum_{k=1}^m v_{kA}^y y_{kA} = 1$$

$$-\sum_{k=1}^m v_{kj}^y y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + v_0 \geq 0 .$$

En résolvant ces deux problèmes, nous trouvons les deux valeurs extrêmes des hyperplans tangents au point efficient. Avec ces informations, il est maintenant possible de calculer les rendements d'échelle extrêmes des DMUs efficientes pour ensuite en calculer les rendements d'échelle moyens. Nous n'appliquerons toutefois pas cette façon de procéder dans ce travail.

4.2. Rendements d'échelle et investissement

L'intégration de l'investissement dans le calcul des rendements d'échelle conventionnels se fait de la façon suivante :

²³ $v_0^{out-min}$ où *out* : orienté output et *min* : borne inférieur.

$$RE = \left(\frac{\sum_{r=1}^n F_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o F_l^k k_{lA} - \sum_{w=1}^l F_w^l |I|_{wA}}{\sum_{k=1}^m F_k^y y_{kA}} \right). \quad (4-10)$$

Il s'ensuit que par la même méthode présentée plus haut, les rendements d'échelle en DEA seront égaux à :

$$RE = \left(\frac{\sum_{r=1}^n v_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_l^k k_{lA} - \sum_{w=1}^l v_w^l |I|_{wA}}{\theta^A \sum_{k=1}^m v_k^y y_{kA}} \right). \quad (4-11)$$

Ce qui est équivalent à la méthode de Førsund et Hjalmarsson (2004):

$$RE = 1 - \frac{v_0}{\theta^A}. \quad (4-12)$$

Il est à noter que l'équation (4-12) est restée la même qu'en (4-7) puisque la variable duale associée à la contrainte de convexité s'est ajustée à l'ajout de la contrainte d'investissement. Ceci a eu pour impact de modifier les rendements d'échelle. La méthode présentée par Førsund et Hjalmarsson (2004) se veut donc une équation générale des rendements d'échelle pour les firmes non réglementées.

4.3. Rendements d'échelle et réglementation

L'intégration de l'investissement s'est faite de façon tout à fait naturelle et intuitive. Toutefois, l'ajout de la réglementation ne se fera pas aussi facilement. Nous avons montré dans la section 1.2.4 que les rendements d'échelle en présence de réglementation ne sont pas les mêmes qu'en absence de réglementation. En effet, lorsqu'on travaille avec une fonction de production réglementée (f^R), on trouve des rendements d'échelle réglementés (RE^R) qui correspondent au rendement d'échelle technologique (RE^T) plus un terme corrigeant pour tenir compte de la réglementation :

$$RE^R = RE^T + \psi' \left[RE^R \times \frac{\partial h}{\partial y} y + \frac{\frac{\partial h}{\partial x} x + \frac{\partial h}{\partial k} k}{\left(C_y^R + \psi \frac{\partial h}{\partial y} \right) y} \right],$$

où ψ est le vecteur des multiplicateurs de Lagrange associé aux contraintes réglementaires, h est le vecteur des contraintes réglementaires, C^R est la fonction de coûts réglementée de l'industrie.

Comment calculer les vrais rendements d'échelle technologiques (RE^T) ? En ajustant nos estimations pour tenir compte de l'environnement réglementaire dans lequel les firmes évoluent. L'objectif est de trouver le lien unissant la fonction de production réglementée à la « vraie » fonction de production et ensuite de pouvoir estimer ce facteur de biais. L'équation ci-haut nous donne le lien théorique unissant les deux concepts. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est toutefois pas possible d'estimer ce facteur de biais de manière empirique à l'aide du *DEA*. Nous nous contenterons dans ce travail d'estimer les rendements d'échelle observables, i.e., les rendements d'échelle réglementés, RE^R .

Si nous calculons les rendements d'échelle en utilisant la formule en (4-12), nous observerons et obtiendrons RE^R :

$$RE^R = \left(\frac{\sum_{r=1}^n v_r^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_l^k k_{lA} - \sum_{w=1}^f v_w^I |I|_{wA}}{\theta^A} \right).$$

Ce ne sont donc pas les rendements d'échelle *technologiques*, mais plutôt des rendements d'échelle qui incorporent la réglementation en vigueur, soient les rendements d'échelle *réglementés*.

La formulation reste la même qu'en (4-11) mis à part l'intégration des variables réglementaires dans le problème d'optimisation. Cet ajout de ces variables modifiera alors le comportement des autres variables duales (v^x, v^k, v^I et v^l). En manipulant cette équation pour

obtenir l'équivalence de l'équation de Førsund et Hjalmarsson (2004), nous obtenons l'équation qui suit lorsque nous prenons en compte les variables réglementaires, r_q .

$$RE^R = 1 - \frac{\left(v_0 - \sum_{q=1}^p v_q^r r_{qA} \right)}{\theta^A}. \quad (4-13)$$

On constate alors que lorsque la réglementation n'est pas contraignante pour une firme ($v^r = 0$), le calcul de rendements d'échelle est le même que pour une firme non réglementée (cf. 4.12). Cette formulation montre que les rendements d'échelle incorporent la réglementation via le terme $\left(\sum_{q=1}^p v_q^r r_{qA} / \theta^A \right)$. Si la réglementation n'est pas contraignante, les variables duales v^r seront nulles et on revient à la formule standard de Førsund et Hjalmarsson (2004).

Autre constatation d'ordre méthodologique mentionner dans la section 3.3, le relâchement de la contrainte de convexité ($\lambda=1$), qui a pour objectif de contraindre le problème d'efficiency technique à avoir des rendements d'échelle constants, n'aura plus le même effet sur le comportement des rendements d'échelle. En effet, la variable duale associée à cette contrainte, v_θ , disparaîtra avec la contrainte, donc égalera 0. En (4-13), on constate donc qu'on se retrouve toujours avec des rendements d'échelle possiblement différents de 1. Ceci ne fait que démontrer que les rendements d'échelle observés sont des rendements d'échelle réglementés et qu'ils ne sont pas égaux aux rendements d'échelle technologiques.

À un niveau purement méthodologique, il est intéressant de s'interroger sur la façon de contraindre le problème à avoir des rendements d'échelle réglementés constants. De l'équation (4-13), on sait que pour que les rendements d'échelle soient constants, il faut que $v_0 - \sum_{q=1}^p v_q^r r_{qA} = 0$, donc, $v_0 = \sum_{q=1}^p v_q^r r_{qA}$. En tenant compte de cette nouvelle contrainte, on réécrit le problème dual (4-3) de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
L^D = & \sum_{r=1}^n v_{rA}^x x_{rA} + \sum_{l=1}^o v_{lA}^k k_{lA} - \sum_{q=1}^p v_{qA}^r r_{qA} - \sum_{w=1}^l v_{wA}^l |I|_{wA} + \sum_{q=1}^p v_{rA}^r r_{qA} + v_0 \\
& - \theta_A \left(\sum_{k=1}^m v_{kA}^y y_{kA} - 1 \right) \\
& - \sum_{j=1}^N \lambda_j \left(\sum_{k=1}^m v_{kj}^y \theta_A y_{kj} + \sum_{r=1}^n v_{rj}^x x_{rj} + \sum_{l=1}^o v_{lj}^k k_{lj} - \sum_{q=1}^p v_{qj}^r [r_{qj} - r_{qA}] - \sum_{w=1}^l v_{wj}^l |I|_{wj} \right).
\end{aligned}$$

Cette nouvelle formulation du problème dual permet de contraindre le problème à avoir des rendements d'échelle réglementés constants. Cette constatation a alors une importance dans la façon de calculer l'indice de Malmquist. En effet, pour calculer correctement l'indice de Malmquist (en CRS) en présence de réglementation, il faut utiliser ce nouveau problème et non pas le problème conventionnel.

4.4. Rendements d'échelle technologiques ou réglementés ?

Toutes ces constatations nous mènent à nous interroger sur la pertinence de ces deux mesures, ou autrement dit, laquelle est la plus intéressante. Gagne-t-on vraiment à estimer les rendements d'échelle technologiques alors qu'ils ne sont pas observés ? Quelle information supplémentaire ceci nous apporte-t-ils ? RE^T nous informe sur le comportement naturel de l'industrie en absence de réglementation, i.e., s'il tend vers un monopole naturel par exemple. RE^R nous disent si la réglementation contraint l'industrie à réagir comme on le désire. Par exemple, si on veut empêcher les rendements d'échelle croissants dans une industrie afin d'éviter le développement d'un monopole naturel, les RE^R nous renseigne sur la validité de la démarche réglementaire entreprise.

Bref, RE^T permet de faire le constat du comportement naturel de l'industrie alors que RE^R nous permet de vérifier la validité des outils réglementaires utilisés. On voit donc bien la nécessité d'être capable de différencier les deux types de rendements d'échelle.

4.5. Résumé

Cette section constitue une démonstration formelle qu'en présence de réglementation la mesure traditionnelle des rendements d'échelle par la méthode de DEA est erronée. En effet, nous avons démontré que les formules de base (Førsund, 1996) n'étaient pas générales et ne s'appliquaient qu'en absence de réglementation. Nous avons par la suite dérivé le modèle correct pour tenir compte de la réglementation dans les mesures de rendements d'échelle. Finalement, nous avons démontré que les contraintes habituelles du modèle CRS ne contraignaient pas correctement le modèle de DEA. Nous avons alors dérivé les bonnes contraintes à appliquer en présence de réglementation.

Les formules dérivées dans cette section se veulent donc une généralisation des modèles de DEA qui tiennent compte non seulement de tous les facteurs traditionnels (intrants variables, intrants quasi-fixes, extrants, investissements), mais aussi de la réglementation. En absence de réglementation, le problème devient le même que le modèle de base.

CHAPITRE V

APPLICATION

Dans ce chapitre et le suivant, nous proposons une application du modèle présenté dans les chapitres précédents. Le domaine de recherche abordé dans ce travail nécessite la facilité d'application des outils développés puisque l'on touche à l'économie empirique. Ces deux chapitres visent donc à démontrer l'applicabilité du modèle. L'application se fera sur le secteur des transporteurs aériens canadiens. Le lecteur ne doit toutefois pas s'attendre à une analyse exhaustive du secteur des transporteurs aériens canadiens, mais plutôt la démonstration de l'importance de considérer la réglementation dans les modèles de DEA.

5.1. L'industrie des transporteurs aériens canadiens

Suite au développement de ce nouvel outil méthodologique, nous avons besoin d'une base de données pertinente sur laquelle appliquée celui-ci. Il nous faut une industrie dans laquelle un historique de réglementation important existe afin de pouvoir y percevoir des variations. L'industrie des transporteurs aériens canadiens est donc tout à fait appropriée pour ce rôle. La réglementation fut probablement parmi les déterminants les plus importants dans l'évolution de cette industrie. Plusieurs types de réglementation existent dans le milieu aérien, mais nous allons en retenir que deux pour ce mémoire, la réglementation économique, qui touche principalement le nombre de transporteurs, et la réglementation sur la sécurité. La première est celle qui est plus touchées par les divergences d'opinion politiques et économiques des différents intervenants, alors que la deuxième fait plus l'unanimité puisqu'une réduction des accidents est toujours la bienvenue, puisqu'elle apporte une clientèle plus confiante et plus fidèle à la firme.

5.1.1. Réglementation économique

Afin d'expliquer brièvement le rôle de la réglementation dans l'industrie des transporteurs aériens canadiens, nous reprenons en partie la présentation faite par Tessier-Parent (2003) qui sépare en quatre grandes catégories l'évolution de la réglementation. Dans un premier temps, avant 1967, la Commission du transport aérien est en charge de la législation économique en contrôlant l'attribution des routes. Les transporteurs doivent alors se munir d'un permis ce qui permet à la Commission de créer des transporteurs régionaux, sorte de monopoles locaux desservant les routes laissées par les transporteurs nationaux (Air Canada et CPAir). Ceci a permis la naissance de cinq transporteurs régionaux dans les routes moins rentables à l'aide d'un système d'inter financement des routes. La façon de procéder était d'attribuer une route rentable (Montréal-Toronto par exemple) à un transporteur et d'exiger de lui qu'il fournisse une route moins occupée (Montréal-Sept-Îles par exemple). De cette façon, la Commission a pu permettre un service décent partout à travers le Canada en respectant son mandat d'assurer « la commodité et la nécessité publique », mais a toutefois eu comme conséquence de limiter la croissance de ces transporteurs régionaux.

Dans un deuxième temps, à partir de 1967, le Comité de transport aérien (nouvel organe de réglementation) conserve le mandat d'assurer « la commodité et la nécessité publique » tout en ayant le droit de réglementer tous les aspects des services aériens (fréquence des routes et tarifs par exemple). Le Comité contrôle les entrées dans l'industrie en s'assurant que les firmes voulant entrer dans l'industrie n'affectent pas le système d'inter financement des routes. De plus, le comité intervient sur les services offerts (extrant) en s'impliquant dans le type d'avions utilisés, sur la fréquence des vols, etc. ainsi que sur les tarifs. Au même moment, les Américains commençaient l'ouverture au marché de leur industrie aérienne en permettant une concurrence sur la fréquence des routes.

Dans un troisième temps, après avoir laissé CPAir gagner continuellement du terrain, le gouvernement canadien amène une plus grande concurrence sur le marché des transporteurs aériens avec la Loi sur Air Canada en 1978, probablement inspirée par l'expérience américaine. Cette loi force le transporteur à se conformer aux procédures s'appliquant au secteur privé, i.e. qu'il perd le droit de voir ses tarifs endossés par le Cabinet fédéral, de

choisir ses routes et de prendre ses décisions indépendamment du Comité de transport aérien. On voit ainsi le début d'une vague de décentralisation. De plus, dans la même optique de déréglementation, les transporteurs réussissent à obtenir un allègement des lois sur les services nolisés (ce qui permet la naissance de nouveaux transporteurs), les périodes de réservation (plus courte), les tarifs, etc. Le gouvernement accorde à ce moment une plus grande liberté aux transporteurs canadiens. Il est à noter qu'encore à cette époque Air Canada bénéficie d'un accès direct au financement du gouvernement étant encore un organisme parapublic.

Finalement, deux derniers faits confirment la déréglementation. En 1984, le ministère des Transports annonce une nouvelle politique relâchant les règles sur les transporteurs aériens (suppression des prix planchers, politique des transporteurs régionaux abandonnée²⁴, suppression des conditions de services²⁵ etc.). De plus, signe de la décentralisation du marché, Air Canada perd son accès direct au financement gouvernemental. En 1988, la Loi nationale sur les transports poursuit la déréglementation. Il est alors admis que les forces du marché sont idéales pour offrir un service efficace. À ce moment là, les permis sont abolis et les tarifs gérés par le marché. Cette déréglementation se poursuit alors jusqu'à aujourd'hui. Les différentes formes de (dé)réglementation à travers ces époques ont eu pour objectif de maintenir un service à travers tout le Canada. La réglementation était appelée à y jouer un rôle important étant donné la structure du pays (grande étendue et faible densité de population). La déréglementation n'était permise que si elle ne menait pas à une cessation de services dans une région. Les changements réglementaires n'ont pas été faits aveuglément.

L'impact de cette déréglementation fut de diminuer de façon substantielle le nombre de joueurs dans les vingt dernières années. En effet au milieu des années '80, quatre transporteurs ont abandonné le marché, soit : CPAir (1986), Québecair (1987), Eastern Provincial Airways (1986) et Nordair (1986), tous des transporteurs régionaux, donc à capacités plus limitées. Cette concentration de l'industrie s'est finalement achevée en décembre 1999 avec la fusion des Lignes Aériennes Canadien International Limité

²⁴ À l'exception des régions septentrionales.

²⁵ Fréquence des vols, escales, équipements, etc.

(Canadien) et Air Canada, maintenant devenu ACE. Le marché des transporteurs de niveau 1A est maintenant devenu un marché monopolistique, i.e. qu'un seul transporteur assure les services de transport aérien au niveau international. À la lumière de ces résultats, il nous semble à premier abord que nous sommes en présence d'un marché à rendements d'échelle croissants, donc menant à un monopole naturel. Il nous viendrait alors un *a priori* sur l'effet qu'ont eu les différentes formes de législation en retardant l'implantation de ce monopole. Il devient alors important de confirmer ou d'infirmer cette impression sur la réglementation économique.

5.1.2. Réglementation de la sécurité

La réglementation des transporteurs aériens au niveau de la sécurité au Canada est tout à fait stricte et les firmes ne peuvent en diverger. Toutefois, il n'est pas certain que ce soit contraignant. En effet, une firme a intérêt à respecter ces lois puisque celles-ci permettent aux firmes de hausser leur réputation que ce soit à travers un bon bilan sécuritaire ou à travers simplement une bonne réputation. Les règles de sécurité potentiellement contraignantes sont celles concernant les vérifications ponctuelles de la main-d'œuvre et des équipements. Celles-ci forcent les firmes à encourir des dépenses dans l'entretien proportionnelles à certaines caractéristiques de leur flotte. L'indice de réglementation de la sécurité qui sera utilisé dans le travail ne servira qu'à voir l'évolution dans le temps de la contrainte et non pas à comparer l'impact réglementaire entre les firmes.

Cette revue de la législation a démontré la pertinence d'utiliser cette industrie pour tester un nouvel indice de productivité prenant en compte la réglementation et l'investissement. Le rôle qu'a joué la réglementation dans cette industrie nous permet de confirmer la pertinence de celle-ci. L'avantage de se limiter à l'industrie canadienne des transporteurs aériens est de nous permettre de construire une base de données homogène dans laquelle les firmes sont comparées entre elles sur les mêmes bases et les mêmes paramètres. Ceci nous permet donc d'éviter des problèmes de l'hétérogénéité de l'environnement économique.

5.2. La base de données

Nos calculs seront effectués sur une banque de données annuelles de sept transporteurs : Air Canada (1960-2002), CPAir (1960-1986), Pacific Western Airlines (1964-2000)²⁶, Québécoir (1960-1987), Eastern Provincial Airways (1964-1986), Transair (1964-1979) et Nordair (1970-1986). La majeure partie des données provient de deux sources : Statistiques de l'Aviation Civile (Statistiques Canada) et l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). Il est à noter que la plupart des données à partir de 2000, n'était pas disponible dans les publications de Statistiques Canada puisque la fusion en 2000 de Air Canada et Canadien a ramené le marché des transporteurs aériens de niveau 1A à un seul transporteur. Ici est présenté une brève présentation des différentes variables utilisées. Pour une exposition plus complète sur la construction et la définition des différentes variables, voir Petit (1994) et Tessier-Parent (2003). Pour le présent travail, nous avons ajouté deux années supplémentaires à la base de données (2001-2002). Certaines données provenant historiquement de Statistiques Canada n'étant plus disponibles pour des raisons de confidentialité, nous les avons remplacées par les résultats financiers disponibles à l'OACI.

5.2.1. Les extrants

Les extrants seront divisés en deux catégories, soit le transport de passagers et le transport de marchandises (fret). La majeure partie des données utilisées provient des publications de Statistiques Canada sur l'aviation civile canadienne. Toutefois, à partir de l'année 2000, ces données ne sont plus disponibles et nous avons dû nous rabattre sur les publications de OACI. Les deux catégories sont composées de deux sous-éléments, les services de transports nolisés et les services réguliers. Les données sont converties en tonnes transportées.

Un indice multilatéral de l'extrant est calculé pour l'indice de réglementation économique. Cet indice multilatéral prend la forme suivante inspirée de Caves, Christensen et Diewert (1982b) :

$$\ln\left(\frac{Y_k}{Y_l}\right) = \sum_i \frac{(W_{ik} + W_i^a)}{2} \times \ln \frac{Y_{ik}}{Y_i^k} - \sum_i \frac{(W_{il} + W_i^a)}{2} \times \ln \frac{Y_{il}}{Y_i^l}$$

²⁶ Qui deviennent les Lignes Aériennes Canadiennes en 1987 (Canadiens) après la fusion avec Québécoir, Eastern Provincial Airways et Nordair.

- où Y_k : indice de quantité de travail normalisé par la base Air Canada 1960 (Y_l)
 W_i^a : moyenne arithmétique des parts dans les coûts totaux de la catégorie i pour toutes les observations
 Y_{ik} : extrant i pour la firme k
 Y_i^g : moyenne géométrique de l'exrant i pour toutes les observations

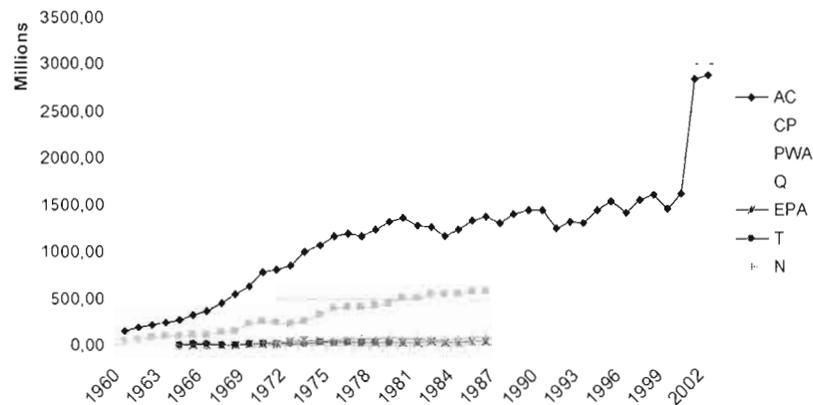


Figure 5.1 Évolution de l'indice multilatéral des extrants, 1960-2002

5.2.2. Les intrants

Les intrants se diviseront en trois catégories le travail, l'énergie et le matériel. Le travail est constitué d'un agrégat de tous les employés des différents transporteurs. Cet agrégat prend la forme d'un indice multilatéral du travail, quantité agrégée de main-d'œuvre utilisée, est calculé comme suit :

$$\ln\left(\frac{L_k}{L_l}\right) = \sum_i \left(\frac{W_{ik} + W_i^a}{2}\right) \times \ln\left(\frac{L_{ik}}{L_i^g}\right) - \sum_i \left(\frac{W_{il} + W_i^a}{2}\right) \times \frac{L_{il}}{L_i^g},$$

- où L_{ik} : nombre de travailleurs dans le domaine i pour la firme k
 L_i^g : moyenne géométrique des travailleurs dans le domaine i pour toute l'industrie.

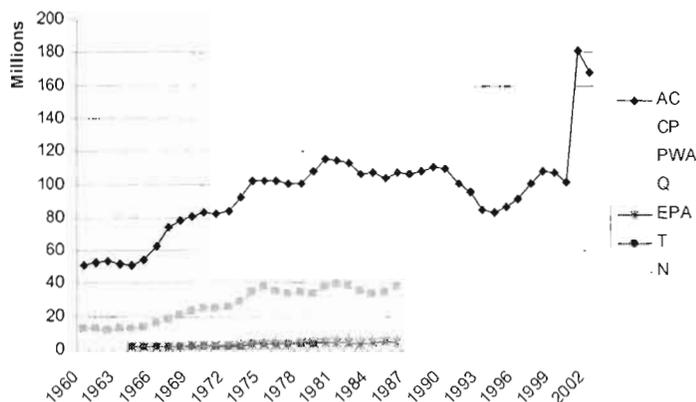


Figure 5.2 Évolution de la force de travail, 1960-2002

L'intrant énergie a été pour sa part calculé en unité de BTU²⁷ utilisée. Les données fournies par Statistiques Canada incluent les dépenses pour quatre types de carburant²⁸. Afin d'harmoniser ces quantités, nous avons calculé la consommation en BTU de chaque carburant pour arriver à une quantité totale consommée.

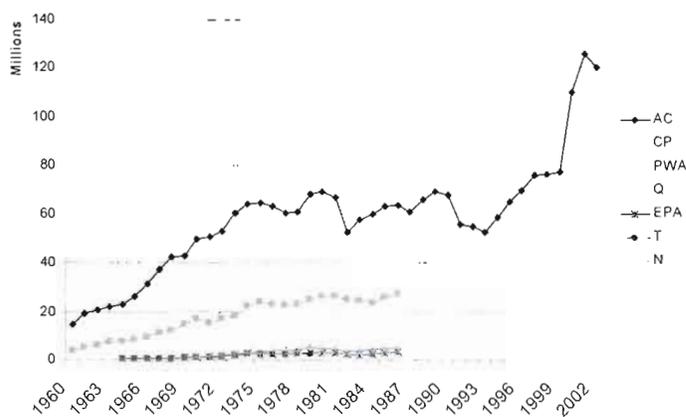


Figure 5.3 Évolution de la consommation d'énergie, 1960-2002

Finalement, l'intrant matériel est composé des dépenses résiduelles. Pour y parvenir, il suffit de soustraire les coûts des catégories ci-haut, de l'entretien et les dépenses d'amortissement des coûts d'opération totale.

²⁷ British Thermal Unit

²⁸ Carburant à turbine, essence, huile à turbine et huile à moteur.

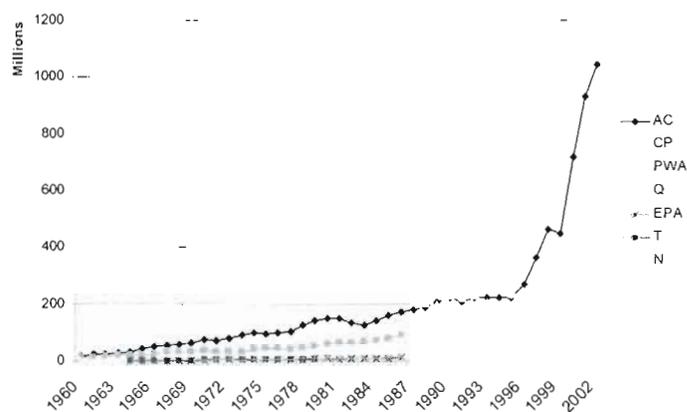


Figure 5.4 Évolution des dépenses en matériel

5.2.3. La réglementation

La réglementation apparaîtra sous deux formes : économique et sécuritaire. Ces deux variables prenant la forme de deux indices. L'objectif de l'indice de réglementation économique est d'évaluer le niveau de compétition auquel les firmes ont fait face. Les indices diffèrent d'une firme à l'autre puisque les différentes formes de réglementation ont un impact différent selon les produits et le marché de la firme. L'indice de réglementation de la sécurité vise à capter les normes de sécurité ayant pour but de réduire le nombre d'accidents. Cet indice sera le même pour toutes les firmes durant une même année, puisqu'elles doivent toutes respecter les mêmes normes de sécurité.

Pour construire ces deux indices, il est nécessaire de trouver un élément mesurable dans les données disponibles et qui capte ce que l'on veut capter. L'indice de réglementation économique sera basé sur les dépenses en publicité puisque celles-ci représentent bien le climat de concurrence entre les firmes dans une industrie, la logique étant que plus une firme se sent en concurrence, plus elle investira en publicité pour se démarquer de ses concurrents. Une augmentation des dépenses en publicité signifie donc une diminution de la réglementation économique. Ainsi, l'indice est calculé comme suit :

$$RE_{it} = 1/[VP_{it}/(YD_{it}/AKM_{it}) \times DV_{it}]$$

RE_{it} étant l'indice de réglementation économique affectant la firme i au temps t , i.e., une fonction inverse des dépenses en ventes et promotion en termes réels (VP_t), ce qui représente

les efforts mis par l'entreprise pour vendre son produit. Ce produit est défini par un indice multilatéral des extrants disponibles (YD_i) divisé par la distance parcourue par les avions (AKM_i) multiplié par le nombre de vols (DV_i) pour obtenir une mesure de la taille des avions ce qui représente le produit de l'entreprise.

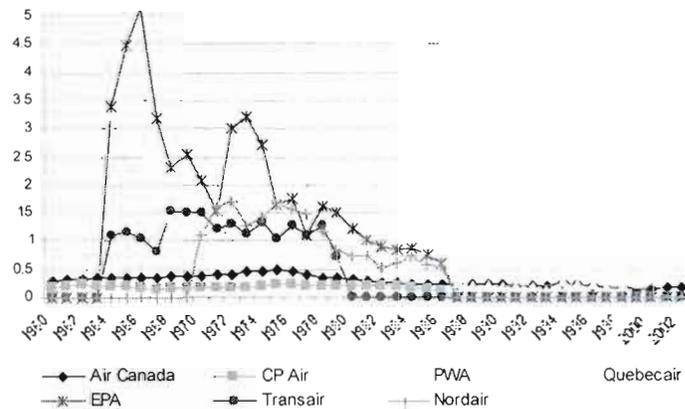


Figure 5.5 Indice de réglementation économique, 1960-2002

La figure 5.5 représente clairement la décroissance de cet indice sur l'intervalle utilisé pour toutes les firmes à l'exception de Air Canada et de Canadien Pacific pour qui la déréglementation a eu un moins grand impact. Ce résultat pour Air Canada n'est pas surprenant puisque qu'il profitait de la présence du gouvernement dans ces décisions d'affaire, donc moins contraint par l'environnement économique qui l'entoure lors de la prise de décision. L'explication pour Canadien Pacific est moins claire, mais a certainement un lien avec la grande taille de l'entreprise et son caractère non régionale contrairement aux autres transporteurs (EPA, PWA, N, Q et T).

L'élément clé dans le calcul de l'indice de réglementation sur la sécurité est le nombre d'accidents par 100 000 heures de vol. La forme de l'indice est tout simplement l'inverse de cette statistique pour qu'un raffermissement des normes sécuritaires amène une augmentation de l'indice en faisant diminuer le nombre d'accidents. La figure 5.6 montre bien l'évolution de l'indice.

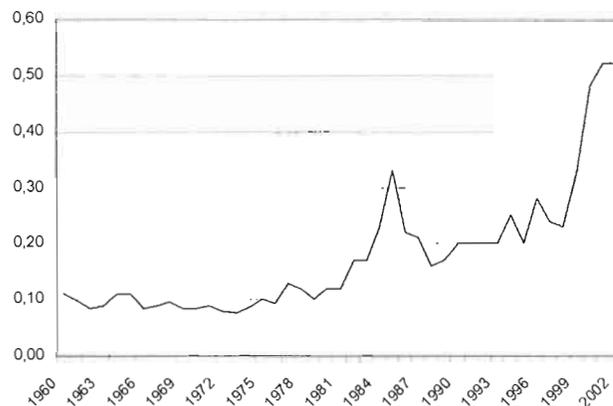


Figure 5.6 Indice de réglementation sur la sécurité, 1960-2002

5.2.4. Investissement et capital

À la base d'une entreprise de transport aérien, il existe un fort investissement en capital, principalement au niveau de l'achat des avions. C'est pourquoi, nous croyons nécessaire d'intégrer cette facette à notre analyse. L'intégration de ces intrants quasi-fixes est primordiale puisque ceux-ci peuvent empêcher une firme de se situer à un niveau optimal de production. Nous traitons donc les infrastructures aériennes comme étant ces intrants quasi-fixes. Il semble tout à fait raisonnable de procéder ainsi puisqu'une firme ne peut se départir de ses avions en temps voulu puisqu'il ne semble pas y avoir de marché secondaire parfait pour ce type de biens.

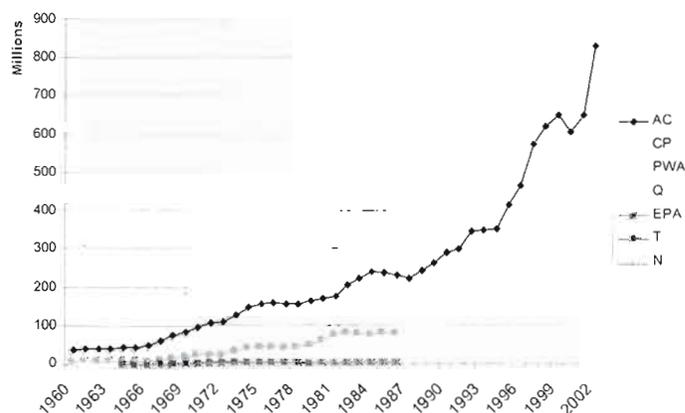


Figure 5.7 Évolution de la valeur du capital, 1960-2002

De plus, l'intégration des dépenses et de l'effort en investissement est primordiale à la compréhension des coûts d'ajustement auxquels les firmes font face. La figure 5.8 nous montre bien la volatilité de cette série au cours des années sans tendance claire à la hausse ou à la baisse.

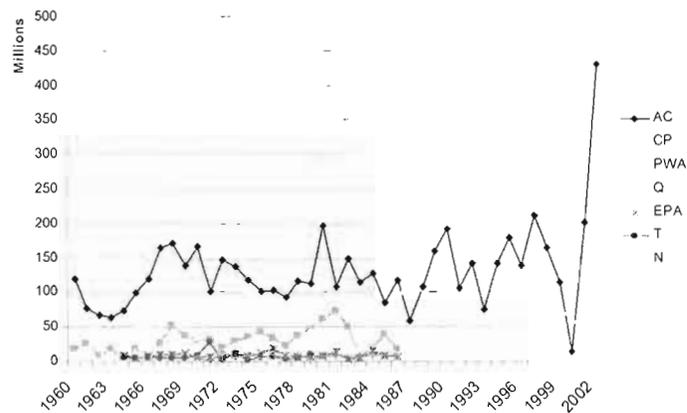


Figure 5.8 Évolution des dépenses d'investissement, 1960-2002

Après une brève analyse des graphiques, un premier fait est rassurant : les extrants et les intrants font un saut au moment où de grands changements se produisent dans le marché. En effet, en 1986-87, quatre firmes (CPAir, Québécoir, Eastern Provincial Airways et Nordair) se sont fusionnées à la deuxième firme en importance du marché, Canadien. Ensuite, lors de la dernière fusion en 2000, Canadien s'est finalement joint à Air Canada qui a nécessairement vu sa production augmentée soudainement. De plus, les deux indices de réglementation se comportent comme on s'y attend, i.e. que la sécurité augmente et que la réglementation économique diminue.

CHAPITRE VI

RÉSULTATS

Le programme linéaire qui devra être optimisé est construit pour prendre en compte deux contraintes de libre disposition des extrants, trois contraintes de libre disposition des intrants, une pour le capital quasi-fixe, deux pour les deux formes de réglementation, variables exogènes à la firme, et une dernière pour les coûts d'ajustement de l'investissement. Au total, ce programme devra être optimisé à 12 reprises, dont huit fois à rendements d'échelle variables et quatre fois à rendements d'échelle constants, et ce pour chacune des firmes-années de l'échantillon. Ces différents programmes d'optimisation permettront de calculer les sept termes composant la décomposition de l'indice de Malmquist proposée en (3.12). Étant donné le nombre restreint de DMUs comparatives et du nombre élevé de contraintes à respecter, nous avons dû utiliser la frontière séquentielle telle qu'expliquer dans la section 3.4 en plus d'utiliser les résultats en différents rendements d'échelle lorsque les programmes devenaient infaisables²⁹. De plus, le faible nombre d'observations au début de l'échantillon, nous force à commencer l'analyse des résultats seulement à partir de 1970, année où notre frontière séquentielle a un nombre suffisant d'observations pour analyser convenablement nos résultats.

La valeur résultant de cette optimisation (θ^A) est le facteur par lequel la firme doit augmenter ses extrants pour devenir efficace, i.e. sur la *FPP*. En divisant 1 par cette valeur, nous obtenons donc l'efficacité technique de la firme sous différentes frontières. C'est donc en faisant varier dans le temps la réglementation, les intrants variables, les intrants quasi-fixes et les extrants que seront calculer les ratios de la décomposition de l'indice de Malmquist.

²⁹ Lorsque le programme linéaire était non solvable en rendements d'échelle variable (135/1136), nous relâchions la contrainte ($1/\lambda=1$) en partie pour retenir le modèle à rendements d'échelle décroissant ($1/\lambda \leq 1$), soit pour cinq programmes sur 1136 et finalement, si ce programme aussi était non solvable, nous nous rabattions sur les rendements d'échelle constants, soit pour 122 résultats (sans contrainte). Les huit autres programmes n'étaient tout simplement pas solvables.

Les résultats de cette section seront présentés sous forme de tableaux dans lesquels les données seront séparées en trois époques basées sur les changements de la réglementation économique: l'époque réglementée (1970-1978), la période de transition (1979-1987) et la période déréglementée (1988-2002). Cette présentation est privilégiée afin d'isoler l'impact de la réglementation.

6.1. Indices et sous-indices de Malmquist

L'indice de Malmquist se compose à la base de deux termes expliquant les variations de productivité : un terme de changement d'inefficience (E) et un autre de changement technologique (P). Notre décomposition garde la même base, mais en y ajoutant des termes décomposant chacune de ces composantes en trois sous-composantes. Lorsqu'on travaille en rendements d'échelle variables, une troisième composante s'ajoute : l'efficacité d'échelle (SD). Dans notre cas, ce terme sera calculé comme un résidu. Cette section a donc pour objectif de comparer la décomposition de base à la nôtre à travers les trois époques réglementaires.

6.1.1. Période réglementée

La période réglementée se situe de 1970 à 1978, période où la déréglementation n'était pas encore fermement implantée. Le tableau 6.1 nous présente les différentes composantes de l'indice de Malmquist durant cette période.

Tableau 6.1 Indice de Malmquist lors de la période réglementée

		$M_{\Delta \bar{k}^i \bar{r}^i}$	$M_{\bar{x}^{i+1} \bar{k}^i \bar{r}^i}$	$M_{\bar{x}^{i+1} \bar{k}^{i+1} \bar{r}^i}$	M	E	P	S
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1970-78	AC	1,2664	0,9671	1,0215	1,1103	1,0000	1,2240	0,9396
	CP	1,1076	0,9627	0,9927	0,9658	1,0001	1,0564	0,9143
	PWA	1,1175	0,9657	1,0659	1,0853	1,0001	1,1411	0,9693
	Q	1,2083	0,9622	1,0171	1,0507	1,0254	1,1168	0,9559
	EPA	1,0877	0,9350	1,0158	1,1528	0,9958	1,0300	1,1418
	T	1,1996	0,9932	1,0090	1,0216	0,9970	1,1495	0,9229
	N	1,2729	0,9402	1,0277	1,0344	1,0000	1,2704	0,8382
	Moyenne	1,1776	0,9609	1,0206	1,0600	1,0027	1,1389	0,9571

Note : Théoriquement, le produit des colonnes (1), (2) et (3) devrait égaler le produit des colonnes (5) et (6). Ce n'est pas le cas ici puisque nous avons remplacé les problèmes infaisables en VRS par, les calculs en DRS et finalement en dernier recours, en CRS. Étant donné que des infaisables étaient plus fréquents dans la décomposition plus précise, les résultats empiriques ne concordent pas. La colonne (4) devrait théoriquement être égale au produit des colonnes (1), (2), (3) et (7) ou encore celui des colonnes (5), (6) et (7). Ce n'est pas le cas encore une fois à cause des infaisables. Finalement, il faut faire attention à l'interprétation des chiffres de la colonne (7) puisque celle-ci a été calculée comme un résidu et non pas comme une efficacité d'échelle.

En prenant la décomposition originale (colonne 4, 5 et 6) nous constatons que la productivité a cru à un rythme moyen de 6,0 % lors de la période réglementée. Cette croissance est fortement due à une croissance de la technologie de près de 14 % par année alors que l'efficacité n'a presque pas joué de rôle. Ce qui a ralenti la productivité des firmes à cette époque est surtout l'éloignement de la taille optimale, comme le montre la colonne (7).

Les colonnes (1), (2) et (3) donnent un avant goût de l'impact de la gestion des intrants quasi-fixes et de la réglementation sur la croissance de la productivité. Un début de déréglementation amène donc une augmentation de la productivité, alors que la gestion des intrants quasi-fixes en diminue la croissance. Il est toutefois encore trop tôt pour déterminer par quel mécanisme la réglementation a un impact, soit par la variation de l'efficacité ou par le changement technologique. Le tableau 6.2 nous permet de le faire.

Tableau 6.2 Sous-indices d'efficacité et de changement technologique

		Changement dans l'efficacité			Changement technologique		
		$E_{\bar{x}\bar{k}^t\bar{r}^t}$	$E_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}\bar{r}^t}$	$E_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^{t+1}\bar{r}}$	$P_{\bar{x}\bar{k}^t\bar{r}^t}$	$P_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}\bar{r}^t}$	$P_{\bar{x}^{t+1}\bar{k}^{t+1}\bar{r}}$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1970-78	AC	1,1515	0,8368	0,7872	1,0880	1,2707	1,4457
	CP	1,0753	0,9013	0,9074	1,0310	1,0691	1,0950
	PWA	1,0689	0,8896	0,9011	1,0444	1,0921	1,1994
	Q	1,1413	0,8561	0,8684	1,0693	1,1405	1,1961
	EPA	1,0570	0,8923	0,9750	1,0307	1,0519	1,0515
	T	1,0477	0,8494	0,8749	1,1273	1,2275	1,2586
	N	1,1908	0,8141	0,7977	1,0665	1,1704	1,4797
	Moyenne	1,1033	0,8642	0,8752	1,0646	1,1447	1,2433

Note : (1) et (4) : x variables, k fixes en t et r fixes en t , (2) et (5) : x fixes en t , k variables et r fixes en t , (3) et (6) : x fixes en $t+1$, k fixes en t / et r variables

En observant ce tableau, on constate que la réglementation et les intrants quasi-fixes ont des impacts différents sur l'efficacité et sur le changement technologique. La gestion des intrants variables s'améliore de plus de 10 % par année durant la période réglementée alors que l'efficacité de la gestion des intrants quasi-fixes diminue de près de 14 % par année. L'impact de la réglementation sur l'efficacité est similaire en faisant diminuer la productivité de 12,5 % par année à travers l'industrie. Toutefois, ces pertes de productivité sont presque complètement compensées par la croissance de la technologie dans les transporteurs. Les gains technologiques sont donc effacés par l'inefficacité (le temps d'adaptation aux nouvelles technologies, par exemple). Le tableau 6.2 nous montre que les sous-indices de Malmquist égaux à un présentés dans le tableau 6.1 ont en réalité un impact important sur la variation de la productivité des firmes. Ceci nous rassure sur l'importance dans l'analyse d'incorporer cette sous-décomposition en efficacité et en changement technologique.

6.1.2. Période de transition

La période de transition se situe de l'année 1979 à l'année 1987. C'est durant ces années que la déréglementation se concrétise. Les départs (fusions) sur le marché montrent clairement que l'industrie n'avait pas encore atteint son nouvel équilibre. En effet, l'industrie semble avoir atteint son équilibre lorsqu'en 1987, toutes les firmes, à l'exception de Air Canada et PWA (devenu les Lignes Aériennes Canadiennes), ont fusionné avec l'un ou l'autre des transporteurs restants. L'année 1987 se caractérise par le fait que les gouvernements en présence tant au Canada, aux États-Unis qu'en Angleterre sont d'allégeance néo-libérale. C'est durant cette période que l'impact de la (dé)réglementation devrait ressortir.

Tableau 6.3 Indice de Malmquist lors de la période de transition

		$M_{X\bar{k}^t r^t}$	$M_{\bar{x}^{t+1} k \bar{r}^t}$	$M_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r}$	M	E	P	S
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1979-87	AC	1.0702	0.9931	0.9871	1,0996	1,0000	1.0418	1.0624
	CP	1,1605	0.9721	0,9670	1,0728	0,9971	1.0892	0,9947
	PWA	1,6601	0,9087	0,9610	1,0099	1.0059	1.0088	1.0085
	Q	1.1419	0,9841	1,0495	1,1037	0.9726	1.1736	1.0884
	EPA	1,1736	0,9624	1,0053	1,0441	1,0124	1.0901	0.9795
	T	1,0342	1,0317	1,2687	1,0088	1.0780	1.2557	0,7453
	N	1.0706	0,9893	0,9948	0,9983	1.0706	1.0467	0.9577
	Moyenne	1,2153	0,9688	0,9987	1,0531	1,0061	1,0766	1,0103

Note : Théoriquement, le produit des colonnes (1), (2) et (3) devrait égaler le produit des colonnes (5) et (6). Ce n'est pas le cas ici puisque nous avons remplacé les problèmes infaisables en VRS par les calculs en DRS et finalement en demic recours, en CRS. Étant donné que des infaisables étaient plus fréquents dans la décomposition en (1), (2) et (3), les résultats empiriques ne concordent pas. La colonne (4) devrait théoriquement être égale au produit des colonnes (1), (2), (3) et (7) ou encore celui des colonnes (5), (6) et (7). Ce n'est pas le cas encore une fois à cause des infaisables. Finalement, il faut faire attention à l'interprétation des chiffres de la colonne (7) puisque celle-ci a été calculée comme un résidu et non pas comme une efficacité d'échelle.

Encore une fois, le changement technologique est la cause de la croissance de productivité lors de cette période avec une croissance moyenne de 7,7 % par année. Ceci constitue toutefois une baisse importante du changement technologique par rapport à la période précédente (14 %). L'efficacité ne semble encore une fois pas jouer un rôle très important.

Le sous-indice de Malmquist de productivité des intrants variables a augmenté de 4 % (passant de 17,5 % à 21,5 %) sa croissance moyenne, alors que le sous-indice des intrants quasi-fixes ne semble pas influencé par la variation de la réglementation. Le sous-indice de la réglementation n'a pour sa part eu aucune influence sur la productivité (≈ 1). Le tableau 6.4 présente la sous-décomposition des indices d'efficacité et de changement technologique.

Tableau 6.4 Sous-indices d'efficacité et de changement technologique

		Changement dans l'efficacité			Changement technologique		
		$E_{X\bar{k}^t r^t}$	$E_{\bar{x}^{t+1} k \bar{r}^t}$	$E_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r}$	$P_{X\bar{k}^t r^t}$	$P_{\bar{x}^{t+1} k \bar{r}^t}$	$P_{\bar{x}^{t+1} \bar{k}^{t+1} r}$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1979-87	AC	1,0290	0,9215	0,9134	1,0392	1,0876	1,0891
	CP	1,1014	0,8546	0,8212	1,0556	1,1481	1,1847
	PWA	1,5861	0,8210	0,9234	1,0882	1,1479	1,0573
	Q	1,0151	0,8776	0,9338	1,1188	1,1912	1,2714
	EPA	1,1181	0,9025	0,9101	1,0544	1,0733	1,1084
	T	1,0342	1,0317	1,0103	1,0000	1,0000	1,2557
	N	1,0552	0,9617	0,9414	1,0130	1,0360	1,0721
	Moyenne	1,1547	0,8919	0,9097	1,0604	1,1119	1,1307

Note : (1) et (4) : x variables, k fixes en t et r fixes en t , (2) et (5) : x fixes en t , l , k variables et r fixes en t , (3) et (6) : x fixes en $t+1$, k fixes en t / et r variables

Ce tableau nous éclaire sur le mécanisme par lequel la réglementation influence la productivité de la firme. Les indices de Malmquist dans le tableau 6.3 n'avaient pas une grande différence par rapport à ceux du tableau 6.1. Toutefois, on remarque que dans les sous-indices une nouvelle tendance se dessine. Les transporteurs semblent devenir plus efficaces ou, tout au moins, moins inefficients. Les termes de changement d'efficacité ont tous des valeurs plus élevées, respectivement 15,5 % vs 10,3 %, 89,2 % vs 86,4 % et 91 % vs 87,5 %. Ces scores sont jumelés à une diminution de la croissance du changement technologique associée à la réglementation ($P_{\bar{X}^{t+1}K^T}$) qui passe de 24,3 % à 13,1 %. Ceci suggère que la déréglementation oblige une meilleure gestion des facteurs de production en permettant une réallocation plus efficace de ceux-ci.

L'ouverture des différentes routes à la concurrence permettrait par exemple d'éviter la surcapitalisation des transporteurs, ce qui ferait diminuer la croissance technologique. La forte diminution des sous-indices de changement technologique d'Air Canada tendrait à confirmer ceci puisque précédemment ce transporteur profitait d'un accès direct au financement du gouvernement, ce qui constitue un incitatif à la surcapitalisation. En ouvrant le marché à la concurrence, Air Canada a été forcé de mieux gérer son capital ce qui a pour effet de diminuer sa croissance technologique tout en augmentant son efficacité.

6.1.3. Période déréglementée

Cette période commence en 1988 où toutes les firmes sauf deux ont fusionné. Cette période se poursuit jusqu'en 2002. En 2000, les deux derniers transporteurs ont fusionné (Air Canada a acheté Canadiens) pour laisser le marché des transporteurs internationaux entre les mains d'un seul joueur, ACE Aviation. Il semble que cette fusion n'en était pas une faite pour tirer profit des rendements d'échelle croissants de l'industrie (voir section 6.2). Plusieurs hypothèses telles que la plus grande rentabilité financière d'un monopole par exemple peuvent être avancées. Les données présentées ici ne peuvent nous dire pourquoi cette fusion a eu lieu. Elles peuvent par contre nous dire comment s'est déroulée la croissance de la productivité dans la période déréglementation. Le tableau 6.5 présente l'indice de productivité et ces différentes composantes.

Tableau 6.5 Indice de Malmquist lors de la période dérèglementée

	$M_{\bar{x}\bar{k}^t, \bar{r}^t}$ (1)	$M_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^t}$ (2)	$M_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^{t+1}, \bar{r}^t}$ (3)	M (4)	E (5)	P (6)	S (7)
1988-2002 AC	1,0698	0,9907	0,9983	1,0960	1,0000	1,0553	1,0400
PWA	1,0606	0,9889	0,9980	1,0510	1,0000	1,0448	1,0100
Moyenne	1,0656	0,9899	0,9981	1,0751	1,0000	1,0504	1,0261

Note : Théoriquement, le produit des colonnes (1), (2) et (3) devrait évaluer le produit des colonnes (5) et (6). Ce n'est pas le cas ici puisque nous avons remplacé les problèmes infaisables en VRS par, les calculs en DRS et finalement en dernier recours, en CRS. Étant donné que des infaisables étaient plus fréquents dans la décomposition plus précise, les résultats empiriques ne concordent pas. La colonne (4) devrait théoriquement être égale au produit des colonnes (1), (2), (3) et (7) ou encore celui des colonnes (5), (6) et (7). Ce n'est pas le cas encore une fois à cause des infaisables. Finalement, il faut faire attention à l'interprétation des chiffres de la colonne (7) puisque celle-ci a été calculée comme un résidu et non pas comme une efficacité d'échelle.

On voit que la croissance de la productivité due aux facteurs exogènes aux firmes atteint un niveau plus « normal ». En effet, l'indice de Malmquist prend une valeur de 7.5 % en moyenne et ceci s'explique par une stagnation de l'efficacité (les firmes étant toujours les plus efficaces années après années) et une croissance de la technologie de l'ordre de 5 % par année et par un rapprochement de la taille optimale amenant une croissance de 2.6 % par année. Il semble aussi seule la gestion des intrants variables influence cette croissance de la productivité, les autres facteurs étant très près de 1. Ceci serait alors signe que le marché a atteint son équilibre et que la gestion des facteurs exogènes ne se modifie plus beaucoup. La croissance de la productivité semble davantage due à la taille optimale de l'industrie qu'à une inefficacité de l'industrie.

Tableau 6.6 Sous-indices d'efficacité et de changement technologique

	Changement dans l'efficacité			Changement technologique		
	$E_{\bar{x}\bar{k}^t, \bar{r}^t}$ (1)	$E_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^t}$ (2)	$E_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^{t+1}, \bar{r}^t}$ (3)	$P_{\bar{x}\bar{k}^t, \bar{r}^t}$ (4)	$P_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^t}$ (5)	$P_{\bar{x}^{t+1}, \bar{k}^{t+1}, \bar{r}^t}$ (6)
1988-2002 AC	1,0422	0,9363	0,9176	1,0267	1,0608	1,0902
PWA	1,0402	0,9476	0,9346	1,0202	1,0448	1,0701
Moyenne	1,0413	0,9415	0,9255	1,0237	1,0534	1,0808

Note : (1) et (4) : x variables, k fixes en t et r fixes en t , (2) et (5) : x fixes en t , k variables et r fixes en t , (3) et (6) : x fixes en $t+1$, k fixes en t et r variables

Comme dans le tableau précédent, on voit que toutes les composantes tendent vers 1, i.e. un impact constant sur la croissance de la productivité et que la croissance est expliquée par une croissance technologique. Les transporteurs se concentrent maintenant à mieux maîtriser ce qu'ils possèdent plutôt que de profiter de rendements d'échelle croissants pour s'assurer une croissance de productivité. En bref, l'industrie s'est concentrée à devenir plus efficace plutôt que de se développer en grandeur.

6.2. Les rendements d'échelle

Dans la section précédente, nous émettons l'hypothèse que l'industrie aurait atteint l'équilibre durant la période déréglementée suite aux fusions ayant eu lieu en 1986 et 1987. Si l'industrie tend vers l'équilibre, les firmes devraient avoir épuisé les rendements d'échelle croissants qui sont à leur disposition. Incidemment, les rendements d'échelle devraient devenir constants durant la période déréglementée, i.e. évaluer 1. Dans cette section, nous analyserons l'évolution des rendements d'échelle dans l'industrie des transporteurs aériens canadiens. Le tableau 6.7 présente les rendements d'échelle moyens par firme durant les trois périodes réglementaires.

Tableau 6.7 Rendements d'échelle réglementés dans l'industrie

	AC	CP	PWA	Q	EPA	T	N	Industrie
1960-69	1,46235	1,14763	1,42492	3,39813	3,12892	1,56617	n.d.	1,86246
1970-77	1,18819	1,05255	0,61516	1,40229	1,47307	1,41843	1,31858	1,19825
1978-87	0,77847	0,98224	0,50632	1,33044	1,49434	1,58611	0,84967	0,99298
1988-02	0,83704	n.d.	0,79786	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,81818
Total	1,03886	1,06433	0,76337	2,07150	1,65745	1,50105	1,07033	1,22427

Le calcul de ces rendements d'échelle confirme en partie notre intuition. Il semble que les firmes auraient exploité les rendements d'échelle croissant jusqu'au bout, allant même jusqu'à atteindre des rendements d'échelle décroissants dans la période déréglementée. Là où notre intuition est trompeuse, c'est le moment où les firmes ont atteint l'équilibre de long terme. En effet, il semble selon nos résultats que l'industrie aurait atteint cet équilibre durant la période de transition réglementaire (1978-87), i.e. période où les rendements d'échelle sont devenus constants. Nos résultats vont même jusqu'à montrer que cette taille fut atteinte à la fin de la période réglementée, atteignant un en 1974. Ceci confirme l'intuition voulant que les fusions ne furent pas nécessairement faites pour profiter de rendements d'échelle croissants.

Le transporteur PWA pour sa part avait déjà dépassé sa taille optimale dès les années 1970, ce qui laisse présager que les fusions avec CPAir, Q, EPA, T et N aurait été faites afin de profiter des rendements d'échelle toujours croissants de ces firmes, pour la plupart plutôt concentrés dans une région précise. En effet, PWA s'est rapproché de la taille optimale en

passant de 0,51 à 0,80 avant et après les fusions. Il est donc possible que ces fusions aient été faites pour profiter des rendements d'échelle croissants dus la position géographique.

Le fait que les firmes aient atteint des rendements d'échelle constants au cours de la période réglementée nous montre que la réglementation empêchait les firmes de profiter complètement des rendements d'échelle croissants à leur disposition. Aussitôt que la force de la réglementation s'est amenuisée, les firmes ont tout de suite réagit en profitant de ces rendements d'échelle croissants.

6.3. Comparaison entre Malmquist avec et sans réglementation

Tel que mentionné précédemment, le programme linéaire à optimiser est différent dépendamment si nous sommes en présence de réglementation ou non. La contrainte de convexité $\left(\sum_i \lambda_i^A = 1\right)$ et les contraintes réglementaires $\left(\sum_i \lambda_i^A r_i \geq r_A\right)$ deviennent une seule contrainte $\left(\sum_i \lambda_i^A (r_i - r_A) \geq 0\right)$ pour contraindre le problème à avoir des rendements d'échelle constants. Le fait de ne pas considérer cette différence induit nécessairement un biais dans l'indice de Malmquist. Le tableau 6.8 compare les deux indices :

Tableau 6.8 Comparaison de Malmquist avec et sans la nouvelle contrainte

	1970-78			1979-87			1988-2002		
	M base	M reg	Biais	M base	M reg	Biais	M base	M reg	Biais
AC	1.0374	1.1103	-0.0729	1.0030	1.0996	-0.0967	1.0261	1.0960	-0,0699
CP	1.0476	0,9658	0.0818	1.0346	1.0728	-0.0382	n.d.	n.d.	n.d.
PWA	0.9977	1,0853	-0.0875	1.0568	1.0099	0.0470	1.0062	1.0510	-0.0448
Q	1.0838	1.0507	0.0331	1.2047	1.1037	0.1010	n.d.	n.d.	n.d.
EPA	1,0094	1.1528	-0.1434	1,1159	1.0441	0.0718	n.d.	n.d.	n.d.
T	1.0980	1.0216	0.0763	1.2410	1.0088	0.2322	n.d.	n.d.	n.d.
N	1.1331	1.0344	0.0987	1,0219	0.9983	0.0236	n.d.	n.d.	n.d.
	1.0572	1.0600	-0.0027	1.0744	1.0531	0.0213	1.0168	1,0751	-0.0583

On se rend tout de suite compte que l'indice de Malmquist est tout à fait différent si on ne prend pas en compte cette nouvelle contrainte. Le biais est de plus assez important. Si on regarde l'industrie dans son ensemble, l'impact n'est pas si grand. Toutefois, en prenant les

firmes individuellement, le biais peut devenir très grand. Les biais vont de 2 % à 23 %. Ces biais, en plus d'être élevés, peuvent amener des conclusions qualitatives différentes, i.e. croissance vs décroissance de la productivité. Finalement, le biais ne semble pas être systématique dans un sens ou dans l'autre. Nous pouvons donc nous risquer à affirmer que cette différence est significative et importante à prendre en compte.

CONCLUSION

La croissance de la productivité est à la base de la croissance économique, c'est pourquoi il est utile, voire nécessaire de savoir quels facteurs l'influencent. Nous en avons recensé six : les intrants variables, les intrants quasi-fixes, la réglementation, l'inefficience, l'investissement et les rendements d'échelle. Nous avons donc généralisé la formule de Solow afin de les prendre en compte. De ce fait, nous avons perdu la propriété d'observabilité de la formule de Solow. Il nous a donc fallu faire appel à des techniques plus récentes palliant ce problème. Le *Data Envelopment Analysis* fut retenu de par son faible nombre d'hypothèses. Cette méthode d'estimation fait appel à la notion de fonctions de distance et de programmation linéaire.

Le DEA n'étant qu'une méthode d'estimation, nous avons besoin d'une façon de calculer la croissance de la productivité totale des facteurs. Un outil de plus en plus populaire dans le milieu de la recherche opérationnelle et auquel les économistes portent un intérêt de plus en plus marqués, soit l'indice de la productivité de Malmquist, fut utilisé. Celui-ci constitue un ratio de fonctions de distance prises à deux périodes différentes. Cet indice souffrait d'une déficience évidente dans la littérature consultée, il ne tenait pas compte de la réglementation en vigueur dans les industries étudiées. Nous avons donc décomposé cet indice de façon à ce que nous puissions isoler l'effet de chacun des facteurs retenus, plus spécifiquement la réglementation et les intrants quasi-fixes.

Ce travail constitue un raffinement de l'analyse des changements techniques permettant une meilleure compréhension des différentes composantes du taux de croissance de la *PTF*. Le but de cet exercice était principalement de développer un appareil méthodologique et d'en démontrer l'applicabilité. Il permet de faire le lien entre la théorie économique et l'économie empirique.

De plus, ce travail se veut aussi un grand pas vers une meilleure compréhension du comportement des rendements d'échelle dans un milieu réglementé. En effet, un raffinement

du calcul des rendements d'échelle a démontré que la réglementation a un impact sur le calcul des rendements d'échelle. Nous avons donc développé un nouvel outil nous permettant de corriger les rendements d'échelle observés afin d'extraire les rendements d'échelle technologiques de façon théorique sans toutefois pouvoir utiliser le DEA pour y parvenir. De plus, nous avons prouvé que le comportement d'un programme de DEA est modifié de façon majeure en présence de réglementation puisqu'il faut modifier certaines contraintes afin d'obtenir le modèle à rendements d'échelle constants et ainsi respecter les modèles présentés jusqu'ici dans la littérature. Nos calculs ont montré l'importance du biais induit par cet oubli.

Des difficultés dans l'application de cet indice sont survenues, ce qui nous a forcés à utiliser des techniques moins conventionnelles pour les contourner. Le nombre de données annuelles nous a forcé à utiliser une frontière de type séquentielle permettant d'augmenter le nombre d'observations. Cette frontière respecte toutefois mieux l'intuition économique en empêchant le recul technologique.

Nos résultats démontrent clairement qu'un lien existe entre la réglementation en vigueur et les déterminants de la productivité des firmes. En effet, lorsque ce facteur est pris en compte, on constate que l'efficacité des firmes dans la gestion des intrants variables augmente, alors que l'efficacité associée aux facteurs quasi-fixes et à la réglementation ralentit la croissance de la productivité. Ce qui faut alors en retenir est l'importance d'intégrer la réglementation dans les analyses subséquentes.

Traitée de cette façon, la réglementation joue le rôle d'un facteur exogène à la firme, ce qui peut empêcher la firme de s'ajuster idéalement à la conjoncture des marchés. L'indice que nous avons développé ici permet donc de quantifier cet impact.

Cette illustration de l'applicabilité du modèle en utilisant l'industrie des transporteurs aériens canadiens nous a permis de constater la pertinence de l'intégration de la réglementation et des intrants quasi-fixes.

La réglementation a joué un rôle important dans l'industrie des transporteurs aériens au Canada en ralentissant la croissance de l'efficacité de près de 10 % en moyenne en empêchant l'ajustement optimal des intrants. Le mécanisme par lequel cette diminution de réglementation s'est donc opérée par le biais de la variation de l'inefficience, donc de la gestion des intrants (quasi-fixes et variables).

De plus, nous avons montré qu'il n'est pas certain que les fusions qui ont eu lieu au milieu des années 80 furent faites avec l'espoir de profiter des rendements d'échelle. En effet, il fut montré que l'industrie avait possiblement déjà atteint sa taille optimale avant même ces fusions. Il faudrait donc chercher d'autres facteurs ayant influencé ces fusions de même que pour la fusion de Air Canada et Les Lignes Aériennes Canadiennes en 2000. Découvrir ces raisons n'étant pas les raisons motivant ce travail, nous nous limitons à ces constatations.

BIBLIOGRAPHIE

- Afriat, S.N., 1972. Efficiency Estimation of Production Functions, *International Economic Review*, (13), 568-598.
- Banker, R.D., R.C Morey. 1986. The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, (32), 1613–1627.
- Banker, R.D., R.M Thrall. 1992. Estimation of Return to Scale Using Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 62, 74-84.
- Berg, A.B., F.R Førsund, et E.S. Jansen. 1992. Malmquist Indices of Productivity Growth during the Deregulation of Norwegian Banking, 1980-89, *Scandinavian Journal of Economics*, (94), S211-S228.
- Broussau, F. 2004. *Évaluation de la performance des collèges d'enseignement général et professionnel au Québec par la méthode Data Envelopment Analysis*, Mémoire No. M8149, UQÀM, 54 p.
- Caves, D.W., L.R. Christensen, et W.E. Diewert. 1982. The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity, *Econometrica*, (50), 1393-1414.
- Charnes, A., W.W. Cooper et E. Rhodes. 1978. Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, (2), 429-444.
- De Borger, B., et K. Kerstens. 2000. The Malmquist Productivity Index and Plant Capacity Utilization, *Scandinavian Journal of Economics*, 102 (2), 303-310.
- Färe, R, S. Grosskopf et J. Kirkley. 2000. Multi-Output Capacity Measures and Their Relevance for Productivity, *Bulletin of Economic Research*, 52 (2), 101-112.
- Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren et P. Roos. 1994a. Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach. In: Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M. (Eds.), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris et Z. Zhang. 1994b. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries, *American Economic Review*, (84), 66-83.
- Färe, R., et D. Primont. 1995. *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 172 p.
- Farrell M.J.. 1957. The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, General, 253-282.
- Ferrier, GD. et JG. Hirschberg. 1997. Bootstrapping Confidence Intervals for Linear Programming Efficiency Scores: With an Illustration Using Italian Banking Data, *Journal of Productivity Analysis*, 8, 19-33.
- Førsund F.R. 1996. On the Calculation of the Scale Elasticity in *DEA* Models, *Journal of Productivity Analysis*, 7, 283-302.
- Førsund F.R. et L. Hjalmarsson. 2004. Calculating Scale Elasticity in *DEA* Models, *Journal of the Operational Research Society*, 55, 1023-1038.
- Gagné, R. et P. Ouellette. 2002. The Effect of Technological Change and Technical Inefficiencies on the Performance of Functional Forms, *Journal of Productivity Analysis*, 17, 233-247.
- Gagné, R. et P. Ouellette. 1998. On the Choice of Functional Forms: Summary of a Monte Carlo Experiment, *Journal of Economic and Business Statistics*, 16(1), 118-124.
- Grifell-Tatje, E. et C.A.K. Lovell. 1995 A note on the Malmquist productivity index, *Economics Letters*, 47, 169-75.
- Lambert, D.K. 1999. Scale and the Malmquist Productivity Index, *Applied Economics Letters*, (6), 593-596.
- Lasserre, P. et P. Ouellette. 1985. Mesure de la productivité: la méthode de Divisia, *L'Actualité économique*, 61, 507-526.
- Lasserre, P. et P. Ouellette. 1994. Factor Demands, Cost Functions, and Technology Measurements for Regulated Firms, *Canadian Journal of Economics*, 27, 218-242.

- Lovell, C.A.K. 2003. The Decomposition of Malmquist Productivity Indexes, *Journal of Productivity Analysis*, (20), 437-458.
- Ouellette, P. et S. Vigeant. 2001. On the Existence of a Regulated Production Function, *Journal of Economics*, (73), 193-200.
- Ouellette, P., et V. Vierstraete. 2004. Technological Change and Efficiency in the Presence of Quasi-Fixed Inputs: A DEA Application to the Hospital Sector, *European Journal of Operational Research*, (154) 755-763.
- Ray, S.C., et E. Desli. 1997. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment, *American Economic Review*, vol. 87(5), pages 1033-39.
- Shestalova, V. 2003. Sequential Malmquist Indices of Productivity Growth: An Application to OECD Industrial Activities, *Journal of Productivity Analysis*, (19), 211-226.
- Simar L. et P.W. Wilson. 2000. Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art, *Journal of Productivity Analysis*, 13, 49-78.
- Solow R.M. 1957. Technical Change and the Aggregate Production Function, *The Review of Economics and Statistics*, (39), 312-320.
- Tessier-Parent, L.P. 2003. *Impact de la déréglementation sur l'offre sur l'efficacité des transporteurs aériens canadiens*, Mémoire No. M-7997, UQÀM, mai, 60 pages.
- Vierstraete, V. 2002. *Évaluation de la performance des commissions scolaires québécoises par la méthode DEA*, Thèse No. D-941, UQÀM, décembre, 157 pages.
- Xue, M. et P.T. Harker. 2002. Note: Ranking DMUs with Infeasible Super-Efficiency DEA Models, *Management Science*, (48), 705-710.
- Zofio, J. 2005. *Malmquist Productivity Index Decompositions: A Unifying Framework*, Working Paper, Universidad Autonoma de Madrid, Departamento de Análisis Económico, 43 p.